

МАШИНОСТРОЕНИЕ

ЭНЦИКЛОПЕДИЯ



МАШИНОСТРОЕНИЕ

ЭНЦИКЛОПЕДИЯ

В Сорока томах

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

ФРОЛОВ К.В.

Председатель редакционного совета

Члены совета:

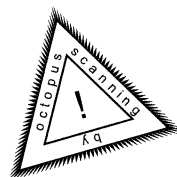
Белянин П.Н. (зам. Председателя редсовета и главного редактора), Колесников К.С. (зам. Председателя редсовета и главного редактора), Адамов Е.О., Анфимов Н.А., Асташов В.К., Бессонов А.П., Васильев В.В., Глебов И.А., Долбенко Е.Т., Жесткова И.Н., Ключев В.В., Ковалевский М.А., Коптев Ю.Н., Ксеневич И.П., Куржанский А.Б., Мартынов И.А., Михайлов В.Н., Нейланд В.Я., Новожилов Г.В., Носов В.Б., Образцов И.Ф., Огурцов А.П., Панин В.Е., Паничев Н.А., Патон Б.Е., Платонов В.Ф., Пугин Н.А., Салтыков Б.Г., Свищев Г.П., Силаев И.С., Туполев А.А., Федосов Е.А., Фокин А.В., Фортков В.Е., Черный Г.Г., Шемякин Е.И.

Раздел IV РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ МАШИН

Том IV-6 ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СВАРКИ

Редактор-составитель и ответственный редактор
академик Национальной Академии наук Украины
Б.Е. Патон

Редакторы тома: **Д.А. Дудко**
(Оборудование для нанесения покрытий, пайки, неразрушающего контроля
и технической диагностики сварных соединений),
С.И. Кучук-Яценко (Оборудование для сварки давлением),
Н.И. Никифоров (Оборудование для газовой сварки, наплавки и резки),
А.И. Чвертко (Основы проектирования оборудования для сварки.
Оборудование для дуговой и электрошлаковой сварки и наплавки.
Оборудование для электронно-лучевой и специальных видов сварки,
наплавки, резки)



Авторы: В. К. Лебедев, С. И. Кучук-Яценко, А. И. Чвертко, К. С. Акопянц, И. А. Антонов, Е. А. Астахов, В. А. Бачин, В. Н. Богданов, А. И. Бондаренко, О. П. Бондаренко, Ю. С. Борисов, Л. К. Босак, Б. А. Будилов, А. В. Буриякин, О. А. Величко, В. В. Волков, Д. С. Ворона, В. П. Гаращук, А. Ф. Гарбуль, П. В. Гладкий, В. В. Глазов, В. И. Горбунов, Г. В. Горбунов, А. И. Горишняков, В. В. Громов, А. А. Грузд, А. И. Гуляев, К. П. Гурский, П. И. Гурский, Д. А. Дудко, Г. Н. Дьяков, А. В. Емченко-Рыбко, М. Л. Жадкевич, А. В. Жесан, К. И. Жуков, К. И. Зайцев, И. И. Заруба, В. И. Зубков, Ю. В. Зубченко, В. А. Казаков, А. А. Кайдалов, Д. М. Калеко, К. С. Касаев, В. С. Качинский, В. Н. Киселев, В. М. Кислицин, О. И. Ковальчук, В. Я. Кононенко, Г. Н. Кораб, В. Н. Корж, Л. А. Кравчук, В. П. Кривонос, А. А. Кузнецов, П. В. Кузнецов, М. В. Кузнецов, В. П. Купреев, С. П. Лакиза, В. Ф. Лапчинский, В. А. Лебига, В. И. Левченков, С. Г. Лесков, А. А. Логинов, В. Е. Локшин, Г. А. Лоскутов, И. И. Лычко, Б. И. Максимович, И. С. Малащенко, А. Я. Медведев, В. А. Метлицкий, Б. А. Мовчан, В. Э. Моравский, В. Т. Музычук, О. К. Назаренко, А. Я. Недосека, М. С. Неймарк, В. С. Несмих, Б. Н. Несповитый, А. Ф. Нестеров, И. В. Нетеса, Н. И. Никифоров, П. А. Новыш, И. В. Пархоменко, К. М. Пастухов, Ю. Н. Пауков, И. Р. Паукевич, В. Г. Петушков, В. И. Повстан, Б. Н. Пономарев, Ю. Н. Посыпайко, С. И. Притула, А. Л. Рывкин, В. Г. Рывкина, И. М. Савич, М. Д. Серегин, Ю. Н. Скачко, В. В. Смирнов, В. Б. Смолярко, И. М. Стройман, И. И. Сушук-Слюсаренко, А. М. Татаркин, Б. Я. Темкин, В. А. Тимченко, А. В. Тихомиров, В. И. Тишура, В. А. Троицкий, В. Г. Фартушный, Ю. Г. Федорин, В. Г. Федотенко, В. А. Филиппенков, Н. И. Фомичев, В. Х. Хакимов, Г. К. Харченко, В. Ф. Хорунов, А. Ф. Худышев, Н. А. Чвертко, П. Н. Чвертко, И. А. Черненко, В. П. Черныш, В. А. Чудаков, А. Н. Шестопал, Л. А. Штернин, Г. А. Шульман, Э. М. Эсибян, Ю. Д. Ягодкин, А. Я. Яшунский

Рабочая группа Редакционного совета: К. С. Колесников, П. Н. Белянин, В. В. Васильев, В. К. Асташов, А. П. Бессонов, Н. Н. Боброва, Е. Т. Долбенко, И. Н. Жесткова

Машиностроение. Энциклопедия / Ред. совет: К. В. Фролов (пред.) и др.-М.: Машиностроение.

М38 Оборудование для сварки. Т. IV-6/ В. К. Лебедев, С. И. Кучук-Яценко, А. И. Чвертко и др.;

Под ред. Б. Е. Патона. 1999. - 496 с., ил.

Даны основы проектирования оборудования для сварки, его энергоснабжение, описание основных узлов, их вариантов, вспомогательного оборудования, средств комплексной механизации и автоматизации, а также средств неразрушающего контроля и технического диагностирования сварных соединений; приведены технические характеристики, показатели надежности оборудования, особенности его эксплуатации и испытаний.

ББК 34.44

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	10
Раздел 1. ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СВАРКИ	11
Глава 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ	11
1.1. Классификация оборудования для сварки (А. И. Четвертко)	11
1.2. Основные требования, предъявляемые к оборудованию для сварки и наплавки (А. И. Четвертко, В. А. Тимченко)	11
1.3. Сварочные процессы как объекты автоматического управления (В. П. Черныш)	13
1.4. Автоматизация сварочных процессов (В. П. Черныш, В. И. Повстан)	17
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	19
Глава 2. ОБЩИЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ И АВТОМАТИЧЕСКОЙ СВАРКИ И НАПЛАВКИ	20
2.1. Общие принципы проектирования оборудования для сварки и наплавки (А. И. Четвертко, В. Н. Богданов, В. А. Тимченко)	20
2.2. Система автоматизированного проектирования оборудования (А. И. Четвертко, О. И. Ковальчук, А. В. Жесан)	22
2.3. Унификация и агрегатно-модульный принцип создания оборудования (А. И. Четвертко, В. А. Тимченко)	25
2.4. Создание функционально-гибкого оборудования (А. И. Четвертко, В. А. Тимченко)	28
2.5. Повышение уровня механизации и автоматизации оборудования (А. И. Четвертко, В. А. Тимченко, В. В. Глазов)	30
2.6. Применение комплексной механизации и автоматизации сборочно-сварочных работ (А. И. Четвертко, В. А. Тимченко)	32
2.7. Интеграция операций (А. И. Четвертко, В. А. Тимченко)	36
2.8. Повышение уровня надежности оборудования (А. И. Четвертко, В. А. Тимченко)	40
2.9. Повышение эргономических показателей оборудования (А. И. Четвертко, В. А. Тимченко)	42
2.10. Совершенствование методов эксплуатации сварочного оборудования (А. И. Четвертко, В. А. Тимченко, А. А. Кузнецов)	42
2.11. Испытание сварочного оборудования (П. А. Новыш, А. И. Четвертко, К. И. Жуков)	47
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	51
Раздел 2. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ДУГОВОЙ И ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ СВАРКИ И НАПЛАВКИ	52
Глава 1. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ДУГОВОЙ СВАРКИ И НАПЛАВКИ	52
1.1. Общие сведения (А. И. Четвертко, А. Ф. Гарбуль)	52
1.2. Классификация оборудования (А. И. Четвертко, А. Ф. Гарбуль)	53
1.3. Источники питания для дуговой сварки, наплавки и термической резки металлов (И. И. Заруба, А. Л. Рывкин)	54
1.4. Рабочее место, инструмент и защитные приспособления электросварщика ручной дуговой сварки и наплавки (А. И. Четвертко, В. Г. Фартушный)	61
1.5. Аппараты для механизированной дуговой сварки и наплавки плавящимся электродом (А. И. Четвертко)	64
1.6. Аппараты для автоматической дуговой сварки и наплавки плавящимся электродом (А. И. Четвертко, С. И. Прицула)	66
1.7. Аппараты для автоматической вибродуговой наплавки (И. Р. Паукевич)	73
1.8. Аппараты для дуговой механизированной и автоматической сварки плавящимся электродом с	

принудительным формированием шва (А. И. Чвертко, В. Б. Смолярко)	76
1.9. Аппараты для дуговой сварки неплавящимся электродом в инертных газах (В. П. Купреев, Б. Я. Темкин, А. И. Чвертко)	78
1.10. Механическое сварочное оборудование (А. И. Чвертко, В. Г. Фартушный)	80
1.11. Установки и станки для дуговой сварки и наплавки (А. И. Чвертко)	84
1.12. Оборудование для комплексной механизации и автоматизации сварочного производства (А. И. Чвертко, В. В. Смирнов)	92
1.13. Автоматизация управления параметрами процесса дуговой сварки (В. П. Черныш)	101
1.14. Автоматизация направления сварочного инструмента по стыку свариваемых кромок (В. А. Тимченко)	107
1.15. Тенденции развития (А. И. Чвертко, В. А. Тимченко)	115
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	116
Глава 2. РОБОТЫ ДЛЯ ДУГОВОЙ СВАРКИ (В. А. Тимченко, В. В. Смирнов, М. С. Неймарк)	117
2.1. Общие сведения	117
2.2. Классификация	119
2.3. Описание роботов	121
2.4. Программно-управляемые универсальные вращатели	127
2.5. Принципы управления сварочными роботами и РТК (А. И. Бондаренко)	130
2.6. Особенности сварочного оборудования для роботизированной дуговой сварки	137
2.7. РТК и гибкие производственные системы для дуговой сварки	141
2.8. Тенденции развития	146
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	147
Глава 3. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ СВАРКИ И НАПЛАВКИ	147
3.1. Общие сведения (А. И. Чвертко, И. И. Суцук-Слюсаренко)	147
3.2. Классификация оборудования (А. И. Чвертко, И. И. Суцук-Слюсаренко)	148
3.3. Источники питания для электрошлаковой сварки (И. И. Заруба)	149
3.4. Аппараты для механизированной электрошлаковой сварки и наплавки (А. И. Чвертко, В. Б. Смолярко)	150
3.5. Аппараты для автоматической электрошлаковой сварки и наплавки (А. И. Чвертко, В. Б. Смолярко)	152
3.6. Установки и станки для электрошлаковой сварки и наплавки (А. И. Чвертко)	156
3.7. Автоматизация управления параметрами процесса электрошлаковой сварки (О. П. Бондаренко, И. И. Лычко, Ю. Г. Федорин)	158
3.8. Тенденции развития (А. И. Чвертко, И. И. Суцук-Слюсаренко, В. Б. Смолярко)	164
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	165
Раздел 3. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СВАРКИ ДАВЛЕНИЕМ	166
Глава 1. КОНТАКТНЫЕ МАШИНЫ ДЛЯ ТОЧЕЧНОЙ, ШОВНОЙ И РЕЛЬЕФНОЙ СВАРКИ	166
1.1. Общие сведения (А. И. Гуляев, Б. А. Будилов)	166
1.2. Классификация (А. И. Гуляев)	167
1.3. Энергоснабжение (Б. А. Будилов)	168
1.4. Описание оборудования (А. Я. Яшунский, Б. А. Будилов, П. Н. Чвертко)	170
1.5. Вспомогательное оборудование, инструмент, приспособления и электроды (А. И. Гуляев)	181
1.6. Поточные и автоматические сборочно-сварочные комплексы и линии (А. И. Гуляев)	184
1.7. Тенденции развития (А. И. Гуляев, Б. А. Будилов, А. Я. Яшунский)	185
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	185
Глава 2. КОНТАКТНЫЕ МАШИНЫ ДЛЯ СТЫКОВОЙ СВАРКИ	186
2.1. Общие сведения (С. И. Кучук-Яценко)	186
2.2. Классификация (П. Н. Чвертко)	187
2.3. Энергоснабжение (В. П. Кривонос)	188
2.4. Описание оборудования (П. Н. Чвертко, Н. И. Фомичев)	191
2.5. Вспомогательное оборудование, инструмент, приспособления и электроды (П. Н. Чвертко)	197
2.6. Поточные и автоматические сборочно-сварочные комплексы и линии (П. Н. Чвертко)	198
2.7. Тенденции развития (С. И. Кучук-Яценко)	201
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	202

Глава 3. РОБОТЫ ДЛЯ КОНТАКТНОЙ СВАРКИ. 202

- 3.1. Общие сведения (В. А. Тимченко, В. Т. Музычук) 202
- 3.2. Классификация (В. А. Тимченко, К. П. Гурский) 203
- 3.3. Описание роботов (К. П. Гурский, В. А. Тимченко) 204
- 3.4. Периферийное оборудование (В. Т. Музычук, В. А. Тимченко) 206
- 3.5. Особенности сварочного оборудования для роботизированной точечной контактной сварки (К. П. Гурский, В. А. Тимченко, В. Т. Музычук) 207
- 3.6. Принципы управления РТК, роботизированными линиями и производственными системами (В. Т. Музычук, В. А. Тимченко) 210
- 3.7. Робототехнологические комплексы, роботизированные линии и гибкие производственные системы (В. А. Тимченко, В. Т. Музычук) 213
- 3.8. Тенденции развития (В. А. Тимченко, В. Т. Музычук) 217

Глава 4. АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРАМИ ПРОЦЕССОВ СВАРКИ (ТОЧЕЧНОЙ, ШОВНОЙ, РЕЛЬЕФНОЙ И СТЫКОВОЙ) 217

- 4.1. Коммутация и регулирование сварочного тока (В. П. Кривонос, Г. Н. Дьяков) 217
- 4.2. Регистрация и контроль основных параметров режима контактной сварки (А. И. Горишняков, Г. Н. Дьяков) 222
- 4.3. Тенденции развития (В. П. Кривонос, Г. Н. Дьяков) 228

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 229

Глава 5. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ ВИДОВ СВАРКИ ДАВЛЕНИЕМ 230

- 5.1. Оборудование для сварки трением (И. А. Черненко, Н. И. Фомичев, В. И. Тишура) 230
- 5.2. Оборудование для термокомпрессионной сварки (В. Ф. Хоруннов, А. Ф. Нестеров, М. Д. Серегин, Л. К. Босак) 236
- 5.3. Оборудование для ультразвуковой сварки (В. А. Лебиза) 238
- 5.4. Оборудование для сварки дугой, управляемой магнитным полем (В. С. Качинский, П. В. Кузнецов, В. Г. Рывкина) 240

- 5.5. Оборудование для высокочастотной сварки (Ю. Н. Скачко, В. Н. Богданов) 243
- 5.6. Оборудование для контактной микросварки (В. Э. Моравский, Д. С. Ворона) 247
- 5.7. Оборудование для газопрессовой сварки (В. Ф. Хоруннов, А. Ф. Нестеров) 253
- 5.8. Оборудование для кузнечной сварки (В. Ф. Хоруннов, А. Ф. Нестеров, Л. К. Босак) 254
- 5.9. Оборудование для сварки прокаткой (А. Ф. Нестеров, М. Д. Серегин, В. Ф. Хоруннов, Л. К. Босак) 256
- 5.10. Оборудование для холодной сварки (П. И. Гурский, Г. А. Шульман, И. М. Стройман) 259
- 5.11. Оборудование для диффузионной сварки (Г. К. Харченко, В. В. Громов) 261
- 5.12. Оборудование для сварки и резки взрывом (В. Г. Петушков) 266
- 5.13. Оборудование для магнитноимпульсной сварки (В. А. Чудakov) 271

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 273

Раздел 4. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ГАЗОВОЙ СВАРКИ, НАПЛАВКИ И РЕЗКИ 275

Глава 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ (И. А. Антонов) 275

- 1.1. Основные требования к оборудованию 275
- 1.2. Классификация оборудования 276
- 1.3. Баллоны и вентили 279
- 1.4. Системы питания газом 280

Глава 2. ОПИСАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ 289

- 2.1. Ацетиленовые генераторы (И. А. Антонов) 289
- 2.2. Электролизно-водные генераторы (В. М. Кисицын, В. Н. Корж) 292
- 2.3. Предохранительные устройства (И. А. Антонов) 294
- 2.4. Перепускные рампы (И. А. Антонов) 297
- 2.5. Газоразборные посты и рукава (И. А. Антонов) 298
- 2.6. Газовые редукторы (И. А. Антонов) 300
- 2.7. Горелки (И. А. Антонов) 301
- 2.8. Резаки и установки для ручной резки (Н. И. Никифоров) 304
- 2.9. Оборудование для механизированной резки (Н. И. Никифоров) 306

2.10. Вспомогательное оборудование, инструмент, приспособления (<i>Н. И. Никифоров</i>)	320
2.11. Поточные и автоматические линии (<i>Н. И. Никифоров</i>)	321
2.12. Тенденции развития (<i>Н. И. Никифоров, В. М. Кислицын</i>)	325
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	326

Раздел 5. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ И СПЕЦИАЛЬНЫХ ВИДОВ СВАРКИ, НАПЛАВКИ, РЕЗКИ 327

Глава 1. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СВАРКИ 327

1.1. Общие сведения (<i>А. И. Чвертко</i>)	327
1.2. Классификация (<i>А. И. Чвертко, В. А. Казаков</i>)	328
1.3. Энергетический комплекс электронно-лучевых сварочных установок	328
Сварочные электронные пушки (<i>Ю. В. Зубченко, К. С. Касеев, В. А. Казаков</i>)	328
Источники питания сварочных электронных пушек (<i>В. К. Лебедев, О. К. Назаренко, В. Е. Локшин, Г. А. Лоскутов</i>)	335
1.4. Электромеханический комплекс электронно-лучевых сварочных установок (<i>А. И. Чвертко</i>)	341
1.5. Промышленные установки для электронно-лучевой сварки	348
Установки для микросварки и размерной обработки (<i>А. И. Чвертко, Л. А. Кравчук, А. Ф. Худышев</i>)	348
Установки для сварки малогабаритных изделий (<i>А. И. Чвертко, А. М. Татаркин, В. Н. Киселев</i>)	348
Установки для сварки изделий средних габаритов (<i>А. И. Чвертко, А. М. Татаркин, Б. Н. Несповитый, В. Н. Киселев</i>)	353
Установки для сварки крупногабаритных изделий (<i>А. И. Чвертко, А. М. Татаркин, М. Л. Жадкевич, Б. Н. Несповитый</i>)	359
1.6. Автоматизация управления установками для электронно-лучевой сварки с помощью средств вычислительной техники	360
Микропроцессорные системы локального управления параметрами процесса электронно-лучевой сварки и электромеханическим комплексом (<i>О. К. Назаренко, А. А. Кайдалов</i>)	360

Системы локального управления положением электронного пучка (<i>А. А. Кайдалов, В. И. Горбунов</i>)	363
Контроль и автоматическое регулирование процесса электронно-лучевой сварки (<i>К. С. Акопянци, А. В. Емченко-Рыбко</i>)	365
Контроль положения фокуса электронного пучка (<i>А. А. Кайдалов</i>)	366
Управление установками с помощью ЭВМ (<i>Б. Н. Пономарев, В. А. Казаков</i>)	366
1.7. Тенденции развития (<i>А. И. Чвертко, О. К. Назаренко, А. А. Кайдалов</i>)	368
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	369

Глава 2. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ ВИДОВ СВАРКИ, НАПЛАВКИ И РЕЗКИ 369

2.1. Оборудование для плазменной сварки, наплавки и резки (<i>Э. М. Эсбян, П. В. Гладкий, Н. И. Никифоров, А. Я. Медведев, А. А. Логинов</i>)	369
2.2. Оборудование для микроплазменной сварки (<i>С. Г. Лесков, В. Г. Федотенко</i>)	375
2.3. Оборудование для дуговых способов конденсаторной сварки (<i>Н. А. Чвертко, Д. М. Калеко</i>)	378
2.4. Оборудование для сварки контактным плавлением (<i>Г. В. Горбунов</i>)	385
2.5. Оборудование для сварки и резки под водой (<i>И. М. Савич, В. Я. Кононенко</i>)	389
2.6. Оборудование для сварки и резки в космосе (<i>В. Ф. Лапчинский</i>)	392
2.7. Оборудование для лазерной сварки, наплавки и резки (<i>В. П. Гаращук, А. В. Тихомиров, О. А. Величко, Л. А. Штернин</i>)	395
2.8. Оборудование для сварки световым лучом (<i>А. Ф. Нестеров, М. Д. Серегин</i>)	398
2.9. Оборудование для термитной сварки (<i>В. В. Волков</i>)	399
2.10. Оборудование для сваркопайки (<i>В. Ф. Хорунов, А. Ф. Нестеров, М. Д. Серегин</i>)	400
2.11. Оборудование для воздушно-дуговой резки (<i>В. И. Левченков, В. А. Метлицкий</i>)	402
2.12. Оборудование для сварки полимерных материалов (<i>Г. Н. Кораб, К. И. Зайцев, А. Н. Шестопал</i>)	404

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	418

Раздел 6. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ, ПАЙКИ, НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ 419

Глава 1. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ, ВАКУУМНЫХ И ОСОБЫХ СПОСОБОВ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ И ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ (*Б. А. Мовчан, Ю. С. Борисов, И. С. Малащенко*) 419

- 1.1. Общие сведения 419
- 1.2. Классификация оборудования 420
- 1.3. Энергоснабжение 421
- 1.4. Описание оборудования . . . 421
 - Оборудование для газопламенного напыления покрытий и электродуговой металлизации (*В. И. Зубков, А. В. Бурякин, И. В. Нетеса, Б. И. Максимович*) . . . 421
 - Оборудование для плазменного напыления покрытий (*К. С. Касаев, В. А. Казаков, А. Я. Медведев*) 424
 - Оборудование для детонационных напылений покрытий (*Е. А. Астахов*) 427
 - Оборудование для электронно-лучевого нанесения покрытий (*К. С. Касаев, В. А. Казаков*) 430
 - Оборудование для ионно-плазменного нанесения покрытий (*Д. А. Дудко, С. П. Лакиза, В. А. Казаков, М. В. Кузнецов*) 435
 - Оборудование для электроискрового легирования (*Ю. Н. Пауков*) 438
 - Оборудование для лазерного легирования и модифицирования поверхностей (*О. А. Величко*) 440

- Оборудование для электронно-лучевого модифицирования поверхностей (*А. А. Кайдалов*) 440
- Оборудование для ионной имплантации (*К. С. Касаев, Ю. Д. Ягодкин, К. М. Пастухов*) 441
- 1.5. Тенденции развития 442
- СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ** 443

Глава 2. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПАЙКИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ И ПАЙКИ И СВАРКИ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ (*А. Ф. Нестеров*) 443

- 2.1. Общие сведения 443
- 2.2. Классификация оборудования (*К. С. Касаев, В. А. Казаков*) 444
- 2.3. Энергоснабжение 444
- 2.4. Оборудование для пайки металлов (*В. Ф. Хорунов, В. Х. Хакимов, В. А. Казаков*) 446
- 2.5. Оборудование для пайки и сварки неметаллических тугоплавких материалов (*В. Х. Хакимов, В. С. Несмих, В. А. Бачин*) 462
- 2.6. Тенденции развития (*В. Ф. Хорунов*) 464

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 465

Глава 3. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И НАПЛАВКИ (*В. А. Троцкий*) 465

- 3.1. Оборудование для неразрушающего контроля (*В. А. Филиппенков, Ю. Н. Посыпайко*) . . . 465
- 3.2. Оборудование для технической диагностики (*А. Я. Недосека, А. А. Грузд, И. В. Пархоменко*) 477
- 3.3. Тенденции развития (*А. Я. Недосека*) 479

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 480

Предметный указатель 482

Приложение 493

ПРЕДИСЛОВИЕ

Под термином "Сварка" подразумеваются термические процессы, обеспечивающие получение неразъемных соединений деталей, наплавку, пайку, нанесение на поверхности различных покрытий с особыми свойствами, а также резку. В машиностроении сварка — один из ведущих технологических процессов при производстве конструкций самого различного назначения. В промышленности широко применяются более пятидесяти различных способов сварки и их разновидностей, что обусловило современное разнообразие типов, компоновок и конструкций сварочного оборудования.

Непрерывное развитие сварочного производства, разработка новых способов и приемов механизированной и автоматической сварки требуют создания все новых и новых образцов сварочного оборудования, а также совершенствования существующего оборудования, что обеспечивает высокую эффективность применения в промышленности различных способов сварки. В первую очередь это касается наиболее распространенного оборудования для дуговой сварки и наплавки, контактной сварки, газовой сварки, наплавки и резки. Интенсивно развивается оборудование для лучевых технологических процессов: электронно-лучевой сварки, лазерной сварки, наплавки и резки. Весьма перспективно применение оборудования для нанесения покрытий, пайки, неразрушающего контроля и технической диагностики сварных соединений.

В данном томе энциклопедии описывается современное сварочное оборудование, приводятся его технические характеристики, а также рекомендации по выбору и определению типа оборудования и правильной его эксплуатации исходя из конкретных условий.

Академик Б. Е. Патон

РАЗДЕЛ 1

ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СВАРКИ

Глава 1

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1. КЛАССИФИКАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СВАРКИ

Современная сварочная техника характеризуется большим разнообразием применяемого оборудования, что обусловлено широким развитием сварочного производства, разработкой новых способов и приемов сварки. Сварочное оборудование целесообразно классифицировать по способам сварки, наплавки, пайки, нанесения покрытий и степени механизации этих процессов [3, 4, 9, 13, 16—22]. Эти признаки позволяют довольно четко разделить все оборудование для сварки на следующие группы: для сварки плавлением; для сварки давлением (прессовой); для нанесения покрытий. В каждой группе могут быть выделены подгруппы. Оборудование для сварки плавлением может быть разделено на две подгруппы.

1. Оборудование для сварки плавлением основного металла или для собственно сварки плавлением; дуговой сварки и наплавки; электрошлаковой сварки (ЭШС) и наплавки; газовой сварки, наплавки и резки; электронно-лучевой сварки (в высоком вакууме, в промежуточном и вне вакуума) и специальных видов сварки, наплавки и резки, в том числе: плазменной сварки, наплавки и резки, микроплазменной сварки, ударной конденсаторной сварки, дуговой конденсаторной сварки, сварки контактным плавлением, сварки и резки под водой, сварки и резки в космосе, лазерной сварки, наплавки и резки, сварки световым лучом, термитной сварки, сваркопайки, воздушно-дуговой резки; некоторых способов сварки полимерных материалов.

2. Оборудование для сварки без плавления основного металла или пайки (высоко- и низкотемпературной), при которой плавится более легкоплавкий присадочный металл (припой), а основной металл не расплавляется [13].

Оборудование для сварки давлением (прессовой) может быть разделено на три подгруппы:

1) для контактной сварки — точечной, шовной и рельефной;

2) для контактной стыковой сварки — сопротивлением, оплавлением (непрерывным, с предварительным подогревом и виброоплавлением);

3) для специальных видов сварки давлением — трением, термокомпрессионной, ультразвуковой, дугой, управляемой магнитным полем, высокочастотной, контактной микросварки, газопрессовой, кузнечной, прокаткой, холодной, диффузионной, сварки и резки взрывом, магнитно-импульсной сварки и для некоторых способов сварки полимерных материалов.

Оборудование для нанесения покрытий может быть разделено на три подгруппы:

1) для газотермического способа (газопламенной и электродуговой металлизации, плазменного или детонационного);

2) для вакуумного способа (электронно-лучевого, ионно-плазменного или осевого, в том числе катодного распыления; магнетронного; КИБ; термического испарения сжатой дугой низкого давления; ионного распыления в плазме дуги с термокатодом; термононного);

3) для легирования и модифицирования поверхностей (электроискрового легирования, лазерного легирования и модифицирования, электронно-лучевого модифицирования и ионной имплантации).

Приведенная классификация оборудования для сварки, положенная в основу разработки его типажа и размерных рядов, охватывает все известные разновидности оборудования и учитывает степень механизации различных способов и разновидностей сварки, наплавки и нанесения покрытий.

1.2. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ОБОРУДОВАНИЮ ДЛЯ СВАРКИ И НАПЛАВКИ

К оборудованию для сварки предъявляются многочисленные и разнообразные требования, связанные с технологическими особенностями способов сварки, спецификой сварных конструкций различных классов и технико-экономическими особенностями сварочного производства. Наиболее общими требованиями, предъявляемыми к рассматриваемому оборудованию, являются обеспечение высоких качества и производительности технологического процесса, надежности работы и эргономических показателей оборудования, а также рационального расходования материалов и электроэнергии, минимальных затрат на его изготовление.

В связи с тем, что большинство сварочных работ выполняется с применением дуговой сварки (наплавки), требования, предъявляе-

мые к сварочному оборудованию, рассматриваются ниже преимущественно на их основе. Обеспечение высокого качества сварных соединений (наплавки) требует:

точной сборки и фиксации свариваемых соединений в рабочей зоне с учетом особенностей заготовок (значительные допускаемые отклонения от номинальных размеров и форм, возможные заусеницы, задиры, окалина, прилипшие брызги металла) и сварочных деформаций;

надежной защиты сварочной ванны от воздействия атмосферы путем подачи в зону сварки защитного газа, флюса, использования самозащитных проволок, вакуумных камер и др.;

обеспечения заданного положения и ориентации источника нагрева относительно свариваемого соединения с компенсацией случайных отклонений линии соединения от расчетного положения;

поддержания заданных значений параметров процесса сварки или изменения их по заданному закону с учетом случайных отклонений параметров соединения, подготовленного под сварку, от номинальных значений;

применения прогрессивных сварочных технологий и материалов (форсированные режимы, использование многодуговой и многоэлектродной сварки, ленточных электродов и т. п.).

Высокая производительность сварочного процесса и операций по изготовлению сварных конструкций достигается: применением прогрессивных сварочных процессов; механизацией, автоматизацией и роботизацией сварочного производства. Автоматизация и роботизация сварки, в свою очередь, являются факторами значительного улучшения качества и стабильности характеристик сварных соединений.

Высокая надежность оборудования для сварки достигается путем: принятия мер по обеспечению стабильной работы оборудования в условиях, характеризующихся (в зависимости от способа сварки) высокой температурой вблизи зоны сварки и шва, мощным нестационарным магнитным полем, интенсивным световым излучением, разбрызгиванием расплавленного металла, интенсивным выделением пыли или аэрозолей; повышения ресурса работы быстроизнашивающихся элементов; использования современных средств контроля состояния и диагностики и устранения неисправностей за счет быстросменных деталей, блоков и устройств; использования составных частей с высокими показателями надежности, прежде всего, путем максимального применения ранее отработанных технических решений и серийных устройств, унификации и агрегатирования.

Высокая надежность оборудования для сварки, в свою очередь, является одним из важнейших факторов обеспечения требуемого качества сварных соединений и заданной производительности.

Обеспечение рационального расходования материалов на изготовление оборудования, электроэнергии, потребляемой при сварке, и сварочных материалов достигается: рациональным построением типоразмерных рядов и выбором оптимальных компоновок сварочного оборудования; повышением КПД источников энергии, уменьшением их размеров и массы, например, применением инверторных или транзисторных источников для дуговой сварки; снижением разбрызгивания металла при сварке путем выбора оптимального ее способа, например, импульсно-дуговой в смеси газов; выбором оптимального состава и расхода защитных газов, состава флюса и способов его подачи в зону сварки и уборки после сварки.

Обеспечение высоких эргономических показателей оборудования для сварки достигается путем: улучшения санитарных условий работы (отсос аэрозолей и пыли, охлаждение горелок, защита персонала от светового излучения); механизации и автоматизации сварочных и вспомогательных работ; обеспечения безопасности труда; учета требований инженерной психологии при разработке средств управления и контроля за работой сварочного оборудования; рациональной организацией компоновки и формы оборудования и организацией рабочих мест. Вместе с тем, высокие эргономические показатели оборудования являются важным фактором повышения качества сварных соединений, производительности и надежности сварочного оборудования.

Обеспечение минимальной стоимости оборудования и затрат на его техническое обслуживание достигается путем: минимизации расхода материалов на сварочное оборудование и трудоемкости его изготовления; выбором или созданием оборудования с оптимальным набором функций для выполнения определенных задач (без избыточности); максимальным применением серийно выпускаемого оборудования; унификацией и агрегатированием сварочного оборудования.

Следует иметь в виду, что подавляющее большинство вариантов наиболее распространенного способа дуговой сварки (наплавки) может быть выполнено с помощью несложного ручного или механизированного инструмента (каким, по существу, является сварочный полуавтомат), тогда как введение высокоавтоматизированных технологических комплексов сопряжено со значительными затратами. Поэтому для получения положительного экономического эффекта при автоматизации сварочного производства необходимо обеспечивать существенное повышение производительности труда при наиболее простых технических решениях.

Важно учитывать то, что каждый конкретный способ дуговой сварки и наплавки характеризуется специфическими особенностями и вытекающими из них требованиями [20]. Так, применительно к оборудованию для сварки (наплавки) под флюсом, проводимой с большим объемом жидкого металла в ванне, воз-

никает необходимость предотвращения протекания расплавленного металла из нижней части сварочной ванны, т. е. защиты свариваемого соединения от прожога. Кроме этого, наличие флюса в зоне возбуждения дуги и отвердевшей шлаковой пленки на конце сварочной проволоки в начале процесса требует принятия дополнительных мер по обеспечению надежного зажигания дуги. Особенностью сварки под флюсом является также невозможность прямого наблюдения за положением конца электрода и сварочной ванны, что усложняет направление электрода на линию соединения свариваемых элементов. При сварке и наплавке порошковой проволокой следует учитывать малую жесткость ее оболочки и необходимость в специальных подающих роликовых устройствах.

1.3. СВАРОЧНЫЕ ПРОЦЕССЫ КАК ОБЪЕКТЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Формирование сварного соединения можно представить как результат функционирования системы источник питания 1 — источник нагрева 2 — изделие (присадочный материал) 3, отдельные компоненты которой объединены внутренними связями $X_{o,c}$, $Y_{o,c}$ в сложную многоконтурную систему [1] (рис. 1.1). Действие этих связей проявляется в том, что изменение процесса сварки оказывает воздействие на источники нагрева 2 и питания 1. Так, при дуговой сварке изменение глубины провара сопровождается изменением скрытой составляющей длины дуги, а следовательно, изменением напряжения дуги и режима работы источника питания. При ЭШС изменение температуры шлаковой ванны приводит к изменению скорости плавления электрода и силы тока сварочного трансформатора. Изменение сопротивления деталей, соединяемых контактной сваркой, обусловленное наличием окалины или оксидных пленок на поверхностях либо отклонением толщин листов, приводит к изменению силы тока в сварочном контуре, сопровождающимся изменением тепловыделения в зоне сварки и соответствующими отклонениями размеров сварных точек и прочностных характеристик швов в целом.

Среди управляемых источников питания, применяемых в качестве важной составляющей средств автоматизации сварочных процессов, все шире используют инверторные (тиристорные либо транзисторные), обладающие высокими технико-экономическими показателями и улучшенными технологическими свойствами. Такие источники питания обеспечивают плавное изменение выходного напряжения и силы сварочного тока путем применения широтно-импульсного (для транзисторных) либо частотного (для тиристорных) регулирования инверторов. Инверторные источники питания можно переключать с одного режима на другой непосредственно в процессе сварки, что делает их особенно эффективными в робототехнологических комплексах (РТК) и гибких производственных системах (ГПС).

Из источников нагрева наибольшее распространение получили: электрическая дуга (дуговая и плазменная сварка); тлеющий разряд; джоулева теплота, выделяемая при прохождении электрического тока через расплав шлака (электрошлаковая сварка) или металл свариваемых деталей (контактная сварка); электронный луч (электронно-лучевая сварка); луч лазера и др. Управление ими осуществляется регулированием электрических параметров, степенью сжатия дуги, фокусировкой электронного или лазерного луча [1].

Каждый сварочный процесс может быть охарактеризован некоторым числом обобщенных координат (параметров), между которыми существуют как функциональные, так и корреляционные связи. При функциональной связи каждому значению одной координаты соответствует вполне определенное значение другой, связанной с первой, координаты. Например, между силой тока и напряжением источника питания имеет место функциональная связь, определяемая его свойствами. Связь между частотой переноса капель металла через дуговой промежуток и силой сварочного тока является корреляционной, поскольку одному значению силы тока может соответствовать несколько значений частоты переноса. Все параметры процесса сварки можно условно разделить на три группы (табл. 1.1):

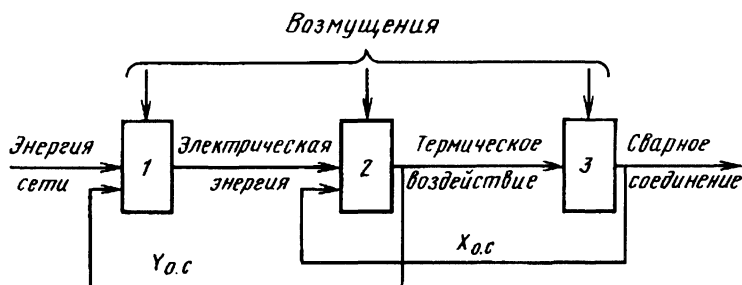


Рис. 1.1. Представление объекта управления при сварке как сложной многоконтурной системы

1.1. Группы параметров и возмущений

Энергетические	Кинематические и геометрические	Технологические
Параметры процесса сварки		
Напряжение, сила тока, мощность, сопротивление источников питания и нагрева, температура, тепловая мощность, усилие осадки, плотность силы тока, длительность отдельных операций процесса и др.	Скорости подачи электрода, оплавления, параметры поперечных колебаний электрода, скорость перемещения изделия относительно электронного луча; длина дуги, глубина шлаковой ванны, вылет и угол наклона электрода и др.	Глубина и ширина проплавления, диаметр и толщина сварной точки, кинетика кристаллизации расплава, частота переноса капель, зазор в стыке между заготовками и др.
Возмущения		
Колебания напряжения в сети, усилия на электродах; изменение сопротивления сварочной цепи, условий подвода и отвода теплоты; нестабильность длительности отдельных операций сварочного процесса и др.	Отклонение электрода от оси стыка, "магнитное дутье", колебания длины дуги, нестабильность скоростей подачи электрода, сварки; изменение вылета электрода и др.	Изменение зазора в стыке, превышение кромок, шунтирование сварочного тока при точечной сварке, нестабильность контактных сопротивлений, нарушения кинетики кристаллизации расплава и др.

энергетические, характеризующие количество энергии в процессе образования сварного соединения;

кинематические и геометрические, характеризующие пространственное перемещение или положение источника нагрева относительно изделия;

технологические, характеризующие условия формирования и кристаллизации сварных швов, переноса электродного металла.

Технологический процесс сварки подвержен возмущениям, нарушающим его нормальное протекание и приводящим, в конечном счете, к отклонениям показателей качества сварного соединения от требуемых значений. Возмущения, независимо от места их приложения в объекте, классифицируют по аналогии с параметрами сварочного процесса.

Источниками энергетических и кинематических возмущений являются промышленная сеть и сварочное оборудование: источники питания, аппаратура управления, приводы подачи электрода, перемещений и др. Технологические возмущения связаны с несовершенством технологий подготовки заготовок, их сборки и сварки. Совершенствование конструкций сварочного оборудования, применение тиристорных приводов, микропроцессорной техники для управления сварочным циклом позволяют частично или полностью устранить многие из энергетических и кинематических возмущений. Наиболее трудно устранить являются технологические возмущения, поскольку усложнение технологической оснастки и технологии заготовок, сборки и сварки изделий во многих случаях оказывается экономически неоправданным. Например, невозможно полностью устранить флуктуации положения

электрода относительно свариваемого стыка вследствие тепловых деформаций изделия.

Закон действия возмущений может быть известен. Например, при наплавке кромок штамповых матриц по рабочему контуру закон изменения возникающих при этом возмущений по длине дуги и углу наклона электрода может быть определен с достаточной степенью точности. При сварке швов значительной протяженности, например при изготовлении спирально-шовных труб, числовые характеристики возмущений по относительному положению электрода и стыка заранее неизвестны.

Для оценки влияния возмущений на технологические характеристики сварного соединения наряду с законом изменения возмущений необходимо учитывать инерционность процесса формирования сварного соединения, обусловленную особенностями передачи теплоты в изделие. Числовой характеристикой инерционности процесса нагрева и плавления металла изделия является тепловая постоянная времени τ_n , определяемая как время, в течение которого температура в зоне сварки достигла бы установившегося значения $T_{уст}$, если бы она изменялась с постоянной скоростью. При ступенчатом изменении термического воздействия на изделие (например, сварочного тока дуги) температура T в изделии изменяется по следующему закону (рис. 1.2):

$$T = T_{уст}[1 - \exp(-t/\tau_n)],$$

где t — время.

Аналогично изменяются геометрические размеры сварного соединения: глубина провара, диаметр сварной точки и др. Тепловая постоянная τ_n , имея размерность времени, опре-

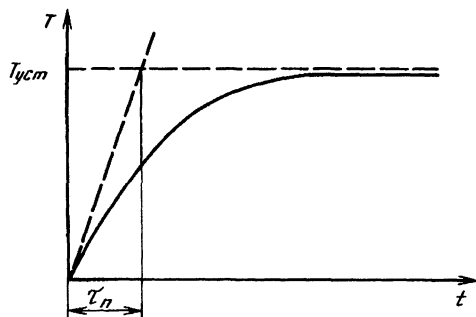


Рис. 1.2. Характеристика инерционности нагрева изделия при сварке

деляется только теплофизическими свойствами материала и энергетическими характеристиками источника нагрева.

Возмущения, имеющие место в производственных условиях, могут быть: импульсными, ступенчатыми, аperiodическими и колебательными. Так, при включении и отключении соседних мощных потребителей электроэнергии возмущения по напряжению сети носят импульсный характер; возмущения по длине дуги могут иметь ступенчатый или аperiodический характер, а при сварке с короткими замыканиями дугового промежутка — колебательный. Экспериментальный и теоретический анализ влияния возмущений на геометрию сварного соединения с учетом инерционности нагрева изделия позволяет сделать следующие выводы:

если время воздействия импульсного возмущения $t_{\text{и}} \ll \tau_n$, то такое возмущение практически не отражается на геометрии сварного соединения;

ступенчатые и аperiodические возмущения могут отразиться на форме сварного шва, что требует введения ограничений на пределы изменений такого рода возмущений;

периодические возмущения не влияют на размеры соединений, если частота колебаний $\omega \gg \tau_n^{-1}$. Например, при автоматической сварке под флюсом сталей электродом диаметром 5 мм граничная частота колебаний скорости подачи электрода $\omega_{\text{гп}} = 1,5 \dots 2$ период/с.

Автоматическое управление сварочными процессами как объектом управления (ОУ) требует выработки управляющих воздействий $X_y(t)$ с таким расчетом, чтобы регулируемая величина — параметр процесса $X_{\text{вых}}(t)$ изменялась по требуемому закону, задаваемому воздействием $X_{\text{вх}}(t)$ независимо от влияния на объект любых возмущений $f_1(t) \dots f_n(t)$ (рис. 1.3). При этом источником воздействия на систему обычно является и главная отрицательная обратная связь $X_{\text{о.с.}}(t)$, по которой информация о

текущем значении параметра процесса сварки подается на вход автоматического управляющего устройства (АУУ) и используется для определения отклонения $\Delta X(t) = X_{\text{вх}}(t) - X_{\text{вых}}(t)$, преобразуемого в воздействие $X_y(t)$ на объект с целью устранения возникшего отклонения $\Delta X(t)$.

При проектировании систем автоматического управления анализ сварочных процессов проводят с целью:

определения связи выходных параметров процесса с показателями качества (эксплуатационными свойствами) сварных соединений и выбора наиболее значимых из этих параметров для использования в качестве контролируемых и регулируемых;

оценки вероятных возмущений $f(t)$, их влияния на сварочный процесс и показатели качества сварных соединений, формулирования на этой основе задач автоматического регулирования процессом в целом;

выбора управляющих (регулирующих) воздействий.

Непосредственное решение общей задачи автоматизации сварочных процессов в настоящее время затруднено многомерностью объектов автоматизации, поэтому ее обычно расчлняют на отдельные частные задачи, в которых система источник питания — источник нагрева — изделие рассматривается в виде упрощенной совокупности одномерных объектов с одной входной и одной выходной величинами. При этом в качестве переменных рассматриваются только параметры, характеризующие процесс образования сварных соединений и подлежащие в связи с этим стабилизации или изменению по заранее выбранному закону.

Для одномерных объектов управления связь между входной и выходной величинами в установившемся состоянии определяется статической характеристикой. Такие характеристики не зависят от времени и обычно задаются в графическом виде, реже — в аналитическом. Из множества статических характеристик, которыми может описываться сварочный процесс при разработке конкретных автоматических систем, используют только ту, которая связывает параметры процесса, подлежащие управлению. Так, при разработке систем автоматического регулирования уровня металлической ванны при ЭШС необходимо использовать только зависимость падения напряжения на ванне от ее глубины, в то время как для систем стабилизации электрических

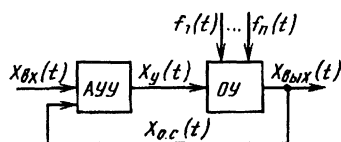


Рис. 1.3. Схема системы автоматического управления с одной управляемой величиной

параметров ЭШС наибольшее значение имеет вольт-амперная характеристика.

Динамические свойства сварочных процессов как объектов управления с достаточной степенью точности определяются при описании их дифференциальными уравнениями, которые в общем случае оказываются нелинейными. Линеаризация таких уравнений с целью упрощения их анализа и решения ограничивает исследования процесса только случаем малых отклонений его от равновесного состояния. Достаточно полное описание сварочного процесса можно получить, если отразить его структурной схемой [1], представляющей совокупность типовых динамических звеньев и связей, отражающих отдельные этапы процесса в целом и их взаимодействие.

При прогнозировании качественных показателей сварных соединений в процессе их выполнения, построении самонастраивающихся систем управления сваркой и решении других подобных задач обычно прибегают к формализованному описанию сварочного процесса как объекта управления путем представления его в виде математической модели. Такие модели описывают только те особенности процесса, которые существенны для его управления, а также ограничения, обусловленные техническими, экономическими и другими факторами. Целью моделирования является установление математической зависимости между выбранным показателем качества Y_n сварного соединения и параметрами X_{pn} процесса (рис. 1.4):

$$Y_n = A\{X_{1n} \dots X_{pn}\}.$$

Сварочный процесс может описываться множеством моделей, каждая из которых в рамках определенной концепции фиксирует формализованное отражение сложной реальности [7, 23].

Наиболее полно сварочные процессы описываются детерминированными моделями, устанавливающими связь между входными и выходными параметрами на основании существующих физических закономерностей. При этом учитываются: пространственное поле электрического тока в свариваемых деталях, к которым подвод тока осуществляется, например, при точечной контактной сварке, через контакты между электродами и деталями; температурное поле, описываемое уравнениями теплопроводности с соответствующими гра-

ничными условиями; пластическая деформация свариваемого материала, определяющая кинетику протекания процесса на всех стадиях контактной сварки. Такие модели, представляемые в виде уравнений, могут быть статическими и динамическими. Статические модели являются наиболее простыми и описываются алгебраическими или трансцендентными уравнениями, которые не учитывают случайных изменений параметров, переходных процессов, а также медленного изменения характеристик объекта во времени, связанного с износом оборудования, старением и др.

Более сложными являются детерминированные динамические модели, отражающие особенности поведения объекта во времени. Например, математическая модель для текущей температуры зоны сварного соединения при ионном переносе в тлеющем разряде имеет вид [11]:

$$T(t) = \frac{\eta_3 I_p U_p t^{1/2}}{F \sqrt{\pi} \lambda c \rho} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n b^n t^n}{2(n+1)n!},$$

где t — время нагрева; η_3 — эффективный

КПД нагрева; I_p и U_p — соответственно сила тока и напряжение тлеющего разряда; F — площадь поперечного сечения соединяемых деталей; λ , c и ρ — соответственно теплопроводность, теплоемкость и плотность материала заготовок; b — коэффициент теплоотдачи.

В стохастических (вероятностных) моделях часть или все характеристики процесса описываются случайными функциями времени.

Математическая модель, основанная на установлении связей между входными и выходными параметрами путем применения экспериментально-статистических методов, представляется в виде уравнения регрессии, описывающего корреляционную зависимость между выбранным показателем качества сварного соединения Y_n и входными параметрами X_{pn} , являющимися случайными величинами [7]. Для количественной оценки связи используется метод регрессионного анализа, основной предпосылкой применения которого является требование одномерного нормального распределения изучаемых параметров и выбранного показателя качества, однородность выборочных оценок дисперсий наблюдений. При этом независимые переменные должны быть измерены с погрешностью значительно меньшей, чем допустимая при определении критерия качества Y_n .

Модели, полученные экспериментально-статистическими методами (статистические модели), достаточно широко используются для прогнозирования качества сварных соединений и управления, так как они отражают закономерности процесса (режима) сварки конкретного изделия (данной марки материала, толщины) оборудованием определенного типа. Недостатком статистических моделей явля-



Рис. 1.4. Формализованное представление сварочного процесса

ется снижение точности описания процесса при изменении условий сварки по сравнению с теми, при которых была получена модель (например, толщины свариваемого изделия, типа оборудования), а также при резком изменении одного или нескольких параметров-аргументов (например, зазора). Последнее связано с тем, что статистические модели не отражают динамику описываемых процессов.

Модели, учитывающие множество деталей процесса, как правило, громоздки и малоэффективны в связи с усложнением процедуры расчета и аппаратной реализации. Поэтому всю выборку экспериментальных данных обычно подвергают корреляционному анализу и на этой основе включают в модель только те параметры X_{pi} процесса, которые наиболее тесно связаны (коррелированы) с качественным показателем Y_n . Это позволяет представить модель в виде простых линейных или нелинейных функционалов. Эффективность модели обычно оценивают критерием минимума средней квадратической погрешности прогнозирования:

$$\varepsilon = \frac{1}{n} \sum \frac{(Y_{pi} - Y_{\phi})^2}{Y_{\phi}} 100\%,$$

где Y_{pi} и Y_{ϕ} — соответственно расчетное и фактическое значение прогнозируемого параметра.

Погрешность расчетов с помощью современных моделей сварочных процессов обычно 1...3%.

Прогнозирование свойств объекта управления при сварке в условиях минимального объема априорной информации о нем может быть осуществлено синтезированием математических моделей на ЭВМ при помощи индуктивного метода самоорганизации [14]. Применяемый в этих случаях метод группового учета аргументов позволяет определить самоорганизующуюся модель оптимальной сложности по заданному критерию, позволяющую выявить закономерности, действующие в объекте управления.

1.4. АВТОМАТИЗАЦИЯ СВАРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ

Необходимость автоматизации сварочных процессов определяется, прежде всего, такими их характерными особенностями, как высокие энергетические параметры, скорость отдельных этапов энергетических преобразований и процесса формирования сварного соединения, труднодоступность зоны сварки для непосредственного измерения и контроля, повышенный уровень вредных воздействий на здоровье человека и необходимость оперативной оптимизации сварочных процессов в соответствии с выбранным критерием.

В общем объеме операций по производству сварных конструкций на процесс сварки обычно приходится 15...20%, однако он определяет свойства и эксплуатационную надеж-

ность конструкций [1]. Большое количество параметров, влияющих на ход сварочных процессов, и высокие скорости их изменения требуют для управления ими обработки значительного объема информации в единицу времени, поэтому автоматизация оказывается обязательным условием успешного и качественного выполнения сварочных процессов. Невозможность поддержания непрерывной вольтовой дуги при сварке плавящимся электродом обусловила создание автоматического регулятора Н. Г. Славяновым, что и обеспечило реальную возможность промышленного применения дуговой сварки плавящимся электродом [10].

Цель автоматизации сварочных процессов — получение сварных соединений с требуемыми свойствами при наилучших технико-экономических показателях без непосредственного участия человека. Автоматизация сварочных процессов, при которой повышается точность управления и контроля, а также исключается влияние на технологический процесс субъективных факторов (мастерство рабочего, его утомляемость и т. п.), направлена прежде всего на повышение качества сварных соединений и его стабилизацию в пределах партии однотипных изделий. Исключение или сведение к минимуму количества недопустимых дефектов сварных швов снижает потери рабочего времени, энергетических и материальных ресурсов, связанные с исправлением брака.

Автоматизация сварочных процессов сопровождается реальным повышением производительности труда и экономией трудовых ресурсов.

Социальный аспект автоматизации предполагает освобождение человека от непосредственного выполнения сварочных операций и управления сварочным оборудованием прежде всего в условиях вредных, либо опасных для здоровья, а также при выполнении рутинных операций нетворческого характера. Автоматизация сопровождается созданием новых средств производства, которые в свою очередь служат основой разработки и применения прогрессивных технологий сварки [2, 4, 6, 15].

Непосредственное решение общей задачи автоматизации сварочного производства затруднено многомерностью объектов. Выбор оптимального варианта стратегии управления сварочными процессами определяется типом технологического процесса и основными целями. Аппаратура и системы управления классифицируются по алгоритму управления, который определяет выбор альтернативной цели управления. При этом можно выделить следующие группы систем управления [1].

Для решения простейших задач автоматизации сварочных процессов таких, как перемещение источника нагрева, подача присадочного материала при сварке плавлением, изменение силы сварочного тока при контактной сварке, применяется программное управление с разомкнутым циклом (рис. 1.5, а). Программирующее устройство (ПУ) изменяет управ-

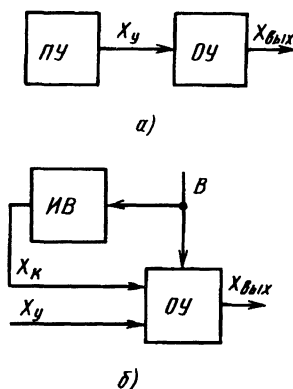


Рис. 1.5. Схемы разомкнутых систем управления

ляющее воздействие X_u по закону, задающему требуемые изменения управляемой величины в сварочном процессе как объекте управления (ОУ). Для предупреждения вредного влияния на сварочный процесс отдельных ожидаемых возмущений, например, изменения напряжения сети, используют разомкнутые системы компенсации, обладающие повышенным быстродействием (рис. 1.5, б). При возникновении возмущения B оно преобразуется измерителем возмущений ИВ в компенсирующий сигнал, устраняющий влияние возмущения B на выходной параметр $X_{вых}$.

В замкнутых системах автоматического регулирования (САР) изменение регулирующего воздействия X_p (рис. 1.6), определяющего изменение регулируемой величины $X_{вых}$, происходит до тех пор, пока $X_{вых}$ не достигнет требуемого значения и не восстановится равновесие системы регулирования, определяемое условиями: $|X_{вых}| = |X_{о.ц}|$; $\Delta X = |X_{вых}| - |X_{о.ц}| = 0$.

Источником корректирующего воздействия на систему служит главная (отрицательная) обратная связь, сигнал $X_{о.ц}$ которой определяется только отличием измеренного значения $X_{вых}$ от задаваемого $X_{вх}$, и не зависит от параметров и места приложения возмущений B . Обратные связи выполняют на основе измерителей силы сварочного тока, напряжения,

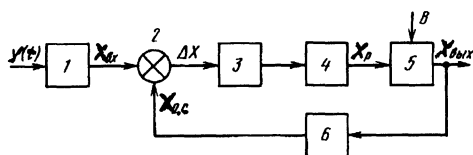


Рис. 1.6. Схема замкнутой системы автоматического регулирования:

1, 2, 3 — устройства соответственно задающее, сравнивающее, преобразующее; 4 — исполнительное устройство; 5 — объект; 6 — датчик

различных видов излучений из зоны сварки, положения границы шлак-металл при электрошлаковой сварке, перемещений электродов или заготовок при контактной сварке и других параметров сварочного процесса. Замкнутые САР применяют прежде всего для стабилизации энергетических параметров сварочных процессов.

Эффективность автоматизации сварочных процессов во многом определяется точностью подготовки заготовок и их сборкой.

Размеры заготовок получаются из предшествующих сварке технологических (заготовительных) операций и, следовательно, определяют линии стыков с их неточностями по направлению, зазору, превышению кромок и др. Поэтому автоматизация сварочных процессов целесообразна и эффективна только при наличии механизации и автоматизации заготовительных и сборочных операций. Даже при выполнении этих условий неизбежны отклонения положения и формы соединений в результате значительных температурных деформаций и перемещений свариваемых деталей вследствие неравномерности нагрева изделия при сварке.

Для автоматического ведения электрода по оси стыка при дуговой сварке при нарушении прямолинейности стыка вследствие погрешностей их подготовки под сварку, тепловых деформаций, а также при сварке криволинейных швов применяют следящие системы. В таких системах закон изменения задающего воздействия $y(t)$ — заранее неизвестная функция времени, определяемая текущими отклонениями линии сопряжения свариваемых деталей или параметров стыка (зазора, сечения разделки) от расчетных значений. В качестве средств измерения таких отклонений используют как устройство прямого копирования, так и различные электромагнитные, бесконтактные (магнитные, фотоэлектрические) датчики, видеосенсорные и другие подобные устройства [1, 15].

В общем случае автоматизация сварочных процессов осуществляется на основе совместного использования указанных систем. Так, программное управление последовательностью операций сварочного цикла и перемещения сварочного инструмента, изменениями параметров режима, в частности при зажигании дуги, заварке кратера и т. п. обычно дополняется локальными САР (регуляторами) важнейших параметров режима сварки. По существу локальные регуляторы представляют собой малые вычислители, которые в общем случае решают уравнения типа

$$X_p = K_0 + K_1 \Delta X + K_1 K_2 \int \Delta X dt + K_1 K_3 \frac{d\Delta X}{dt},$$

где K_0 , K_1 , K_2 , K_3 — коэффициенты, определяемые параметрами настройки устройств 3 и 4 регулятора (см. рис. 1.6).

Любую задачу автоматизации сварочных процессов как частный случай общей проблемы обработки информации можно представить

совокупностью отдельных операций, выполняемых в определенной последовательности. Универсальным устройством современных вычислительных систем, реализующих заданный программой процесс решения задачи, является микропроцессор. Созданные на основе микропроцессоров, дополненные памятью, внешними устройствами и средствами связи, микроЭВМ характеризуются малыми размерами, низкой стоимостью, высокой надежностью и экономически оправданы не только для группового, но и для индивидуального управления сборочно-сварочными установками и даже отдельными устройствами установки. Пример микропроцессорной системы управления дуговой сваркой приведен на рис. 1.7.

Применение ЭВМ в системах автоматизации позволяет реализовывать адаптивное управление сварочными процессами, которое предполагает самонастройку системы при изменении внешних условий и на основе информации об условиях и качестве формирования сварного соединения. Для этого в системе должно быть реализовано выполнение трех функций — идентификации (определение мгновенного состояния процесса или системы), принятия решений (программа настройки), настройки (физическая реализация принятого решения), которые позволяют гибко реагировать на появление различных возмущений.

Примером может служить действующая адаптивная система управления сваркой неповоротных стыков труб малого диаметра с авто-

матической стабилизацией выпуклости в корне шва [12]. Система обеспечивает оценку интегрального эффекта совместного влияния технологических возмущений, характерных для каждого стыка, по энерговложению, необходимому для достижения сквозного провара на начальном участке сварки — участке идентификации. На основании этой информации управляющая микроЭВМ вычисляет изменение параметров сварочного режима для основной части стыка и обеспечивает ввод уставок в задающие устройства регуляторов параметров сварочного режима.

С точки зрения аппаратуры и систем управления электросварочное оборудование следует разделить на следующие виды: оборудование общего применения, специальные машины и установки, сборочно-сварочные линии, сварочные работы. Существует множество типов архитектуры аппаратных средств, на основе которых можно реализовать различные варианты стратегии управления сварочными процессами и оборудованием — контроллеры автономные (оборудование общего применения — автоматы и полуавтоматы для дуговой сварки, машины контактной сварки и др.), линейные и системные (системы управления с распределенной вычислительной мощностью и распределенной конструкцией в качестве локального регулятора; системы управления установками, линиями, роботами).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Автоматизация** сварочных процессов / Под ред. В. К. Лебедева, В. П. Черныша. Киев: Вища школа, 1986. 296 с.
2. **Автоматическое** регулирование сварочных процессов. Т. 2 / Э. А. Гладков, И. И. Заруба, Ю. Н. Ланкин // Сварка в СССР. М.: Наука, 1981. С. 158—175.
3. **Аппаратура** для механизированной дуговой и электрошлаковой сварки и наплавки / Под ред. А. И. Чвертко, Киев: Наукова думка, 1978. 200 с.
4. **Оборудование** для дуговой сварки / Под ред. В. В. Смирнова. Л.: Энергоатомиздат, 1986. 656 с.
5. **Оборудование** для электронно-лучевой сварки / А. И. Чвертко, О. К. Назаренко, А. И. Некрасов, А. М. Святский. Киев: Наукова думка, 1973. 408 с.
6. **Оборудование** для контактной сварки / Под ред. В. В. Смирнова. Л.: Энергоатомиздат, 1990. 690 с.
7. **О моделировании** тепловых источников при дуговой сварке / Д. Г. Николов, М. Ц. Трифонов, А. И. Букев // Сварочное производство. 1987. № 6. С. 34—36.
8. **Планирование** и организация измерительного экспериментального / Е. Т. Володарский, Б. П. Малиновский, Ю. М. Туз. Киев.: Вища школа, 1987. 280 с.
9. **Сварка** в машиностроении: Справочник. Т.4. М.: Машиностроение, 1979. 512 с.

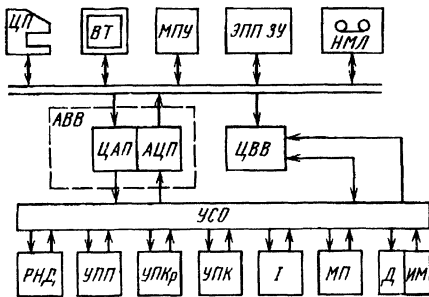


Рис. 1.7. Структура аппаратных средств системы управления сварочной установкой с программированием цикла и параметров режима сварки:

ЦП — центральный пульт управления; ВТ — видеотерминал; МПУ — микропроцессорное устройство; ЭППЗУ — энергонезависимое перепрограммируемое постоянное запоминающее устройство; НМЛ — накопитель на магнитной ленте; АВВ и ЦВВ — устройства соответственно аналогового и цифрового ввода/вывода; ЦАП и АЦП — соответственно цифро-аналоговый и аналого-цифровой преобразователи; УСО — устройство связи с объектом; РНД — регулятор напряжения дуги; УПП, УПКр и УПК — управляемые приводы подачи соответственно электродной проволоки, корректора, каретки сварочного автомата; I — источник питания; МП — местный пульт управления; Д — датчики; ИМ — исполнительные механизмы дискретного действия

10. **Сварка в СССР.** Развитие сварочной техники и науки о сварке / В. А. Винокуров, Ю. А. Анисимов, В. А. Антонов и др. М.: Наука, 1981. С. 19—35.

11. **Сердюк В. И., Клименко Ю. Н., Кутепов Ю. Н.** Универсальная установка с программным управлением для диффузионно-вакуумной сварки // Автомат. сварка. 1991. № 12. С. 25—31.

12. **Скачков И. О., Семенюк В. С., Чернышев В. П.** Импульсно-дуговая сварка кольцевых стыков труб малого диаметра // Автомат. сварка. 1990. № 2. С. 49—51.

13. **Справочник** по сварке. Т. 1 / Под ред. Е. В. Соколова. М.: Машиностроение, 1960. 556 с.

14. **Справочник** по типовым программам моделирования / Под ред. А. Г. Ивахненко. Киев: Техника, 1980. 184 с.

15. **Тимченко В. А., Сухомлин А. А.** Роботизация сварочного производства. Киев: Техника, 1988. С. 69—92.

16. **Физико-математические** модели процессов кристаллизации сварных швов // Автомат. сварка. 1984. № 2. С. 16—21.

17. **Чвертко А. И.** Основы рационального проектирования оборудования для автоматической и механизированной электрической сварки и наплавки. Киев: Наукова думка, 1988. 240 с.

18. **Чвертко А. И., Бельфор М. Г., Патон Б. Е.** Классификация аппаратуры для электродуговой и электрошлаковой сварки и наплавки // Автомат. сварка. 1963. № 2. С. 109—114.

19. **Чвертко А. И., Патон Б. Е., Тимченко В. А.** Оборудование для механизированной дуговой сварки и наплавки. М.: Машиностроение, 1981. 264 с.

20. **Чвертко А. И., Тимченко В. А.** Унифицированное оборудование для автоматической и механизированной дуговой сварки и наплавки. Киев: Наукова думка, 1987. 192 с.

21. **Чвертко А. И., Тимченко В. А.** Установки и станки для электродуговой сварки и наплавки. Киев: Наукова думка, 1974. 240 с.

22. **Электронно-лучевая** сварка / Под ред. Б. Е. Патона. Киев: Наукова думка, 1987. 256 с.

23. **Kubel Edward I.** Adv. Mater. and Process // Inc. Metel Progr. 1986. 130. № 5. P. 77—80.

Глава 2

ОБЩИЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ И АВТОМАТИЧЕСКОЙ СВАРКИ И НАПЛАВКИ

2.1. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СВАРКИ И НАПЛАВКИ

В связи с разнообразием способов сварки, наплавки, термической резки, пайки, а также газотермических, вакуумных и некоторых других способов нанесения покрытий, с различными условиями эксплуатации оборудования, характером производства, экономическими показателями, требованиями экологии,

техники безопасности, эргономики и многими другими факторами сформулировать однозначно принципы проектирования рассматриваемого оборудования не представляется возможным. Однако к основным положениям, отвечающим общим принципам и современным требованиям оборудования для сварки, которые необходимо учитывать, относятся следующие.

— Обеспечение исполнения технологического процесса при заданных наиболее высоких его параметрах с учетом достигнутого уровня и возможности дальнейшего совершенствования технологического процесса.

— Проведение экономического анализа с учетом показателей как самого процесса, так и влияния его на сопутствующие и последующие процессы обработки изделия, предшествующего началу разработки конструкции оборудования.

— Максимальное использование системы автоматического проектирования (САПР) и механизации конструкторских работ, а также применение методов художественного конструирования и соблюдение требований технической эстетики, позволяющее повысить производительность труда, качество разрабатываемых конструкций и выбрать оптимальный вариант. В случае использования сварочного оборудования в линии с оборудованием другого технологического назначения оно должно, по возможности, органически вписываться в общую компоновку линии.

— Учет новейших достижений электротехники, радиоэлектроники, машиностроения и использование наиболее совершенных материалов и комплектующих изделий, обеспечивающих его качество, надежность, минимальную материалоемкость и технико-эксплуатационные показатели.

— Унификация конструкции и присоединительных размеров на основе существующих стандартов. Это позволит более эффективно использовать САПР, улучшить организацию производства, эксплуатации и ремонта оборудования, повысить его качество и надежность и т. д.

— Использование метода агрегатирования аппаратуры, установок и машин из унифицированных и модульных узлов и агрегатов благодаря их разработке, организации промышленного производства и наличию схем агрегатирования и параметрических рядов на эти узлы и агрегаты.

— Максимальная автоматизация и механизация сварочного производства. При создании современного высокопроизводительного оборудования необходимо с учетом данных экономического анализа автоматизировать или механизировать все элементы технологического цикла сварки или, по крайней мере, большинство из них. Так, в случае автоматической дуговой сварки и наплавки это не только подача проволоки, поддержание дуги и перемещение дуги вдоль линии шва, но и возбужде-

ние дуги, направление электрода по линии шва, автоматическое поддержание заданной силы тока, изменение режима сварки в начале и в конце шва (заварка кратера) и т. д. В случае контактной (точечной и шовной) сварки — это выдержка времени всех элементов сварочного цикла и обеспечение заданной последовательности этих элементов, регулирование силы сварочного тока в зависимости от какого-либо параметра, перемещение детали под электродами сварочной машины, заправка концов — электродов или рабочих поверхностей роликов и т. д. В контактных стыковых машинах это — автоматическое выполнение операций оплавления и осадки, а иногда и термообработки сваренных деталей при заданном режиме и т. п.

— Комплексная автоматизация и механизация сборочно-сварочных работ, обеспечивающая сокращение затрат труда и повышение производительности на всех операциях изготовления сварных конструкций, включая получение заготовок, сборку изделия под сварку, собственно сварку, необходимую обработку изделий после сварки, контроль готовых изделий и подготовку их к отправке потребителям. Одним из направлений комплексной автоматизации и механизации является создание роторных автоматов [11], позволяющих совмещать по времени сварочные и вспомогательные операции, связанные с передачей изделий с одного рабочего места на другое.

— Максимальное повышение производительности технологического процесса. Например, производительность сварочной операции (комплекса всех действий, выполняемых рабочим-оператором на данном сварочном агрегате) может быть увеличена двумя путями: интенсификацией режима сварки; созданием оборудования с автоматизацией ряда элементов рабочего цикла для обслуживания одним оператором (или бригадой) нескольких сварочных головок, устройств или нескольких отдельных агрегатов.

В связи с тем, что интенсификация режимов сварки ограничена физическими свойствами материалов (прочность, жидкотекучесть и испарение металлов при высокой температуре), законами теплоотдачи и теплопередачи, инерционными свойствами объектов управления и другими факторами, второй путь увеличения производительности сварочной операции становится все более актуальным. Например, при дуговой сварке начали применять многоголовочные установки. В контактной сварке области применения оборудования с несколькими рабочими органами расширились. Это — многоголовочные машины, машины для рельефной сварки, для одновременной шовной сварки двух или нескольких швов.

Повышение производительности дуговой наплавки связано с увеличением не только числа мест, но и ширины наплавляемого слоя. Это достигается применением расщепленного электрода, гребенки или электродной

ленты, что требует создания соответствующего оборудования.

— Разработка, совершенствование и применение систем и устройств для автоматического, в том числе программного управления процессами сварочного производства.

— Соблюдение эргономических требований к оборудованию. Сварочное оборудование находит наиболее эффективное применение в тех случаях, когда при его создании и использовании наиболее полно удовлетворяются требования, предъявляемые к эргономическим системам, т. е. к системам человек-машина. Эти требования охватывают обеспечение безопасности труда, удобство эксплуатации, снижение непроизводительных затрат времени при управлении сварочным оборудованием, учет санитарно-гигиенических требований к оборудованию и производственной среде, создание комфортных условий труда для снижения физической и психической нагрузки оператора при обеспечении ритмичной организации процесса.

— Соблюдение требований экологии и охраны труда в соответствии с действующими стандартами и требованиями. Все образующиеся при сварке и резке вредные отходы должны быть удалены и обработаны до состояния, обеспечивающего безвредность их для людей и окружающей среды.

В современном оборудовании для автоматической и механизированной сварки кроме общеизвестных мер безопасности, предотвращающих механические травмы и поражение электрическим током, необходим механизированный отсос пыли и вредных газов из зоны сварки, а в ряде случаев подача свежего воздуха на рабочее место оператора. Механизация и автоматизация транспортных и грузочно-разгрузочных приемов, корректировочных перемещений, подачи и уборки флюса снижают утомляемость оператора и способствуют снижению травматизма.

Усложнение сварочной аппаратуры, станков и установок, появление многодуговых процессов, многоместных, многопозиционных и многоголовочных установок влекут за собой увеличение числа приборов контроля и управления. При этом возрастает объем информации, поступающей к оператору, и количество решений, которые он должен принимать при управлении оборудованием.

Рациональная организация работы оператора по управлению сварочным оборудованием обеспечивается благодаря расположению приборов и органов управления по зонам в зависимости от функционального назначения, последовательности технологического процесса, частоты использования и значимости. Рекомендации эргономики и инженерной психологии обуславливают рациональное расположение приборов и органов управления на панелях пультов и приборных щитах сварочного оборудования.

Конструктивные размеры пультов, щитов, шкафов управления в настоящее время опре-

деляются рекомендациями, полученными на основе изучения физиологии человека и исследования различных рабочих поз оператора.

2.2. СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ

Развитие средств вычислительной техники, появление новых методов алгоритмизации и программирования способствовали эффективному использованию САПР при разработке оборудования для сварки. Автоматизация проектирования позволяет проработать большее число вариантов конструкций оборудования, рассчитать их показатели, произвести обоснованную оценку полученных решений по количественному и качественному критериям и выбрать наилучший вариант. При проектировании оборудования для сварки в общем случае решаются задачи создания механизмов, электрических машин (трансформаторов, генераторов и др.) и электронных систем управления.

САПР, включающий технические средства, математическое, программное, информационное и организационное обеспечения, предназначен для автоматизации проектирования на всех его этапах: от выдачи технического задания на оборудование до передачи технической документации предприятию-изготовителю [11].

Вместе с тем, САПР ни в какой мере не заменяет опыт и интуицию человека, но освобождает его от рутинных и трудоемких операций и позволяет сосредоточить внимание на решении задач, носящих творческий характер.

Внедрение САПР, объединяющих проектировщиков и средства автоматизации, позволяет выполнять сложные расчеты, решать задачи унификации деталей и сборочных единиц, опираясь на опыт поведения аналогичного оборудования в условиях эксплуатации. Это способствует повышению качества выпускаемой продукции, уменьшению затрат на создание новой техники, сокращает сроки проектирования и снижает его трудоемкость.

Классификация САПР. САПР как организационно-техническая система, входящая в структуру проектной организации, осуществляет проектирование при помощи комплекса средств автоматизированного проектирования (КСАП). Составными структурными частями САПР являются подсистемы, в которых при помощи КСАП решаются функционально законченные последовательности задач. Согласно ГОСТ 23501.101—87 подсистемы разделяются по назначению на проектирующие и обслуживающие. Проектирующие подсистемы реализуют определенный этап проектирования или группу непосредственно связанных проектных задач (например, подсистема проектирования корпусных деталей, эскизного проектирования и т. д.). Обслуживающие подсистемы обеспечивают поддержку функционирования проектирующих подсистем (например, автоматизированный банк данных, подсистема документирования и т. д.).

Согласно ГОСТ 23501.108—85 установлены следующие признаки классификации САПР: тип, разновидность и сложность объекта проектирования; уровень и комплексность автоматизации проектирования; характер и количество выпускаемых документов и уровней в структуре технического обеспечения.

По типу объекта проектирования различают следующие САПР: изделий машиностроения, приборостроения, объектов строительства, технологических процессов в машиностроении и приборостроении, объектов строительства, технологических процессов в строительстве, программных изделий, организационных систем и пр. Признак "разновидность объекта проектирования" уточняет тип и определяет класс объекта проектирования, его структуру с учетом действующих классификаторов (ЕСКД, ОКП и т. д.). Классификацию САПР по сложности объекта проектирования производят в соответствии с числом M составных узлов конструкции на простые ($M \leq 10^2$), средней сложности ($10^2 < M \leq 10^3$), сложные ($10^3 < M \leq 10^4$), очень сложные ($10^4 < M \leq 10^6$) и объекты очень высокой сложности ($M > 10^6$).

По уровню автоматизации проектирования САПР делятся на системы низкоавтоматизированные (число автоматизированных проектных процедур $P \leq 25\%$ общего числа проектных процедур), среднеавтоматизированного ($25 < P \leq 50\%$) и высокоавтоматизированного ($P > 50\%$) проектирования. Классификацию по комплексности автоматизации проектирования выполняют по числу автоматизированных этапов проектирования объекта. При этом различают одноэтапные, многоэтапные и комплексные (выполняются все этапы проектирования) САПР.

По характеру выпускаемых документов различают САПР, выпускающие документы на бумажной ленте и (или) ленте, на машинных носителях (перфолентах, дискетах и др.), на фотоносителях (микрофишах, фотошаблонах и др.), а также комбинированные. По количеству выпускаемых в течение года проектных документов D (в пересчете на формат 11) САПР делят на системы малой ($D \leq 10^5$), средней ($10^5 < D \leq 10^6$) и высокой ($D > 10^6$) производительности. По числу уровней в структуре технического обеспечения различают одно-, двух- и трехуровневые САПР. Основными структурными частями КСАП являются компоненты следующих видов обеспечения: программного, информационного, технического и организационного.

Программное и информационное обеспечение САПР. Программное обеспечение САПР представляет собой совокупность программ с необходимой документацией (инструкции по использованию, тексты программ и др.), предназначенные для выполнения автоматизированного проектирования. Собственно ЭВМ может выполнять ограниченное количество простых команд: сложить два числа, записать

или прочитать число из памяти, сравнить два числа и т. д. [11]. Перечень инструкций (команд) для ЭВМ, позволяющих использовать ее для выполнения сложных многоплановых вычислений по заданному алгоритму, является программным обеспечением. Программы подразделяют на общесистемные и прикладные. К первым относятся программы управления работой ЭВМ вместе с используемым периферийным оборудованием, сервисные программы, программы-трансляторы с языков программирования и базовое программное обеспечение машинной графики. Все эти программы сведены в операционные системы.

Прикладные программы предназначены для решения конкретных задач (комплексов) проектирования. Как правило, они сгруппированы в проблемно-ориентированные пакеты программ. Например, пакет программ ACAD предназначен для автоматизации чертежных работ и выполняет следующее: архитектурные чертежи всех видов; проектирование интерьера и планирование помещений; технологические схемы и организационные диаграммы; кривые любого вида; чертежи для электронных, химических, строительных и машиностроительных приложений; графики и другие представления математических и других научных функций; художественные рисунки и т. п. Такие пакеты программ, как REDAC, PCAD, OrCAD, ICAD, предназначены для разработки электронной аппаратуры.

Для решения задач проектирования и изготовления механизмов распространены пакеты программ для автоматизированной разработки управляющих программ для токарных и фрезерных станков с ЧПУ, например пакет "Тех-тран" [5]. Используются пакеты программ по проектированию редукторов, пневмоприводов, по прочностным расчетам, по автоматизации проектирования трансформаторов. При разработке проблемно-ориентированных пакетов центральной концепцией является интеграция. Например, пакет PCAD обеспечивает весь цикл проектирования в электронике — от момента возникновения идеи, через разработку принципиальной схемы и схемы компоновки элементов на печатной плате, до формирования спецификаций и программ для станков с ЧПУ.

При работе с пакетами программ производительность обусловлена прежде всего совершенством информационного обеспечения. Информационное обеспечение проблемно-ориентированных пакетов САПР представляет собой некоторые наборы данных, которые накапливаются в специальных библиотеках (базах данных) и используются для автоматизации выполнения основных проектных функций (например, нумерации элементов схемы и их контактов, формирования спецификаций, контроля цепей и др.). Так, пакеты программ для разработки электронной аппаратуры, как правило, имеют три типа взаимоувязанных библиотек: условных графических обозначений элементов, геометрического описания

элементов и логической информации об элементах.

Условные графические обозначения элементов электронной аппаратуры, внесенные однажды вместе со всей необходимой информацией в библиотеку, затем многократно используются при проектировании принципиальных и монтажных схем. Библиотека постоянно расширяется с появлением на рынке новых элементов, условные графические обозначения элементов создаются и заносятся в библиотеку пользователем. С условными графическими обозначениями элементов связаны не только чисто геометрические данные, но и логическая информация об электронных элементах, поскольку при проектировании электронной аппаратуры важное значение имеет поддержание постоянного соответствия между элементами принципиальных и монтажных схем.

Техническое обеспечение САПР. Эффективность САПР во многом определяется уровнем ее технического обеспечения — совокупностью используемых методов и средств формирования, передачи, обработки и отображения алфавитно-цифровой и графической информации. Состав и структура комплекса технических средств в значительной степени зависят от специфики конкретной САПР. В настоящее время приняты два основных направления выбора и использования технических средств для САПР: 1) использование больших, мини-, супермини-ЭВМ, оснащенных дополнительно к основным традиционным периферийным устройствам специальными устройствами ввода и вывода графической информации. На базе этих технических средств строятся профессиональные графические станции, требующие значительных капитальных вложений; 2) использование персональных ЭВМ (ПЭВМ), оснащенных специальной периферийной техникой. Это направление широко распространено благодаря таким преимуществам, как относительно невысокая стоимость, малые размеры, высокая надежность при сравнительно больших логических, информационных и вычислительных возможностях.

Комплексы на базе мини-ЭВМ с полным набором периферийного оборудования для САПР являются автоматизированными рабочими местами (АРМ) проектировщика. Наибольшее распространение получили комплексы автоматизированных рабочих мест конструктора радиоэлектронной аппаратуры (АРМ-Р) и изделий машиностроения (АРМ-М). Эти комплексы строятся на базе малых ЭВМ типа СМ-4, НАИРИ и оснащаются широкой гаммой внешних устройств, обеспечивающих различную обработку текстовой и графической информации.

Комплекс нового АРМ второго поколения типа АРМ-2.01 предназначен для разработки радиоэлектронного и машиностроительного оборудования, базируется на мини-ЭВМ типа СМ-1420 и снабжен качественно новыми периферийными устройствами, позволяющими повысить уровень автоматизации при решении

задач САПР. В зависимости от комплектности АРМ-2.01 имеет разное исполнение: АРМ-2.01.01; АРМ-2.01.02 и АРМ-2.01.07. Полный комплект АРМ-2.01.07 состоит из следующего оборудования: вычислительного комплекса (мини-ЭВМ) для построения автоматизированных рабочих мест СМ-1420.06 (один комплект); графических экранных дисплеев СМ-7316 (четыре); графопостроителя скоростного ПАГ 500М (один); графопостроителя планшетного АП7251 (один); устройства внешней памяти на магнитных дисках ЕС-5065 (два); терминалов подготовки и ввода графических данных СМ-6404 (четыре); специального программного обеспечения.

Такой набор оборудования позволяет осуществлять автоматизированное проектирование принципиальных и монтажных электрических схем, чертежей печатных плат, механических чертежей, а также текстовой документации (ТО, ТУ, ВП и др.). Если кроме чертежей печатных плат необходимо получить фотошаблоны, являющиеся технологической маской для травления печатных плат на предприятии-изготовителе, в состав перечисленного оборудования включается координатограф, например, КПА-1200. Примерная планировка помещения САПР для размещения оборудования и требуемые площади представлены на рис. 2.1.

В АРМ проектировщиков могут использоваться такие типы ПЭВМ как ЕС-1841, ЕС-1842, "Роботрон-1834", "Правец-16", "Мазовия СМ-1914", ХТ-IBM, АТ-IBM, ХТ- и АТ-совместимые ПЭВМ. Ниже приведена примерная конфигурация АРМ высокой производительности (графическая станция) на базе ПЭВМ АТ IBM: процессор 80386/33 МГц; сопроцессор 80387; оперативное запоминающее устройство (ОЗУ)

объемом памяти 4М байт; цветной графический дисплей 19", VGA; печатающее устройство (принтер) типа EPSON fx-1050; накопитель на жестком магнитном диске (винчестер) объемом памяти 300М байт; накопитель на гибком магнитном диске 5,25" объемом памяти 1,2М байт; накопитель на гибком магнитном диске (флоппи-диск) 3,5" объемом памяти 1,44М байт; графопостроитель рулонного типа (плоттер) формата АО/(SPL-1000); координатограф (фотоплоттер) типа ARISTO; программное обеспечение (ACAD, REDAC, PCAD и др.).

С помощью локальной сети к этой графической станции могут быть подключены несколько АРМ средней производительности следующей конфигурации: процессор 80286/16 МГц; сопроцессор 80287; ОЗУ объемом памяти 1М байт; накопитель на жестком магнитном диске (винчестер) объемом памяти 40М байт; цветной графический дисплей 14", EGA; накопитель на гибком магнитном диске (флоппи-диск) 5,25", 1,2М байт; программное обеспечение (MSDOS, ACAD и др.).

В такой системе АРМ более эффективно используются высокопроизводительные графопостроитель SPL-1000 и фотоплоттер ARISTO, поскольку они становятся доступны и разделяемы во времени с любого АРМ системы. Кроме того, система на базе процессора 80386 может быть использована как сервер, т. е. как ЭВМ управления мощной базой данных САПР.

Дальнейшее качественное развитие САПР связано с появлением 64-разрядных супермикрорЭВМ.

Организационное обеспечение САПР. Анализ современного состояния оптимального

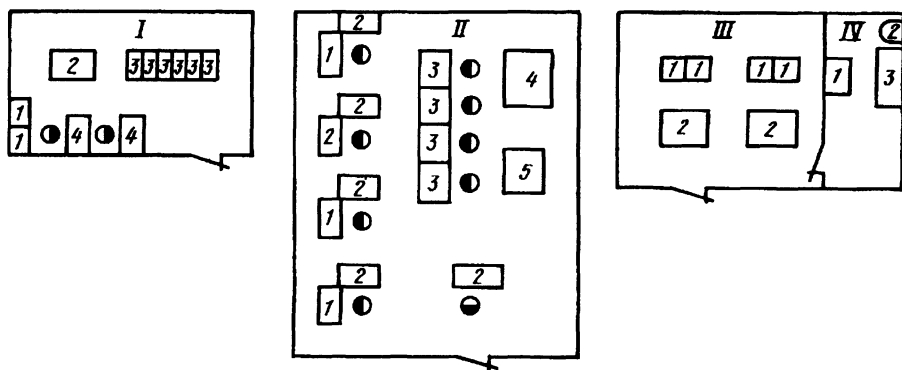


Рис. 2.1. Примерная планировка помещений САПР для размещения оборудования:

I — машинный зал площадью 50 м² (1 — шкафы для хранения магнитных лент и дисков; 2 — устройство внешней памяти на дисках ЕС5065; 3 — вычислительный комплекс СМ1420; 4 — рабочие столы); II — помещение для терминалов площадью 145 м² (1 — терминалы подготовки и ввода графических данных СМ6404; 2 — рабочие столы; 3 — графические экранные дисплеи СМ7316; 4 — графопостроитель планшетный АП7251; 5 — графопостроитель скоростной ПАГ500); III — помещение для координатографов площадью 48 м² (1 — стойки управления координатографов КПА-1200; 2 — координатографы КПА-1200); IV — фотолаборатория площадью 15 м² (1 — копировальные станки; 2 — слив; 3 — проявочный стол)

проектирования позволяет выявить следующие четыре уровня его решения. Уровню I соответствует решение задачи нахождения лучшего варианта конструкции, основанное на переборе нескольких проработанных вручную вариантов, т. е. без использования средств вычислительной техники, математических моделей и соответствующих методов оптимизации. Например, при проектировании редуктора для двух-трех вариантов разбивки общего передаточного отношения между отдельными ступенями можно выполнить необходимые расчеты, для каждого варианта оценить какой-либо критерий качества (массу, размеры, уровни шума и вибрации и др.) и затем из этих вариантов окончательно выбрать наиболее оптимальный.

Уровню II оптимального проектирования соответствует построение простых математических моделей. Задачу оптимизации решают с использованием математических методов оптимизации, реализуемых вручную, т. е. без применения средств вычислительной техники. К уровню III относятся задачи оптимального проектирования, сформулированные в виде математических моделей и решаемые с применением математических методов оптимизации на ЭВМ. По сравнению с задачами уровня II для задач уровня III характерно использование более сложных моделей и алгоритмов оптимизации и, как следствие, более высокое качество получаемых решений. К уровню IV относятся задачи оптимального проектирования, решаемые в рамках САПР.

Задачи оптимального проектирования решаются на всех перечисленных уровнях. При этом число задач, решаемых на уровнях III и IV, еще невелико. Дальнейшее развитие средств вычислительной техники и математических методов оптимизации в процессе создания новой техники способствует росту числа задач, решаемых на этих уровнях [11].

В организационное обеспечение САПР входит комплекс работ по определению направлений проектирования на данном предприятии, которые в настоящее время могут быть переведены на уровни III и IV, определение эффективности и целесообразности такого перевода с учетом всех затрат, связанных с внедрением САПР с перспективами развития предприятия. В организационный аспект входит также создание службы САПР с перестройкой традиционно сложившихся методов и приемов проектирования, структуры подразделений и функциональных связей между подразделениями. Кроме того, следует учесть изменение психологии инженера, конструктора, технолога при работе в автоматизированном и диалоговом режимах.

Пример практического использования САПР в машиностроении. В настоящее время создан ряд инвариантных систем расчета узлов подачи и перемещения различных одноступенчатых редукторов с прямой, конической, червячной и планетарной передачами. Исходными данными для расчетов являются: частота

вращения и момент силы на валу. В результате расчета ЭВМ выбирает ширину и диаметр зубчатых колес, количество и профиль зуба, производит прочностные, динамические и тепловые расчеты узла, включая валы и подшипники. Используя эти инвариантные подсистемы, на ряде предприятий созданы объектно-ориентированные САПР различных узлов, проектирование которых достаточно часто повторяется для разнообразных исходных данных.

Например, эффективно применение САПР при проектировании многошпиндельной коробки к гамме одноступенчатых металлообрабатывающих станков автоматических линий. Исходные данные для проектирования — взаимное расположение и число шпинделей, а также частота вращения и момент на валу каждого шпинделя. ЭВМ в диалоговом режиме с конструктором выбирает тип двигателя, разрабатывает кинематическую схему коробки, рассчитывает все зубчатые колеса, валы, шпонки, подшипники и корпус. На графическом регистрирующем устройстве вычерчиваются сборочный чертеж и все необходимые детализованные чертежи. Кроме того, ЭВМ выдает перфоленты на токарные и фрезерные станки с ЧПУ для изготовления корпуса и валов. Общее время проектирования многошпиндельной коробки с использованием такой САПР составляет 2—3 дня, в то время как ручная разработка узла занимает около двух месяцев. Однако использование узкоспециализированной САПР эффективно только в тех случаях, когда в конструкторском бюро проектируется не менее 50 одноступенчатых узлов в год, так как разработка математического обеспечения проблемно-ориентированной системы занимает значительное время (выполнялась в течение трех лет силами одного отдела). При малом числе разрабатываемых одноступенчатых узлов экономия затрат на их проектирование по САПР не окупает затрат на разработку специализированной САПР. В этих случаях более эффективным оказывается использование САПР с меньшим уровнем автоматизации, однако более многофункциональных.

2.3. УНИФИКАЦИЯ И АГРЕГАТНО-МОДУЛЬНЫЙ ПРИНЦИП СОЗДАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ

Согласно ГОСТ 23945.0—80 унификация изделий — приведение изделий к единообразию на основе установления рационального числа их разновидностей. Основными целями унификации в машиностроении являются: сокращение сроков разработки и улучшение качества, а также снижение затрат на разработку, изготовление и эксплуатацию изделий. В результате проведения унификации становится возможным многократное применение одних и тех же сборочных единиц, деталей, а также их конструктивных элементов (размеров, посадок, резьбы), марок и сортамента материалов, термобработки, шероховатости поверхности и т. д.

В сварочном производстве особое значение имеет унификация присоединительных элементов и размеров деталей и узлов сварочного

оборудования, заменяемым в процессе эксплуатации, к которым относятся: кассетные устройства и катушки для сварочной проволоки; подающие ролики, шланги с горелками сварочных полуавтоматов; сопла, токоподводящие наконечники аппаратов для дуговой сварки; электроды, ролики, электрододержатели машин для контактной сварки; токовые разъемы силовых цепей и цепей управления; газовые и водяные разъемы и т. д.

Унификация сборочных единиц и деталей может быть внутренней (в пределах данного изделия), групповой (в пределах гаммы оборудования общего технологического назначения) и внешней (заимствование деталей и сборочных единиц из изделий другого назначения). Наибольший экономический эффект дает применение серийно изготавливаемых сборочных единиц и агрегатов — это высшая степень внешней унификации. Предпосылкой для унификации является типизация — сокращение числа схемных, компоновочных и конструктивных решений и технологических процессов на основе общих для ряда изделий и процессов технических характеристик.

На основе унификации получило развитие агрегатирование — метод конструирования машин, приборов и других изделий из унифицированных и стандартных деталей и агрегатов (из модулей). Агрегатирование представляет

собой структурно-переменный синтез машин, при котором решение новой задачи обеспечивается изменением структуры машины, а именно: пространственного положения отдельных модулей, их количества и номенклатуры, а также способов соединения.

Унификация и агрегатирование позволяют на основе базовой модели создавать варианты изделия с расширенными, суженными или измененными функциями. Так, оснащение шлангового полуавтомата ПШ107В дополнительными блоками питания и управления позволяет создать модели для различных вариантов сварки плавящимся электродом в среде защитных газов в различных условиях (табл. 2.1). Унификация и агрегатирование неразрывно связаны с рациональным членением оборудования на модули, что позволяет оперативно создавать новые и модифицированные конструкции из отработанных надежных унифицированных модулей с добавлением необходимых новых (в том числе немодульных) составных частей [6].

Повышение уровня унификации и перенесение центра тяжести разработок нового сварочного оборудования на методы агрегатирования — путь решения задач по созданию оборудования для механизированной дуговой сварки и наплавки [11, 14]. Для развития сварочного оборудования наиболее перспективно создание комплекта модульных технических

2.1. Гамма унифицированных сварочных полуавтоматов на основе базового комплекта устройств полуавтомата ПШ107В

Модель сварочного полуавтомата	Источник питания для привода и системы управления	Назначение	Особенности
ПШ107 ПШ107П ПШ107В	Напряжение на дуге: постоянное переменное ¹ постоянное	Для сварки (наплавки) самозащитной порошковой проволокой	— В различных пространственных положениях
ПШ107Н	»		С дискретной задачей скорости передачи
ПШ107В2 ПШ107П2	» переменное ¹	Для ванной сварки	Двухрежимный
ПШ107Г, ПШ107К	Встроенный	Для сварки в CO ₂	—
ПШ107Г2, ПШ107Г2К			Двухрежимный, с модуляцией силы тока и напряжения
ПШ107М, ПШ107МК		Для сварки самозащитной порошковой, аустенитной, коррозионно-стойкой и другой проволокой	Двухрежимный с автоматической модуляцией силы тока и напряжения
ПШ107А, ПШ107АК		Универсальный, в том числе для работы в составе сварочных станков и установок	

¹ Для ручной сварки от трансформатора.

Примечание. Буква К в обозначении модели полуавтомата отражает однокнопочное управление с координацией режимов сварки.

средств для отдельного вида сварки (дуговой, контактной, электронно-лучевой и др.), которые должны предусматривать возможность создания основных модулей и исполнения сварочного оборудования из этого комплекта. Рационально построенный комплект обеспечивает возможность расширения (наращивания) номенклатуры модулей, обновления отдельных технических средств на основе новых технических решений и совершенствуемой элементной базы без нарушения основных идей и целостности комплекта с сохранением возможности использования ранее разработанных модулей.

Комплект модулей для создания различных модификаций аппаратуры для дуговой сварки представлен на рис. 2.2. Выбор принципа членения на модули определяется тем, какие из предъявляемых к оборудованию требований являются определяющими. Например, членение на модули манипуляционных систем сварочных роботов возможно по принципу: один модуль — одна координата. Такое членение отвечает требованию: наибольшее разнообразие компоновок и габаритных размеров обслуживаемого пространства при наименьшем числе возможно более простых модулей.

Следует отметить, что ориентация только на модульный принцип создания технологических машин в определенном смысле сковывает развитие новых технических решений. В ряде случаев слепое следование идее агрегатирования с использованием лишь унифицированных деталей слабо интегрированной элемент-

ной базы и простых однофункциональных модулей приводит к созданию конструкций неоптимальных по массе, размерам, эстетическим и эргономическим показателям, жесткости, потребляемой мощности, надежности, стоимости, общей трудоемкости изготовления, сборки и отладки. Это связано, главным образом, с чрезмерным дроблением целого на модульные части и вытекающим из этого излишним числом механических соединений и электрических разъемов. Принцип модульности может оказаться невыгодным, прежде всего, для потребителя. С развитием соответствующих областей техники появляется тенденция объединения функций нескольких модулей в одном более высокого уровня, вплоть до отказа от членения изделия на функционально и конструктивно разделимые части. В качестве примеров из различных отраслей техники можно привести большие интегральные схемы (БИС), однокристалльные ЭВМ, электродвигатели с встроенными тормозами и датчиками положения, объемные блоки в строительстве и судостроении и др. Все более широкое применение находят пяти- и шестикоординатные сварочные роботы функционально неделимой конструкции с угловой системой координат и сравнительно небольшое использование в мировой практике имеют модульные четырех- и пятикоординатные манипуляторы сварочного инструмента с программным управлением.

Унификация и агрегатирование сварочного оборудования должны базироваться на раз-

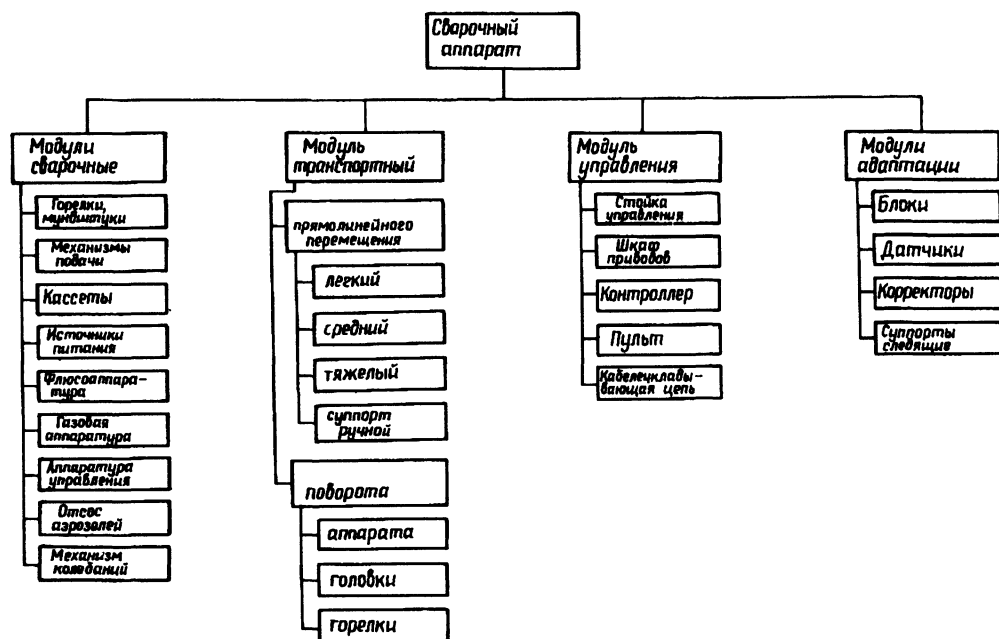


Рис. 2.2. Состав комплекта модулей аппаратуры для дуговой сварки

работке параметрических и размерных рядов этого оборудования. В качестве главного параметра разрабатываемых автоматов, полуавтоматов, источников сварочного тока для дуговой сварки принята сила тока: параметрические ряды предусматривают градацию этого параметра.

2.4. СОЗДАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНО- ГИБКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Традиционные "жесткие" методы и средства автоматизации без замены или существенной переработки не могут быть использованы при изменении объекта производства, что делает их, с одной стороны, невыгодными в условиях переменного по номенклатуре производства, а с другой — превращает "жесткие" средства автоматизации в своего рода тормоз технического прогресса, так как сложность перехода на другой объект производства в этом случае способствует продолжению выпуска устаревших изделий. Повышение уровня автоматизации переменного по номенклатуре сварочного производства возможно, прежде всего, на основе быстрого развития гибких автоматизированных производств.

Пути повышения функциональной гибкости технических решений сварочного оборудования ниже рассматриваются применительно к автоматизированным технологическим комплексам дуговой сварки (ТКДС) как основного способа сварки металлов. При этом имеются в виду следующие две особенности автоматизации технологических операций с применением дуговой сварки.

1. Вследствие невысокой точности изготовления свариваемых элементов и их сборки под сварку, а также тепловой деформации свариваемой конструкции возникают случайные отклонения положения линии сопряжения и геометрических параметров соединения, подготовленного под сварку, от расчетных (программных). При обработке резанием траектория движения инструмента относительно изделия и режимы резания первичны, а форма и размеры обработанного изделия вторичны, тогда как при сварке форма, размеры и положение заготовок первичны, а траектория инструмента и режимы сварки вторичны, зависящие от случайных отклонений формы, размеров и положения свариваемых заготовок. Эти случайные отклонения требуют (в тех случаях, когда ими нельзя пренебречь) применения методов и средств автоматической корректировки траектории движения сварочного инструмента относительно изделия и параметров режима сварки индивидуально для каждого экземпляра изделия данного типа.

2. Большинство видов дуговой сварки может выполняться вручную или с применением шланговых сварочных аппаратов (полуавтоматов), представляющих собой, по существу, механизированный инструмент невысокой стоимости. Автоматизированные ТКДС имеют стоимость в десятки, а иногда в сотни раз большую, чем ручной или механизированный инструмент, что обуславливает применение в

ТКДС наиболее производительных сварочных процессов и приемов сварки, поиска возможно более простых типовых технических решений.

Автоматизированные ТКДС по уровню гибкости могут быть объединены в четыре группы [15] (рис. 2.3, табл. 2.2). Первый уровень гибкости предусматривает применение методов и средств автоматической корректировки программы (АКП) работы ТКДС, т. е. корректировки траектории перемещения сварочного инструмента относительно изделия и (или) параметров процесса сварки индивидуального для каждого экземпляра сварной конструкции данного типа.

Наличие в ТКДС признаков первого уровня гибкости расширяет возможности их применения, позволяя производить автоматическую сварку со значительными случайными отклонениями положения линии сопряжения и геометрических параметров соединения, подготовленного под сварку, от расчетных (программных) значений. Иными словами, гибкость на первом уровне — это гибкость по отношению ко всем экземплярам данного изделия, имеющим случайные отличия один от другого. При отсутствии у оборудования такого уровня гибкости и наличии случайных отклонений, превышающих допустимые смещения оси горелки от линии соединения, автоматическая сварка без участия человека невозможна.

Второй уровень гибкости предусматривает применение программного управления (ПУ), исключающего, как правило, необходимость изменения конструктивной и схемной частей ТКДС при сварке различных сварных конст-

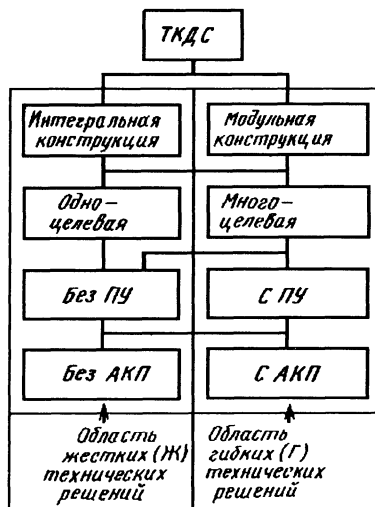


Рис. 2.3. Классификация ТКДС по уровням гибкости: по структуре формулы гибкости 4—3—2—1, в которую вместо номера уровня гибкости подставляется буква Ж при жестком решении на данном уровне и буква Г — на гибком

2.2. Классификация способов повышения функциональной гибкости по уровням ТКДС

По структуре ТКДС	По отношению к изделию			Тип ТКДС по гибкости			
	Группа (класс)	Типоразмер	Экземпляр				
4	3	2	1	4	3	2	1
—	—	—	—	Ж	Ж	Ж	Ж
			с АКП	Ж	Ж	Ж	Г
			—	Ж	Г	Ж	Ж
			с АКП	Ж	Г	Ж	Г
	Многоцелевая	с ПУ	—	Ж	Г	Г	Ж
			с АКП	Ж	Г	Г	Г
Модульная конструкция	—	—	—	Г	Ж	Ж	Ж
			с АКП	Г	Ж	Ж	Г
			—	Г	Г	Ж	Ж
			с АКП	Г	Г	Ж	Г
	Многоцелевая	с ПУ	—	Г	Г	Г	Ж
			с АКП	Г	Г	Г	Г

рукций. Гибкость на втором уровне — это гибкость по отношению к изделиям различного исполнения, в пределах достаточно широкой группы или класса, что зависит от уровня универсальности ТКДС и его системы ПУ. Числовое программное управление (ЧПУ), основанное на методах и средствах вычислительной техники, в наибольшей степени обеспечивает такую гибкость автоматического оборудования, при которой переход от одних изделий к другим производится с минимальным участием человека или без него.

Третий уровень гибкости предусматривает создание многоцелевых универсальных машин вместо одноцелевых (специальных). На многоцелевых сварочных установках можно сваривать изделия различного исполнения, разных групп и даже близких классов. История развития большинства технических средств является историей конкуренции и компромиссов между принципами универсальности и специализации. Если в "домикропроцессорную" эру новым типом технологического оборудования вначале были универсальные машины, а затем широкий ряд специализированных моделей, обычно построенных на основе агрегатно-модульного принципа, то с внедрением в производственную практику микропроцессорного управления усиленно создавалось технологическое оборудование, и особенно его системы управления, универсальное с точки зрения конструктивно-схемных (аппаратных) решений и специализированное с точки зрения ориентации математического и программного обеспечения на выполнение поставленной задачи.

При ориентации на гибкую технологию и организацию производства возрастает значение многоцелевых технических решений, несмотря на то, что в ряде случаев их осуществление требует значительно больших затрат. Создание многоцелевых технологических машин вместо одноцелевых может быть целесообразно с точки зрения требования экономии ресурсов, необходимых для разработки и изготовления многоцелевого оборудования, которое может быть применено для решения ни одной, а ряда задач. В этом случае экономический эффект достигается благодаря как тиражированию разработок, так и повышению серийности оборудования, позволяющего снизить себестоимость изготовления каждой машины.

Четвертый уровень гибкости предполагает агрегатно-модульное построение технологического оборудования и решение новых задач, особенно на этапе его создания, путем структурно-переменного синтеза. Комплект модулей для построения сварочного оборудования по степени интеграции (объединения) функций в одном модуле можно, в свою очередь, разделить на пять групп [15]:

нулевая — детали и покупная элементная база;

первая — однофункциональные модули для выполнения одной функции, например, однокоординатный модуль прямолинейного перемещения, блок управления одним приводом;

вторая — многофункциональные модули для выполнения нескольких функций, например, двухкоординатный суппорт, несущий сварочную горелку;

третья — самостоятельные изделия как составные части ТКДС, например манипулятор (вращатель) изделия, сварочный аппарат, комплект сварочного оборудования для роботизированной сварки, устройство программного управления;

четвертая — технологические модули — комплексы технических средств, способные выполнять автоматическую сварку. Технологическими модулями могут быть: колонна с выдвижной штангой и закрепленной на ней сварочной головкой в комплекте с источником питания и средствами управления; робот (манипулятор сварочного инструмента) с комплектом программно-управляемого сварочного оборудования; закрепленная в рабочем положении сварочная головка с вращателем (для сварки кольцевых швов).

Модули первой — четвертой групп могут быть получены сочетанием модулей, относящихся к любым предыдущим группам или как функционально неделимая конструкция. Модули перечисленных групп (особенно четвертой) могут в определенной мере обладать признаками гибкости первого — третьего уровней. Наиболее важное значение для технологических модулей (четвертой группы) имеет гибкость второго уровня — оснащенность средствами числового программного управления. Технологический модуль с развитым ЧПУ, обладающий свойством автоматизированной переналадки, называют гибким технологическим модулем.

Основой гибкого технологического модуля (ГТМ) для дуговой сварки обычно является промышленный робот (манипулятор сварочного инструмента с ПУ), оснащенный программно-управляемым сварочным оборудованием со всеми автоматическими сервисными устройствами, включая средства автоматической очистки горелки от брызг. Такие модули являются основой для построения роботизированных технологических комплексов дуговой сварки (РТКДС), гибких производственных модулей (ГПМ) и гибких производственных систем (ГПС). Последние в зависимости от принципа построения и состава технических средств могут иметь вид гибких автоматических линий, участков и цехов. Действительно, дополнением ГТМ манипуляторами получают РТКДС. Следует отметить, что тип и грузоподъемность манипуляторов изделия существенно зависят от конструктивных особенностей и техники сварки конструкций данного типа. Поэтому требуемое разнообразие типов манипуляторов изделия значительно больше требуемого разнообразия ГТМ. Так как структура РТКДС зависит и от организации производственного процесса, то число вариантов РТКДС может быть еще больше.

Объединяя несколько ГТМ общей транспортной системы, например, конвейером с последовательной передачей изделий от одного ГТМ к другому, получают гибкую автоматизированную линию (ГАЛ). Дополнением ГТМ манипуляторами изделия и средствами автома-

тической подачи деталей на сварку и автоматического вывода сваренных конструкций из рабочей зоны создают ГПМ, которые наряду с ГТМ могут быть основой для построения ГПС самых разнообразных конструкций.

Оптимальный выбор комплекта модулей для создания технологического оборудования представляет собой сложную научно-техническую задачу, предусматривающую возможность компоновки как большинства известных конструкций технологического оборудования данного типа, так и прогнозируемых их вариантов. Готовый модульный комплект требует в дальнейшем значительных трудовых затрат для его конструкторской поддержки и сопровождения с целью постоянного обеспечения соответствия его технического уровня непрерывно возрастающему мировому. В частности, больших усилий требует доработка комплекта, связанная с обновлением элементной базы и покупных изделий.

Большая трудоемкость разработки и конструкторской поддержки комплекта модулей для сварочных машин, станков и установок, а также относительно небольшой объем выпуска сварочных установок (по сравнению, например, с выпуском металлорежущих станков) являются причинами того, что доля агрегатно-модульных конструкций сварочных установок не так велика, какой она могла бы быть. В сварочных аппаратах, объем выпуска которых существенно больше, применение агрегатно-модульных решений значительно шире.

Следует отметить, что вместе с этим не исключается целесообразность применения в ряде случаев жестких одноцелевых станков и установок, функционально неделимых конструкций и комплексов технологического оборудования, жестких (непрограммных) средств автоматизации, ТКДС без автоматической корректировки программы. Выбор между жесткостью и функциональной гибкостью технических решений определяется характером и организацией производства, типом и конструктивными особенностями изделий, способом сварки и многими другими факторами и должен иметь технико-экономическое обоснование. Однако гибкая организация технологии и оборудования все чаще оказывается более целесообразной.

2.5. ПОВЫШЕНИЕ УРОВНЯ МЕХАНИЗАЦИИ И АВТОМАТИЗАЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ

При рассмотрении сварочных операций различают механизацию и автоматизацию основных и вспомогательных работ. Механизация основных работ, например применительно к дуговой сварке, включает подачу присадочных, защитных и вспомогательных материалов в зону плавления и перемещение сварочного инструмента (или группы инструментов) вдоль линии соединения во время сварки. При автоматизации основных работ (той же дуговой сварки) автоматическое управление выполняет следующие функции: возбуждение дугового процесса с изменением параметров

режима от нулевых до заданных значений в начале сварки; стабилизацию параметров режима в течение сварки или заданное их изменение; прекращение дугового процесса при изменении параметров режима от заданных значений до нулевых; корректировку положения сварочного инструмента в процессе сварки в зависимости от случайных отклонений линии соединения свариваемых элементов от расчетного положения; корректировку значений параметров процесса сварки в зависимости от случайных отклонений параметров соединения свариваемых элементов на входе в зону сварки и в зоне сварки, а также параметров получаемого сварного соединения на выходе из зоны сварки (по сравнению с расчетными значениями).

Механизация вспомогательных работ на сварочных станках и установках охватывает загрузку и закрепление заготовок и последующие раскрепление и выгрузку сваренного изделия, перевод сварочного инструмента из исходного положения в точку начала сварки, отвод инструмента из точки окончания сварки в исходное положение, а также перемещение сварочного инструмента между точками или участками сварки.

Автоматизация вспомогательных работ кроме перечисленных выше включает автоматический переход на сварку после выполнения соответствующих вспомогательных операций.

Необходимо отметить, что, поскольку сварочные операции составляют 15 ... 20% общей трудоемкости производства сварных конструкций, сокращение затрат труда на собственно сварочные операции даже на 50% дает сокращение общей трудоемкости изготовления сварного изделия не более чем на 10%. Только комплексная механизация и автоматизация большинства операций и процессов производства сварных конструкций дают существенный экономический эффект.

Комплексная механизация и автоматизация сварочного производства предполагает интеграцию как родственных, так и неродственных технологических процессов, совмещенных в едином комплексе электросварочного оборудования [4, 14]. Примерами совмещения родственных процессов могут служить: контактная стыковая сварка и термообработка термоупрочняемых сталей и сплавов; дуговая сварка под флюсом и наплавка; многоэлектродная контактная точечная или шовная сварка и т. д. Примерами интеграции неродственных технологий являются, например: стыковая сварка со срезкой грата; автоматическая ориентация шва относительно горелки; автоматическая сборка, в том числе с подогревом для плотной посадки деталей; сварка и съем готовых изделий; плазменная резка и автоматическая маркировка заготовок; плазменно-механическая обработка тел вращения и др.

К перспективным направлениям повышения уровня механизации и автоматизации сварочного оборудования следует отнести перена-

лаживаемое сварочное оборудование с интеграцией родственных и неродственных сварке технологических процессов, построенную на агрегатно-модульном принципе с высокой степенью унификации [2, 9, 11, 14].

Высокий уровень автоматизации эффективен, главным образом, в массовом и крупносерийном производстве, охватывающем лишь 15...25% всей продукции машиностроения [4]. Повышение уровня механизации и автоматизации серийного, мелкосерийного, а в некоторых случаях и единичного производства оказывается возможным благодаря концентрации изготовления сварных конструкций на специализированных производственных единицах, таких как участок, цех, на основе применения групповой технологии, а также повышению производственной гибкости средств механизации и автоматизации.

При высоких требованиях к качеству сварных соединений и служебным свойствам изделия необходимо автоматическое управление параметрами процесса сварки в функции целого ряда факторов, из которых многие определяются случайными отклонениями размеров и положения соединяемых элементов объекта сварки. Такое автоматическое управление наиболее эффективно в том случае, когда для выработки управляющих воздействий используется ЭВМ, осуществляющая одновременный контроль большого количества переменных и учет сложных и разнообразных связей между ними.

Для реализации автоматизированных многофункциональных систем управления технологическими процессами, построенных на базе средств вычислительной техники (АСУ ТП), необходимо автоматическое измерение параметров процесса сварки и параметров объекта сварки. Так, для дуговой сварки параметры объекта сварки в общем случае должны измеряться до зоны плавления (положение линии соединения свариваемых элементов, величина зазора между ними или сечение разделки, величина превышения кромок и т. д.), в зоне плавления (глубина проплавления, размеры сварочной ванны, температура и др.) и после зоны плавления (геометрические параметры сварного соединения, наличие и характеристики внешних и внутренних дефектов). В АСУ ТП эта информация обрабатывается с помощью управляющего вычислительного комплекса (УВК) и используется для представления оператору и документирования (режим измерительно-информационной системы), для выдачи рекомендаций по изменению параметров режима сварки (режим советчика оператору) и для автоматического управления технологическим процессом (автоматический режим). Обычно развитие АСУ ТП для новых задач и производственных условий происходит именно в такой последовательности.

Сварочное оборудование считается пригодным для использования в составе АСУ ТП, если оно удовлетворяет следующим требованиям [12]: наличия датчиков параметров процес-

са и датчиков состояния объекта сварки и оборудования или возможностью размещения таких датчиков без нарушения функционирования и удобства обслуживания сварочного оборудования; пригодностью исполнительных элементов и механизмов сварочного оборудования для использования в качестве исполнительных элементов систем автоматического регулирования и управления (по кинематическим и динамическим характеристикам, жесткости, достижимой точности и т. д.); энергетической и информационной совместимостью выходов (входов) измерительных средств (датчиков) с входами (выходами) управляющего вычислительного комплекса.

Сварочное оборудование, работающее в контуре АСУ ТП, например для другой сварки, должно оснащаться следующими датчиками: скорости подачи электродного (присадочного) материала; наличия и силы сварочного тока; напряжения на дуге; состава и расхода защитных материалов; наличия достаточного запаса основных, защитных и вспомогательных материалов; положения свариваемых элементов и линии их соединения; величин превышения кромок, зазора, сечения разделки, глубины проплавления; температуры изделия; размеров сварочной ванны, положения дуги относительно линии соединения свариваемых элементов; размеров элементов полученного сварного соединения; наличия и количественных характеристик его внешних и внутренних дефектов; положения и скорости звеньев манипуляционной системы.

Для диагностики состояния сварочного оборудования необходимы датчики потребляемой мощности, датчики сил и моментов в кинематических звеньях и др.

Все датчики и другие устройства сварочного оборудования должны быть пригодны для работы в условиях сварочного процесса; характеризуемого, например при дуговой сварке, повышенной запыленностью, загазованностью, близостью к источникам теплового и светового излучения, сильных электромагнитных полей в широком диапазоне частот. Следует отметить, что в настоящее время отсутствуют отработанные технические решения по многим перечисленным датчикам.

Существуют два подхода к автоматизации производственных процессов и операций: 1) автоматизация существующего оборудования в рамках его модернизации; 2) создание оборудования, специально ориентированного на использование определенных методов и технических средств автоматизации. Опыт многих отраслей промышленности и, в первую очередь, станкостроения, показал несомненные преимущества второго подхода.

Кажущиеся простота и экономическая целесообразность первого подхода при его практической реализации оборачиваются множеством переделок и компромиссных технических решений, связанных с тем, что оборудование с ручным управлением часто не обладает теми характеристиками, которые требуются для осу-

ществления автоматического управления. Наиболее часто встречающимися проблемами такого рода являются: отсутствие механизированных приводов или неподходящая их кинематика; зазоры в передачах и направляющих; отсутствие необходимых блокировок и ограничителей, а также четкой кинематической связи между каретками со сварочным аппаратом или инструментом и направляющими (связь осуществляется под действием сил трения); недостаточная стабильность характеристик исполнительных элементов; отсутствие свободного пространства для размещения датчиков и других дополнительных элементов, необходимых для АСУ ТП; ухудшение обзора зоны сварки при доработке для автоматизации; несовместимость входных и выходных сигналов существующих технических средств с теми, которые необходимо дополнительно использовать при автоматизации.

Генеральной линией автоматизации сварки должно быть создание нового высокоавтоматизированного оборудования, ориентированного на современные методы и средства автоматизации. Вместе с тем в отдельных случаях не исключена успешная автоматизация существующего оборудования. В каждом конкретном случае необходимо тщательное изучение условий для принятия обоснованного решения. Анализ потребительского рынка сварочной техники убедительно показывает, что большим спросом наряду со сложной техникой с широкими функциональными возможностями пользуется простое в эксплуатации сварочное оборудование.

В табл. 2.3 приведена классификация оборудования для сварки по классам в зависимости от уровня механизации и категории качества.

При этом в каждом классе возможна аттестация по высшей и первой категориям качества, что позволяет существенно расширить области разработок и производства полуавтоматов, автоматов, источников питания и машин контактной сварки.

Классификационные признаки построены по принципу наращивания уровня механизации и автоматизации оборудования общего назначения, начиная от коробки скоростей в полуавтоматах, автоматах и механических регуляторов в источниках тока до программно-управляемого оборудования. Такой подход к автоматизации исключает существующие противоречия между экономическими интересами изготовителя, потребителя и реализацией достижений научно-технического прогресса.

2.6. ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ МЕХАНИЗАЦИИ И АВТОМАТИЗАЦИИ СБОРОЧНО-СВАРОЧНЫХ РАБОТ

Комплексная механизация и автоматизация сборочно-сварочных работ позволяет достичь существенного повышения эффективности сварочных работ, качества сварных соединений, улучшения условий труда и др. Реализация комплексной механизации и автоматизации осуществляется путем применения отдельных сборочно-сварочных установок и станков, ком-

2.3. Классы оборудования

Класс	Классификационные признаки	Примечание
Полуавтоматы для дуговой сварки		
3	Регулирование скорости подачи электродной проволоки (ступенчатое с отключением оборудования). Простота конструкции и увеличенная в 1,5–2 раза нагрузка на отказ по отношению к требованиям стандартов	При производстве конструкций на режимах сварки, изменяемых не более одного раза в смену
2	Регулирование скорости подачи электродной проволоки (плавное или плавно-ступенчатое). Обеспечение заварки кратера по циклограмме (программе). Управление электрическими параметрами режимов сварки в установленных пределах без отключения оборудования	При производстве конструкций на режимах сварки, изменяемых неоднократно в течение смены
1	Регулирование скорости подачи электродной проволоки (плавное). Программное управление процессами сварки с заложенными в память технологическими параметрами сварки (в том числе синергетическое)	При производстве особо ответственных конструкций на участках или в составе РТК с применением режимов, изменяемых в процессе сварки
Автоматы для дуговой сварки и наплавки		
3	Регулирование скоростей подачи электродной проволоки и сварки (ступенчатое, с отключенным оборудованием). Поперечная корректировка положения электрода относительно оси шва (ручная). Управление циклом работы аппарата (ручное). Допускается ручная уборка флюса	Механизированные участки и рабочие места
2	Регулирование скорости подачи электродной проволоки (плавное, без отключения оборудования в пределах каждой ступени, или плавно-ступенчатое, с отключением оборудования при переходе на другую ступень диапазона). Поперечная корректировка положения электрода относительно оси шва (электромеханическая с ручным управлением или ручная)	Механизированные участки и рабочие места
1	Регулирование скоростей подачи электродной проволоки и сварки (плавное, без отключения оборудования). Поперечная корректировка положения электрода относительно оси шва (автоматическая, с использованием системы слежения). Программное управление процессами сварки с заложенными в память технологическими параметрами режима сварки	
Источники питания для дуговой сварки		
3	С электромеханическим регулированием	
2	С электрическим дистанционным управлением	
1	Со встроенной системой программного управления (в том числе инверторные). Универсальность характеристики. Высокая мобильность при повышенных энергетических показателях (КПД и $\cos\phi$)	Стабилизация параметров режима сварки
Оборудование для контактной сварки		
3	По условиям эксплуатации исключено применение электронных схем, в том числе микропроцессорной техники	

Продолжение табл. 2.3

Класс	Классификационные признаки	Примечание
2	С нормальной стабильностью параметров (оборудование группы Б, ГОСТ 297–80)	В системе управления, возможно применение как микропроцессоров, так и электронных схем, при управлении от групповой ЭВМ
1	С повышенной стабильностью параметров (оборудование группы А)	В системе управления с микропроцессорной техникой

плексно-механизированных рабочих мест (КМРМ) и участков (КМУ), а также поточных и автоматических линий.

При сварке на отдельных станках и установках, как правило, многие вспомогательные операции выполняются с невысоким уровнем механизации и автоматизации как, например, с помощью цеховых транспортных средств или вручную. Более эффективно применение комплексно-механизированных рабочих мест и участков, а также поточных и автоматических линий. Применение КМРМ и КМУ особенно эффективно в единичном и мелкосерийном производстве с широким распространением механизированной сварки с помощью шланговых полуавтоматов. Это позволяет полностью или частично механизировать сборку, транспортировку, загрузку и выгрузку изделия. Использование шланговых полуавтоматов не исключает применения автоматической сварки.

Более полно комплексная механизация и автоматизация сборочно-сварочных работ разрешается применением поточных линий. Перспективы развития комплексной механизации и автоматизации в сварочном производстве открываются при применении методов и технических средств программного управления и широком использовании ЭВМ. Весьма перспективно создание автоматических линий из установок с ПУ перемещениями рабочих органов и параметрами режима сварки, главным образом, на базе сварочных роботов, соединенных транспортно-загрузочными средствами, использующими приспособления-спутники. Такие линии имеют средства автоматического складирования заготовок и приспособлений и распределения их между установками. Групповое управление линиями осуществляется от ЭВМ.

В условиях многономенклатурного производства важен отказ от жесткой последовательности перемещения изделий от позиции к позиции и создание линий с гибким транспортом, например, роботизированными тележками (робокарами) с электроприводом, управляемыми от ЭВМ. Питание привода тележек осуществляется от аккумуляторных батарей, а управление — с помощью высокочастотного поля, возбуждаемого вокруг кабелей, вмонтированных в пол. На линии с роботизирован-

ными тележками одновременно (в любой последовательности) могут обрабатываться несколько типоразмеров изделий.

Так, гибкая производственная система (ГПС) "Робогейт" для точечной контактной сварки, установленная на одном из заводов фирмы ФИАТ, состоит из двух подсистем: сварки боковин (рис. 2.4, а) и сварки обшивки кузова (рис. 2.4, б) легкового автомобиля. Производительность каждой подсистемы 1000 комплектов в 15 ч. Одновременно могут собираться четыре модели в любой последовательности. В каждой подсистеме использовано 25 робокаров. Их предельная скорость 42 м/мин, ускорение при разгоне-торможении $0,5 \text{ м/с}^2$, продолжительность работы до перезарядки аккумуляторов 15 ч, время зарядки 7,5 ч, грузоподъемность 1,5 т, время подъема груза 18 с, габаритные размеры $4,8 \times 2,02 \times 0,53 \text{ м}$.

Особенность системы "Робогейт" — наличие контурных "ворот", представляющих собой раскрывающуюся кондукторную раму, которая после прихода тележки с предварительно собранными свариваемыми элементами охватывает свариваемое изделие, фиксируя его в позиции сварки. Это не только позволяет сварочным роботам работать без адаптации, но и повышает точность изготовления, что благоприятно сказывается на последующих операциях и на качестве изделия в целом. Подобные кондукторные устройства перспективны и для дуговой сварки, особенно изделий из тонкостенных заготовок. Стоимость системы "Робогейт" на 30% выше стоимости традиционной автоматической линии для сварки одного типоразмера. Однако возможность сваривать на одной линии два и более изделий без какой-либо переналадки дает очевидный экономический эффект.

Система управления "Робогейт" построена на двух ЭВМ. В стандартном режиме одна из них обслуживает производственный процесс, а вторая используется для разработки новых программ и других целей. В случае отказа первой ЭВМ функции ее передаются второй с помощью управляемого вручную коммутатора каналов. Время переключения 3 мин. Система управляет 50-ю робокарами двух подсистем, всеми сварочными роботами (до 50), автоматическими складами, управляет прохождени-

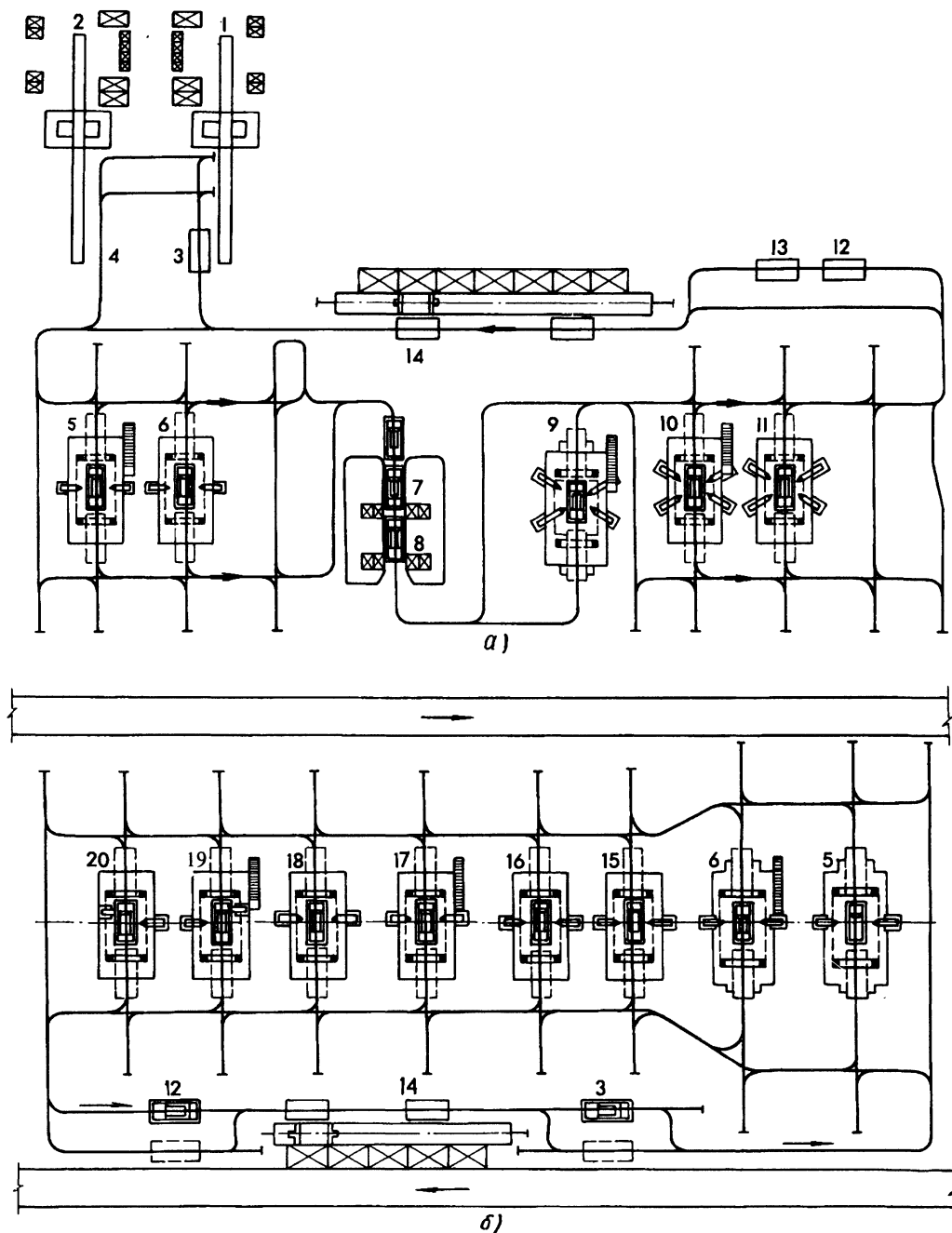


Рис. 2.4. Подсистемы ГПС "Робогейт" для производства кузова легкового автомобиля:

a — сварки боковин; *b* — сварки кузова; 1, 2 — накопители деталей левой и правой боковин; 3, 4 — загрузочные позиции с подбором необходимого комплекта боковин; 5, 6 — предварительная сварка роботами; 7, 8 — ручная досборка мелких деталей; 9 — сварка ответственных точек; 10, 11 — окончательная сварка; 12, 13 — разгрузочные позиции левой и правой боковин; 14 — замена стапеля по команде от ЭВМ; 15—20 — сварка остальных точек (последовательность захода на позиции определяется моделью кузова)

ем всех изделий, обеспечивает диалог с водителями смен, ведет статистику, диагностирует отказы и т. д.

Высшей формой комплексной механизации и автоматизации сварочного производства является создание многономенклатурных заводов-автоматов, в которых на базе широкого применения вычислительной техники комплексно решаются проблемы, связанные с изготовлением продукции. К числу таких проблем относятся не только автоматическое изготовление и сборка изделия, но и автоматизация приема заказов, установление сроков поставки и стоимости выполнения заказов, проектирование и организация производства, перемещение деталей между рабочими местами, складирование, ведение инструментального хозяйства, входной контроль, контроль качества продукции, утилизация отходов и т. д.

2.7. ИНТЕГРАЦИЯ ОПЕРАЦИЙ

Сварочный процесс, как технологический, обычно делится на части (операции, переходы), выполняемые на одном рабочем месте (станке, установке) одним исполнителем или группой. Степень дифференциации (расчленения) процесса на операции и переходы определяется характером производства (единичное, серийное, массовое), технологическими особенностями процесса, наличием соответствующего оборудования, квалификацией обслуживающего персонала и др. Наиболее полно дифференциация выражена в массовом производстве. Наряду с простотой и надежностью оборудования, не требующей высокой квалификации оператора, она характеризуется использованием большого количества единиц оборудования и его общей металлоемкостью, занимаемой производственной площадью, общей численностью обслуживающего персонала, затратами времени на транспортировку, установку и закрепление изделий и др.

Противоположностью дифференциации является интеграция производственного процесса, состоящая в объединении нескольких его элементов для выполнения их на одном станке, установке или рабочем месте одним оператором или одной бригадой. При интеграции отдельные операции становятся по существу переходами одной комплексной операции.

В сварочном оборудовании применяется интеграция как однородных операций, например сварка нескольких швов на нескольких изделиях несколькими сварочными автоматами или головками, так и разнородных, таких как сборка и сварка, обработка и сварка и др. Реализация идей интеграции операций в производстве сварных конструкций стала возможна благодаря повышению надежности оборудования для сварки и развитию методов и средств механизации и автоматизации сварочных процессов, например, при дуговой сварке средств зажигания дуги, изменения параметров процесса в начале и конце шва, а также в зоне перекрытия с другими швами,

системы автоматического направления сварочного инструмента на линию соединения свариваемых элементов и др.

Интеграция операций может быть реализована путем создания многопозиционных, роторных и комбинированных установок и станков, применения многоместных сборочно-сварочных приспособлений и одновременной сварки несколькими автоматами или головками. При этом отдельные элементы операции могут выполняться последовательно, параллельно (одновременно), либо последовательно-параллельно. При последовательном выполнении элементы операции осуществляются при нескольких последовательных положениях изделия или сварочного инструмента либо последовательно несколькими инструментами. Примеры сварочного оборудования, применяемого при таком виде интеграции операций, следующие: сборочно-сварочные станки с последовательным выполнением сборки и сварки; многоместные установки и станки; установки с кантовкой изделия для наложения швов с разных сторон изделия; многопозиционные станки последовательного действия.

Наиболее полным образом идея интеграции сварочных операций путем их последовательного выполнения с одного станка изделия реализуется с применением сварочных роботов. Робот последовательно выполняет сварку различных швов. При необходимости на заданной фазе операции робот может прекращать сварку для того, чтобы оператор (автоматическое устройство) мог установить в свариваемый узел дополнительные элементы, сборка которых не может быть выполнена в начале операции. Робототехнологический комплекс имеет два манипулятора изделия (два сборочно-сварочных приспособления), обслуживаемые роботом и оператором попеременно. Если это возможно, манипуляторы изделия (сборочно-сварочные приспособления) устанавливаются на поворотном столе, имеющем два фиксированных положения. Кроме того, робот может работать последовательно двумя или несколькими горелками, каждая из которых связана со своим подающим механизмом, катушкой и даже источником питания. Горелки могут устанавливаться на отдельном стеллаже в строго фиксированном положении для выполнения, например, сварки и наплавки с одного станка изделия.

При интеграции с параллельным выполнением элементов операции они осуществляются одновременно на одном рабочем месте несколькими сварочными автоматами (головками, инструментами) или на нескольких изделиях. При этом элементы операции могут начинаться как одновременно, так и со сдвигом во времени, меньшим продолжительности выполнения самого короткого элемента. Для одновременного выполнения элементов операций на одном рабочем месте могут применяться различные многоголовочные установки и

станки для дуговой сварки, роторные сварочные установки.

Последовательно-параллельному выполнению элементов операций присущи особенности как последовательной, так и параллельной интеграции.

Для оценки эффективности интеграции операций по сравнению с дифференциацией используется коэффициент увеличения производительности труда [15—18]:

$$K_T = T_0 m_0 / (T_{\text{и}} m_{\text{и}}),$$

где T_0 и m_0 — соответственно время цикла и число рабочих при изготовлении сварного узла на нескольких отдельных установках поточной линии (при дифференциации операций); $T_{\text{и}}$ и $m_{\text{и}}$ — то же, на агрегате с интеграцией операций. Обычно для небольших агрегатов $m_{\text{и}} = 1$. В то же время для группы отдельных установок $m_0 > 1$ и чаще всего равно числу установок в ней. Совершенно очевидно, что интеграция целесообразна при $K_T > 1$.

Для групп отдельных установок время цикла регламентируется продолжительностью самой длительной операции (рис. 2.5, а):

$$T_0 = t_3 + t_{\text{в.о}} + t_{\text{о.о}} + t_p, \quad (2.1)$$

где t_3 — время загрузки изделия; $t_{\text{в.о}}$ и $t_{\text{о.о}}$ — соответственно вспомогательное и основное время самой длительной операции (исключая время загрузки и выгрузки); t_p — время выгрузки изделия.

Для установки с интеграцией с последовательным выполнением операций время цикла $T_{\text{и.пос}}$ определяется (рис. 2.5, б) по формуле

$$T_{\text{и.пос}} = t_3 + \sum_{i=1}^n (t_{\text{о.пос}i} + t_{\text{в.пос}i}) + t_p, \quad (2.2)$$

где $t_{\text{о.пос}i}$ и $t_{\text{в.пос}i}$ — соответственно основное и вспомогательное время i -й операции из числа выполняемых последовательно; n — число последовательных операций.

Для установки с интеграцией с параллельным выполнением операций время цикла $T_{\text{и.пр}}$ регламентируется продолжительностью самой длительной операции (рис. 2.4, в)

$$T_{\text{и.пр}} = t_3 + t_{\text{о.пр}} + t_{\text{в.пр}} + t_p, \quad (2.3)$$

где $t_{\text{о.пр}}$ и $t_{\text{в.пр}}$ — соответственно основное и вспомогательное время самой длительной операции из числа выполняемых одновременно.

Таким образом, согласно рис. 2.5 и соотношениям (2.1)—(2.3) при переходе от дифференциации к интеграции с последовательным выполнением операций повышение производительности труда связано с сокращением времени на транспортировку, загрузку и разгрузку, а при переходе к интеграции с параллельным выполнением операций еще и с сокращением времени сварки всех швов. Следует отметить, что практически в большинстве случаев скорость сварки близка к верхнему пределу, обусловленному физико-металлургическими осо-

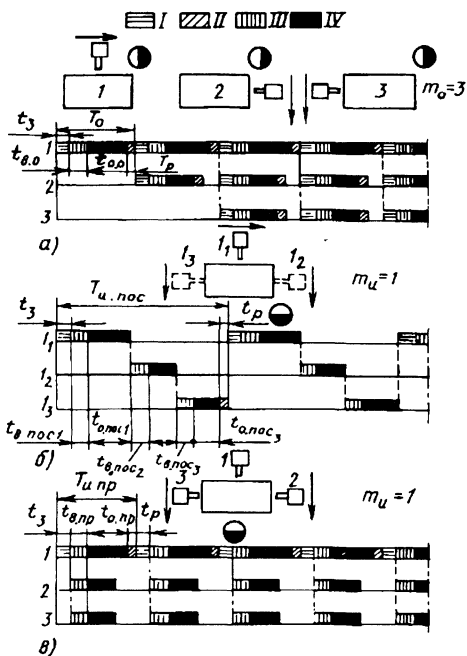


Рис. 2.5. Упрощение схемы и циклограммы выполнения операций при различных вариантах расчленения технологического процесса:

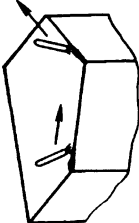
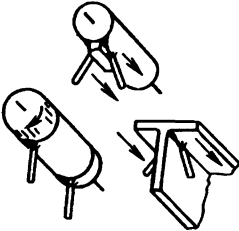
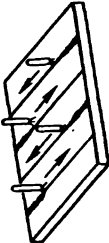
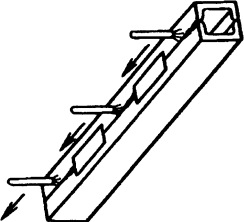
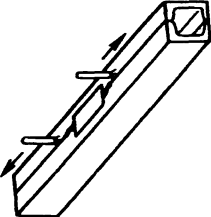
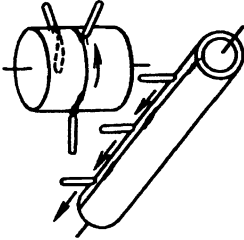
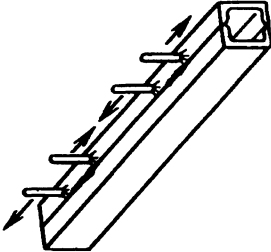
1, 2, 3 — станки (а) или сварочные головки (б); 1₁, 1₂, 1₃ — последовательные положения сварочной головки; I — время загрузки; II — время выгрузки; III — вспомогательное время; IV — основное время

бенностями процесса сварки, поэтому одновременное осуществление операций — единственный путь сокращения основного времени сварки.

Перспективным направлением интеграции с одновременным выполнением сварочных операций является применение многоголовочных установок, предусматривающих сварку одного или нескольких изделий одновременно несколькими сварочными аппаратами или головками. Каждая головка многоголовочной установки выполняет отдельный шов или участок одного и того же шва. В последнем случае головки находятся на равном расстоянии друг от друга, и рабочий ход каждой равен сумме расстояния между ними и величины перекрытия. В этом состоит основное отличие сварки несколькими головками от многодуговой и многоэлектродной сварки, при которой рабочий ход дуг (электродов) относительно изделия равен длине шва и не связан с числом дуг (электродов).

В зависимости от положения швов на изделии, направления движения головок и распределения швов или их отдельных участков между головками целесообразно выделить ряд

2.4. Расположение швов на изделии при однопроходной сварке одновременно несколькими головками

Направление движения точек сварки по изделию	Попутное	Встречное или расходящееся
Непараллельные непересекающиеся		
Пересекающиеся		
Параллельные		
Последовательные без перекрытия		
Последовательные с перекрытием		

вариантов однопроходной сварки несколькими головками (табл. 2.4). При изготовлении конкретных изделий возможны различные комбинации этих вариантов. Вариант сварки несколькими головками определяет компоновку установки, допустимые способы перемещения изделия или головок и набор действий и приемов, входящих в состав сварочной операции.

Основные достоинства сварки несколькими головками по сравнению со сваркой одной головкой при одинаковых параметрах режима являются: значительное увеличение производительности, возможность уменьшения деформаций при сварке, больший съем продукции с единицы производственной площади, возможность более компактного размещения в цехе источников тока, контейнеров со сварочными материалами и сокращение длины коммуникаций.

Повышение производительности при сварке несколькими головками достигается при комплексной автоматизации ряда последовательно выполняемых операций. Так, при дуговой сварке — это подача и фиксация изделия в позиции сварки; подвод головок в рабочее положение; поиск свариваемого соединения (наведения сварочного инструмента на линию соединения до начала сварки); подача защитного газа или флюса в зону сварки; зажигание дуги и выведение параметров режима сварки по заданной программе на требуемые значения; стабилизация параметров режима сварки в заданных пределах или изменение их по заданной программе или в зависимости от положения в пространстве, а также от геометрических и других характеристик линии соединения свариваемых элементов в зоне сварки; направление сварочного инструмента (электрода) на линию соединения во время сварки; удаление шлаковой корки со шва (при сварке под флюсом) перед наложением замыкающих и пересекающихся участков швов; изменение по заданной программе параметров режима сварки на каждой головке при выполнении замыкающих и пересекающихся участков швов; прекращение сварочного процесса путем изменения параметров режима по заданной программе до нулевых значений; удаление неиспользованного флюса и шлаковой корки с изделия; отвод головок в исходное положение; вывод изделия на позиции сварки.

Частичная автоматизация с выполнением некоторых операций вручную или с ручным управлением целесообразна только при большой сложности автоматизации. Сварка несколькими головками, при которой число сварщиков равно числу одновременно работающих головок, не дает повышения производительности труда по сравнению со сваркой одной головкой.

Целесообразно рассмотреть порядок выполнения дуговой сваркой швов большой длины одновременно несколькими головками. Любые две соседние головки могут выполнять сварку по одной из схем, представленных на рис. 2.6. Сварка может выполняться с перекрытием (рис. 2.6, а, в, д) и без перекрытия

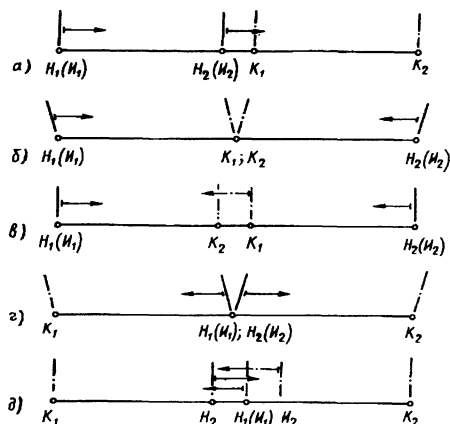


Рис. 2.6. Схемы одновременной сварки участка шва двумя соседними головками, движущимися:

а — в одну сторону; б — навстречу одна другой с одновременным окончанием сварки; в — навстречу с неодновременным окончанием сварки; г — в противоположные стороны с одновременным началом сварки; д — в противоположные стороны с неодновременным началом сварки; Н — начало сварки; К — окончание сварки; И — исходное положение головки; индексы 1 и 2 — номера головок

(рис. 2.6, б, г). Для выполнения перекрытия в конце сварки, т. е. при движении точек сварки навстречу одна другой (рис. 2.6, в), необходимо вначале окончить сварку одной головкой и отвести ее на определенное расстояние в направлении исходного положения прежде, чем к месту перекрытия переместится вторая головка. При одновременном начале сварки это достигается тем, что первой головкой выполняется меньшая часть длины участка шва; при равномерном распределении длины шва между двумя головками тот же результат получается за счет более позднего включения второй головки по сравнению с первой. Для выполнения перекрытия в начале сварки (рис. 2.6, д) начинают сварку второй головкой после того, как первая удалится от места перекрытия на расстояние, позволяющее начать сварку второй головкой. Для практически одновременного окончания сварки первая головка должна сваривать большую часть длины участка.

При выполнении перекрытия автоматически управляют параметрами режима сварки таким образом, чтобы геометрические параметры сварного соединения в зоне перекрытия практически не отличались на участках шва, сваренных одной головкой. При сварке под флюсом выполнение перекрытия дополнительно усложнено наличием флюсовой корки на участке, сваренном соседней головкой. Поэтому при сварке по схеме, показанной на рис. 2.6, а, необходимо удалять флюсовую корку со шва в зоне перекрытия перед подачей сюда головок, выполняющей перекрытие. Для

исключения необходимости удаления корки в ряде случаев вторая головка варит по незатвердевшему флюсу (рис. 2.6, в) или зажигание дуги происходит при проникновении электродной проволоки через расплавленный флюс (рис. 2.6, д).

2.8. ПОВЫШЕНИЕ УРОВНЯ НАДЕЖНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ

Эффективное использование оборудования для механизированной и автоматической сварки немыслимо без достаточно высокого уровня его надежности. Особенно важное значение проблема повышения надежности приобретает для сложных конструкций, например, для роботизированных сварочных комплексов и установок с интеграцией операций, в которых большое число сложных составных частей взаимодействует таким образом, что отказ одной из них влечет за собой значительные потери, связанные с вынужденным простоем остальных частей.

Рассмотрим один из аспектов проблемы надежности применительно к комплексам с интеграцией операций: зависимость фактического увеличения производительности установки от числа одновременно работающих сварочных головок (инструментов) и уровня их надежности, например дуговой многоголовочной сварочной установки. Пусть установка содержит n одинаковых головок, каждая из которых выполняет швы равной длины. Отказ одной головки вызывает необходимость отключения установки до восстановления работоспособности этой головки. Пусть отказы различных головок — независимые события, шов большой длины выполняется дуговой сваркой несколькими головками по схеме "тандем" с одновременным их обслуживанием и включением [12, 14].

Теоретическая производительность установки следующая: с одной головкой для сварки

$$Q_1 = \frac{1}{t_{o1} + t_{b1} + t_{np1}}, \quad (2.4)$$

с n головками

$$Q_n = [t_{on} + t_{bn} + t_{npn}]^{-1}, \quad (2.5)$$

где t_{o1} и t_{on} — время сварки (основное время); если пренебречь временем на перекрытие шва при сварке несколькими головками, то $t_{on} = t_{o1}/n$; t_{b1} и t_{bn} — вспомогательное время; основную часть вспомогательного времени обычно занимает время на загрузку и выгрузку изделия; при одном и том же уровне механизации и автоматизации этой работы $t_{b1} \approx t_{bn}$; t_{np1} и t_{npn} — среднее время простоев; индексы 1 и n — соответственно одnogоловочной и многоголовочной установки.

Коэффициент простоя определяется из соотношения:

для одnogоловочной установки

$$K_{np1} = \frac{t_{np1}}{t_{o1} + t_{b1} + t_{np1}};$$

для многоголовочной установки

$$K_{npn} = \frac{t_{npn}}{(t_{o1}/n) + t_{b1} + t_{npn}}.$$

Величины t_{np1} и t_{npn} могут быть получены в виде:

$$\begin{aligned} t_{np1} &= \frac{K_{np1}(t_{o1} + t_{b1})}{1 - K_{np1}}; \\ t_{npn} &= \frac{K_{npn}(t_{o1}/n + t_{b1})}{1 - K_{npn}}. \end{aligned} \quad (2.6)$$

Для выявления влияния числа головок на рост производительности многоголовочной установки по сравнению с одnogоловочной принято, что время простоя установок связано с устранением неисправностей сварочных головок, устройств и аппаратуры управления, обеспечивающих работу каждой головки. Простоем оборудования (общим для всех головок), например, механизмов перемещения изделия, пренебрегаем, так как число этих механизмов практически не зависит от числа головок n .

В соответствии с допущением, приняв коэффициент простоя одной головки в комплексе с механизмами и аппаратурой управления, обеспечивающими ее функционирование, K_{np1} , коэффициент готовности $K_{г1}$ одной головки многоголовочной установки, т. е. вероятность того, что головка работоспособна в данный момент времени, определяется соотношением: $K_{г1} = 1 - K_{np1}$. Коэффициент готовности $K_{гn}$ установки с n головками, характеризующий вероятность одновременной работоспособности всех головок, определяется как вероятность сложного события, т. е. $K_{гn} = K_{г1}^n$ или

$$K_{гn} = (1 - K_{np1})^n. \quad (2.7)$$

Коэффициент простоя многоголовочной установки

$$K_{npn} = 1 - (1 - K_{np1})^n. \quad (2.8)$$

Учитывая изложенное и соотношения (2.6)–(2.8), выражения (2.4) и (2.5) можно представить в виде:

$$\begin{aligned} Q_1 &= \frac{1}{t_{o1} + t_{b1} + \frac{K_{np1}}{1 - K_{np1}}(t_{o1} + t_{b1})} = \frac{1 - K_{np1}}{t_{o1} + t_{b1}}; \\ Q_n &= \left[\frac{t_{o1}}{n} + t_{b1} + \frac{1 - (1 - K_{np1})^n}{(1 - K_{np1})^n} \left(\frac{t_{o1}}{n} + t_{b1} \right) \right]^{-1} = \\ &= \frac{(1 - K_{np1})^n}{\frac{t_{o1}}{n} + t_{b1}}. \end{aligned}$$

Коэффициент относительного увеличения производительности при переходе на сварку шва n головками по схеме "тандем" определяется соотношением:

$$K_Q = \frac{Q_n}{Q_1} = \frac{(1 - K_{\text{пр1}})^{n-1} (K_t + 1)}{(K_t/n) + 1},$$

где $K_t = t_{01}/t_{в1}$ — соотношение основного и вспомогательного времени при сварке шва одной головкой.

Для определения числа головок, при которых наиболее вероятно получение максимальной производительности, находится производная от функции K_Q по переменной n и приравнивается к нулю. После упрощения получается уравнение

$$nK_{\theta\text{max}} + nK_t + \frac{K_t}{\ln(1 - K_{\text{пр1}})} = 0. \quad (2.9)$$

Решение уравнения (2.9), имеющее смысл для рассматриваемой задачи, следующее:

$$nK_{\theta\text{max}} = -\frac{K_t}{2} + \sqrt{\frac{K_t^2}{4} - \frac{K_t}{\ln(1 - K_{\text{пр1}})}}. \quad (2.10)$$

На рис. 2.7, а, б представлены зависимости относительного увеличения производительности K_Q от числа головок n , коэффициента простоев $K_{\text{пр1}}$ одной головки и связанного с ней оборудования, а также от соотношения K_t .

Из изложенного можно сделать следующие выводы.

— Увеличение производительности пропорционально числу головок лишь при вспомогательном времени $t_{в1}$, равном нулю, и абсолютной надежности применяемых технических средств, т. е. при $K_{\text{пр1}} = 0$.

— С увеличением коэффициента простоев $K_{\text{пр1}}$ каждой сварочной головки эффективность многоголовочных установок быстро уменьшается.

— С увеличением значения K_t , т. е. с уменьшением доли вспомогательного времени в общем времени операции, эффективность многоголовочных установок существенно возрастает.

— При заданных соотношении основного и вспомогательного времени и уровне надежности имеется оптимальное число головок n_0 , при котором производительность многоголовочной установки максимальная. Однако величина K_Q вблизи максимума изменяется незначительно, поэтому в реальных условиях увеличение значения n (стоимости установки) для повышения производительности установки целесообразно при $n \leq n_0$.

В приведенном расчете учитывалось только требование достижения наибольшей производительности установки. При окончательном выборе числа позиций или рабочих органов сварочных агрегатов с интеграцией операций

следует учитывать стоимость оборудования, необходимую численность обслуживающего персонала, заданный темп выпуска продукции и другие факторы, вытекающие из организационно-технических условий конкретного производства.

Повышение уровня надежности сварочного оборудования неотделимо от следующего: создания надежной технологии сварки; обеспечения высокого уровня надежности технических решений, закладываемых в разрабатываемое сварочное оборудование; оснащения оборудования средствами диагностики; обеспечения ремонтпригодности с учетом реальных условий эксплуатации; высокого качества изготовления, контроля, испытания и доводки оборудования; организации должного уровня обслуживания при эксплуатации; обеспечения эксплуатационных служб потребителей техническими средствами контроля диагностики и ремонта; централизованного изготовления запасных частей и сменных комплектов; организации отраслевых ремонтно-эксплуатационных служб, обеспечивающих обратную связь между потребителем с одной стороны и разра-

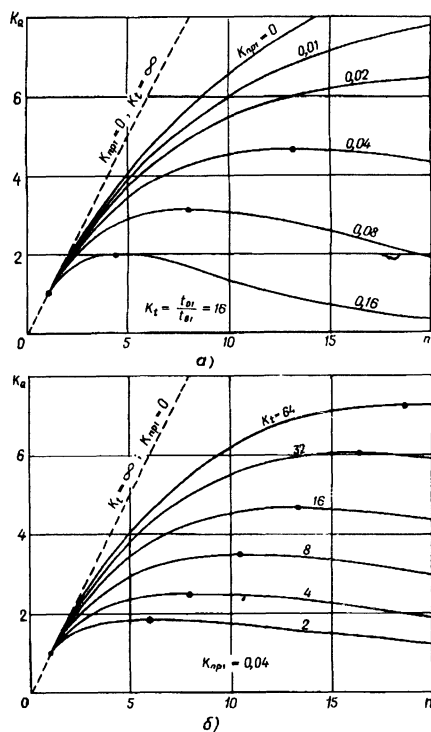


Рис. 2.7. Зависимости относительного увеличения производительности K_Q от числа головок n : а — при различных значениях коэффициента простоев $K_{\text{пр1}}$ и $K_t = 16$; б — при различных значениях K_t и $K_{\text{пр1}} = 0,04$; точки — $K_Q = \max$

ботчиком и изготовителем оборудования с другой. Перечисленные проблемы — общие для различных отраслей машиностроения, производящих средства производства.

2.9. ПОВЫШЕНИЕ ЭРГОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОБОРУДОВАНИЯ

Высокоавтоматизированное сварочное оборудование наиболее эффективно, если при его создании и эксплуатации наиболее полно удовлетворяются требования, предъявляемые к эргономическим системам человек — машина. К этим требованиям относятся: обеспечение безопасности труда; снижение производственных затрат времени и энергии рабочего при управлении сварочным оборудованием; соблюдение санитарных норм для оборудования и производственной среды; создание комфортных условий труда для снижения физической и психической нагрузки оператора; обеспечение ритмичной организации трудового процесса. При механизированной сварке должен быть обеспечен механизированный отсос пыли и вредных газов из зоны сварки, а в ряде случаев предусматривается подача свежего воздуха в зону расположения оператора.

Механизация и автоматизация транспортных и загрузочно-разгрузочных приемов, корректировочных перемещений, подачи и уборки флюса и других вспомогательных операций снижают физическую утомляемость рабочего и способствуют снижению травматизма [1].

Усложнение сварочной аппаратуры, станков и установок, появление многодуговых процессов, многопозиционных и многоголовочных установок, связанные с ростом числа приборов контроля и управления, значительно увеличивают объем информации, поступающей к оператору. Большую роль в снижении утомляемости и количества ошибок оператора играет разработка пультов управления на основе эргономических рекомендаций и норм, принятых для сложных систем управления.

Расположение приборов и органов управления на панелях пультов и приборных щитах сварочного оборудования должны отвечать требованиям эргономики и инженерной психологии. Приборы и органы управления должны располагаться по зонам в зависимости от функционального назначения, последовательности технологического процесса, частоты использования и значимости. Формы и размеры пультов, щитов, шкафов управления определяются на основании изучения физиологии труда оператора и исследований его различных рабочих поз.

При автоматизации сварочного процесса особое значение имеет автоматизация корректировки положения сварочного инструмента и параметров режима дуговой сварки с целью компенсации случайных отклонений положения и геометрических параметров соединения свариваемых элементов от расчетного положения, благодаря которой отпадает необходимость постоянно направлять внимание оператора как на зону сварки, так и на пульт управления, что

вызывает наибольшее его утомление. В случаях, когда автоматизация этих процессов затруднена, целесообразно применение систем дистанционного наблюдения и управления, в частности с помощью промышленного телевидения, как, например, это делается при дуговой сварке внутренних швов труб [12].

По архитектурным решениям и подходу к организации формы оборудования, например, для дуговой сварки можно разделить на четыре следующие группы: 1) крупногабаритные установки, применяемые при производстве труб для магистральных трубопроводов, цистерн, емкостей больших размеров и др. Подход к обеспечению необходимых эстетических свойств такого оборудования близок к тому, который принят при создании промышленных сооружений; 2) установки и станки средних размеров, тяжелые и средние сварочные аппараты. При формообразовании такого сварочного оборудования во многом можно заимствовать методы, применяемые при формообразовании металлорежущих станков; 3) сварочное оборудование для прецизионных способов сварки, микросварки, сварки в вакууме и инертной атмосфере. Формообразование ряда узлов этого оборудования производится во многом с использованием опыта приборостроения; 4) оборудование для механизированной сварки. Формообразование этого оборудования определяется принципами, принятыми при разработке механизированного инструмента.

Известно, что реальная производительность труда [14], безопасность работы и даже надежность оборудования существенно зависят от эстетических свойств оборудования: архитектуры, формы (в целом и отдельных элементов), цветовых решений, фактуры и отделки поверхностей. Соответствующая окраска оборудования, придание его элементам простых и удобных в работе и техническом обслуживании и в то же время безопасных форм, отсутствие карманов, в которых скапливается пыль и грязь, тщательная отделка поверхностей элементов оборудования создают безопасные и комфортные условия для оператора.

Следует отметить, что все изложенное приобретает особое значение при создании сложного высокомеханизированного и автоматизированного оборудования, так как эффективность его применения в значительной степени зависит от бережного отношения операторов и обслуживающего персонала к этому оборудованию.

2.10. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ СВАРОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Совершенствование эксплуатации сварочного оборудования возможно в следующих направлениях: совершенствование организации технического обслуживания оборудования; переход на многоступенчатую и многостаночную

ночную работу; применение автоматизированных систем управления производством-предприятием (АСУП); повышение технологичности сварных конструкций; повышение качества подготовки заготовок и сварочных материалов; специализация сварочного производства и реализация принципов групповой технологии.

Совершенствование организации технического обслуживания оборудования [3, 14]. Четкое распределение обязанностей по наладке, техническому обслуживанию, эксплуатации и ремонту между службами предприятия и отдельными исполнителями служит залогом полного использования возможностей сварочного оборудования.

В целях совершенствования конструкции, технологии изготовления, правил и методов эксплуатации и ремонта, повышения надежности необходимы сбор, учет, обработка и хранение информации о рекламациях, видах и повторяемости отказов. Эта информация используется изготовителями и разработчиками для проведения корректирующих воздействий на повышение качества и надежности.

Основным источником статистической информации о надежности оборудования для сварки (СО) являются опросные листы (форма 1) предприятий-изготовителей и (или) разработчиков (ГОСТ 2.601—95).

Форма 1

Опросный лист

по эксплуатации _____

наименование, тип СО _____

1. Количество СО, находящегося в эксплуатации, и дата его выпуска _____
2. Количество часов, отработанных каждой единицей СО на момент заполнения формуляра _____
3. Неисправности, обнаруженные в процессе эксплуатации, наработка на отказ и затраты на устранение неисправностей _____

Заводской номер изделия	Отказ или неисправность	Наработка на отказ, ч	Затраты на восстановление, нормо-час	Разряд ремонтника

4. Условия эксплуатации:
 - размещение оборудования (цех, навес);
 - климатические условия (температура, влажность);
 - перемещение оборудования в процессе эксплуатации (вид транспорта);
 - колебания напряжения электрической сети, %;
 - колебания давления сжатого воздуха;
 - время использования в сутки.
5. Режим эксплуатации (вопросы и ответы формируются в зависимости от типа СО).
6. Удобство обслуживания и ремонта.
7. Выполняемые профилактические работы.
8. Затраты на проведение капитального, среднего и текущего ремонтов, нормо-час.
9. Конструктивные изменения, проведенные в ходе эксплуатации СО.
10. Предложения по повышению надежности, ремонтпригодности и обслуживания СО.

Заполнил _____
подпись, дата

Сбор первичной информации о надежности сварочного оборудования осуществляется путем постоянных или периодических наблюдений за оборудованием в эксплуатации. Результаты анализа накопленной информации используются для разработки и проведения комплекса мероприятий, направленных на повышение качества и надежности сварочного оборудования. Четкая фиксация и последующий анализ обнаруженных неисправностей, мест и причин отказов и методов их устранения оказывают огромную помощь в сокращении сроков внедрения оборудования, служат основой его дальнейшего совершенствования.

Опыт разработки и внедрения сварочного оборудования показывает, что в комплекте

оборудования должны быть предусмотрены технические средства, позволяющие своевременно выявить места возможных отказов, облегчающие поиск возникших неисправностей и ускоряющие их устранение, т. е. средства диагностики и восстановления. К последним относится комплект инструментов, приспособлений и принадлежностей для выполнения работ по наладке, техническому обслуживанию и устранению неисправностей.

Целесообразно одновременно со сварочным оборудованием разрабатывать методы и специальные технические средства наладки, диагностики и восстановления этого оборудования.

При разработке оборудования должен быть обеспечен высокий уровень его ремонтно-

пригодности. Под этим понимаются: необходимая степень резервирования, возможность агрегативного ремонта и замены функциональных блоков, легкосменность быстроизнашиваемых элементов, возможность восстановления и регулировки заменяемых элементов не на рабочем месте сварщика, а в специальных приспособлениях и на стендах.

Переход на многостаную и многостаную работу. Многостаная работа может быть реализована при интеграции операций на крупных многоголовочных и многопозиционных станках и установках, а многостаночная — при дифференциации операций, а также при сварке различных изделий на нескольких станках или установках, объединенных по обслуживанию.

В зависимости от последовательности обслуживания и включения сварочных головок, например при дуговой сварке, различают: последовательное обслуживание и включение сварочных головок (рис. 2.8, а); последова-

тельное обслуживание и одновременное включение сварочных головок (рис. 2.8, б); одновременное обслуживание и включение сварочных головок (рис. 2.8, в); параллельно-последовательное обслуживание и включение сварочных головок (рис. 2.8, г); параллельно-последовательное обслуживание и одновременное включение сварочных головок (рис. 2.8, д).

Оперативное время на установке для сварки несколькими головками

$$T_0 = \frac{n}{k} \sum_{j=1}^m t_{pj} + t_{з.р} + t_a,$$

где n — число сварочных головок на установке; k — число параллельно обслуживаемых головок; m — число ручных и машинно-ручных приемов на одной головке, в том числе и передвижение рабочего к данной головке; t_{pj} — время выполнения отдельного j -го ручного или машинно-ручного приема на одной головке, в том числе и время передвижения рабочего к данной головке; $t_{з.р}$ — время загрузочно-разгрузочных работ на установке; t_a — время автоматической работы одной головки; принимаем, что швы, выполняемые всеми головками, идентичны по длине, виду соединения и условиям сварки и величина t_a одинакова для всех головок.

Для сравнения обслуживания по циклограммам это соотношение удобно представить в относительных величинах, приняв за едини-

цу измерения величину $\sum_{j=1}^m t_{pj}$ и разделив на эту величину все его члены:

$$T_0^0 = \frac{n}{k} + t_{з.р}^0 + t_a^0.$$

Работа по циклограмме, приведенной на рис. 2.8, а, возможна при независимых или частично зависимых сварочных головках и обслуживании всех головок последовательно одним рабочим или бригадой рабочих различной квалификации ($k = 1$). Работа по циклограмме, приведенной на рис. 2.8, б, применима при "связанных" сварочных головках и обслуживании всех головок последовательно одним рабочим или бригадой рабочих различной квалификации ($k = 1$).

Работа по циклограмме, приведенной на рис. 2.8, в, возможна в следующих случаях:

при очень высокой степени автоматизации установки или при отсутствии необходимости в ручных и машинно-ручных приемах, что позволяет обслуживать все головки с одного места (с общего пульта управления установкой), при

этом время $\sum_{j=1}^m t_{pj}$ обычно весьма мало;

при обслуживании каждой головки одним рабочим, т. е. при невысоком уровне автоматизации. Несмотря на то, что вид циклограмм для этих двух случаев одинаков, в последнем

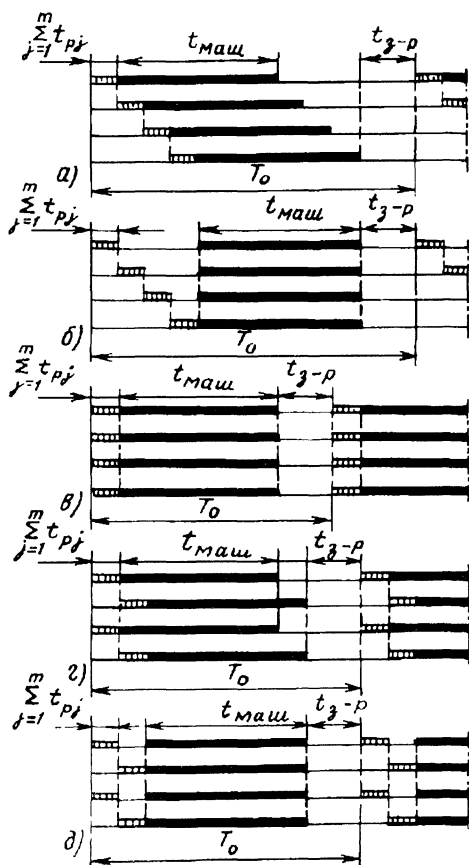


Рис. 2.8. Циклограммы обслуживания установок для сварки несколькими головками

случае величина $\sum_{j=1}^m t_{pj}$ значительно больше, и под t_{pj} понимается время каждого приема, выполняемого на головке перед началом сварки, а под t_a — время сварки под наблюдением рабочего ($k = n$).

Работа по циклограмме, приведенной на рис. 2.8, з, применима при "несвязанных" сварочных головках и обслуживании установки несколькими рабочими одинаковой квалификации (в данном случае двое рабочих, каждый из которых обслуживает две головки, т. е. $K = 2$), а работа по циклограмме, приведенной на рис. 2.8, д, при обслуживании "связанных" сварочных головок несколькими рабочими одинаковой квалификации ($k = 2$).

Эффективность сварки несколькими головками следует повышать прежде всего сокращением тех затрат времени, доля которых в величине T_0 наибольшая. Например, при дуговой сварке сравнительно коротких швов, когда время t_a относительно невелико, обычно целесообразно автоматизировать все или большинство перечисленных выше вспомогательных действий и приемов и обеспечить возможность одновременного обслуживания всех сварочных головок. При сварке швов большой длины в ряде случаев можно ограничиться частичной автоматизацией установки для сварки несколькими головками, причем в первую очередь должно быть автоматизировано направление сварочных инструментов на линию соединения, без которого практически невозможно осуществить обслуживание нескольких головок одним оператором.

Многостаночная работа (МСР) возможна только тогда, когда отдельные этапы технологических операций производятся на различных агрегатах без участия человека. В сварочном производстве МСР применяют значительно меньше, чем в металлообработке, что объясняется значительно большим вмешательством в технологический процесс сварки, чем при обработке резанием. Однако благодаря автоматическому управлению сварочными процессами (например, при дуговой сварке, по возбуждению дуги, заварке кратера и перекрытию швов, регулированию режима и направлению сварочного инструмента на линию соединения свариваемых элементов) создаются условия для значительного расширения области применения МСР в сварке и наплавке как одного из важных путей повышения эффективности сварочного производства.

Основной эффект МСР состоит в более полном использовании резервов рабочего времени оператора и, следовательно, в сокращении их численности при одновременном снижении себестоимости продукции. В некоторых случаях МСР для экономии производственной площади и уменьшения стоимости оборудования несколько рабочих мест объединяют в одну многоместную сварочную (наплавочную) установку. Чаще всего такие установ-

ки имеют два рабочих места, которые обычно обслуживаются поочередно одним сварочным автоматом.

Условия осуществления МСР без простоев оборудования следующие:

$$\sum_{i=1}^n K_{3,pi} \leq 1;$$

$$K_1 T_{01} = K_2 T_{02} = \dots = K_i T_{0i} = \dots = K_n T_{0n},$$

где $K_{3,pi} = \sum_{j=1}^{m_i} t_{pij} / T_{0i}$ — коэффициент занятости рабочего в данной операции на i -м агрегате;

при $\sum_{i=1}^n K_{3,pi} = 1$ простои рабочего отсутствуют; m_i — число отдельных ручных и машинно-ручных приемов, выполняемых на i -м агрегате, в том числе и передвижение рабочего к данному агрегату; t_{pij} — время выполнения отдельного j -го ручного или машинно-ручного приема на i -м агрегате из n агрегатов, объединенных для обслуживания одним рабочим;

$$T_{0i} = \sum_{j=1}^{m_i} t_{pij} + t_{0ai} + t_{bai} — \text{оперативное время на данном агрегате; } t_{0ai} \text{ и } t_{bai} — \text{часть соот-}$$

ветственно основного и вспомогательного времени операции на i -м агрегате, выполняемая автоматически, и не перекрываемая временем ручных и машинно-ручных приемов на этом агрегате; основное время автоматической сварки — это время непосредственного образования сварного шва путем расплавления основного и присадочного материалов; $K_1, K_2, \dots, K_i, \dots, K_n$ — целые числа.

Наибольший экономический эффект дает сочетание МСР с такими прогрессивными путями повышения производительности сварочных работ, как сварка несколькими головками, применение многопозиционных и многоместных сварочных станков и установок, интенсификация режимов сварки, механизация и автоматизация основных и вспомогательных процессов сварочного производства. Многостаночная работа, как и другие средства повышения производительности труда, должна внедряться в первую очередь там, где имеет наибольший экономический эффект и где может быть обеспечена достаточная техническая и организационная культура производства.

Применение автоматизированных систем управления производством — предприятием (АСУП). АСУП создаются на базе средств вычислительной техники и современных экономико-математических методов. В качестве объекта управления в АСУП фигурируют непрерывно изменяемые во времени и пространстве факторы; основные фонды; трудовые, финансовые и материальные ресурсы (последние — поступающие со стороны); продукция, выпускае-

мая данным предприятием; услуги; техническая документация. Сварочное оборудование, его состояние, обеспеченность заготовками, материалами, обслуживанием и результаты работы сварочного оборудования могут также контролироваться и управляться со стороны АСУП.

Возможно создание интегрированных АСУ сварочных производств, сочетающих АСУП и АСУТП, т. е. автоматизированное управление всем производством с автоматизированным или автоматическим управлением технологическими процессами. Интегрированные АСУ разрабатываются также для сварочных производств.

Требования, предъявляемые к сварочному оборудованию, функционирующему в составе АСУТП, приведены выше. В условиях применения АСУП необходимо получение информации о состоянии оборудования (работа, простой, неисправности, тип неисправностей и т. д.), количестве изготовленной продукции, обеспеченности заготовками, материалами, потребности в ремонте. Эта информация может вводиться в АСУП оператором с помощью соответствующих периферийных устройств либо передаваться непосредственно от оборудования автоматически.

Повышение технологичности сварных конструкций. При ручной сварке необходимое качество сварных соединений может быть обеспечено практически при любой форме линии шва и изделия в целом и при достаточно низких требованиях к точности подготовки изделий под сварку. Это достигается благодаря высоким манипуляционным возможностям человека, квалификации, опыту и навыкам сварщика.

При переходе от ручной сварки к механизированной и автоматической часто требуется выполнить ряд мероприятий по повышению технологичности сварного изделия для обеспечения механизации и автоматизации сварочных и сопутствующих работ при минимальной сложности применяемых технических средств. Кроме того, может оказаться необходимой дополнительная обработка сваряемых элементов для увеличения точности сборки и обеспечения возможности ее автоматизации на сварочной позиции без выверки и без прихваток. Иногда для этого требуются обработанные технологические и сборочные базы (отверстия, бобышки, уступы и др.). В частности при дуговой сварке дополнительная обработка может понадобиться для упрощения задачи автоматического направления сварочного инструмента на линию соединения, например, снятие фасок на сваряемых кромках, устранение на кромках заусенцев, а на фасках — задигов металла, нанесение режущим инструментом контрастных копирных линий или канавок, а также заточек или уступов, расположенных на одном и том же расстоянии от линии соединения. Иногда целесообразно вводить так называемую прирезку заготовок на месте сварки — механизированную об-

работку поверхностей соединения перед сваркой непосредственно на сварочной позиции.

Для обеспечения или облегчения доступа сварочного инструмента к свариваемому соединению возникает необходимость в изменении формы сваряемых элементов и порядке сборки и сварки, а для осуществления автоматического слежения — в отказе от сборочных прихваток либо в расположении их в строго определенных местах по длине соединения.

Наиболее технологичны такие сварные изделия, производство которых может быть не дискретным, а полунепрерывным или непрерывным, например, изделия из полосы (ленты) или с одновременным использованием как непрерывных, так и штучных заготовок. Отделение изделий от заготовки производится после выполнения сварочных и некоторых сопутствующих работ. К ним можно отнести электросварные спирально-шовные трубы, сварные балки и штампованные радиаторы.

Оценка степени пригодности сваряемых изделий для механизированной и автоматической сварки и автоматизации сварочных и сопутствующих операций должна предшествовать работам по механизации и автоматизации процесса. При этом должны быть намечены экономически обоснованные мероприятия по повышению технологичности изделия, которые в сочетании с выбранными технологией и техникой сварки, с одной стороны, и методами и техническими средствами механизации и автоматизации — с другой, дают наибольший экономический эффект с учетом характера и объема производства, ожидаемого периода выпуска изделия данного типа и возможных путей его совершенствования в перспективе.

Повышение качества подготовки заготовок и сварочных материалов. Заготовки перед сваркой должны быть очищены от коррозии, грязи и влаги, которые, попадая в зону сварки, могут вызвать дефекты в сварном соединении, а попадая в механизмы и устройства — привести к быстрому выходу их из строя. В свою очередь, оборудование должно быть защищено от вредного воздействия этих факторов.

При дуговой сварке важное значение имеет подготовка электродного и присадочного материалов. Подача грязного или корродированного электродного и присадочного материала приводит к дефектам сварного соединения, засорению и изнашиванию механизмов, сбоям в работе сварочного оборудования. Поэтому важно, чтобы стальная электродная проволока имела медное покрытие. Кроме того, наиболее целесообразно использовать электродную и присадочную проволоку в состоянии поставки без перемотки в заводских условиях. Перемотка, осуществляемая потребителями, не всегда выполняется достаточно качественно, в результате чего проволока наматывается без должной укладки с остаточным изгибом в различных направлениях. Поэтому при дуговой сварке свободный конец проволоки, выходящий из сварочного инструмента, занимает

произвольное положение, что существенно затрудняет автоматическое направление электродной или присадочной проволоки по линии соединения свариваемых элементов. Имеется тенденция к увеличению массы катушек с проволокой. Например, при дуговой сварке под флюсом труб большого диаметра применяют катушки с проволокой массой 1000 кг, устанавливаемые в сварочное оборудование в состоянии поставки. Это уменьшает частоту заправки новых катушек, но требует увеличения усилия подачи и соответствующих конструкций для размещения таких катушек и обеспечения удобства их загрузки и выгрузки.

На качество дуговой сварки большое влияние оказывает подготовка защитных материалов — контроль состава газов и флюса, с исключением увлажнения флюса и сохранением его необходимой грануляции.

Специализация сварочного производства и реализация принципов групповой технологии. Специализация по видам изделий, сварки, свариваемым металлам и сплавам обеспечивает увеличение загрузки сварочного оборудования, повышение качества сварки, использование прогрессивных форм организации труда. Специализация позволяет сосредоточить в одной производственной единице (в цехе, на участке) однотипное оборудование и, следовательно, обеспечить его квалифицированное обслуживание, наладку, ремонт при меньших удельных затратах. При единичном и малосерийном характере производства специализация может быть основана на групповой технологии, т. е. на изготовлении однотипных конструкций по единому технологическому процессу, так как технологическая группировка деталей придает единичному и мелкосерийному производству характер серийного. Оборудование, предназначенное для групповой технологии, должно быть легкоперенастраиваемым с быстрым изменением программы перемещений и режимов сварки. Наибольшие возмоз-

ности открываются при использовании методов и средств программного управления, особенно промышленных роботов.

2.11. ИСПЫТАНИЕ СВАРОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Классификация и организация испытаний. Проведение испытаний оборудования для сварки регламентировано стандартами (табл. 2.5). В соответствии с ГОСТ 16504—81 испытания подразделяют по уровню их проведения, назначению, соответствию этапам разработки, видам испытания продукции, условиям и месту проведения, виду или результату воздействия, характеристикам испытываемого оборудования для сварки, а также по относительной их продолжительности.

Уровень определяют заводские, межведомственные и государственные испытания, последние из которых (самого высокого уровня) направлены на получение наиболее объективной информации о фактических показателях качества оборудования и соответствии его нормативно-технической документации с целью принятия решений о постановке новых изделий на производство, об окончании освоения или продолжении серийного производства, об аттестации и целесообразности экспорта или импорта СО. Государственные испытания проводятся только специально аттестованными организациями и предприятиями и являются в основном приемочными, квалификационными, инспекционными и аттестационными.

Для выхода на мировой рынок требуется проведение испытаний в соответствии с международными стандартами ИСО серии 9000 "Управление качеством продукции" и соответствующими ГОСТ 40.9001—88—40.9003—88.

По назначению различают исследовательские, контрольные, определительные и сравнительные испытания. В соответствии с этапами разработки оборудования для сварки проводят доводочные, предварительные или приемочные испытания. Они могут быть натурными либо, чаще всего, с использованием фи-

2.5. Организация испытаний. Стандарты

ГОСТ	Наименование
3.1507—84	ЕСТД. Правила оформления документов на испытания
20.57.406—81	Комплексная система контроля качества. Изделия электронной техники, квантовой электроники и электротехнические. Методы испытаний
27.202—83	Надежность в технике. Технологические системы. Методы оценки надежности по параметрам качества изготавливаемой продукции
27.203—83	Надежность в технике. Технологические системы. Общие требования к методам оценки надежности
27.204—83	Надежность в технике. Технологические системы. Технические требования к методам оценки надежности по параметрам производительности
27.410—87	Надежность в технике. Методы контроля показателей надежности и планы контрольных испытаний на надежность
16504—81	Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения

зических моделей, обычно в виде эквивалентов нагрузочных, питающих и управляющих устройств. При этом широко применяется раздельное испытание оснастки, инструмента, источника питания и тары.

По виду испытания могут быть квалификационными (для первой партии), приемосдаточными (в процессе выпуска), периодическими, типовыми (при изменениях конструкторской документации), предъявительскими, инспекционными и аттестационными. Первые четыре вида в основном являются заводскими и проводятся на стендах в соответствии с требованиями ТУ на изделие, остальные осуществляются специально уполномоченными организациями.

В зависимости от места проведения испытания бывают лабораторными, стендовыми, полигонными или эксплуатационными. По виду и результатам воздействия испытания подразделяют на электрические, пневматические, гидравлические, тепловые, акустические, магнитные и электромагнитные, комбинированные (из этих видов). Кроме того, наиболее нагруженные узлы испытывают на прочность и устойчивость к механическим, климатическим, термическим, электрическим и собственным технологическим воздействиям. Такие испытания проводят поочередно либо по ряду видов испытаний одновременно.

Существенное значение имеют требования к соблюдению норм засорения окружающей среды при сварочных процессах электромагнитным, акустическим и постоянным магнитным излучением, агрессивными химическими выбросами в воздух и канализацию. К определяемым в испытаниях характеристикам оборудования для сварки относятся граничные технологические параметры, безопасность, транспортабельность и надежность. Продолжительность испытаний может быть нормальной, сокращенной или, за счет форсирования режима, ускоренной.

Испытания на СО проводятся по аттестованным в установленном порядке методикам, которые должны включать: общие положения; метод испытаний; нормы точности и достоверности результатов; порядок отбора образцов и проб; режимы и условия проведения; перечень аттестованных средств, вспомогательных устройств и материалов; требования к безопасности; перечень действий по подготовке к проведению испытаний, их выполнению; обработку, оформление и оценку полученных результатов.

Технические методы испытаний. Методы испытаний в значительной степени унифицированы (табл. 2.6) на уровне как всего оборудования для сварки и отдельных установок, так и отдельных комплектов узлов (горелок, плазмотронов, силовых трансформаторов и цепей управления, реакторов, переключателей, контактов и др.). Такие испытания, как климатические на влагустойчивость, холодоустойчивость и теплоустойчивость, устойчивость при транспортировании, для всего обо-

рудования проводят по единым методикам (ГОСТ 16962.1—89 Е, ГОСТ 16962.2—90 Е).

Для их осуществления обычно требуются специализированные камеры, вибро- или ударные стенды; лишь транспортабельность в ряде случаев оценивают перевозкой на автомобилях по дорогам с нормированным покрытием. Жесткость испытаний определяется в основном нормами условий эксплуатации и транспортирования испытуемого оборудования. Единообразно у всего оборудования для сварки обычно определяют уровни акустических шумов, степень защиты оборудования (ГОСТ 14254—96) и уровень радиопомех (ГОСТ 16842—82).

При проведении электрических стендовых испытаний источников питания измерения производят измерительными приборами класса не ниже 0,5 при государственных испытаниях и не ниже 1,5 при приемосдаточных. Во всех случаях снимаются внешние статические характеристики или их характерные точки, в частности, значения напряжения холостого хода и силы тока при нормированном рабочем напряжении. Изоляцию силовых развязывающих трансформаторов испытывают на сопротивление и электрическую прочность между обмотками, а также между каждой обмоткой и корпусом. Прочность проверяют повышенным переменным напряжением 2 ... 4 кВ, а межвитковую прочность — двойным (к номинальному напряжению) при повышенной частоте 100 ... 400 Гц. Источники питания, режим работы которых предполагает или допускает короткие замыкания нагрузок, испытывают на прочность единичными кратковременными, имитирующими замыкания, нагрузками с нормированным сопротивлением (обычно 10 МОм).

В номинальном или наиболее напряженном режиме определяется температура отдельных элементов, в том числе силовых трансформаторов, реакторов, полупроводниковых ключей, а также обшивки.

Гидравлические и пневматические испытания оборудования для сварки более индивидуальны и сводятся в основном к несложным методам определения герметичности и необходимых норм давления и расхода газа или воды.

Методы испытаний функционирования оборудования для сварки более разнообразны и стандартизованы в основном общими техническими условиями. Они учитывают специфические особенности производства и эксплуатации оборудования: эксплуатацию в условиях значительной задымленности оксидами металлов и углеродсодержащими веществами заготовительных и сварочных цехов и участков, в различных климатических условиях; профессиональную подготовку обслуживающего персонала; малый ресурс работы оборудования, практически составляющий 4—12 лет; практику использования в оборудовании наиболее простых комплектов изделий, в том числе электро- и магнитопроводов, масса активных элементов которых обычно минимизирована, в результате чего электро- и тепло-

2.6. Технические методы испытаний. Стандарты

ГОСТ	Наименование
12.1.003–83	ССБТ. Шум. Общие требования безопасности
12.1.019–79	ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты
12.1.023–80	Шум. Методы установления значений шумовых характеристик стационарных машин
12.1.028–80	ССБТ. Шум. Определение шумовых характеристик источников шума. Ориентировочный метод
12.1.035–81	ССБТ. Оборудование для дуговой и контактной электросварки. Допустимые уровни шума и методы измерений
12.1.050–86	ССБТ. Методы измерения шума на рабочих местах
12.2.007.8–75	ССБТ. Устройства электросварочные и для плазменной обработки. Требования безопасности
12.2.013.0–91	ССБТ. Машины ручные электрические. Общие требования по безопасности и методы испытаний
12.3.019–80	ССБТ. Испытания и измерения электрические. Общие требования безопасности
95–77 Е	Трансформаторы однофазные однопостовые для ручной дуговой сварки. Общие технические условия
183–74	Машины электрические вращающиеся. Общие технические условия
297–80 Е	Машины контактные. Общие технические условия
304–82 Е	Генераторы сварочные. Общие технические условия
403–73	Аппараты электрические на напряжение до 1000 В. Допустимые температуры нагрева частей аппаратов
1077–79 Е	Горелки однопламенные универсальные для ацетиленокислородной сварки, пайки и подогрева. Типы, основные параметры и размеры и общие технические требования
2933–93	Аппараты электрические низковольтные. Методы испытаний
3484.1–88	Трансформаторы силовые. Методы электромагнитных испытаний
3484.2–88	Трансформаторы силовые. Испытания на нагрев
7012–77 Е	Трансформаторы однофазные однопостовые для автоматической дуговой сварки под флюсом. Общие технические условия
7237–82 Е	Преобразователи сварочные. Общие технические условия
8008–75	Трансформаторы силовые. Методы испытаний устройств переключения ответвлений обмоток
8213–75 Е	Автоматы для дуговой сварки плавящимся электродом. Общие технические условия
10434–82	Соединения контактные электрические. Классификация. Общие технические требования
13661–92	Совместимость технических средств электромагнитная. Пассивные помехоподавляющие фильтры и элементы. Методы измерения вносимого затухания

Продолжение табл. 2.6

ГОСТ	Наименование
13861–89 Е	Редукторы для газопламенной обработки. Общие технические условия
14651–78 Е	Электрододержатели для ручной дуговой сварки. Технические условия
15150–69	Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды
15151–69	Машины, приборы и другие технические изделия для районов с тропическим климатом. Общие технические условия
15543–70	Изделия электротехнические. Исполнения для различных климатических районов. Общие технические требования в части воздействия климатических факторов внешней среды
15963–79	Изделия электротехнические для районов с тропическим климатом. Общие технические требования и методы испытаний
16842–82	Радиопомехи промышленные. Методы испытаний источников промышленных радиопомех
17412–72	Изделия электротехнические для районов с холодным климатом. Технические требования, приемка и методы испытаний
17441–84	Соединения контактные электрические. Приемка и методы испытаний
18130–79 Е	Полуавтоматы для дуговой сварки плавящимся электродом. Общие технические условия
18142.1–85 Е	Выпрямители полупроводниковые мощностью свыше 5 кВт. Общие технические условия
21204–83	Горелки газовые промышленные. Классификация. Общие технические требования, маркировка и хранение
21694–94	Оборудование сварочное механическое. Общие технические условия
22756–77	Трансформаторы (силовые и напряжения) и реакторы. Методы испытаний электрической прочности изоляции
22765–89	Трансформаторы питания, низкой частоты, импульсные и дроссели фильтров выпрямителей. Методы измерения электрических параметров
22917–78	Соединители кабеля для дуговой сварки. Технические условия
23216–78	Изделия электротехнические. Общие требования к хранению, транспортированию, временной противокоррозионной защите и упаковке
24376–91 Е	Инверторы полупроводниковые. Общие технические условия
24682–81	Изделия электротехнические. Общие технические требования в части воздействия специальных сред
24753–81	Выводы контактные электротехнических устройств. Общие технические требования
25516–82	Выключатели для электроприборов. Общие требования безопасности и методы испытания
25616–83	Источники питания для дуговой сварки. Методы испытания сварочных свойств
26054–85	Роботы промышленные для контактной сварки. Общие технические требования
26056–84	Роботы промышленные для дуговой сварки. Общие технические требования
26567–85	Преобразователи электроэнергии полупроводниковые. Методы испытаний
27883–88	Средства измерения и управления технологическими процессами. Надежность. Общие требования и методы испытаний

изоляция во многих установках и силовых узлах работает в близких к предельным тепловых режимах при значительных реактивных токах на режиме холостого хода (в отдельных трансформаторах их сила достигает 20% номинальной рабочей).

Наиболее дорогостоящими, в связи с невозможностью энергетического масштабирования (как, например, при испытаниях на электрическую прочность), требующими значительных энергетических, временных и производственных затрат, являются испытания на надежность. Повышение их эффективности — групповое испытание установок с поочередным включением и соответствующим тепловым и электродинамическим форсированием. Силовые многоканальные коммутаторы позволяют с помощью единичных полупроводниковых переключателей и ряда электромеханических разъединителей, коммутируемых в обесточенном состоянии, осуществлять многоканальную последовательную коммутацию со стороны как сети, так и нагрузки с обеспечением сравнительно малой динамической нагрузки сети.

Форсирование испытаний оборудования для сварки на надежность возможно по мощности, нагрузке, частоте следования импульсов нагрузок, ужесточением условий внешней среды. Следует отметить целесообразность перехода от разрушающих методов испытаний установок к более экономичным неразрушающим.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аксенов Н. Д. // Влияние механизации и автоматизации производства на условия труда // Сварочное производство. 1973. № 8. С. 36—37.
2. Глазов В. В., Лякишев Л. Ф. Переналаживаемая установка для односторонней дуговой сварки под флюсом продольного шва станин электродвигателей // Электротехника. 1987. № 3. С. 60.
3. Госэнергонадзор. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей и правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. М.: Атомиздат, 1975. 128 с.
4. Интеграция технологических процессов в сварочном производстве / В. А. Вейс, В. Г. Крутиховский, В. М. Пушкарёв, Б. Т. Фроменко // Автомат. сварка. 1989. № 8. С. 58—64.
5. Каталог банка данных программных средств АСУ. Калинин: НПО Центропрограмм-систем, 1988. 148 с.
6. Матвеева И. В. Обеспечить широкое развитие современных методов проектирования // Стандарты и качество. 1989. № 8. С. 5—11.
7. Опыт применения универсального промышленного робота РМ-01 для сварки / В. А. Тимченко, С. В. Дубовецкий, В. В. Левицкий и др. // Автомат. сварка. 1989. № 6. С. 48—54.
8. Патон Б. Е., Спыню Г. А., Тимченко В. А. Создание промышленных роботов агрегатного типа для сварки // Автомат. сварка. 1978. № 1. С. 1—6.
9. Сварка в машиностроении: Справочник. Т. 4. М.: Машиностроение, 1979. 511 с.
10. Теоретические основы САПР / Под ред. В. П. Крячко. М.: Энергоатомиздат, 1987. 248 с.
11. Чертко А. И. Основы рационального проектирования оборудования для автоматической и механизированной электрической сварки и наплавки. Киев: Наукова думка, 1988. 240 с.
12. Чертко А. И., Патон Б. Е., Тимченко В. А. Оборудование для механизированной дуговой сварки и наплавки. М.: Машиностроение, 1981. 264 с.
13. Чертко А. И., Тимченко В. А. Совмещение операций при производстве сварных конструкций // Автомат. сварка. 1976. № 10. С. 40—44.
14. Чертко А. И., Тимченко В. А. Унифицированное оборудование для автоматической и механизированной дуговой сварки и наплавки. Киев: Наукова думка, 1987. 192 с.
15. Timčenko V. A. Flexible Automatisierung in der Schweißfertigung // Schweißtechnik, Berlin. 1989. Bd. 39. N 12. S. 14—20.

РАЗДЕЛ 2

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ДУГОВОЙ И ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ СВАРКИ И НАПЛАВКИ

Глава 1

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ДУГОВОЙ СВАРКИ И НАПЛАВКИ

1.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Самым распространенным способом сварки и наплавки является дуговая сварка и наплавка [2, 12, 19, 22, 27]. Сварка (наплавка) может выполняться без внешней защиты дуги, под флюсом и в среде защитных газов.

Сварка (наплавка) без внешней защиты дуги и в среде защитных газов может быть ручной, механизированной и автоматической, а сварка под флюсом — механизированной и автоматической. Различаются эти способы лишь степенью механизации отдельных операций.

При ручной сварке (наплавке) подача электрода в зону дуги и передвижение его вдоль свариваемого соединения производятся вручную. В качестве основного оборудования для ручной дуговой сварки применяют рабочие места, инструмент и защитные приспособления. При механизированной сварке (наплавке) механизирована только подача электрода, а перемещение его вдоль линии сварочного соединения и некоторые другие операции выполняются вручную. Наиболее распространенным способом механизированной сварки является сварка тонкой электродной проволокой диаметром 2 мм и менее, которая подается в зону сварки по гибкому шлангу. В качестве основного оборудования при механизированной дуговой сварке (наплавке) применяют шланговые полуавтоматы с различными горелками (держателями), а также специальные типы полуавтоматов, в которых используются дополнительные устройства, например ручные механизмы передвижения дуги, прижимные механизмы в случае сварки электродзаклепками и т. п. Полуавтоматы для дуговой сварки применяются как плавящимся, так и неплавящимся электродом.

При автоматической дуговой сварке (наплавке) такие процессы, как возбуждение дуги в начале сварки, поддержание дугового процесса, подача сварочных материалов в зону плавления и перемещение дуги вдоль линии сварного соединения путем перемещения сварочного инструмента или изделия, защита дуги и сварочной ванны от воздействия воздуха (по необходимости), колебательные движе-

ния электрода (по необходимости), прекращение процесса сварки, заварка кратера в конце шва, и другие выполняются механизмами без непосредственного участия человека по заданной программе. Сварочный аппарат, выполняющий эти функции, является сварочным автоматом [7, 26]. Основным оборудованием для автоматической дуговой сварки (наплавки) являются: сварочные автоматы, станки и установки. Автоматы для дуговой сварки имеют плавящиеся и неплавящиеся электроды как со свободным формированием шва, так и с принудительным.

Эффективность (повышение качества и производительности) технологических процессов сварки в большой мере зависит от технического уровня существующего и вновь создаваемого сварочного (наплавочного) оборудования: сварочных аппаратов, установок и станков (станов).

Определение "аппарат для дуговой сварки и наплавки" объединяет понятия "автомата" и "полуавтомата". Основной частью автомата для дуговой сварки является сварочная головка — устройство, осуществляющее подачу сварочной проволоки и поддержание заданного режима сварки. Подвесная сварочная головка (автомат) закреплена неподвижно, а самоходная перемещается механизмом по направляющим вдоль изделия. Трактор для дуговой сварки — это переносной сварочный автомат с самоходной тележкой, которая перемещает его вдоль свариваемого шва по поверхности изделия или переносному пути.

В состав сварочной установки, станка (стана) входят: сварочный аппарат, источник питания, аппаратура управления и регулирования процесса сварки, механизмы (устройства) для крепления и передвижения в заданном направлении сварочных аппаратов, для установки, крепления, перемещения и изменения ориентации свариваемого изделия, а также вспомогательное оборудование (флюсовые аппараты, скользящие токоподводы и др.). Четкое разграничение в определениях сварочной установки и сварочного станка отсутствует. Станком называют комплекс перечисленного оборудования, основные части которого объединены станиной. Станами обычно называют установки для сварки крупных изделий в массовом производстве (трубосварочные и карто-сварочные станы).

Механизация и автоматизация отдельных операций технологического процесса может быть частичной или полной. Механизированное производство — способ выполнения технологического процесса (операции) с помощью машин и механизмов, получающих энергию от специального источника. Управление машинами и механизмами, часть вспомогательных операций выполняются вручную. Комплексно-механизированное производство — способ выполнения технологического процесса по всему циклу машинами, механизмами, другим оборудованием. Основные и вспомогательные операции взаимосвязаны и обеспечивают заданный темп, производительность и осуществление в срок всего процесса. Управление частично выполняется вручную. Автоматизированное производство — способ выполнения технологического процесса, при котором основные и вспомогательные процессы, процессы управления и регулирования осуществляются машинами, механизмами автоматически, без участия человека, который только выполняет наладку и наблюдает за ходом процесса.

Комплексно-автоматизированное производство — способ выполнения производственного процесса, при котором все основные и вспомогательные операции, в том числе управление и регулирование осуществляются машинами, механизмами так, что заданная производительность и качество продукции достигаются без участия человека. Человек лишь наблюдает за работой специальных устройств или систем управления. Автоматическая (механизированная) поточная линия — ряд машин (автоматов, полуавтоматов), расположенных по технологическому циклу и соединенных транспортными устройствами. Следует отметить, что термины "автоматическая сварка" и соответственно "сварочный автомат" несколько условны и не отражают того, что сварочный автомат работает без участия человека, как это понимается в машиностроении. В то же время определение "сварочные станки-автоматы" соответствует принятому в машиностроении понятию "станок-автомат", которое обозначает агрегат, работающий по автоматическому циклу.

Прогресс, достигнутый в области производства силовой производственной техники, микроэлектроники, новых электротехнических материалов, позволил разработать широкую номенклатуру современного электросварочного оборудования, отличающегося расширенными технологическими возможностями, повышенной надежностью и меньшими массой и размерами. Рост производительности и качества при сварочных работах достигается за счет применения сборочно-сварочных линий, оснащенных автоматами, сварочными роботами, инверторными источниками сварочного тока.

Тип оборудования, при выбранном способе сварки, определяют по силе сварочного тока, которую рассчитывают в зависимости от

заданной производительности сварки или наплавки и площади сечения шва. Имеются ряд полуавтоматов на силу тока 160...630 А, ряд автоматов на 500...1600 А, источники сварочного тока силой 100...2000 А. При определении типа оборудования и правильной его эксплуатации (кроме производительности, качества сварных соединений, металлургических особенностей, необходимости термообработки) следует учитывать ряд критериев, связанных с технологическими и эксплуатационными характеристиками оборудования. К ним относятся следующие условия:

связанные с конструкцией свариваемого изделия (протяженностью и пространственным расположением швов, удобством подхода к шву и доступностью соединения для автомата), числом изделий в партии, а следовательно, периодичностью переналадки оборудования, точностью подготовки соединения под сварку, подачей изделия к месту сварки, необходимостью отвода оборудования после сварки, кантовкой или перемещением изделия;

производственные — цеховые или монтажные условия, необходимость энергоснабжения, газо- и водоснабжения, возможность отвода аэрозолей от места сварки, требования по очистке от брызг как изделия, так и частей оборудования, уборка флюса, предотвращение ослепления окружающего персонала;

организационные — необходимость обучения сварщиков и наладчиков при переходе на новую технику, создание фонда сменных и запасных частей оборудования, снабжение сварочными материалами и подготовка их для правильной эксплуатации оборудования и др.

В индивидуальном и мелкосерийном производстве предпочтение следует отдавать универсальному оборудованию, а также построенному на модульном принципе. В крупносерийном и массовом производстве применяют специальное сварочное оборудование, входящее в состав поточно-механизированных линий.

1.2. КЛАССИФИКАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ

Основным оборудованием для дуговой сварки и наплавки являются источники сварочного тока для ручной сварки штучными электродами, полуавтоматы, автоматы, станки и установки для сварки плавящимся электродом без внешней защиты дуги, под флюсом и в защитных газах, оборудование для импульсно-дуговой сварки плавящимся электродом в инертных газах, установки для ручной и автоматической сварки вольфрамовым электродом, специальное оборудование для сварки конкретных изделий. Универсальное оборудование имеет различные степени сложности и эксплуатационные возможности: от простых полуавтоматов и источников со ступенчатым регулированием режимов до сложных с микропроцессорным управлением.

Классификация оборудования должна проводиться с учетом многих признаков: назначения — тип изделия и вид сварочного соедине-

ния; степени механизации сварочного процесса — ручная, механизированная и автоматическая сварка; способа защиты дуги — открытая дуга, газовая защита, слой флюса; степени специализации — универсальное, специализированное и специальное оборудование; количества электродов — для одно- и многоэлектродной сварки; способа осуществления сварочного движения — движение изделия или подвесного сварочного аппарата; способа формирования металла — свободное и принудительное; типа электродов — плавящийся и неплавящийся, проволока, пластина, лента; количества одновременно работающих сварочных головок — или других рабочих органов; количества позиций, через которые изделие проходит последовательно в процессе сварки — одно- и многопозиционные и др.

Такое большое число признаков и отсутствие связи между ними определяют сложность построения классификационной системы оборудования для сварки. Выбор наиболее характерных признаков, которые сделали бы систему универсальной и по возможности пригодной для различных видов сварочного оборудования, может служить основой при разработке типажа и индексации оборудования, а также способствовать унификации узлов и деталей. При этом конечной целью использования системы является выбор и оценка технических характеристик различного сварочного оборудования, а также обеспечение развития работ по новым направлениям.

С учетом изложенного все признаки могут быть разделены на три основные группы [24, 25].

1. Целевые признаки: вид сварного соединения (стыковые, угловые, нахлесточные, тавровые); форма линии шва (прямолинейная, круговая, сложная); свариваемый материал (сталь, медь, алюминий и пр.); тип изделия (сосуды, балки, листовые конструкции и т. д.).

2. Технологические признаки: характер процесса сварки (непрерывный, импульсный, с колебаниями электрода); тип электрода (плавящийся, неплавящийся) и присадочного материала (проволока, прутки, металлическая крошка и др.); количество электродов и их взаимосвязь; состояние сварочной ванны (свободное или принудительное формирование шва); способ защиты дуги и давление среды, в которой протекает процесс (сварка в защитных газах, под флюсом, без внешней защиты при нормальном или повышенном давлении, а также в вакууме); прочие факторы (например, действие гравитации, невесомость и др.).

3. Эксплуатационные признаки: степень механизации и автоматизации основных и вспомогательных операций.

Кроме того, все оборудование в зависимости от назначения может быть универсальным, специализированным и специальным. Характеристика сварочного оборудования будет полной при условии, если учитываются все перечисленные признаки.

1.3. ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ ДЛЯ ДУГОВОЙ СВАРКИ, НАПЛАВКИ И ТЕРМИЧЕСКОЙ РЕЗКИ МЕТАЛЛОВ

Электрический дуговой разряд, широко используемый для плавления и сварки металлов, обеспечивает электрический источник питания. К источнику питания предъявляются требования, связанные с особенностями дуги как нагрузки источника и ее функциями как средства осуществления тех или иных видов дуговой сварки.

Источники питания должны обеспечивать надежные начальное и повторные зажигания дуги, ее горение и стабильный процесс сварки, хорошее формирование сварного шва. Они должны способствовать благоприятному переносу электродного металла, наименьшим потерям его вследствие разбрызгивания и угара. Настройка источника на заданный режим работы должна производиться легко и просто.

Способность источника питания удовлетворять этим требованиям характеризует его технологические (сварочные) свойства, являющиеся основным показателем его качества. Методы испытания сварочных свойств источников питания для наиболее широко применяемых видов сварки стандартизованы (ГОСТ 25616—83).

В зависимости от вида сварки, свариваемых металлов, требований к качеству сварного шва и свойствам сварного соединения, условий выполнения сварочных работ, конструкции изделия и условий его эксплуатации и ремонта применяют самые различные источники питания. Их можно классифицировать по следующим признакам:

по роду тока — переменного и постоянного тока. К источникам переменного тока относятся сварочные трансформаторы, а постоянного тока — сварочные преобразователи, агрегаты и выпрямители;

по виду сварки — для ручной дуговой сварки, механизированной сварки под флюсом и в защитных газах, сварки неплавящимся электродом в инертных газах и др.;

по виду внешних статических характеристик (рис. 1.1) — с крутопадающими внешними характеристиками (ПВХ), с пологопадающими (жесткими) внешними характеристиками (ЖВХ);

по методу управления — управляемые механически, электромагнитными методами, с помощью электронных схем;

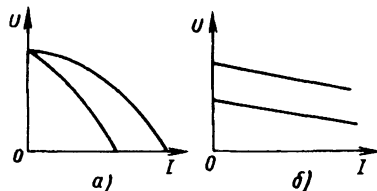


Рис. 1.1. Внешние статические характеристики источников питания:
а — ПВХ; б — ЖВХ

по числу обслуживаемых сварочных постов — однопостовые и многопостовые.

Внешней статической характеристикой является зависимость между установившимися значениями напряжения U на зажимах источника питания и силой тока I в сварочной цепи. Вид статических внешних характеристик источника питания связан с формой статических вольт-амперных характеристик дуги в области рабочих режимов, а при механизированной сварке — и со способом автоматического регулирования подачи электродной проволоки.

При ручной сварке штучными электродами, неплавящимся электродом в инертных газах (аргонодуговая сварка), а также под флюсом в случае регулирования скорости подачи электродной проволоки в зависимости от напряжения дуги используют источники питания с ПВХ, а при сварке под флюсом с постоянной, не зависящей от напряжения дуги, скоростью подачи электродной проволоки, при механизированной сварке в углекислом газе — источники питания с ЖВХ. При ПВХ источник питания является регулятором тока, а при ЖВХ — регулятором напряжения, обеспечивая установку и поддержание напряжения дуги и саморегулирование ее длины; сила сварочного тока задается скоростью подачи электродной проволоки посредством подающего устройства.

Выбирая источник питания, следует руководствоваться не только его назначением, но и основными параметрами, главными из которых являются: номинальная сила сварочного тока при заданном режиме работы (ПН, ПВ); номинальное напряжение; пределы регулирования силы тока и рабочего напряжения; напряжение холостого хода U_0 (вторичное напряжение при разомкнутой сварочной цепи). В технической документации на источник питания указываются также напряжение питающей сети, мощность, масса, габаритные размеры.

Источники питания рассчитываются по нагреву на определенный режим работы. Для дуговой сварки различают три режима работы источников питания: продолжительный, перемежающийся, повторно-кратковременный. На продолжительный режим, когда источник работает непрерывно под нагрузкой, рассчитаны многопостовые источники питания и, в ряде случаев, однопостовые при механизированной сварке. В перемежающемся режиме, характерном для ручной дуговой сварки, работа под нагрузкой в течение времени t_p чередуется с холостым ходом в течение времени t_x . Режим характеризуется относительной продолжительностью нагрузки $PН = t_p / (t_p + t_x) 100\%$.

В повторно-кратковременном режиме работа под нагрузкой чередуется с периодическими отключениями источника от сети на время t_0 . В этом случае продолжительность включения ПВ $= (t_p / t_p + t_0) 100\%$. Режим работы с ПВ характерен для источников питания

механизированной сварки. Длительность цикла работы и паузы для источников ручной дуговой сварки принята 5 мин, а механизированной — 10 мин. Если величина ПН (ПВ) отличается от номинальной ПН_н (ПВ_н), приведенной в технической документации источника питания для номинальной силы тока I_n , то допустимая сила сварочного тока, соответствующая другому значению ПН (ПВ), находится по формуле:

$$I = I_n \sqrt{ПН_n / ПН}$$

В зависимости от условий эксплуатации источники питания имеют различное климатическое исполнение (У, УХЛ, Т, О) и категорию размещения (2, 3, 4) в соответствии с ГОСТ 15150—69. Степень защиты источников для ручной дуговой сварки — не ниже IP22, для механизированной — IP21 (ГОСТ 14254—96).

Сварочные трансформаторы. Сварочные трансформаторы являются широко распространенными однопостовыми источниками питания переменного тока для ручной дуговой сварки штучными электродами, автоматической сварки под флюсом, а также для аргонодуговой сварки неплавящимся электродом (в виде установок).

Трансформаторы для ручной дуговой сварки — самый многочисленный вид источников питания, выпускаются в переносном исполнении для ремонтных работ с малым значением ПН и передвижные с ПН-60%. Основные параметры трансформаторов регламентированы ГОСТ 95—77 Е. Рабочее напряжение и сила тока связаны соотношением: $U = 20 + 0,04 I$.

Трансформаторы серий ТД и ТДМ выполнены с механическим регулированием силы сварочного тока, надежны и просты в эксплуатации (табл. 1.1). Падающая внешняя характеристика и два диапазона регулирования силы сварочного тока обеспечиваются изменением расстояния между обмотками трансформатора. Трансформаторы типов ТДМ-317-1, ТДМ-401-1 и ТДМ-503-1, предназначенные для работы в особо опасных условиях, снабжены ограничителями напряжения холостого хода.

Трансформаторы типа "Разряд" имеют механическое регулирование силы сварочного тока путем переключения витков первичной обмотки (ступенчатое регулирование) и навивки вокруг магнитопровода сварочного кабеля (плавное регулирование в пределах ступени). Особенностью этих трансформаторов является применение импульсных стабилизаторов горения дуги (ИСГД), существенно повышающих стабильность горения дуги, не только встроенных в трансформаторы "Разряд", но и подключаемых к обычным серийным трансформаторам. В последнем случае ИСГД изготовлены в автономном исполнении. Технические данные ИСГД приведены в табл. 1.2. Применение ИСГД позволяет осуществлять ручную дуговую сварку черных сталей покрытыми электродами, в том числе с основным покрытием и специальными высокопроизво-

1.1. Технические данные трансформаторов серий ТД и ТДМ

Параметры	ТД-102У2	ТД-306У2	ТДМ-317У2	ТДМ-401У2	ТДМ-503У2
Номинальная сила сварочного тока, А	160	250	315	400	500
Номинальное рабочее напряжение, В	26	30	32,6	36	40
Номинальный режим работы ПН, %	20	25	60	60	60
Пределы регулирования силы сварочного тока, А	60... 175	100... 300	60... 360	80... 460	90... 560
Напряжение холостого хода, В, не более	80	80	80	80	80
КПД, %, не менее	88	85	86	86	88
Масса, кг	38	67	130	145	170

1.2. Технические данные ИСГД

Параметры	Автономный	Встраиваемый
Напряжение питания, В	380	45
Частота тока в сети, Гц	50, 60	50, 60
Напряжение стабилизирующего импульса, В, не более	250	250
Потребляемая мощность, Вт, не более	250	250
Продолжительность автоматического отключения при холостом ходе сварочного трансформатора, с, не более	2	2
Габаритные размеры, мм, не более	290×200×140	290×220×50
Масса, кг, не более	6,5	1,5

дительными электродами, коррозионно-стойких сталей, чугуна, а также алюминия и его сплавов (неплавящимся электродом в среде аргона) в тех случаях, когда допускается начальное зажигание дуги контактным способом.

Технические данные трансформаторов типов "Разряд" и УДС-25142 приведены в табл. 1.3. В последнем, кроме стабилизации горения дуги, предусмотрены плавная в одном диапазоне, местная и дистанционная регулировка силы тока, "горячий" старт при сварке плавящимся и "холодный" при сварке неплавящимся электродами, модуляция сварочного тока — все это осуществляется благодаря применению электронной схемы управления.

Трансформаторы серии ТДЭ имеют плавную в одном диапазоне, местную и дистанционную регулировку силы тока благодаря применению электронной схемы управления. Они рассчитаны на сварку электродами рутилового или рутилкарбонатного типа. Технические данные этих трансформаторов приведены в табл. 1.4.

Трансформаторы для автоматической сварки под флюсом выпускаются с тиристорным регулированием и обеспечивают стабилизацию режима при колебаниях сети. Тиристорный фазорегулятор включен с первичной стороны

силового трансформатора и состоит из двух встречно-параллельно соединенных тириستоров и системы управления фазой их включения. В трансформаторах серии ТДФЖ сварочный ток имеет прерывистый характер. Устойчивость процесса сварки обеспечивается подачей стабилизирующих импульсов. Регулирование плавно-ступенчатое. Внешние характеристики в зоне рабочих режимов падающие. Номинальные параметры регламентированы ГОСТ 7012—77 Е (табл. 1.5).

Однопостовые сварочные выпрямители. Это источники питания постоянного тока.

Сварочные выпрямители для ручной дуговой сварки выполнены с механическим регулированием силы сварочного тока. Падающая внешняя характеристика и регулирование силы сварочного тока обеспечивается трехфазным трансформатором и подвижными катушками. Выпрямительный блок собран на кремниевых диодах. Выпрямители передвижные, имеют два диапазона регулирования. Параметры регламентированы ГОСТ 13821—77Е (табл. 1.6).

Выпрямители для механизированной сварки в углекислом газе имеют жесткие внешние характеристики и выпускаются с двумя способами регулирования выходного напряжения: ступенчатым (ВС-300Б, ВС-600М) изменением

1.3. Технические данные трансформаторов типов “Разряд” и УДС-251У2

Параметры	И120У3 “Разряд”		ТДК-315У2 “Разряд-315”	УДС-251У2
	160	250		
Напряжение питания, В	220	380	380	380
Напряжение холостого хода, В	60	60	45	45
Номинальная сила сварочного тока при ПН-20 %, А	160	250	315	250
Сила первичного тока при номинальной силе сварочного тока, А	43	43	43	35
Пределы регулирования силы сварочного тока, А	60... 160	90... 250	100... 340	50... 275
КПД, %	69	69	75	75
Коэффициент мощности (cos φ)	0,55	0,55	0,7	0,7
Габаритные размеры, мм	350×310×480	350×310×480	420×350×480	350×350×480
Масса, кг	42	50	55	45

1.4. Технические данные трансформаторов серии ТДЭ

Параметры	101У2	251У2
Номинальное напряжение питающей сети, В	220	380
Номинальная сила сварочного тока, А	100	250
Максимальная сила сварочного тока, А	110	260
Номинальное рабочее напряжение, В	24	30
Минимальная сила сварочного тока, А	40	90
Номинальный режим работы ПН, %	20	20
Потребляемая мощность из сети, кВт · А	4,2	12,7
КПД, %	63	67
Коэффициент мощности (cos φ)	0,92	0,88
Напряжение холостого хода, В	42	50
Сила первичного тока при номинальной силе сварочного тока, А	19	34
Сила тока холостого хода, А	2	2
Пределы плавного регулирования силы сварочного тока, А	40... 110	90... 260
Масса, кг	22	42
Габаритные размеры, мм	312×176×445	395×275×535

1.5. Технические данные трансформаторов серии ТДФЖ

Параметры	1002У2	2002У3
Номинальная сила сварочного тока, А	1000	2000
Номинальное рабочее напряжение, В	56	76
Номинальный режим работы ПВ, %	100	100
Пределы регулирования рабочего напряжения, В	30... 56	32... 76
Пределы регулирования силы сварочного тока, А	300... 1200	600... 2200
КПД, %, не менее	86	88
Масса, кг	550	850

1.6. Технические данные сварочных выпрямителей для ручной дуговой сварки серии ВД

Параметры	201УЗ	306УЗ	401УЗ
Номинальная сила сварочного тока, А	200	315	400
Номинальное рабочее напряжение, В	28	32	36
Номинальный режим работы ПН, %	60	60	60
Пределы регулирования силы сварочного тока, А	30... 200	45... 315	50... 450
Напряжение холостого хода, В	70	70	80
КПД, %, не менее	60	72	69
Масса, кг	115	154	200

1.7. Технические данные выпрямителей для механизированной сварки в углекислом газе

Параметры	ВС-300БУЗ	ВС-60ОМЧЗ	ВДГ-303УЗ
Номинальная сила сварочного тока, А	315	630	315
Номинальное рабочее напряжение, В	34	50	40
Номинальный режим работы ПВ, %	60	60	60
Пределы регулирования напряжения, В	16... 34	20... 50	16... 40
Пределы регулирования силы сварочного тока, А	50... 315	100... 630	50... 315
Число ступеней регулирования	24	27	3
КПД, %, не менее	75	83	76
Масса, кг	180	550	210

числа витков первичных обмоток и плавноступенчатым (ВД-303УЗ) с помощью дросселей насыщения, включенных в цепь вторичных обмоток трансформатора. Устойчивый процесс сварки проволокой различного диаметра обеспечивается дросселем в сварочной цепи. Выпрямитель типа ВДГ-303 обеспечивает дистанционное регулирование режима сварки, его технические данные приведены в табл. 1.7.

Универсальные тиристорные сварочные выпрямители выполнены с тиристорным регулированием и имеют универсальные жесткие и падающие внешние характеристики, предназначены для механизированной сварки в среде углекислого газа, под флюсом, резки металлов. Выпрямители на силу тока до 630 А могут быть использованы для ручной дуговой сварки штучными электродами. Выпрямители типов ВДУ-505 и 506 обеспечивают сварку в углекислом газе на силе тока 60 А сварочной проволокой диаметром 1,2 мм, имеют бесступенчатое автоматическое изменение индуктивности в сварочной цепи в зависимости от режима сварки. В схему управления выпрямителей на силу тока 500 и 630 А введено устройство, обеспечивающее форсирование зажигания дуги при сварке в защитных газах, а на силу тока 1250 А — в защитных газах и под флюсом.

Все выпрямители обеспечивают плавное дистанционное регулирование режима сварки, стабилизацию режима при изменении напря-

жения сети. Выпрямитель для механизированной сварки на силу тока 1250 А обеспечивает параллельную работу двух источников с регулированием режима от одного из них. В источниках до силы тока 630 А тиристоры включены со вторичной стороны трансформатора, а на силу тока 1250 А с первичной.

В выпрямителе ВДУ-1602 предусмотрены регулирование напряжения без искажения его формы, осуществляемое магнитной коммутацией витков вторичной обмотки силового трансформатора, стабилизация выходного напряжения и регулирование наклона внешних характеристик. При установке жесткой внешней характеристики выпрямитель может быть использован для многопостового питания. Выпрямители типов ВДУ-505, 1202 и 1602 имеют стационарное исполнение, а ВДУ-506 и 601 передвижные. Технические данные универсальных выпрямителей приведены в табл. 1.8.

Универсальные инверторные сварочные выпрямители со звеном повышенной частоты позволили существенно снизить массу и габаритные размеры источника питания. Малая инерционность и высокие динамические свойства позволяют на основе инверторных выпрямителей реализовать перспективные схемы управления сварочными процессами, повышая их производительность и качество. Инверторные источники питания находят применение при механизированной сварке в углекислом газе и смесях газов, при ручной дуговой сварке

1.8. Техническая характеристика универсальных тиристорных сварочных выпрямителей серии ВДУ-УЗ

Параметры	505/506	601	1202	1602
Номинальная сила сварочного тока, А	500	630	1250	1600
Номинальный режим работы ПВ, %	60	60	100	100
Номинальное рабочее напряжение, В, при характеристике:				
жесткой	50	56	56	50
падающей	46	52		
Напряжение холостого хода, В, не более	80	90	90	80
Пределы регулирования силы сварочного тока, А, при характеристике:				
жесткой	60... 500	65... 630	250... 1250	250... 1650
падающей	50... 500	50... 630	250... 1250	300... 1650
Пределы регулирования рабочего напряжения, В, при характеристике:				
жесткой	18... 50	18... 56	24... 56	15... 55
падающей	22... 46	22... 52		
КПД, %, не менее	82/79	75	83	84
Масса, кг	300	350	590	850

1.9. Технические данные инверторного выпрямителя

Параметры	ВДУЧ-301	УХЛ4
Номинальная сила сварочного тока, А	315	
Номинальный режим работы ПН, %	60	
Внешняя характеристика	Падающая	Жесткая
Номинальное рабочее напряжение, В	30	36
Пределы регулирования силы тока, А	30... 315	50... 315
Пределы регулирования рабочего напряжения, В	22... 33	16... 36
Напряжение холостого хода, В, не более	80	
КПД, %, не менее	75	
Масса, кг	73	

1.10. Технические данные выпрямителей типа ВДМ

Параметры	1201 УЗ	1601 УЗ
Номинальная сила сварочного тока, А	1250	1600
Номинальный режим работы ПН, %	100	100
Номинальное рабочее напряжение, В	60	60
Напряжение холостого хода, В	70	70
КПД, %, не менее	89	90
Масса, кг	380	500
Число постов	8	9
Номинальная сила тока поста при ПН-60 %, А	315	315

штучными электродами и сварке неплавящимся (вольфрамовым) электродом в инертных газах.

Инверторный выпрямитель типа ВДУЧ-301 УХЛ4 имеет жесткие и крутопадающие внешние характеристики и предназначен для механизированной сварки в углекислом газе и ручной дуговой сварки штучными электродами. Технические параметры источника даны в табл. 1.9.

Многопостовые сварочные выпрямители.

Эти источники постоянного тока могут применяться для ручной и механизированной сварки. *Многопостовые выпрямители для ручной сварки с регулированием силы тока поста балластными реостатами* предназначены в основном для создания многопостовых систем питания от общецеховых магистральных шинопроводов, имеют жесткую внешнюю вольт-амперную характеристику. Отличаются простой конструкцией и высокой надежностью. Технические данные выпрямителей приведены в табл. 1.10.

Технические данные балластного реостата типа РБ-302 приведены ниже.

Номинальная сила сварочного тока, А при ПН-60%	315
Пределы регулирования силы тока (при падении напряжения на зажимах реостата 30 В), А	6...315
Разница между силой тока соседних ступеней, А, не более	6
Масса, кг	29,5

Многопостовые выпрямители для ручной дуговой сварки с тиристорным регулированием режима на каждом посту могут организовать местные системы многопостового питания.

Четырехпостовой выпрямитель ВДМ-4 × 301 УЗ имеет падающие внешние характеристики с тремя различными наклонами (0,2; 0,4; 0,7 В/А) и предназначен для питания четырех постов ручной дуговой сварки током обратной полярности. Может работать как двухпостовой источник питания с силой тока поста до 500 А. Снабжен ограничителем напряжения холостого хода. Выпрямитель может использоваться в составе передвижных сварочных агрегатов. Технические показатели выпрямителя характеризуются следующими данными.

Число постов	4
Номинальная сила тока поста, А	315
ПН поста, %	60
Коэффициент одновременности работы постов	1
Номинальное рабочее напряжение поста, В	33
Напряжение холостого хода, В	80
Пределы регулирования силы сварочного тока, А	60...315
Пределы регулирования рабочего напряжения, В	22...32
КПД, %, не менее	65
Масса, кг	710

Многопостовым выпрямителем для механизированной сварки является выпрямитель типа ВМГ-5000, предназначенный для централизованного

питания постов при многопостовой сварке в углекислом газе. Может быть использован и при сварке под флюсом или наплавке, может одновременно питать 30 сварочных постов (сила тока поста 315 А) при сварке в CO₂. При силе тока поста 400 и 500 А число постов, питающихся от одного выпрямителя, соответственно уменьшается. Выпрямитель имеет жесткую внешнюю характеристику вследствие низкого внутреннего сопротивления (0,3...0,9)10⁻³ Ом, что исключает взаимное влияние сварочных постов при работе.

Получение падающих (крутопадающих) характеристик и регулирование режима сварки на отдельных постах осуществляется балластными реостатами. Каждый выпрямитель типа ВМГ-5000 поставляется комплектно с 30-ю балластными реостатами, выполненными на базе серийного балластного реостата РБ-501. При сварке на вертикальной поверхности и в случае тонкого металла в цепь поста рекомендуется последовательно с балластным реостатом включить дроссель ОИ-105, который поставляется при необходимости комплектно с выпрямителем ВМГ-5000.

Выпрямитель питает шинопровод, разведенный по цеху, обычно на два плеча, длиной не более 75 м каждый, к которым подключено по 15 сварочных постов. Расчет шинопровода производится не по плотности силы тока, а по падению напряжения. Предельное падение напряжения на конце шинопровода не должно превышать 2 В. Выпрямитель ВМГ-5000, шинопровод, балластные реостаты, и дроссели составляют систему многопостового питания. Технические данные элементов этой системы приведены ниже.

Выпрямитель ВМГ-5000

Номинальная сила выпрямленного тока, А, при ПН-100%	5000
Выпрямленное напряжение (по ступеням), В	30, 35, 40, 50, 60
Максимальная потребляемая мощность, кВт·А	317
Максимальная сила первичного тока, А	480
Число сварочных постов	30
Сила тока поста, А	315
Коэффициент одновременности работы постов	0,53
КПД, %, не менее	92
Масса, кг	2490
Габаритные размеры, мм	1500 × 1150 × 1685

Балластный реостат

Номинальная сила сварочного тока, А, при ПН-60%	315
Число ступеней регулирования (семь рубильников)	58
Пределы регулирования сопротивления, Ом	0,0266...0,75
Масса, кг	50

Дроссель

Номинальная сила сварочного тока, А	315
Индуктивность, МГн, не менее	0,3
Род тока	Постоянный
Масса, кг	40

1.4. РАБОЧЕЕ МЕСТО, ИНСТРУМЕНТ И ЗАЩИТНЫЕ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ

ЭЛЕКТРОСВАРЩИКА РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ И НАПЛАВКИ

Рабочее место электросварщика. Производительность труда электросварщика и повышение качества сварки зависят от условий, в которых производятся сварочные работы, т. е. от правильности организации рабочего места сварщика (сварочного поста). Рабочее место сварщика может быть расположено непосредственно у свариваемого изделия (больших размеров) или в специальной кабине. Непосредственно у свариваемого изделия организуют, как правило, передвижное рабочее место (сварочный пост), огражденное переносными рабочими щитами. Специальные кабины оборудуют на постоянных местах при сварке изделий небольших габаритов. Переносные рабочие щиты и кабины служат защитой всех работающих от излучения электрической дуги.

Кабина для одного сварщика имеет размеры 2×2 или $2 \times 2,5$ м и высоту не менее 2 м. Для улучшения вентиляции в кабине стены ее не доводят до пола на 200...250 мм. Каркас кабины металлический, а стены изготовляют из огнестойкого материала, а иногда из фанеры. Дверной проем кабины закрывают брезентовым занавесом, подвешенным на кольцах. Пол в кабине выполняют из огнеупорного материала: кирпича, бетона и др. Окрашивают кабины в светлые тона.

В кабине устанавливают следующее оборудование: источник питания (при отсутствии централизованной разводки тока); металлический рабочий стол сварщика; стул для сварщика с подъемным винтовым сиденьем; ящик для электродов; ящик для инструмента; стеллажи для деталей и готовых изделий; электропечь для прокали электродов (при отсутствии электродного цеха); сетевой закрытый рубильник. При источниках питания от генератора постоянного тока, а также при питании постов от многопостовой машины или нескольких параллельно соединенных генераторов источники питания желательны устанавливать за пределами кабин, в специальном помещении.

Эффективность местного отсоса вредных примесей, которые выделяются в процессе сварки, из зоны дыхания сварщика в большой мере зависит от максимального приближения вытяжных заборников к месту горения дуги. С этой точки зрения лучшими рабочими столами сварщика являются столы с вытяжкой газов и пыли в сторону или вниз. Можно рекомендовать столы сварщика моделей С10020 и С10040 (рис. 1.2). На столы устанавливают свариваемые изделия при ручной и механизированной сварке. Применение столов значительно улучшает условия труда сварщика. В конструкции стола сварщика мод. С10020 предусмотрено приточно-вытяжное устройство, обеспечивающее одновременно эффективное удаление вредных веществ и подачу чистого воздуха в зону дыхания сварщика.

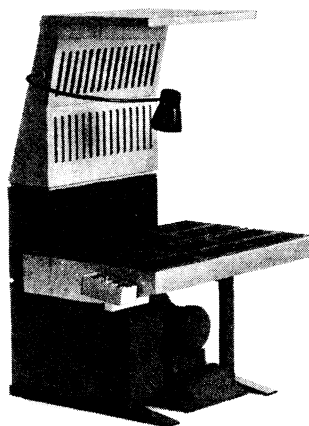


Рис. 1.2. Стол сварщика С10040

Характеристика серийно изготавливаемых неповоротных столов сварщика приведена в табл. 1.11.

Инструмент сварщика. Основным инструментом сварщика-ручника является электрододержатель, конструктивное исполнение которого в значительной мере определяет удобство работы и производительность труда. Электрододержатели должны надежно закреплять электрод при любом положении во время сварки, иметь минимальную массу, быть удобными в эксплуатации и др. Основные параметры и технические требования, предъявляемые к электрододержателям, маркировка, методы испытания их установлены ГОСТ 14651—78 Е (табл. 1.12).

Конструкция электрододержателя должна обеспечивать замену электрода в течение не более 4 с и закрепление электрода в одной плоскости не менее чем в двух положениях (перпендикулярно и под углом), а также надежное присоединение кабелей.

Изолирующие детали электрододержателей, расположенные в области крепления электрода, должны быть изготовлены из материала, стойкого к термическому воздействию сварочной дуги.

Требования безопасности электрододержателей регламентированы ГОСТ 12.2.007.8—75. Сопротивление изоляции токопроводящих частей электрододержателей при нормальных климатических условиях должно быть не ниже 5 МОм, изоляция рукоятки должна выдерживать без пробоя в течение 1 мин испытательное напряжение 1500 В частотой 50 Гц, температура наружной поверхности рукоятки по сравнению с температурой внешней среды на участке, охватываемом рукой сварщика, при нормальном режиме работы не должна быть выше 40 °С.

1.11. Характеристика неповоротных столов сварщика

Наименование	С10020	С10021	С10040	С10041
Приточно-вытяжное устройство	Вентилятор	Подключение к общей вентиляции	Вентилятор	Подключение к общей вентиляции
Габаритные размеры, мм:				
стола	940×1010×1550		1357×1010×1750	
рабочей плиты	800×800×750		1250×800×750	
Максимальная высота зоны сварки над поверхностью рабочей плиты, мм	400	400	630	630
Масса, кг:				
свариваемого изделия	63	63	100	100
стола	239	185	305	250

1.12. Основные параметры электрододержателей для ручной дуговой сварки плавящимся электродом типа ЭД

Параметры	12	16	20	25	31	40	50
Сила сварочного тока, А:							
номинальная	125	160	200	250	315	400	500
максимальная при ПВ-35 %, менее	160	200	250	315	400	500	630
Диаметр закрепляемых электродов, мм:							
нижний	1,6	1,6	2	2,5	2,5	4	6
верхний	2,5	3,25	4	5	6,3	8	10
Масса, кг, не более	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,65	0,75
Сечение жилы присоединяемого сварочного кабеля, мм ²	16... 25	25... 35	35... 50	50... 70	50... 95		

Электрододержатели серии ЭД позволяют закреплять электрод нажатием рычага в положениях, удобных для сварщика. Аналогично удаляется огарок. Сварочный кабель присоединяется через кабельный наконечник, изоляционные детали изготовлены из термостойких полимерных материалов.

Электрододержатели серии ЭП (рис. 1.3) пассатижного типа используют при силе сварочного тока 250 и 500 А. Усилиями цилиндрической пружины 2 электрод зажимается между нижней губкой 5, по которой к нему подводится электрический ток, и рычагом 3. Канавки в зажиме, расположенные под раз-

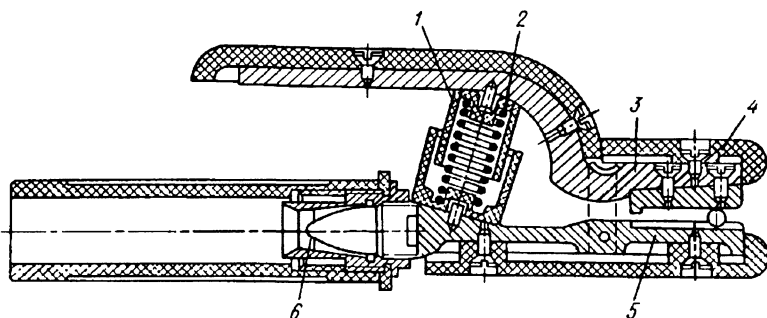


Рис. 1.3. Электрододержатель серии ЭП:

1 — колпачок; 2 — пружина; 3 — рычаг; 4 — теплоизоляция; 5 — токоподводящая губка; 6 — конус резьбовой втулки крепления сварочного кабеля

1.13. Техническая характеристика электрододержателей для ручной сварки

Параметры	ЭП-2	ЭП-3	ЭД-125-1	ЭД-300-1	ЭД-500-1	ЭУ-300	ЭУ-500
Номинальная сила сварочного тока, А	250	500	125	300	500	315	500
Диаметр металлического стержня электрода, мм	Менее 5	6... 8	1,6... 3	2... 6	4... 10	3... 6	5... 8
Сечение сварочного кабеля, подводимого к держателю, мм ²	50	70	25	50	70	50	70
Габаритные размеры, мм	250×40× ×80	325×37× ×95	250×32× ×74	266×36× ×84	293×40× ×92	198×42× ×80	198×42× ×80
Масса, кг	0,43	0,8	0,32	0,48	0,67	0,4	0,42

личными углами, позволяют закреплять электрод под двумя углами к продольной оси электрододержателя. Огарок освобождается нажатием на рычаг. Сварочный кабель подсоединяется к электрододержателю путем механического зажатия кабеля с расклиниванием конца его между корпусом нижней губки и кону-

сом втулки 6. Электрододержатель изолируется теплостойкими полимерными деталями.

Электрододержатели серии ЭДС защелочного типа предназначены для работы с силой тока 125, 300 и 500 А.

Электрододержатели серии ЭУ ("Луч") того же защелочного типа рассчитаны на силу тока до 315 А (ЭУ-300) и до 500 А (ЭУ-500). Элек-

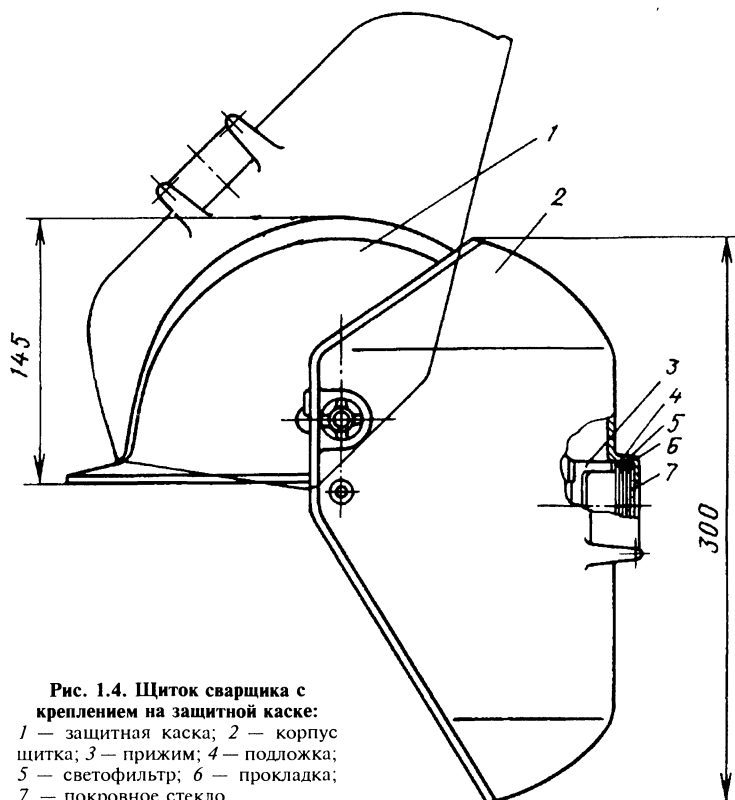


Рис. 1.4. Щиток сварщика с креплением на защитной каске:

1 — защитная каска; 2 — корпус щитка; 3 — прижим; 4 — подложка; 5 — светофильтр; 6 — прокладка; 7 — плексиглас

трод вставляется в отверстие и поворотом на требуемый угол (три положения) фиксируется в держателе. Усилие прижатия создает размещенная в изолированном корпусе цилиндрическая пружина, расположенная по оси рукоятки и корпуса держателя.

Техническая характеристика электрододержателей для ручной сварки плавящимся электродом приведена в табл. 1.13.

Защитные приспособления. Щитки служат для индивидуальной защиты лица и глаз электросварщика от брызг расплавленного металла, искр и прямых излучений сварочной дуги. В соответствии с ГОСТ 12.4.035—78 "Щитки защитные лицевые для электросварщиков" выпускается несколько моделей защитных щитков из специальной пластмассы — поликарбонатной смолы "дифлов". Этот материал устойчив к высокой температуре и повышенной влажности, практически не деформируется, не портится от брызг расплавленного металла. В конструкции щитков отсутствуют металлические выступающие части, что исключает поражение сварщика электрическим током. Новые модели защитных щитков имеют литой бесшовный корпус, который долговечен и эстетичен, сохраняет механическую прочность при температуре внешней среды +50...–100°C.

Новые наголовные и ручные щитки с увеличенными светофильтрами (90 × 102 мм), наголовные щитки, монтируемые на защитной каске (рис. 1.4), и щитки с подвижными откидывающимися светофильтрами обеспечивают надежную защиту сварщика [14].

1.5. АППАРАТЫ ДЛЯ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ И НАПЛАВКИ ПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ

При механизированной дуговой сварке и наплавке плавящимся электродом наибольшее распространение получили шланговые полуавтоматы [21, 22], которые классифицируют по следующим признакам (ГОСТ 18130—79 Е):

- по способу защиты зоны дуги (Г — в активных защитных газах; И — в инертных газах; У — в активных и инертных газах; Ф — под флюсом; О — открытой дугой);

- по виду электродной проволоки — сплошной стальной проволокой, сплошной проволокой из алюминия и его сплавов, стальной порошковой проволокой;

- по способу охлаждения горелки — с естественным, с принудительным водяным или газовым;

- по способу регулирования скорости подачи электродной проволоки — с плавным, ступенчатым, плавно-ступенчатым;

- по способу подачи электродной проволоки — толкающего, тянущего и тянуще-толкающего;

- по конструктивному исполнению — со стационарным, передвижным или переносным подающим устройством.

Все исполнения, кроме исполнений по способу защиты зоны дуги, в обозначении полуавтоматов не учитываются.

В состав наиболее распространенных шланговых полуавтоматов входят (рис. 1.5): горелка 1 (комплект) со шлангом 2; механизм 3 подачи электродной проволоки; кассета 5; катушка или другие устройства, являющиеся емкостями для электродной проволоки; шкаф 4 или блок управления, если он конструктивно не объединен с источником питания; источник питания 7 (по согласованию с потребителем полуавтомат может поставляться без источника питания); провода 9 для сварочной цепи и 8 цепей управления; редактор 10 и аппаратура для регулирования и измерения расхода газа; шланг 6 для газа в полуавтоматах для сварки в защитных газах; подогреватель газа в полуавтоматах для сварки в среде углекислого газа; устройство для подачи флюса в полуавтоматах для сварки под флюсом; специальный инструмент, запасные и быстроизнашивающиеся составные части полуавтомата, а также эксплуатационная документация.

Полуавтоматы для сварки без внешней защиты не имеют газовой аппаратуры и устройств подачи флюса. Основные параметры полуавтоматов для дуговой сварки и наплавки плавящимся электродом должны соответствовать ГОСТ 18130—79 Е.

Полуавтоматы для дуговой сварки и наплавки в защитных газах плавящимся электродом. Защита зоны дуги сварочной ванны в полуавтоматах для дуговой сварки (наплавки) в среде защитных газов плавящимся электродом осуществляется активными или инертными газами, а также их смесями [27, 29]. Полуавтоматы этой группы надежны в работе, просты в обслуживании, позволяют выполнять сварку в любых пространственных положениях изделия и наблюдать за дугой, имеют сравнительно невысокую стоимость. Техническая характеристика рассматриваемых полуавтоматов и серийно изготавливаемого полуавтомата ПДИ-304 для импульсно-дуговой сварки приведена в табл. 1.14.

При импульсно-дуговой сварке плавящимся электродом в качестве защитной среды вместо обычно применяемого углекислого газа или его смеси с кислородом используется аргон и аргоноокислительные смеси. В среде углекислого газа ИДСП не нашла применения. При ИДСП на постоянном (базовом) токе, сила которого может быть очень небольшой, периодически накладываются импульсы тока с частотой в несколько десятков герц, что вызывает отделение капли. По сравнению со сваркой неплавящимся электродом ИДСП позволяет в 3—8 раз повысить производительность труда и значительно снизить деформации в процессе ее выполнения при практически одинаковом качестве сварных соединений. ИДСП может применяться для конструкций ответственного назначения из сталей различных марок, алюминиевых, медных, никелевых сплавов и титана толщиной 1 мм и более при выполнении швов во всех пространственных положениях.

На рис. 1.6 приведен полуавтомат ПДГ-516.

1.14. Техническая характеристика полуавтоматов для дуговой сварки и наплавки в среде защитных газов плавящимся электродом

Наименование	Общего назначения					
	A547UM (ПДГ-309)	A825Э	A1230M	ПДГ-312	ПДГ-508M	A1197Г (ПДГ-513)
Номинальная сила сварочного тока при ПВ-60 %, А	315	315	315	315	500	500
Электродная проволока: диаметр, мм	0,8... 1,4	1,4	0,8... 1,2	1... 1,4	1,6... 2	1,2... 2
скорость подачи, м/ч	160... 780	140... 650	145... 680	75... 960	108... 932	118... 782
способ регулирования скорости	П/С	П/С	ВДГ-303	ВДГ-303	ВДУ-505	С
Источник питания	ВС-300Б	ВСЖ-303	ВДГ-303	ВДГ-303	ВДУ-505	ВС-600М
Габаритные размеры, мм:	350×118×245	517×395×195	364×290×130	340×472×244	445×316×370	960×660×560
механизма подачи	392×255×187	408×280×185	—	—	455×290×230	194×360×330
шкафа управления	6,25	14,3	10	13,9	26	35
Масса, кг: механизма подачи	8,5	28,5	—	—	19	25
шкафа управления	—	—	—	—	—	—
Специализированные						
Наименование	Общего назначения				Специализированные	
	ПДГ-516	ПДГ-603	ПДН-304	ПДГ-308	А929	ПДГ-502
Номинальная сила сварочного тока при ПВ-60 %, А	500	630	315	315	350	500
Электродная проволока: диаметр, мм	1,2... 2 (СП); 2... 3 (ПР)	120... 960	1... 1,4 (СП) 1,2... 2 (АЛ)	1,2... 1,6	1... 2	1,2... 2
скорость подачи, м/ч	П	П	П	120... 1200	140... 650	120... 1200
способ регулирования скорости	ВДУ-506	ВДГ-601	ВДГИ-302	П	П/С	П
Источник питания	—	—	340×472×244	ВДГ-302	ПСГ-500	ВДУ-500-1
Габаритные размеры, мм:	464×430×365	473×430×465	—	765×525×865	517×395×195	904×660×434
механизма подачи	—	—	—	—	550×350×250	372×282×130
шкафа управления	16	16	13,9	65	14,3	500×460×700
Масса, кг: механизма подачи	—	—	—	—	21	13
шкафа управления	—	—	—	—	—	74

Примечание. П, С, П/С — соответственно плавное, ступенчатое и плавно-ступенчатое регулирование скорости подачи электродной проволоки; СП, ПР, АЛ — в скобках соответственно сплошная, порошковая и алюминиевая электродные проволоки.

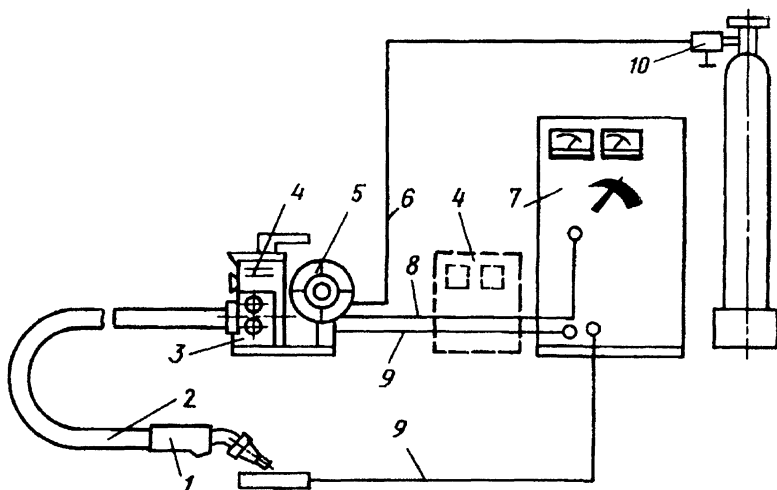


Рис. 1.5. Схема шлангового полуавтомата для сварки в среде защитного газа

Полуавтоматы для сварки и наплавки без внешней защиты дуги и под флюсом плавящимся электродом. В этой группе полуавтоматов применяется порошковая самозащитная проволока или используется внешняя защита зоны дуги и сварочной ванны с помощью флюса. В зону сварки флюс поступает из укрепленной на горелке небольшой воронки либо из отдельно расположенного бункера по гибкому резиновому шлангу со струей сжатого воздуха. Процесс ведется с применением электродной проволоки диаметром 1,6...2,0 мм при высоких плотностях силы тока. Это обеспечивает глубокое проплавление и сварку металла большой толщины за один проход. При сварке самозащитной порошковой проволокой процесс ведется в любом пространственном положении,

а при сварке под флюсом — преимущественно в нижнем положении.

Технические характеристики рассматриваемых полуавтоматов приведены в табл. 1.15.

1.6. АППАРАТЫ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ И НАПЛАВКИ ПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ

В числе аппаратов для автоматической дуговой сварки и наплавки плавящимся электродом ниже рассматриваются автоматы для сварки со свободным формированием шва: самоходные, несамоходные (подвесные) и тракторного типа. Автоматы обеспечивают выполнение механизмами следующих операций: возбуждение дуги в начале сварки; поддержание дугового процесса; подачу сварочных материалов (электрода и присадочного материала) в зону дуги по мере их оплавления; относительное перемещение дуги вдоль линии сварного соединения путем перемещения сварочного автомата или изделия; прекращение процесса сварки. Сварочные автоматы общего назначения (универсальные) и специализированные классифицируют по следующим признакам:

по способу перемещения вдоль линии сварного соединения — самоходные и несамоходные (подвесные). В состав самоходных автоматов входят технические средства осуществления сварочного движения. При применении несамоходного сварочного автомата сварочный станок или установка должны иметь механизмы для осуществления сварочного движения с помощью несамоходного (подвесного) сварочного автомата или изделия;

по виду плавящегося электрода — проволочного (сплошного сечения или порошковые), ленточного (сплошного сечения или порошковые), штучного (стержня или пластины);

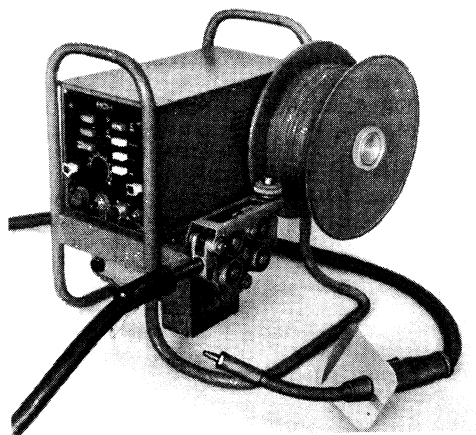


Рис. 1.6. Полуавтомат ПДГ-516

1.15. Техническая характеристика полуавтоматов для сварки и наплавки без внешней защиты дуги и под флюсом плавящимся электродом

Наименование	A765 (ПДО-517)	ПШ107 (ПДО)	ПШ107В (ПДО)	A1197Ф (ПДФ-501)	A1530* (ПДФ-502)
Номинальная сила сварочного тока, А, при ПВ-60 %	500	400	400	500	500
Электродная проволока:					
диаметр, мм	1,6... 2 (СП) 1,6... 3 (ПР)	1,8... 3,2 (ПР)		1,6... 2	1,6... 2,5(СП) 2... 3 (ПР)
скорость подачи, м/ч	120... 720	80... 320	50... 410	118... 782	150... 1000
способ регулирования скорости подачи	С	П	П	С	П
Источник питания	ВДУ-506	ВС-400Д	ВС-300Б	ВС-600М	ВДУ-506
Габаритные размеры, мм:					
механизма подачи	760×500× ×550	520×500× ×170	520×500× ×170	960×660× ×560	490×430× ×365
шкафа управления	190×350× ×360	—	—	194×360× ×330	—
Масса, кг:					
механизма подачи	52	12	18	35	20
шкафа управления	23	—	—	25	—

* Специализированный.

Примечание. П, С — соответственно плавное и ступенчатое регулирование скорости подачи проволоки; СП, ПР — проволока соответственно сплошная электродная, порошковая.

по способу защиты зоны дуги (Ф — для сварки под флюсом; Г — для сварки в защитных газах; О — без внешней защиты, по флюсу; ФГ — для сварки как в защитных газах, так и под флюсом комбинированные);

по технологическому назначению — для сварки или наплавки;

по роду применяемого сварочного тока — постоянного, переменного, а также постоянного и переменного тока;

по способу охлаждения сварочного инструмента — естественному, принудительному водяному или газовому;

по способу регулирования скорости подачи электродной проволоки — плавному, плавно-ступенчатому, ступенчатому;

по способу подачи электродной проволоки — независимо от напряжения на дуге, зависимо от напряжения на дуге;

по способу регулирования скорости сварки (только для самоходных автоматов) — плавному, ступенчатому, плавно-ступенчатому;

по числу дуг с раздельным питанием током — однодуговые, двухдуговые, многодуговые;

по числу электродов с общим подводом сварочного тока: одноэлектродные, двухэлектродные, многоэлектродные [27—29].

Аналогично классифицируют автоматы тракторного типа (рельсовые, безрельсовые) для дуговой сварки плавящимся электродом с дополнительным учетом расположения автомата относительно свариваемого шва внутри колеи, а также внутри и вне колеи (ГОСТ 8213—75 Е).

В состав сварочных наплавочных автоматов входят: сварочный инструмент (мундштуки или горелки); механизмы подачи электродного или присадочного материала, перемещения вдоль линии соединения, настроечных, вспомогательных и корректировочных перемещений; устройства для размещения электродного или присадочного материала; флюсовая и газовая аппаратура; системы управления; источники сварочного тока; средства техники безопасности.

С учетом экономических и технических аспектов автоматы для сварки разделены на следующие три класса:

3-й со ступенчатым регулированием скорости подачи, ручным управлением циклом работы; допускается ручная уборка флюса;

2-й с плавным или плавно-ступенчатым регулированием скорости подачи и сварки, ручным управлением по цикловой программе;

1-й с программным микропроцессорным управлением.

Автоматы для дуговой сварки и наплавки в защитных газах плавящимся электродом. Автоматы этой группы предназначены для сварки (наплавки) ответственных металлоконструкций: пространственных металлоконструкций; деталей и узлов трубопроводов, котлов, сосудов и др. Техническая характеристика автоматов для сварки (наплавки) с одной дугой в защитных газах плавящимся и неплавящимся электродом приведена в табл. 1.16. На рис. 1.7 показан подвесной автомат АД200 для сварки плавящимся электродом на постоянном токе изделий из углеродистой стали, снабженный системой поиска и слежения с электромеханическим датчиком, позволяющим автоматически корректировать положение электрода вдоль и поперек свариваемого стыка. Для автоматической дуговой точечной сварки нахлесточных соединений плавящимся электродом в защитных газах в ИЭС им. Е. О. Патона создан подвесной аппарат с двухэлектродной сварочной головкой А1731 и многоточечный (шеститочечный) автомат широкого применения А1781.

Автоматы предназначены для точечной приварки деталей толщиной 1...6 мм различных конструкций. В месте сварки осуществляется прижим свариваемых элементов с силой 100...500 кг. Оборудование работает в автоматическом режиме как в установках, так и в поточных линиях.

Автоматы для дуговой сварки и наплавки без внешней защиты дуги и под флюсом плавящимся электродом. Автоматы этой группы нашли широкое применение при сварке листовых металлоконструкций, балок, резервуаров и др. Автоматы для дуговой сварки под флюсом используются в основном при сварке в нижнем положении прямолинейных и круговых стыков швов, иногда при стыковых и угловых соединениях, установкой сменных мундштуков и копирных устройств. Технические характеристики автоматов для дуговой сварки без внешней защиты дуги и под флюсом плавящимся электродом приведены в табл. 1.17.

Сварочные тракторы наиболее распространены для сварки под флюсом. На рис. 1.8 представлен сварочный трактор ТС-17МУ (АДФ-1002) для сварки под флюсом плавящимся электродом стыковых швов с разделкой кромок и без нее, угловых швов наклонным электродом и нахлесточных соединений. Швы могут быть прямолинейными и кольцевыми. Минимальный диаметр внутреннего кольцевого шва 1200 мм.

Специализированные автоматы для сварки трехфазной дугой под флюсом по конструкции и составу механизмов и узлов, в основном, не отличаются от рассмотренных выше однодуговых автоматов общего назначения для сварки однофазной дугой. В них используются те же механизмы перемещения, корректи-

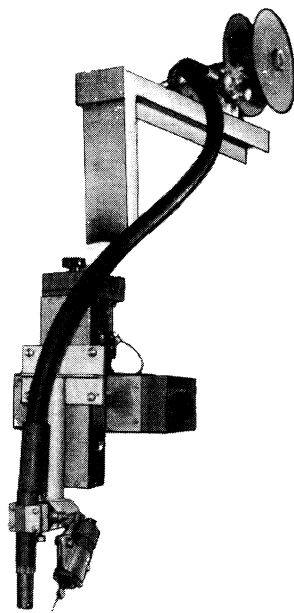


Рис. 1.7. Подвесной автомат АД200

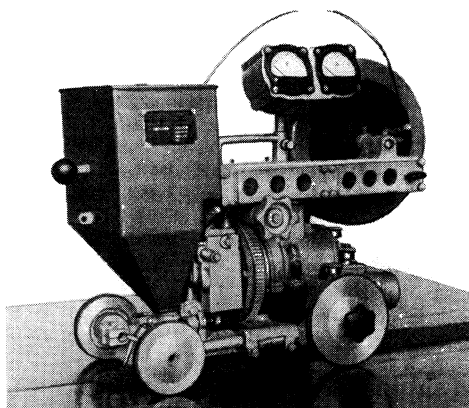


Рис. 1.8. Сварочный трактор ТС-17МУ (АДФ-1002)

ровки и слежения за стыком, флюсовая аппаратура и др. Различия имеются в конструкции механизмов подачи. При сварке трехфазной дугой плавящимся электродом в зону сварки необходимо подавать одновременно две электродные проволоки. При этом несовпадение скоростей подачи электродных проволок не должно превышать 8% [19], а также обязательна их качественная правка. Для питания трехфазной дуги используют один трехфазный трансформатор (ТШС-1000-3) или три одно-

1.16. Техническая характеристика автоматов для дуговой сварки и наплавки в защитных газах плавящимся и неплавящимся электродом

Автомат	Номиналь- ная сила сварочного тока при ПВ-100 %, А	Исполнение	Защита зоны сварки	Электродная проволока		Способ регу- лирования скорости; подачи/ сварки	Скорость сварки, м/ч	Источник питания	Габаритные размеры автомата, мм	Масса, кг
				Диаметр (ширина ленты), мм	Скорость подачи, м/ч					
Автоматы общего назначения для сварки плавящимся электродом										
A1417	1000	Самоходный	Углекислый газ	2,0... 5,0	47 ... 508	П/П	12... 120	ВДГ-1001	1070×770×1650	240
То же, с автоматической системой поиска и слежения										
AD200	630	Подвесной со шланговой подачей	То же	1,0... 2,5	120 ... 960	П/—	—	ВДУ-601	410×410×700	60
AD201	630	Подвесной	“	1,2... 3,2	72... 720	П/—	—	ВДУ-601	610×1410×850	80
Автоматы специализированные для сварки плавящимся и неплавящимся электродом										
A1402	1000	Самоходный	“	2,0... 5,0	53 ... 530	П/С	12... 120	ВДГ-1001	800×900×1960	325
АРК-3-11AB	315	Радиально- консольного типа	“	1,0... 5,0*	—	—/П	5 ... 80	ВСВУ-315	4600×2700×4400	2200
			Аргон	0,8... 2,0**	8... 120	П/П	5 ... 80			
Автоматы специализированные для сварки плавящимся электродом с автоматической системой поиска и слежения										
A1411M	1000	Самоходный	Углекислый газ	2,0... 3,0	53 ... 530	П/П	12... 120	ВДГ-1001	960×890×1650	350
AD238.01.01	630	Подвесной	То же	1,4... 3,0	120... 1200	П/—	—	ВДУ-601	440×500×1070	62

Продолжение табл. 1.16

Автомат	Номинальная сила сварочного тока при ПВ-100 %, А	Исполнение	Защита зоны сварки	Электродная проволока		Способ регулирования скорости подачи сварки	Скорость сварки, м/ч	Источник питания	Габаритные размеры автомата, мм	Масса, кг
				Диаметр (ширина ленты), мм	Скорость подачи, м/ч					
АД238.01.10	630	Самоходный	Углекислый газ	1,4... 3,0	120... 1200	П/П	10... 200	ВДУ-601	3700×1280×1355	1650
АД238.01.30	630	Самоходный двухкоординатный	То же	1,4... 3,0	120... 1200	П/П	10... 200	ВДУ-601	4060×4315×1810	3011
АД238.01.32	630	То же	Аргон	1,2... 3,0	120... 1200	П/П	10... 200	ВДУ-601	4060×4315×1810	3011
Тракторы общего назначения для сварки плавящимся и неплавящимся электродом										
АДГ-602	630	—	Углекислый газ	1,2... 3,0	120... 720	П/П	12... 120	ВДУ-601	770×450×600	60
АДСВ-6	315	—	Аргон	1,0... 5,0*	—	—/П	5... 80	ВСВУ-315	450×470×400	27
Тракторы специализированные для сварки плавящимся электродом										
А1698	315	—	Углекислый газ	1,2... 1,6	150... 500	П-С/П-С	15... 45	ВСЖ-303	420×220×285	13

* Вольфрамовый электрод.

** Присадочная проволока.

Примечание. П, С и П-С — соответственно плавное, ступенчатое и плавно-ступенчатое регулирование скорости подачи или сварки.

1.17. Техническая характеристика автоматов для дуговой сварки и наплавки без внешней защиты дуги и под флюсом плавящимся электродом

Автомат	Номинальная сила сварочного тока при ПВ-100 %, А	Исполнение	Число дуг	Электродная проволока		Способ регулирования скорости: подачи/сварки	Скорость сварки, м/ч	Источник питания	Габаритные размеры автомата, мм	Масса авто-мат, кг
				Диаметр (ширина ленты), мм	Скорость подачи, м/ч					
Автоматы общего назначения для сварки										
А1412 А1416	2×1600 1000 500	Самоходный “	2	2... 5	17... 558	П/П	25... 250	ТДФЖ-2002	1405×890×1920	390
			1	2... 5	47... 508	С/С	ВДУ-1201	1070×845×1920	320	
			2... 3				ВДУ-506			
То же, с автоматической системой поиска и слежения										
АД202 АД203 АД205 АД206 АД207	1250 1000 2×1600 2×1250 1250—1600	Подвесной “ Самоходный “ “	1	2... 6	41... 410	П/—	—	ВДУ-1201	820×510×850	105
			1	2... 6	41... 410	П/—	ТДФЖ-1002	820×510×850	105	
			2	2... 6	41... 410	П/П	ТДФЖ-2002	1500×700×2000	420	
			2	2... 6	41... 410	П/П	ВДУ-1201	1500×700×2000	420	
			2	2... 6	41... 410	П/П	ВДУ-1201	1500×700×2000	420	
АД208 АД209	1250 1000	“ “	1	2... 6	41... 410	П/П	12... 120	ВДУ-1201	1500×700×2000	380
			1	2... 6	41... 410	П/П	ТДФЖ-1002	1500×700×2000	380	
Автоматы специализированные для сварки										
ГДФ-1001 УДФ-1001	1000 1000	Подвесной Самоходный	1	3... 5	53... 532	П/—	—	ВДУ-1201	1050×1680×2000	298
			3 (два электродов)	2,5... 3	200... 530	П/П	ТШС-1000-3	1370×1270×2270	420	
АДФ-2001 А1425	2000 1000	Установка Самоходный	1	3	—	—	200 сварок/ч	ТДФЖ-2002	950×1150×1850	430
			1 (два электродов)	4... 5	50... 500	П/П	ТДФ-1601	900×600×1650	500	
То же, с автоматической системой поиска и слежения										
АД238Ф	2×1000	Самоходный двухкоординатный	2	3... 4	60... 600	П/П	4... 400	ТДФЖ-1002	4060×4315×1810	3100

Продолжение табл. 1.17

Автомат	Номинальная сила сварочного тока при ПВ-100 %, А	Исполнение	Число дуг	Электродная проволока		Способ регу-лирования скорости: подачи/ сварки	Скорость сварки, м/ч	Источник питания	Габаритные размеры автомата, мм	Масса автомата, кг
				Диаметр (ширина ленты), мм	Скорость подачи, м/ч					
Автоматы общего назначения для наплавки										
A580M	400	Подвесной	1	1... 3	48... 408	C/—	—	ПСО-500	425×1200×1250	84
AD231*	1250	Самоходный	1	4... 6 (СП); 3,6... 4,6 (ПР); 20... 60 (лента)	5... 50 23... 230	П—C/П	6... 58	ВДУ-1201	1500×1000×2000	350
Автоматы специализированные для наплавки										
A1406*	1000	Подвесной	1	2... 5	13... 133	П—C/—	—	ВДУ-1001	920×980×1690	215
A1409*	315	“	1	2... 3 (ПР); 20 1,6... 3	53... 532 53... 532	П/—	—	ВДУ-504	700×1395×1720	230
Тракторы общего назначения для сварки										
ТС-17МУ (АДФ-1002)	1000	—	1	3... 5	60... 360	C/C	12... 120	ТДФЖ-1002	715×345×540	45
АДФ-1202	1250	—	1	2... 6	60... 360	П/П	12... 120	ВДУ-1201	1100×450×770	78
Тракторы специализированные для сварки										
ТС-58	2×1250	—	2	3... 6	60... 360	C/П	10... 100	ВДУ-1201	965×400×965	90
ТС-33	800	—	1	1,2... 3 (АЛ)	86... 668	C/C	7,7... 59,5	ПСГ-500	800×400×465	45

* Возможно отсутствие внешней защиты зоны сварки.

Примечание. П, С и П—С — плавное, ступенчатое и плавное-ступенчатое регулирование скорости подачи или скорости сварки соответственно; электродная проволока: СП — сплошная; ПР — порошковая; АЛ — алюминниевая.

* Возможно отсутствие внешней защиты зоны сварки.

Примечание. П, С и П-С — плавное, ступенчатое и плавное-ступенчатое регулирование скорости подачи или скорости сварки соответственно; электродная проволока: СП — сплошная; ПР — порошковая; АД — алюминиевая.

фазных, соединенных между собой по схеме "звезды" или "треугольника". Особенности трехфазного дугового разряда позволяют использовать трансформаторы с пониженным напряжением холостого хода. В состав автомата для сварки трехфазной дугой должен входить автоматический регулятор силы тока в детали, поскольку требуется обеспечить отклонение силы тока от номинального значения в каждой фазе не более ± 50 А.

Одно из современных перспективных направлений, наметившихся в разработке данных сварочных автоматов, — компоновка их из унифицированных узлов, покупных изделий и модулей. Разработанный в ИЭС им. Е. О. Патона комплект модулей, обеспечивающих возможность гибкой компоновки сварочных автоматов общего назначения (типов АД238 и АД400), может быть также использован и для создания автоматов трехфазной сварки. При этом, кроме указанных модулей применяют дополнительные модули, учитывающие специфические требования данного вида сварки.

Примером компоновки автомата для сварки трехфазной дугой является автомат АД380.05.00.000 (рис. 1.9) со следующими техническими характеристиками: номинальной силой сварочного тока не более 1000 А; диаметром электродной проволоки 3...4 мм; скоростью подачи электродной проволоки 20...600 м/ч; скоростью сварки 4...120 м/ч.

Автомат АД380.05.00.000 является одним из примеров возможной компоновки автоматов для сварки трехфазной дугой на блочно-модульной основе с использованием модулей автоматов общего назначения для сварки однофазной дугой, имеющихся в производстве. В результате это дает возможность расширить применение трехфазной сварки на производстве. Технологический модуль автомата состоит из двух муфштуктов 1, двух механизмов подачи 2, кассет 7 для электродной проволоки, флюсоподающей системы 6, конструктивно объединенных в сварочную головку. Учитывая повышенные требования к качеству подачи электродной проволоки, в состав головки включают два механизма 8 объемной правки электродной проволоки, работающих от приводов механизмов подачи. Модуль адаптации обеспечивает автоматический поиск оси стыка, установку электродов по высоте перед сваркой и слежение за положением электродов относительно оси стыка в процессе сварки. В состав модуля адаптации также входит система автоматического регулирования, которая обеспечивает выход на заданный режим и автоматически поддерживает силу тока в детали постоянной в процессе сварки, регулируя положение электродов по высоте.

Модуль адаптации состоит из суппорта горизонтального перемещения 3, механизма 5 подъема головки, электромеханического датчика 9 и блоков формирования сигналов управления соответствующими приводами. Система регулирования тока построена на базе

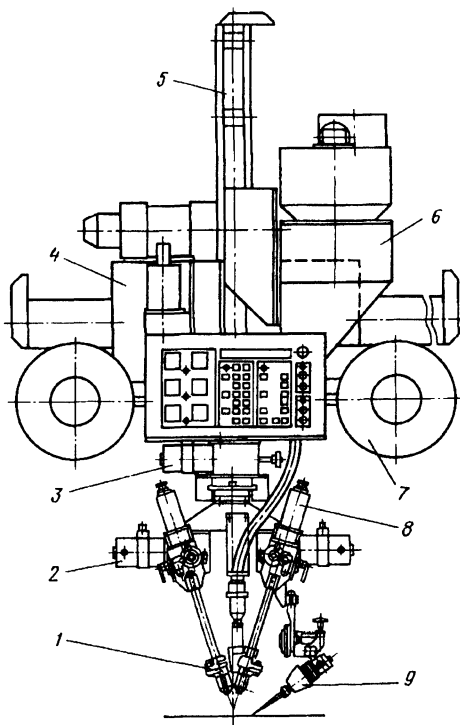


Рис. 1.9. Автомат АД380.05.00.000 для сварки трехфазной дугой

серийного регулирующего прибора "Протар". Точность наведения электродов на стык электромеханической системой не ниже 0,5 мм. Точность поддержания силы тока в детали не ниже 5% номинального значения.

Система управления аппарата обеспечивает ручное и автоматическое управление циклом сварки и настроечные операции, а также возможность запоминания траектории соединения и многократное ее воспроизведение при многопроходной сварке. В качестве манипулятора сварочно-транспортного перемещения использованы модули вертикального 5 и горизонтального перемещений 4 из комплекта узлов аппарата общего назначения дополненные датчиками положения, которые обеспечивают работу систем запоминания.

1.7. АППАРАТЫ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ВИБРОДУГОВОЙ НАПЛАВКИ

Аппараты для автоматической вибродуговой наплавки (автоматические вибродуговые аппараты) являются основной частью наплавочных вибродуговых установок и служат для подачи к месту наплавки электродной проволоки и вибрации конца проволоки с заданной частотой и размахом.

Аппарат конструкции Челябинского тракторного завода (ЧТЗ) (рис. 1.10) состоит из корпуса с опорным узлом 5 для его крепления на станке установки; механизма 2 подачи электродной проволоки; колебательной системы 3 и 4; хоботка 6 для направления проволоки к наплавляемой детали 7, подвода тока к электродной проволоке, сообщения вибрации концевой части проволоки и подачи газов (преимущественно защитных) в зону горения дуги; кассеты 1 для электродной проволоки.

Степень совершенства аппаратов для вибродуговой наплавки в значительной мере определяется конструкцией их колебательной системы, особенно видом привода системы, который может быть электромагнитным, электромоторным или пневматическим. Наиболее распространены вибродуговые аппараты с электромагнитными вибраторами. Они достаточно просты в устройстве, позволяют легко настраивать систему на заданный размах вибрации конца электродной проволоки и обеспечивают синусоидальную форму вибрации с частотой 100 Гц (при включении вибратора в стандартную сеть переменного тока с частотой 50 Гц).

При необходимости наплавки деталей с различной частотой вибрации используют вибродуговые аппараты, снабженные колебательными системами с электромоторным приво-

дом. В этом случае вибрация рычага, на котором закреплен хоботок, осуществляется с помощью вращающегося кулачка, поджатого пружиной к вибрирующему рычагу. Эксцентриситет кулачка определяет размах вибрации конца электродной проволоки, а частота вращения кулачка — частоту вибрации. В аппаратах с такими колебательными системами предусмотрены наборы сменных кулачков и сравнительно простые способы изменения частоты их вращения.

Вибродуговые аппараты могут иметь верхний или боковой подвод электродной проволоки. Боковой подвод электрода применяют преимущественно для наплавки цилиндрических деталей. При этом вращение наплавляемой детали устанавливается таким, чтобы сварочная ванна располагалась над электродом. Жидкий металл ванны будет стремиться стечь вниз, растекаясь по ширине ванны, что приведет к образованию маловыпуклых, слегка уширенных валиков. При подтекании жидкого металла под дугу уменьшается глубина проплавления основного металла, меньше разбавляется наплавленный слой металлом детали, что имеет важное значение при наплавке тонких слоев, особенно проволокой с повышенным содержанием углерода и легирующих элементов.

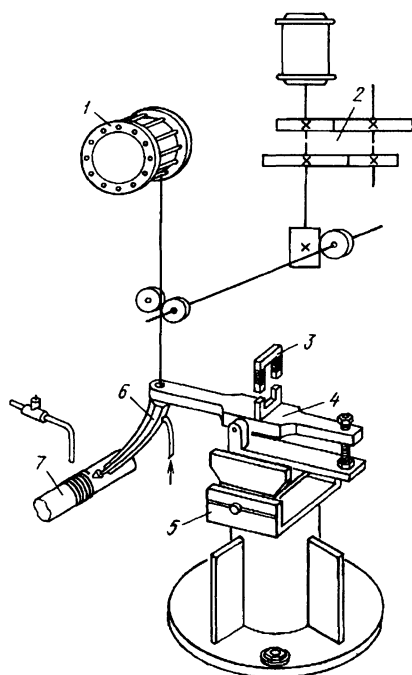


Рис. 1.10. Вибродуговой аппарат конструкции ЧТЗ

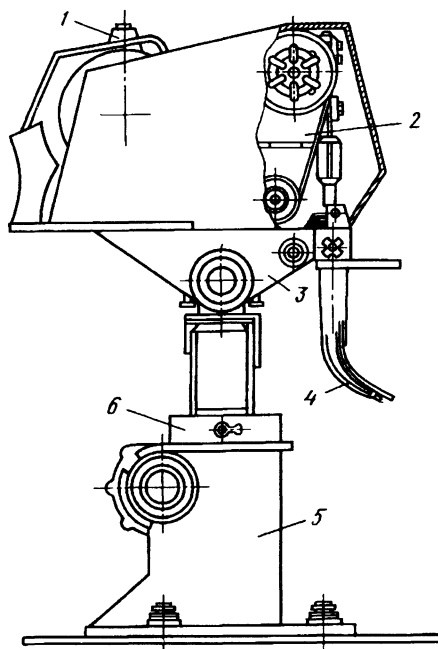


Рис. 1.11. Вибродуговой аппарат ОКС-6569:
1 — электродвигатель; 2 — механизм подачи проволоки;
3 — вибратор; 4 — хоботок для подвода проволоки к детали (мундштук); 5 — опорный узел; 6 — механизм подъема

Типичным вибродуговым аппаратом с боковым подводом электродной проволоки является рассмотренный аппарат ЧТЗ [5]. Вибродуговой аппарат УХЛ4-ГОСНИТИ (из семейства ГМВК) с заводской маркой ОКС-6569 (рис. 1.11) предназначен для вибродуговой наплавки металла в углекислом или другом защитном газе проволокой сплошного сечения диаметром 1,2...2 мм, а также для вибродуговой наплавки открытой дугой самозащитной порошковой проволокой диаметром 2...3 мм. Опорный узел 5 позволяет менять положение основной части аппарата по высоте, поворачивать аппарат вокруг горизонтальной оси. Благодаря использованию различных мундштуков 4 можно вести наплавку с боковым или верхним подводом электродной проволоки к детали, с различным смещением места подвода проволоки с верхней точки детали.

Аппарат снабжен мундштуками для наплавки внутренних цилиндрических поверхностей с минимальным диаметром при вибродуговой наплавке в струе жидкости 45 мм, в углекислом газе 55 мм. Во всех случаях, отключив вибратор, можно вести наплавку без вибрации электрода.

Значительное применение получили вибродуговые аппараты типов ВДГ-3, ВДГ-5 и ВДГ-65. Только верхний подвод электродной проволоки к детали расширил диапазоны максимальных диаметров применяемых электродных проволок и рабочих сил тока аппаратов. В автоматическом вибродуговом аппарате ВДГ-3 (рис. 1.12) применен электромагнитный привод вибрации электрода с питанием катушек 1 электромагнита переменным током частотой 50 Гц от трансформатора с рабочим напряжением 36 В. При таких условиях частота колебаний электрода составляет 100 Гц. Параметры колебательной системы обеспечивают ее работу в области резонанса без стуков в магнитопроводе и без существенного изменения размаха вибрации конца электрода. Это в значительной мере достигается путем демпфирования колебательной системы с помощью гидравлического амортизатора 4, двух пружин, стабилизирующих колебания якоря, подкладок из эластичной резины толщиной 14 мм, размещенных под пружинами.

Значительное влияние на стабильность работы колебательной системы оказывает электродная проволока, проходящая по каналу хоботка 6. Износ канала и увеличение его размеров приводят к поперечному перемещению проволоки в канале и нарушению стабильности вибрации конца электрода. Для устранения этого служит специально разработанный хоботок (рис. 1.13) с откидной цепочкой 2, которую можно поджимать к проволоке с помощью регулируемой пружины и устранять этим зазоры между проволокой 1 и стенкой хоботка. Стабилизация перемещения проволоки в хоботке приводит к стабилизации вибрации конца электрода.

Подача электродной проволоки в вибродуговом аппарате ВДГ-3 осуществляется с помо-

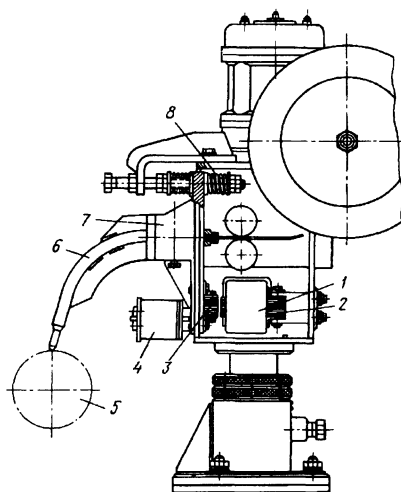


Рис. 1.12. Вибродуговой аппарат ВДГ-3:

1 — катушка электромагнита; 2 — ярмо; 3 — якорь; 4 — гидравлический амортизатор; 5 — наплавляемая деталь; 6 — хоботок; 7 — вибрирующий кронштейн; 8 — пружины

стью трехфазного асинхронного электродвигателя типа ПА-22, перемотанного на напряжение 36 В. Его мощность составляет 0,125 кВт при

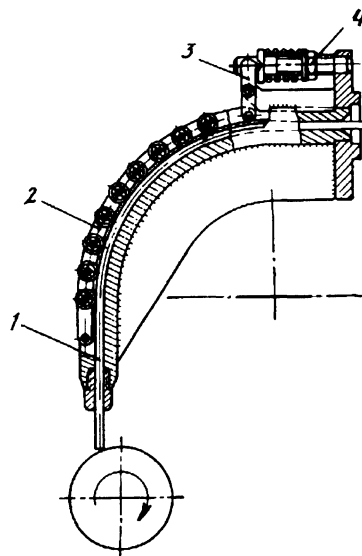


Рис. 1.13. Хоботок с пружинным поджатием электродной проволоки:

1 — электродная проволока; 2 — откидная цепочка; 3 — регулировочное коромысло; 4 — регулировочная гайка

частоте вращения 2800 мин^{-1} . Вращение якоря двигателя через червячную и две цилиндрические пары передается на вал одного из электродподающих роликов. Валы роликов связаны шестеренной передачей, поэтому оба ролика являются ведущими. Это позволяет применять для наплавки мягкую проволоку и проволоку диаметром 3 мм, подача которых затруднена на аппаратах с одним ведущим роликом. Изменение скорости подачи проволоки производится с помощью сменных шестерен. Диапазон изменения скорости 54,7...86,4 м/ч.

Червячная и первая цилиндрическая пары заключены в отдельную коробку и составляют редуктор аппарата. Вторая сменная цилиндрическая пара размещена вне редуктора, на его корпусе, и защищена металлическим кожухом. Она позволяет регулировать скорость подачи проволоки [10].

Способ вибродуговой наплавки в потоке воздуха [9] может выполняться любыми вибродуговыми аппаратами, хоботки которых снабжены соплами для подачи воздуха. Исследования и производственный опыт показали, что поток воздуха можно создавать не только путем его вдувания в зону наплавки, но и посредством отсоса из рабочей зоны. В этом случае не только оказывается благоприятное металлургическое воздействие на расплавленный металл, но и происходит удаление мелких брызг из рабочей зоны [8].

Аппараты для автоматической вибродуговой наплавки устанавливаются на станках вибродуговых установок. Конструкции станков зависят от формы наплавляемых деталей и их изнашивающихся поверхностей. В случае наплавки деталей с цилиндрическими поверхностями конструкции станков обеспечивают крепление детали и ее вращение вокруг своей оси с линейной скоростью точек поверхности детали, равной скорости наплавки, а также перемещение вибродугового аппарата вдоль оси детали со скоростью, соответствующей шагу наплавки. В связи с отсутствием централизованного выпуска станков вибродуговые установки чаще всего монтируют на базе токарных или токарно-винторезных станков с подачей суппорта до 4 мм/об. При этом расстояние между центрами и высота центров должны соответствовать габаритам наплавляемых деталей.

В зависимости от диаметра детали и толщины наплавляемого слоя частота вращения шпинделя станка должна составлять 0,3...20 мин^{-1} . Для получения нужной скорости между двигателем и станком устанавливают редуктор, снижающий частоту вращения шпинделя, причем каждая последующая ступень шпинделя должна отличаться от предыдущей не более, чем на 20%, а разница между смежными значениями подачи суппорта не более 0,4 мм/об. Вибродуговой аппарат закрепляется на суппорте токарного станка в месте крепления резцедержателя. Для защиты поверхностей направляющих станины служат резиновые фартуки или металлические щитки, прикрывающие на-

правляющие и перемещающиеся вместе с суппортом. Желательно, чтобы станок был снабжен системой подачи на деталь охлаждающей жидкости. При монтаже вибродуговой установки может использоваться станок установки УД209 для дуговой наплавки цилиндрических деталей, разработанной Институтом электросварки им. Е. О. Патона.

Вибродуговые установки для наплавки плоских поверхностей состоят из подъемного стола, на котором закрепляется наплавляемая деталь, и расположенных над столом направляющих с перемещающейся по ним специальной кареткой. Аппарат для наплавки крепится на этой каретке, имеющей устройства для регулирования скорости ее перемещения. Процесс вибродуговой наплавки осуществляется на постоянном токе. В качестве источников применяют выпрямители и преобразователи тока, используемые, в частности, при сварке в среде углекислого газа: выпрямители ВДГ-301; ВДГ-302; ВДГИ-101 и ВДГИ-301 и преобразователи ПСО-300, ПСО-300-2, ПСО-300-3, ПСО-300М, ПСО-315М.

1.8. АППАРАТЫ ДЛЯ ДУГОВОЙ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ И АВТОМАТИЧЕСКОЙ СВАРКИ ПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ С ПРИНУДИТЕЛЬНЫМ ФОРМИРОВАНИЕМ ШВА

Отличительной особенностью аппаратов для дуговой сварки с принудительным формированием является наличие формирующих приспособлений, которые удерживают на вертикальной, наклонной, горизонтальной (в том числе горизонтальной на вертикальной плоскости) ванну расплавленного металла до ее затвердевания. Они обычно сваривают металл толщиной менее 20 мм.

Сварка с принудительным формированием предусматривает выполнение ряда функций (вертикальное перемещение аппарата, прижим ползуна, удержание аппарата на вертикальной плоскости, подача электродной проволоки и др.), обеспечиваемых комплексом механизмов, составляющих сварочный аппарат. В зависимости от назначения и степени механизации аппарат для сварки с принудительным формированием может содержать механизмы, способные выполнять все перечисленные функции (автомат) или только некоторые из них (полуавтомат). Аппараты для дуговой сварки с принудительным формированием шва классифицируют по следующим признакам, определяющим их назначение, технологические возможности и конструктивные особенности:

по положению свариваемых швов в пространстве — вертикальных или наклонных, горизонтальных на вертикальной плоскости, криволинейных с различным и переменным положением в пространстве, в том числе неповоротных стыков труб, сферических резервуаров и т. д.;

по способу перемещения вдоль свариваемых кромок — самоходные (рельсового, безрельсового и комбинированного типов), подвесные;

1.18. Техническая характеристика автоматов для дуговой сварки плавящимся электродом с принудительным формированием шва

Наименование	Тракторы для сварки в нижнем положении		Автоматы для сварки вертикальных и наклонных стыковых швов	
	ТС-32	ТС-44	A1150Y	A1381M
Номинальная сила сварочного тока при ПВ-100 %, А	1000	1600	500 (при ПВ-60 %)	450 (при ПВ-60 %)
Исполнение	—	—	Безрельсовый	Рельсовый
Защита зоны сварки	Флюсовая		Газовая	
Толщина свариваемого металла, мм	3... 12	10... 20	8... 30	10... 25
Электродная проволока:				
диаметр, мм	2... 5	3... 6	2,5... 3,5	2,6... 3
скорость подачи, м/ч	137... 284	60... 360	180... 220	150... 300
Способ регулирования скоростей подачи и сварки	С	П	П	П
Скорость сварки, м/ч	24... 50	8... 45	3... 10	4... 12
Источник питания	ТДФ-1001	ВДУ-1601	ВДУ-504	ПСГ-500
Габаритные размеры автомата, мм	805×495×440	940×610×390	470×280×875	800×445×440
Масса автомата, кг	45	115	31,5	42,5

Примечание. П и С — соответственно плавное и ступенчатое регулирование.

по способу принудительного формирования металла шва — со скользящими ползунами, с неподвижными относительно кромок металлических или флюсовыми устройствами;

по способу защиты зоны дуги — под флюсом, в защитных газах, без внешней защиты (с помощью самозащитных проволок).

Полуавтоматы, в которых все операции, кроме подачи электродной проволоки, выполняются вручную, просты, но работа с ними сравнительно быстро вызывает утомление. Полуавтоматы для дуговой сварки с принудительным формированием получили сравнительно небольшое распространение по сравнению со сварочными автоматами, поэтому ниже рассматриваются только автоматы. Техническая характеристика автоматов для дуговой сварки плавящимся электродом (с одной дугой) с принудительным формированием шва приведена в табл. 1.18.

Сварочный трактор ТС-32 предназначен для дуговой сварки в нижнем положении под флюсом стыковых швов металла толщиной 3...12 мм (рис. 1.14). Односторонняя сварка с полным проваром осуществляется на скользящем медном водоохлаждаемом ползуне, который удерживает сварочную ванну и формирует нижнюю сторону шва. Применение скользящего ползуна позволяет отказаться от магнитных стенов или других устройств, обеспечивающих поджатие медной или флюсовой подушки с нижней стороны шва. При сварке листы собираются с небольшим зазором.

Трактор состоит из двух частей: собственно трактора и нижней тележки с формирующим ползуном, находящейся под свариваемыми листами. Обе части связаны между собой тонким стальным ножом, проходящим через зазор между свариваемыми кромками, и прижаты друг к другу мощной пружиной (сила до 5000 Н). Ходовые ролики верхней и нижней тележек выполняют при сварке следующие операции: совмещение свариваемых кромок в одну плоскость, поджим и перемещение формирующего ползуна, направление трактора по стыку и пе-

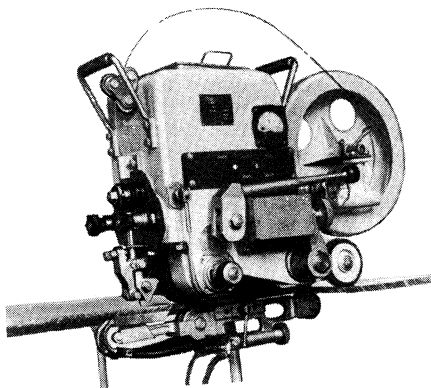


Рис. 1.14. Трактор ТС-32 для дуговой сварки

ремещением его вдоль свариваемого соединения.

В корпусе трактора размещен механизм сварочного движения, механизм подачи электродной проволоки, мундштук и бункер для флюса. Трактор приводится в движение одним асинхронным двигателем. Скорости подачи и сварки настраиваются ступенчато с помощью спаренной коробки передач с двумя вытяжными шпонками. Бегунки ходового механизма имеют острые реборды, идущие во время сварки по зазору между свариваемыми кромок. Во избежание поломки ходового механизма при резком увеличении сопротивления его движению трактор снабжен муфтой предельного момента.

При качественной сборке изделий применение трактора очень эффективно, не требует кантовки (для сварки с другой стороны) крупногабаритных тяжелых свариваемых полотен.

Сварочный трактор ТС-44 предназначен для односторонней сварки под флюсом стыковых швов металла толщиной 10...20 мм. Его конструкция аналогична конструкции трактора ТС-32, но более жесткая в связи с большей толщиной свариваемых листов. Для совмещения свариваемых кромок предусмотрена очень мощная пружина (сила до 8000 Н, которую при необходимости можно увеличить дополнительным пневмоустройством). Подающий и ходовой механизмы трактора ТС-44 приводятся в движение двигателями постоянного тока с планетарными редукторами, обеспечивающими в широких пределах плавную настройку скоростей подачи и сварки.

Безрельсовый автомат А1150У предназначен для сварки в заводских и монтажных условиях вертикальных и наклонных стыковых швов металла толщиной 8...30 мм с применением порошковой проволоки и защитного углекислого газа. Автомат движется непосредственно по кромок свариваемого изделия и состоит из двух тележек, расположенных по обе стороны свариваемых листов и прижатых к свариваемым кромок мощной пружиной, которая обеспечивает требуемое сцепление колес тележек с изделием и копирование шва. Точное расположение электрода по середине зазора между кромок колеса передней и задней тележек обеспечивает клиновидный профиль. На передней тележке установлены сварочная головка с передним ползуном, привод ходового механизма, катушка с проволокой и пульт управления, а на задней — устройство для подвода защитного газа и задний ползун.

Для удобства эксплуатации, особенно в монтажных условиях (когда отсутствуют подъемные средства), автомат собирают из отдельных блоков. В первую очередь устанавливают блок, имеющий переднюю и заднюю тележки, затем сварочную головку с передним ползуном, который поджимается дополнительной пружиной [26]. Сварка выполняется с колебаниями электрода в направлении толщины свариваемого металла.

Рельсовый автомат А1381М предназначен для сварки в монтажных условиях вертикальных и наклонных стыковых швов порошковой проволокой металла толщиной 10...25 мм. Он выполнен из трех монтируемых узлов: ходовой тележки, сварочной головки и пульта управления. Сборный многозвенный рельсовый путь монтируется вдоль стыка непосредственно на изделии, на предварительно приваренных проушинах и крепится клиньями. Сварка выполняется с формированием шва в один или несколько проходов с колебаниями электрода в разделке в направлении толщины свариваемого металла.

1.9. АППАРАТЫ ДЛЯ ДУГОВОЙ СВАРКИ НЕПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ В ИНЕРТНЫХ ГАЗАХ

Для сварки в любом пространственном положении применяют также аппараты с неплавящимся электродом с присадкой или без нее. Особенности сварки неплавящимся электродом являются: возможность независимого управления мощностью дуги (отдельно силой тока и длиной, а следовательно, напряжением) и количеством присадочного материала; инертная защита сварочной ванны и, при сварке током обратной полярности или переменным, ее катодная очистка.

При сварке неплавящимся электродом существенны различия физических свойств электродов, больше доля мощности, расходуемой в электроде, и необходимо специальное устройство для поджига дуги. При сварке переменным током для дуги характерны высокие пики напряжения повторного зажигания, особенно при сварке легких металлов и сплавов (алюминия, магния), в моменты образования катода на изделии, а также большое различие средних значений напряжения дуги прямой и обратной полярности.

Особенности аппаратуры для сварки неплавящимся электродом связаны с необходимостью иметь горелки для установки и закрепления неплавящегося стержня в нужном положении, для надежного подвода к нему сварочного тока, для осуществления его быстрой замены или возмещения расхода электрода, а также для обеспечения защиты разогретого электрода от воздействия воздуха. Горелка является наиболее важным узлом любого сварочного аппарата. Требования к конструкции сопла и характеру истечения газа при сварке неплавящимся электродом такие же, как и при сварке плавящимся электродом, однако отсутствие брызг позволяет широко применять керамические сопла. Полуавтоматы для сварки неплавящимся электродом применяют значительно реже, чем автоматы. Так, для сварки вольфрамовым электродом с присадочной проволокой имеются одна-две модели полуавтоматов [16, 19].

Автоматы применяют для сварки неповоротных стыков труб [11]. Наибольшее распространение получили автоматы типов ОДА (ОДА-1СИ, ОДА-2СИ, ОДА-3М) и АСТ (АСТ-I и АСТ-II). Автоматы типа ОДА пред-

назначены для сварки без присадки неповоротных стыков труб диаметром 8...76 мм и толщиной стенки до 3,5 мм. Они снабжены механизмом стабилизации дуги (СДД). Механизмы головки размещены на скобе, приводимой в движение от приводного двигателя с помощью раздаточного шестеренчатого механизма. Переносные головки имеют небольшую массу (до 6 кг), малую установочную длину (до 100 мм) и малый радиус вращающихся частей (до 90 мм), позволяющие широко применять их в условиях монтажа.

Автоматы типа АСТ предназначены для сварки неповоротных стыков труб в монтажных (АСТ-II) и цеховых (АСТ-I) условиях. В зависимости от материала изделия они комплектуются источниками постоянного (АСТ-IC, АСТ-IT для стали и титана) и переменного (АСТ-IA) тока. Автоматы позволяют сваривать трубы диаметром до 220 мм и толщиной стенки 20 мм. Они снабжены механизмами подачи присадки, автоматическим регулятором напряжения дуги (АРНД) и поперечных колебаний электрода. Для установки на трубу корпус автомата выполнен разъемным.

Для монтажной сварки неплавящимся электродом трубопроводов атомных электростанций разработан ряд малогабаритных автоматов, например автоматы АДГ201 и АДГ301. Автомат АДГ201 предназначен для сварки труб диаметром 57...160 мм. В его состав входят источник питания — установка УДГ-201, аппаратура управления и четыре сменные сварочные головки. Головки имеют малую установочную длину (до 90 мм) и малый радиус вращающихся частей (93 мм в головке для сварки труб диаметром до 76 мм и 135 мм в головке для сварки труб диаметром до 160 мм), что позволяет вести сварку в стесненных условиях АЭС.

Автомат АДГ301 — тракторного типа, в котором трактор перемещается по направляющему зубчатому колесу, установленному на трубу. Автомат снабжен кольцами пяти типоразмеров, что позволяет вести сварку труб диаметром 219...1020 мм. На тракторе размещены механизмы подачи присадочной проволоки, колебатель и механизм дистанционного управления присадкой. Автомат АДГ301 снабжен специальной аппаратурой управления типа АУК-03 на базе микроЭВМ, позволяющей управлять сваркой с пульта управления, а также вести сварку по программе, записанной перед сваркой, или по одной из программ, имеющихся в постоянном запоминающем устройстве.

Известны специализированные автоматы радиально-консольного типа АРК-3-11АВ и тракторы общего назначения АДСВ-6 (см. табл. 1.16). Подобно автоматам АРК-3-11АВ консольного типа в серийном производстве освоен автомат АРК-4.

На основе подвесной сварочной головки АСГВ-5 (рис. 1.15) для сварки вольфрамовым электродом в среде защитных газов создан автомат АДСВ-7. Диапазон регулирования скорости сварки (перемещения тележки) автомата 0,0014...0,02 м/с. В состав головки АСГВ-5

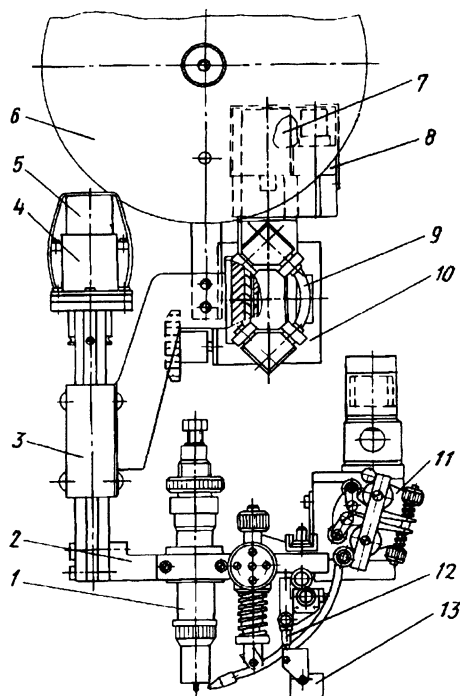


Рис. 1.15. Подвесная сварочная головка АСГВ-5:

1 — горелка; 2 — механизм крепления горелки; 3, 9 — механизмы соответственно вертикального и поперечного перемещения; 4, 7 — приводы; 5, 8 — блоки тахогенератора; 6 — катушка; 10 — кронштейн крепления головки; 11 — редуктор подачи присадочной проволоки; 12 — устройство для крепления индуктивного датчика; 13 — датчик

входит программируемая система управления процессом сварки путем реализации заданной программы микропроцессорной системой ПСУ-1. Техническая характеристика головки АСГВ-5 приведена ниже.

Номинальная сила сварочного тока при ПВ-60%, А	315
Номинальное напряжение трехфазной сети частотой 50 Гц, В	380 ± (10)%
Диаметр вольфрамового электрода, мм	1...5
Диаметр присадочной проволоки, мм	0,8...2
Диапазон регулирования скорости подачи присадочной проволоки, м/с	0,0022...0,030
Установочные перемещения горелки, мм:	
поперек стыка	100
по вертикали к стыку	100
Скорость перемещения горелки, м/с:	
поперек стыка	0,001 ± 20%
по вертикали	0,005 ± 20%
Угол наклона горелки в плоскости сварки, °	± 90
Максимальная погрешность при слежении, мм:	
за свариваемым стыком	± 0,3

за установленной величиной дугового промежутка. $\pm 0,2$
 Максимальная потребляемая мощность, кВт 19,6
 Габаритные размеры (головки), мм $290 \times 385 \times 675$
 Масса, кг 26,5

1.10. МЕХАНИЧЕСКОЕ СВАРОЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Как уже отмечалось, механизация и автоматизация отдельных сварочных операций не решает в полной мере проблемы существенно повышения эффективности сварочного производства, так как собственно сварочные операции, как правило, не превышают

15...20% общей трудоемкости производства сварных конструкций [11]. Решающее значение для снижения трудоемкости изготовления сварных конструкций имеет наличие механического сварочного оборудования, включаемого в общий технологический процесс изготовления сварных металлоконструкций [26]. Механическое сварочное оборудование обеспечивает выполнение одной из следующих функций: фиксирование свариваемого изделия в удобном для сварки положении, поворот свариваемого изделия при выполнении сварных швов и различных плоскостях; вращение свариваемого изделия со сварочной скоростью, обеспечивающего постоянство скорости

1.19. Техническая характеристика вращателей для сварки

Параметры	Вертикальные типа М210			Горизонтальные типа М310		
	50А	60	70	40, 41	50, 50А	70А, 71
Грузоподъемность, т	2	2	4	0,8	2	6,3
Максимальный крутящий момент на оси вращения, Н · м	1000	2500	6300	400	1000	6300
Диаметр свариваемых изделий, мм	100... 2000	100... 1500	50... 2500	Менее 1500	Менее 1900	Менее 2500
Максимальная длина свариваемых изделий, мм	—	—	—	4400	4000	6300
Высота центров, мм	—	—	—	800	1000	1250
Номинальная сила сварочного тока, А	1000	1000	2000	1000	1000	12500
Частота вращения, мин ⁻¹	0,05... 2,5	0,05... 2,5	0,018... 1,8	0,063... 3,15	0,05... 2,5	0,018... 1,8
Габаритные размеры, мм	1000×1000××630	1612×1612××800	1260×1260××100	6000×800××1220	6000×1000××1600	9100×1400××1950
Масса, кг	550	1190	1225	500, 450	1100, 1150	2050, 1970

1.20. Техническая характеристика кантователей для сварки

Параметры	С подъемными центрами			Со стационарными центрами		
	КП-4	КДП-4	КДП-8	К-2	К-4	К-8
Грузоподъемность, т	4	4	8	2	4	8
Максимальный крутящий момент, Н · м	6300	6300	16000	2500	6300	16000
Высота центров, мм	1250	630... 2130	630... 2430	1000	1000, 1250	1250
Номинальная сила сварочного тока, А	1000	1250	1600	1000	1250	1500
Габаритные размеры, мм	580×1080××1400	17050×1910××3890	21100×2400××4270	850×750××1200	850×750××1360	800×1060××1650
Масса, кг	950	12650	13500	620	700	950

сварки при выполнении круговых (кольцевых) швов; установку и перемещение сварочных автоматов; перемещение сварщиков. Некоторые виды этого оборудования сочетают в себе выполнение нескольких из перечисленных функций.

С определенной долей допущения механическое сварочное оборудование можно разделить на две группы: для установки и перемещения свариваемых изделий; для установки и перемещения сварочных автоматов и перемещения сварщиков.

К оборудованию для установки и поворота свариваемых изделий относятся: вертикальные и горизонтальные сварочные вращатели; универсальные сварочные вращатели, в том числе с программным управлением; кантователи; роликовые сварочные вращатели. В настоящее время значительная часть механического сварочного оборудования стандартизована, например: вертикальные (ГОСТ 19141—94), горизонтальные двухстоечные (ГОСТ 19140—94) и универсальные (ГОСТ 19143—94) вращатели; роликовые опоры и секции сварочных роликовых вращателей (ОСТ 2 Н69—7—86).

Вращатели предназначены для вращения свариваемого изделия со скоростью, равной скорости сварки, либо для ступенчатого поворота изделия в нужное для сварщика положение. В зависимости от положения оси вращения в пространстве различают вращатели вертикальные и горизонтальные, причем последние могут обладать подъемными центрами (табл. 1.19). На рис. 1.16 представлен сварочный горизонтальный вращатель МЗ1070А. Горизонтальные вращатели иногда называют кантователями — механизмами, позволяющими переворачивать изделие. На рис. 1.17 представлен двухстоечный кантователь с подъемными центрами. Существуют разные виды кантователей, например: книжные, предназначенные для плоских изделий; цепные (рис. 1.18), широко используемые при изготовлении сварных, двутавровых балок и др. (табл. 1.20).

Универсальные сварочные вращатели (табл. 1.21) могут быть двух типов — консольные и карусельные. На рис. 1.19 приведена схема манипулятора консольного типа. Техническая характеристика универсальных сварочных вращателей с программным управлением приведена в табл. 1.22.

Для изготовления секций трубопроводов среднего (300...800 мм) и большого (менее 2200 мм) диаметра, а также цилиндрических изделий (сосудов и др.) диаметром до 5 м применяют специальные роликовые вращатели различной длины, которые можно набирать из отдельных секций (рис. 1.20). Ниже приведена техническая характеристика роликовых вращателей М61051, М61061, М61071, М61081.

Максимальный крутящий момент на оси вращения приводных роликов, Н·м	2000
Максимальный диаметр свариваемого изделия, мм	4000
Установленная мощность, кВт	1,2

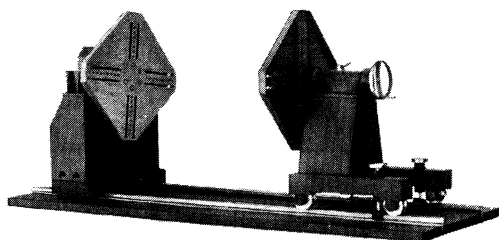


Рис. 1.16. Сварочный горизонтальный вращатель МЗ1070А

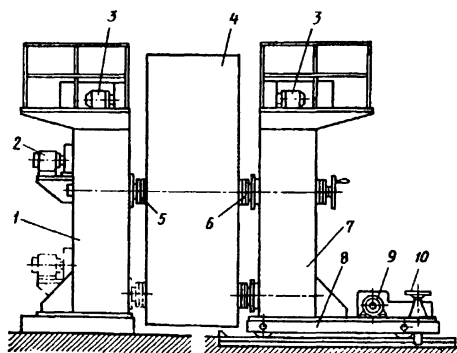


Рис. 1.17. Двухстоечный кантователь с подъемными центрами:

- 1 — передняя приводная стойка; 2 — привод вращения; 3 — приводы подъема центров (синхронизированные); 4 — свариваемое изделие; 5, 6 — приводные центры; 7 — задняя стойка; 8 — тележка задней стойки; 9 — привод тележки; 10 — стопор тележки

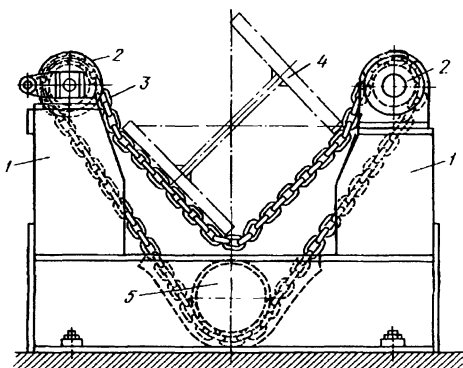


Рис. 1.18. Цепной кантователь:

- 1 — опорные стойки; 2 — цепные блоки; 3 — замкнутая бесконечная цепь; 4 — свариваемая балка; 5 — ведущая цепная звездочка

1.21. Техническая характеристика сварочных вращателей типа М110

Параметры	10А*	40	50А	60А	70А	80А	80*	90
Грузоподъемность, кг	63	400	1000	2000	3150	8000	125	12500
Момент, Н·м:								
максимальный крутящий на оси планшайбы	25	400	1000	4000	6300	16000	63	31500
центра тяжести изделия относительно планшайбы	40	630	1600	4000	10000	25000	150	63000
Максимальный диаметр свариваемых изделий, мм	500	1500	1500	1800	1800	25000	630	3000
Угол наклона планшайбы, °	135	270	135	135	135	135	135	120
Допускаемая сила сварочного тока, А	500	1000	1000	1250	1250	1600	500	2000
Частота вращения план- шайбы, мин ⁻¹	1,25... 6,3	0,063... 3,15	0,05... 2,5	0,05... 2,5	0,018... 1,68	0,025... 1,25	0,1... 5	0,02... 1
Габаритные размеры, мм	694×600× ×280	1500×800× ×810	1265×1195× ×900	1800×1600× ×1170	1490×1790× ×1140	2390×2025× ×1590	850×695×400	3660×2270× ×2140
Масса, кг	63	400	680	1500	1610	5200	73	9500

* Настольного типа.

Частота вращения приводных роликов, мин ⁻¹	0,06...3
Габаритные размеры приводной секции, мм	3530 × 840 × 820
Число приводных секций	Одна
Модель M61051 M61061 M61071 M61081	70СДА
Грузоподъемность, т 10 12,5 20 25 13,6	
Масса, кг 1070 1395 1310 1730 1700	

Межцентровое расстояние роликовой опоры устанавливается в зависимости от диаметра изделия. Ролики часто имеют обрешиненную поверхность соприкосновения с изделием.

К оборудованию для установки и перемещения сварочных автоматов и перемещения сварщиков относятся сварочные колонны, порталы, площадки для сварщиков. Сварочные колонны и порталы предназначены для установки и перемещения сварочных автоматов и полуавтоматов. Колонны для сварочных автоматов могут быть стационарными и передвижными. Стационарные колонны выполняются поворотными и неповоротными с подъемной или стационарной консолью. В зависимости от назначения (для самоходного или несамоходного автомата) колонна может иметь невыводимую или выводимую консоль. Выводимая консоль имеет привод со сварочной скоростью. Колонны для самоходных сварочных автоматов имеют на консоли направляющие. Для сварочных автоматов рекомендуются колонны с основными параметрами, приведенными в табл. 1.23.

Сварочные порталы представляют собой две передвижные колонны, соединенные поперечной балкой. Каждая колонна опирается на одноколейную платформу. Вертикально перемещающиеся по колоннам каретки соединены траверсой, по которой передвигается сва-

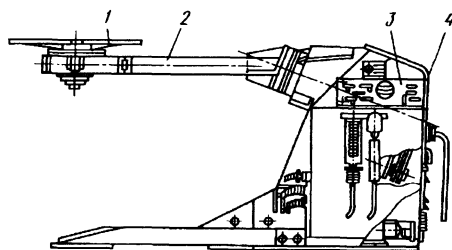


Рис. 1.19. Универсальный вращатель консольного типа:

1 — поворотная планшайба; 2 — штанга; 3 — пульт управления; 4 — станина

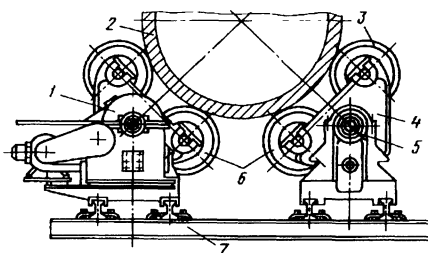


Рис. 1.20. Секция роликового стэнда:

1 — привод; 2 — изделие; 3, 6 — ролики; 4 — поворотная рама; 5 — ось; 7 — рама

рочный автомат. Портал перемещается по рельсовому пути широкой колеи. Между рельсами располагается свариваемое изделие.

1.22. Техническая характеристика сварочных вращателей с программным управлением

Параметры	Универсальные				Горизонтальные		
	M1500400 (1)	M150500 (1)	M150310 (2)	M150410 (2)	402M (1)	M150530 (1)	M150730*
Грузоподъемность, кг	400	1000	160	400	800	1600	6300
Число программных координат	2	2	2×2	2×2	1	1	2
Максимальный крутящий момент на оси вращения, Н·м	400	1000	160	400	400	1000	6300
Максимальная частота вращения планшайбы, мин ⁻¹	10	6,3	3	10	10	6,3	2,5
Угол наклона планшайбы, °	±160	±150	±150	±160	—	—	—
Погрешность позиционирования, °	±0,017	±0,023	±0,017	±0,017	±0,017	±0,023	±0,023

* Двухстоечный с подъемными центрами.

Примечание. Цифры в скобках: 1 — однопозиционный; 2 — двухпозиционный.

1.23. Техническая характеристика колонн для сварочных автоматов

Ход мундштука вдоль оси консоли, мм	Ход консоли, мм (вертикальный)	Маршевая скорость, м/с, не менее	
		колонн	консоли*
800	630, 1000	0,2	0,034/0,016
1250	1000, 1600		
2000	1000, 1600, 2500		
2800	2000, 2500, 3150		
3150	2500, 3150, 4000		
5000	3150, 4000, 5000, 6300	0,16	0,034/0,012
8000	5000, 6300, 8000, 10000		0,034/0,008

* В числителе даны значения при выдвижении консоли, а в знаменателе — при подъеме и опускании.

Площадки для сварщиков предназначены для размещения сварщиков и сварочной аппаратуры, а также для перемещения их в зону сварки. Они рассчитаны на одного или нескольких сварщиков и могут быть передвижными, переносными и стационарными.

1.11. УСТАНОВКИ И СТАНКИ ДЛЯ ДУГОВОЙ СВАРКИ И НАПЛАВКИ

Установки и станки содержат электросварочное, механическое и вспомогательное оборудование [16, 26]. Установки и станки для сварки и наплавки классифицируют в зависимости от вида дугового процесса, как и сварочные автоматы, по следующим признакам: по способу защиты металла в зоне сварки; по виду электрода; по числу дуг с раздельным или общим питанием; по наличию внешнего воздействия на формирование шва. Кроме того, станки и установки различают: по степени специализации — универсальные, специализированные и специальные; по типу свариваемых (наплавляемых) изделий; по виду свариваемых соединений — для сварки стыковых, угловых, нахлесточных или тавровых соединений; по форме линии соединения — для сварки прямолинейных швов и наплавки плоскостей, сварки круговых швов и наплавки поверхностей тел вращения, сварки швов сложной формы и наплавки сложных кромок и поверхностей; по расположению сварочного аппарата (головки, мундштука, горелки) относительно замкнутых поверхностей изделия — для сварки внутренних и наружных швов. Принято также различать установки и станки по габаритным размерам и массе свариваемых (наплавляемых) изделий [1]: малые (легкие) — для изделий диаметром до 250 мм, длиной до 630 мм и массой до 63 кг; средние — для изделий диаметром 250...1600 мм, длиной 630...2500 мм, массой 63...1000 кг; крупные (тяжелые) — для изделий диаметром не менее 1600 мм, длиной более 2500 мм и массой выше

1000 кг. По числу одновременно свариваемых швов или участков одного шва различают установки и станки для сварки одной головкой (инструментом) и многоголовочные.

В дальнейшем за основу для сопоставления и анализа компоновок и конструкций принята классификация сварочных и наплавочных установок и станков по форме линии шва или наплавляемой поверхности, а также по типу свариваемого изделия (форме, соотношению размеров) и особенностям технологии и техники сварки, которые определяют специфику компоновки и конструкции установок и станков.

Установки и станки для сварки и наплавки в зависимости от типа свариваемых швов (продольные, кольцевые, сложной конфигурации) и типа свариваемых изделий (балки, плоские секции, цилиндры, корпусные и коробчатые конструкции) подразделяют на группы: 1) для сварки прямолинейных швов; 2) для сварки круговых швов и наплавки поверхностей тел вращения; 3) для сварки швов сложной формы и наплавки сложных кромок и поверхностей.

Установки и станки для сварки прямолинейных швов и наплавки плоскостей. Для сварки прямолинейных швов плоских листовых конструкций и тел вращения с прямолинейной образующей чаще всего применяют установки с прижимом свариваемых кромок к подкладкам и флюсовым подушкам. Они состоят из зажимного устройства (стенда) с встроенной или установленной под ним флюсовой подушкой или металлической подкладкой и сварочного аппарата самоходного типа, перемещающегося по направляющим, закрепленным на стенде (консоли), или сварочного аппарата подвесного типа, закрепленного на выдвижной штанге колонны, устанавливаемой рядом со стендом.

На рис. 1.21 приведены типовые схемы компоновок этих установок. Установка проходного типа (рис. 1.21, а) предназначена для сварки листов встык. Листы в зону сварки подаются по ролямгангу. В установке, применяемой

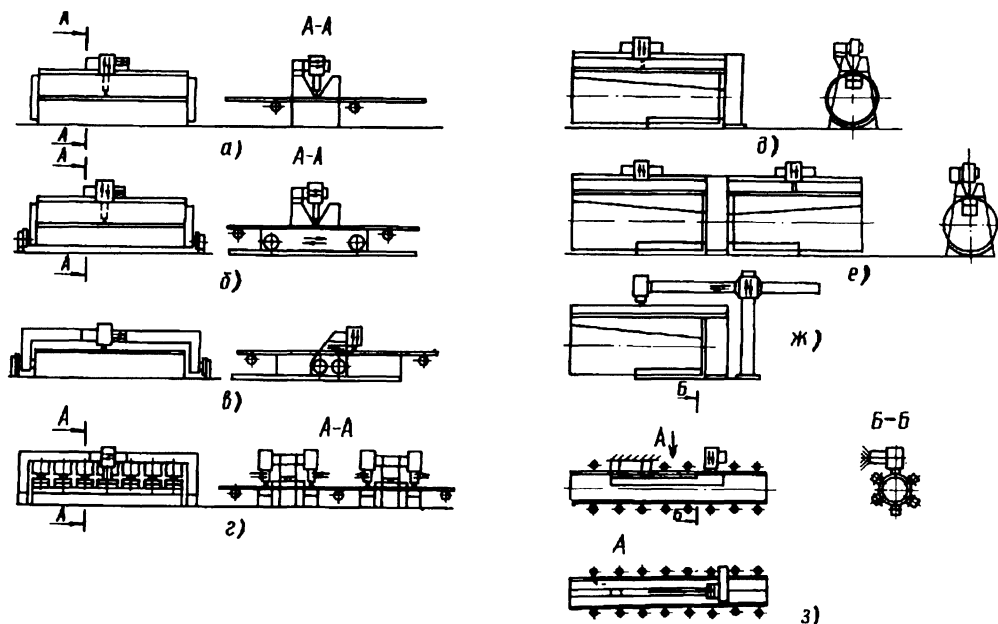


Рис. 1.21. Типовые схемы компоновки установок и станков для дуговой сварки прямолинейных стыковых швов с прижимом свариваемых кромок

при сварке крупных полотнищ (рис. 1.21, б), листы подаются по роллангу, сварочный аппарат перемещается по направляющим портала, а последний поочередно выставляется над каждым свариваемым швом. Вместе с порталом перемещается флюсовая подушка или металлическая подкладка, смонтированная на тележке портала.

В компоновке, показанной на рис. 1.21, *в*, предусматривается применение неподвижного магнитного стенда для сборки изделия (полотнища или обечайки), прижима свариваемых кромок и совмещения их друг с другом. Флюсовые подушки встроены в магнитный стэнд. Сварочный аппарат перемещается по направляющим легкого портала — катучей балки. Сварку полотнищ на магнитных стендах часто выполняют с помощью сварочных тракторов, перемещающихся непосредственно по полотнищу.

Для повышения производительности и эффективности сварки применяют одновременно несколько головок. При выполнении одного прямолинейного шва используют компоновки сварочных установок с размещением головок по схеме тандем, а для одновременной сварки нескольких параллельных швов — компоновки с размещением головок по схеме гребенка (рис. 1.21, а). Установки, скомпонованные по схеме, показанной на рис. 1.21, б, предназначены для сварки наружных прямолинейных швов тел вращения. Установка, показанная на рис. 1.21, в, отличается от предыдущей тем, что она двухместная. В то время,

когда на одном рабочем месте выполняют сварку, на другом — операции разгрузки-загрузки.

Установка, схема которой приведена на рис. 1.21, ж, состоит из универсального зажимного стэнда и универсальной колонны с выдвинутой штангой. На рис. 1.21, з представлена наиболее распространенная схема установки (стана) для сварки прямолинейных наружных швов труб.

Изделие во время сварки перемещается, а аппарат неподвижен. Для размещения такого агрегата в потоке медная водоохлаждаемая подкладка, расположенная внутри трубы, крепится к неподвижному станине узкими кронштейнами, проходящими через зазор в стыке. Смыкание стыка в зоне сварки и прижим свариваемых кромок к подкладке осуществляется клеем с роликами вблизи зоны сварки.

Установки для сварки прямолинейных стыковых швов тел вращения, укладываемых на роликовые опоры без прижима свариваемых кромок, применяют главным образом для сварки продольных швов обечаек, сваренных с одной стороны или собранных на прихватках (если отсутствует опасность протекания расплавленного металла через зазор встык). При сварке прямолинейных швов сварочный аппарат (реже изделие) перемещается вдоль оси изделия, а вращение роликов роликовых опор используется как вспомогательное движение.

Основные компоновки перечисленных установок приведены на рис. 1.22. Установка скомпонованная по рис. 1.22, а, состоит из ро-

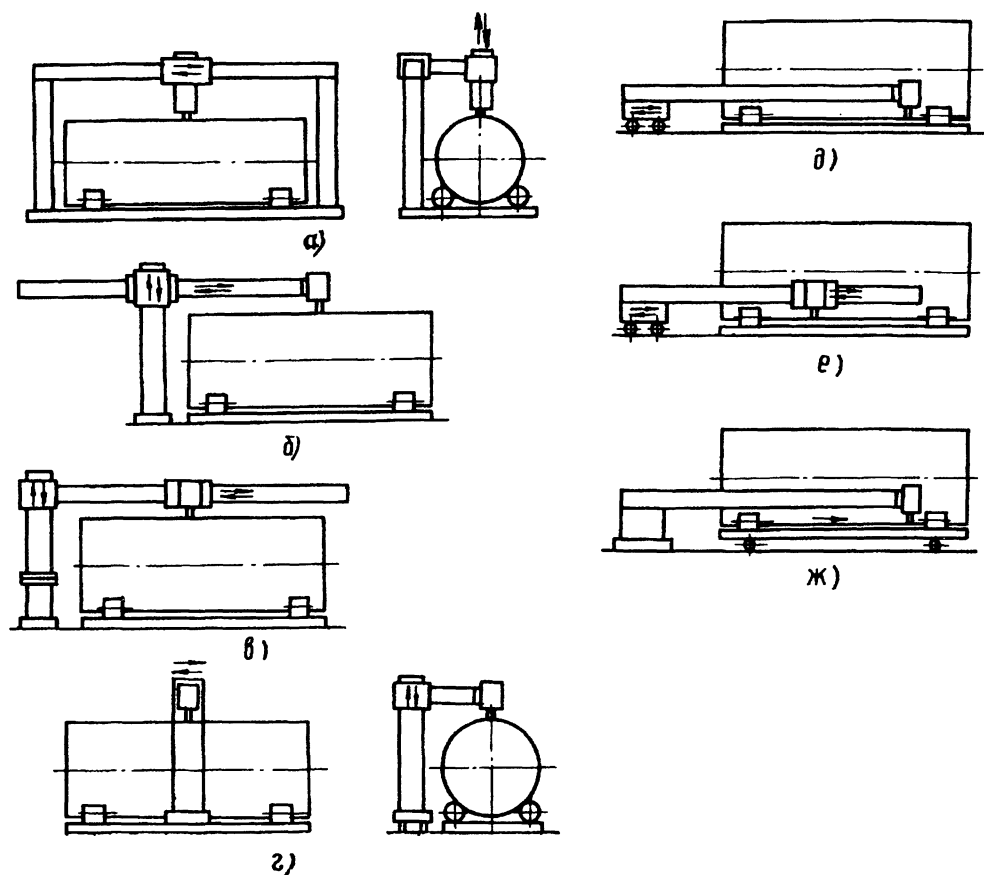


Рис. 1.22. Типовые схемы компоновки установок и станков для дуговой сварки прямолинейных стыковых швов цилиндрических изделий без прижима свариваемых кромок

ликового стенда и самоходного сварочного аппарата, который перемещается по направляющим, закрепленным на двух стойках или на более сложной металлоконструкции. Такая компоновка характерна для специализированных и специальных установок с постоянным или мало изменяющимся по высоте положением шва. Для расширения диапазона диаметров свариваемых изделий направляющие сварочного аппарата располагают на траверсе, имеющей привод вертикального перемещения.

При компоновке, показанной на рис. 1.22, б, установка состоит из роликового стенда и стационарной колонны с выдвигной штангой, несущей самоходную (подвесную) сварочную головку. Сварочное движение осуществляется перемещением штанги вдоль своей оси. Эта компоновка универсальна: пригодна для сварки изделий различного диаметра и может быть использована также для сварки внутренних продольных швов. Длина продольного шва ограничена ходом штанги. Компоновка,

показанная на рис. 1.22, в, отличается от предыдущих применением консоли и самоходного сварочного аппарата. При стационарном стенде и загрузке изделия сверху колонна поворотная или имеет самоходную тележку для вывода консоли за пределы изделия. Установка с компоновкой, показанной на рис. 1.22, г, пригодна для сварки изделий любой длины и широкого диапазона диаметров. Установку с компоновкой, представленной на рис. 1.22, д, применяют для сварки внутренних швов относительно коротких обечаек. В этом случае предъявляют высокие требования к плавности перемещения тележки со штангой. Чтобы избежать необходимости перемещать длинную штангу внутри свариваемого изделия со скоростью сварки, иногда применяют компоновку, показанную на рис. 1.22, е. Консоль с направляющими вводится внутрь изделия на маршевой скорости без сварки, а сварка осуществляется самоходным сварочным аппаратом.

При сварке внутренних швов прямошовных труб длиной до 12 м чаще выбирают компоновку (рис. 1.22, ж), отличающуюся от предыдущих тем, что движение, необходимое для сварки, осуществляется перемещением трубы вдоль ее оси. Это позволяет исключить колебания штанги и сварочного аппарата, возникающие при сварке длинных швов.

Установки для сварки прямолинейных швов изделий типа балок и рам компонуют по схемам, представленным на рис. 1.23. Установка, скомпонованная по рис. 1.23, а, имеет самоходный сварочный аппарат, перемещающийся по стационарным направляющим вдоль линии шва и кантователя.

Пример такой установки П675 для сварки балок приведен на рис. 1.24. Компоновка, отличная от предыдущей (см. рис. 1.23, б), предусматривает закрепление и перемещение подвесной сварочной головки с помощью самоходной колонны, перемещаемой вдоль линии шва со скоростью сварки. Компоновка, показанная на рис. 1.23, в, удобна для поточного производства.

Установки и станки для сварки прямолинейных швов корпусных и коробчатых конструкций используют для сварки швов различного типа: угловых, нахлесточных, тавровых и стыковых. Так как корпусные и коробчатые конструкции отличаются большим разнообразием форм, то выделение типовых компоновочных схем затруднено. Характерной чертой этих установок является наличие механизмов и устройств (кантователей, многопозиционных столов, шпинделей и др.), предназначенных для переориентации изделия в

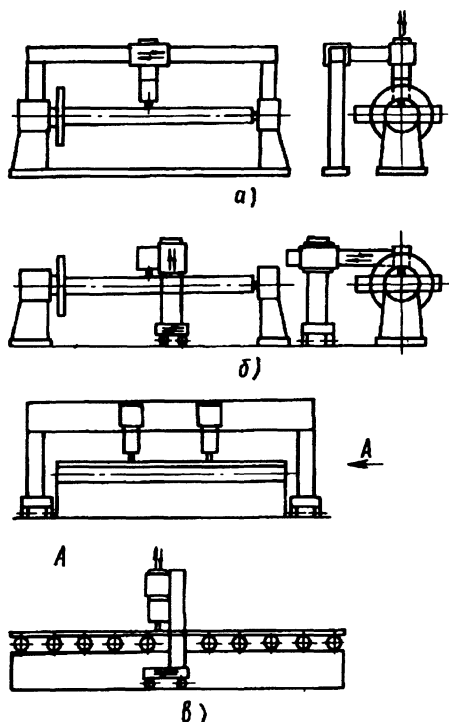


Рис. 1.23. Типовые схемы компоновки установок для сварки прямолинейных швов изделий типа балок и рам

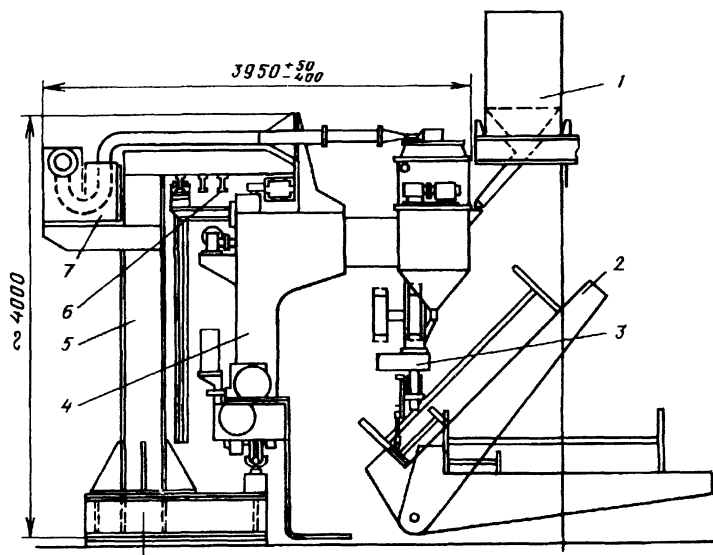


Рис. 1.24. Установка П675:

1 — контейнер для флюса; 2 — кантователь; 3 — сварочный аппарат; 4 — самоходная велосипедная тележка; 5 — металлоконструкция с направляющими для тележки; 6 — контактный провод для подвода сварочного тока; 7 — фильтр системы газопылеудаления

несколько последовательных положений для поочередного расположения свариваемых швов параллельно направляющим сварочного движения.

Установки и станки для сварки круговых швов и наплавки поверхностей тел вращения. В подавляющем большинстве случаев сварка круговых швов выполняется при вращающемся изделии (поворотный стык). Исключение составляют сварка трубопроводов в монтажных условиях, трубных решеток, приварка патрубков к крупногабаритным конструкциям и другие случаи, когда вращение изделия невозможно или весьма затруднено.

Ниже рассмотрены установки и станки для сварки круговых швов и наплавки поверхностей только вращающихся изделий, так как случаи сварки круговых швов невращающихся изделий весьма малочисленны. При этом изделия закрепляют консольно или в двух опорах.

Установки и станки для сварки круговых швов и наплавки поверхностей тел вращения изделий, закрепляемых консольно, применяют для изделий с малым отношением длины к диаметру (не более 1...1,5). На рис. 1.25 приведены типовые схемы компоновки установок и станков этого типа. Установки и станки с фиксированным углом наклона оси враще-

ния изделия (рис. 1.25, а, б, в) применяют в случаях сварки однотипных изделий и швов. Установки, скомпонованные по схеме рис. 1.25, г, д, е, позволяют производить сварку швов различных видов (стыковых, угловых, тавровых и внахлестку). В небольших установках вращатель и сварочный аппарат закрепляют на одной колонне (рис. 1.25, ж). Станки с компоновкой, показанной на рис. 1.25, з, и, применимы для сварки небольших изделий.

Установки и станки для сварки поворотных круговых швов и наплавки изделий, закрепляемых в двух опорах, применяют для изделий, имеющих большие отношения длины к диаметру (более 1,5). Оборудование этого типа предназначено, в основном, для сварки стыковых швов и реже для сварки нахлесточных, тавровых и угловых швов. На рис. 1.26 приведены типовые схемы компоновки оборудования этого типа. Если в станках и установках не предусмотрено перемещение сварочной головки вдоль оси станины (рис. 1.26, а, б), то вместо этого имеется корректор, обеспечивающий настроечное перемещение мунштука поперек кругового шва.

В установках с траверсой (рис. 1.26, в) последняя имеет направляющие на всю длину изделия. Один или два сварочных аппарата

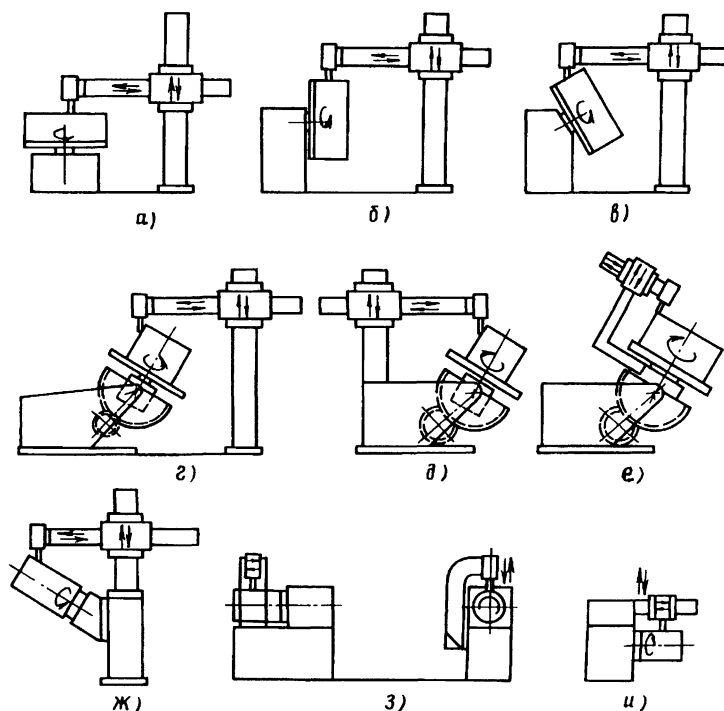


Рис. 1.25. Типовые схемы компоновки установок и станков для дуговой сварки круговых швов и наплавки поверхностей тел вращения изделий, закрепляемых консольно

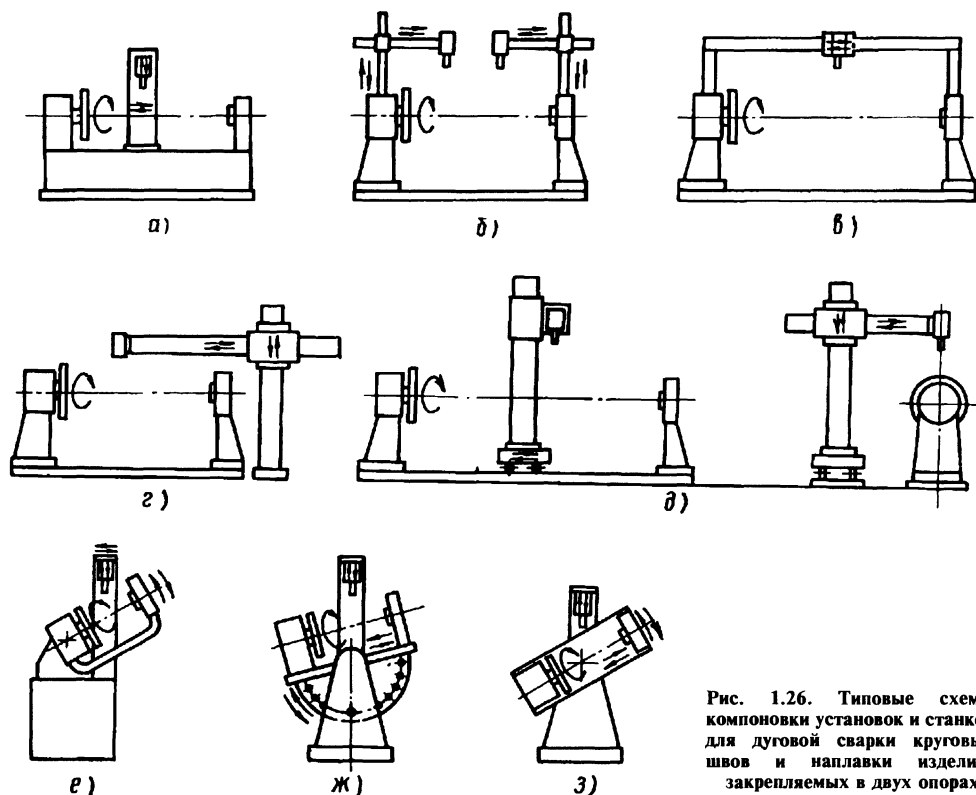


Рис. 1.26. Типовые схемы компоновки установок и станков для дуговой сварки круговых швов и наплавки изделий, закрепляемых в двух опорах

могут быть установлены в любой точке траверсы с помощью ручного или механизированного привода. Установки с двумя сварочными аппаратами применяются для сварки обечаек с двумя донushками. Установки со стационарной колонной и выдвижной штангой или консолью (рис. 1.26, в), расположенной параллельно оси изделия, применяют в тех случаях, когда наибольшая длина изделия не превышает хода штанги или длины консоли. Установки, скомпонованные по схеме, приведенной на рис. 1.26, д, имеют передвижную колонну; на них можно сваривать изделия любой длины в пределах хода колонны. Компонировки, показанные на рис. 1.26, е—з, обеспечивают наклон оси изделия и применяются для улучшения формирования таврового, углового и нахлесточного шва. Примером компоновки, показанной на рис. 1.26, а, может служить разработанная ИЭС им. Е. О. Патона гамма станков типа У651, У652, У653 и У654, предназначенных для наплавки различных деталей. Высокий уровень внутригрупповой унификации этих станков позволил создать ряд станков как по типам наплавляемых (свариваемых) изделий, так и по размерам этих изделий (рис. 1.27). Техническая характеристика станков приведена в табл. 1.24.

Установки и станки для сварки поворотных круговых швов и наплавки изделий, укла-

дываемых на роликовые опоры, применяют для сварки главным образом стыковых швов и реже других типов швов изделий диаметром примерно 50 мм...10 м самой различной длины. Компонировки большинства данных установок могут быть сведены к схемам, приведенным на рис. 1.22, с дополнительным вращением изделия со скоростью сварки.

Многопозиционные установки и станки для сварки круговых швов. Применение многопозиционных установок и станков так же, как и многоголовочной и многодуговой сварки, уменьшает объем вспомогательных работ и значительно повышает производительность труда и оборудования. Многопозиционные установки и станки для сварки круговых швов существенно отличаются от однопозиционных. Они бывают последовательного, параллельного, последовательно-параллельного действия и роторные. В многопозиционной установке или станке время загрузки в одной позиции совмещается со временем сварки в другой. Схемы некоторых компоновок многопозиционных установок и станков с вертикальной осью вращения приведены на рис. 1.28. Установка, скомпонованная по рис. 1.28, а, имеет одну сварочную позицию, а остальные используются для загрузки и выгрузки деталей. Установка, скомпонованная по рис. 1.28, б, имеет две сварочные (их может быть и больше) и по

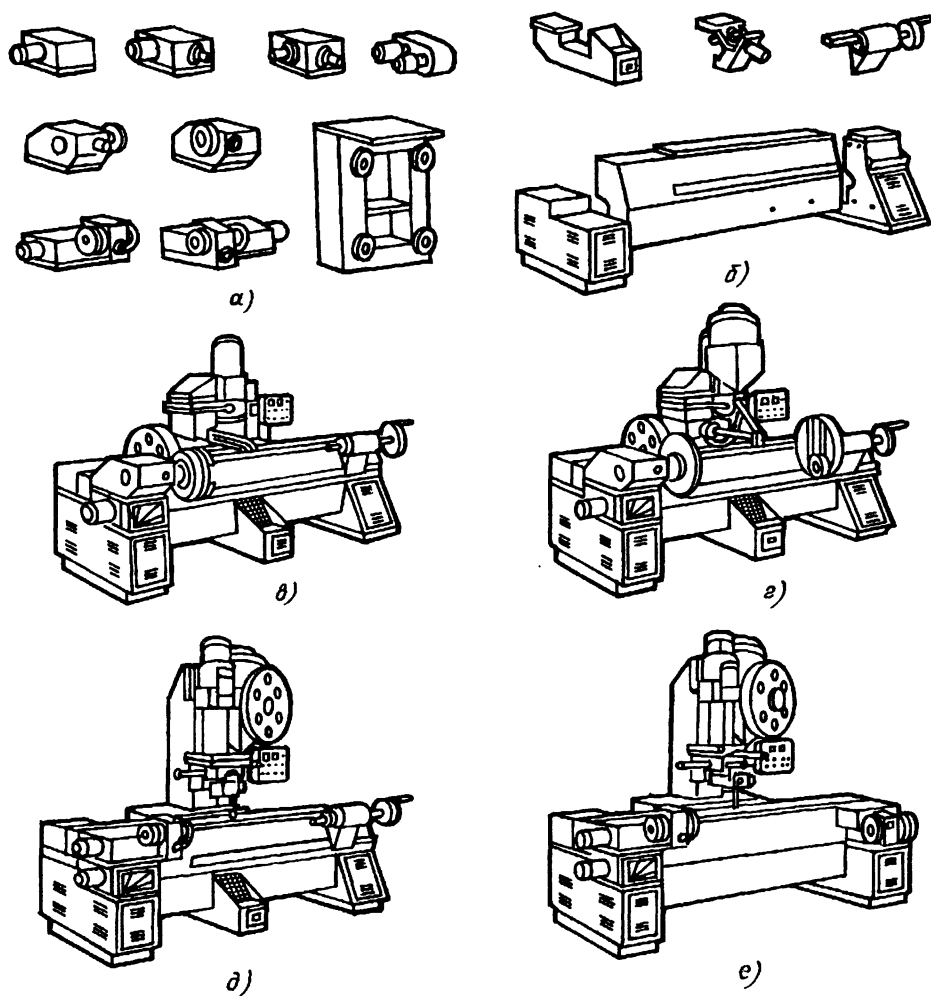


Рис. 1.27. Унифицированные узлы и компоуемые из них станки:

а — узлы широкого применения; *б* — узлы целевого назначения; *в* — станок У651 для наплавки валов; *г* — станок У652 для наплавки коленчатых валов; *д* — универсальный наплавочный станок У653; *е* — наплавочный универсальный двухпозиционный станок У654

одной загрузочной и разгрузочной позиции. Она может работать как установка последовательного либо последовательно-параллельного действия.

В компоновке, показанной на рис. 1.28, *в*, сварочный аппарат располагается поочередно на каждой из позиций. Компоновка, показанная на рис. 1.28, *г*, отличается от предыдущей тем, что в установке применена передвижная колонна вместо поворотной. Компоновка ротационного станка-автомата приведена на рис. 1.28, *д*. При необходимости ось вращения каждого изделия может быть горизонтальной или наклонной.

Установки и станки для сварки швов сложной формы и наплавки сложных кромок и поверхностей. Такое оборудование встречается значительно реже, чем установки и станки для сварки прямолинейных и круговых швов. Общими для этого вида оборудования являются системы автоматического управления траекторией сварочного движения рабочих органов. Наиболее распространено оборудование следующих типов с системами автоматического управления траекторией сварочного движения: сварочные аппараты с механическими копирующими устройствами (прямого действия) для направления электродов по стыку при сварке швов большой длины на стыковых (с

1.24. Техническая характеристика наплавочных станков общего назначения из унифицированных узлов

Характеристика	У651	У652	У653	У654
Наплавочный аппарат	A1408	A1409	A1406	A1406
Наплавляемая поверхность	Наружная валов, шлицев	Коренные и шатунные шейки с галтелями коленчатых валов	Наружная и внутренняя цилиндрическая, коническая, плоская и т. д.	Наружная цилиндрическая, коническая, шлицы
Наплавляемая деталь:				
диаметр, мм	20... 150 (500)*	100	50... 800	50... 800
длина, мм	1300	1300	1300	1300
масса, кг	150	150	200	200
Диаметр проволоки, мм, при наплавке:				
под флюсом	—	1... 2	2... 5	3... 5
порошковой проволокой	2... 3	2... 2,5	2... 3,6	2... 2,5
без внешней защиты	1... 2	—	—	—
сплошной проволокой в CO ₂				
Габаритные размеры станка, мм	2720×1800× ×2050	2720×1800× ×2900	2720×1400× ×3050	2900×1400× ×3050
Масса, кг	1580	1630	1740	1840
Особые характеристики	Вариант исполнения одно- и двухмунштунный	Наплавка шейки и галтели автоматическая по кулачку	Для внутренней наплавки специальная приставка на аппарате	Две позиции, обслуживаемые поочередно

* При массе изделия не более 150 кг.

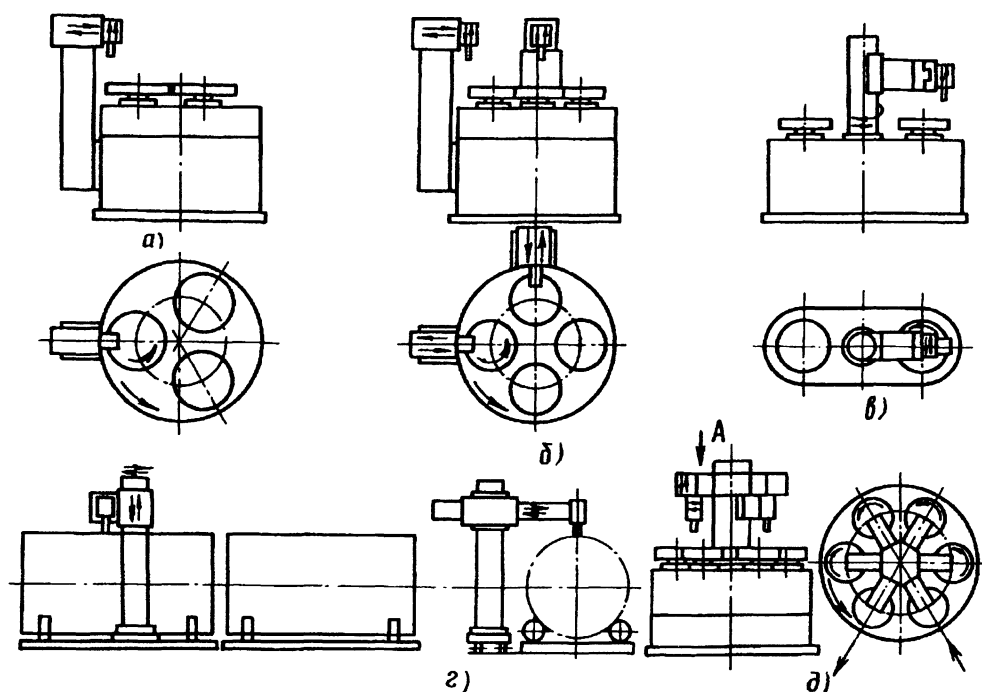


Рис. 1.28. Типовые схемы компоновки многопозиционных установок и станков для дуговой сварки круговых швов

разделкой), угловых и тавровых соединениях; оборудование со следящими системами (непрямого действия); оборудование с программным управлением (кинематическим или числовым).

Так, станок с числовым программным управлением У61 предназначен для сварки швов сложной конфигурации и наплавки рабочих кромок и поверхностей штампового инструмента. Он состоит из станины, двухкоординатного стола с шаговыми приводами продольного и поперечного перемещения; стойки, по вертикальным направляющим которой перемещается каретка, несущая хобот с приводами наклона оси электрода и сварочной головки. Система программного управления — импульсно-шаговая. На станке У61 можно выполнять сварку и наплавку как под флюсом, так и в среде углекислого газа. Наибольшие размеры свариваемого или наплавляемого изделия $650 \times 650 \times 400$ мм.

1.12. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОЙ МЕХАНИЗАЦИИ И АВТОМАТИЗАЦИИ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Из оборудования для комплексной механизации и автоматизации сварочного производства ниже рассмотрены комплексно-механизированные рабочие места и участки для сборки и сварки металлоконструкций, роботизированные рабочие места и участки, поточные и автоматические сборочно-сварочные линии.

Комплексно-механизированные рабочие места и участки. В единичном и мелкосерийном производстве с ручной или механизированной сваркой целесообразно создание комплексно-механизированных рабочих мест и участков. На них полностью или частично механизированы такие работы, как сборка, транспортировка, манипулирование сварочным инструментом и (или) изделием, загрузка и выгрузка и т. д., а также улучшены условия выполнения сварочных операций шланговыми полуавтоматами. Наилучшие результаты достигаются при сочетании использования оборудования для механизации перечисленных работ с научной организацией труда и при соблюдении принципов эргономики, правил санитарии и техники безопасности. Это обеспечивает выполнение трудового процесса с минимальной затратой физической и психической энергии работающих.

Естественное стремление к повышению эффективности сварочного производства за счет более широкого применения автоматической сварки сталкивается с рядом трудностей, обусловленных следующим: наличием очень большого количества коротких швов (около 70% общей протяженности всех швов); малой доступностью целого ряда швов для автоматической сварки; необходимостью применения точных заготовок и качественной сборки; значительными капитальными затратами. Большое число действующих шланговых полуавтоматов при сравнительно небольших капи-

тальных затратах, необходимых для создания комплексных рабочих мест и участков, обеспечивает получение значительного экономического эффекта.

Анализ опыта передовых предприятий, на которых используются комплексные места и участки, разработанные в ИЭС им. Е. О. Патона и в других организациях, показали, что можно создать типовые комплексно-механизированные рабочие места для изготовления определенных групп металлоконструкций и для компоновки на базе этих рабочих мест комплексно-механизированных участков. Такие типовые рабочие места и участки, komponуемые методом агрегатирования из унифицированных узлов и изделий, доукомплектованные технологическими и организационными средствами оснащения и рассчитанные на применение современной технологии сварки, сокращают сроки проектирования, повышают уровень организации производства и технический уровень оборудования. Кроме того, появляется возможность организовать серийный выпуск и комплексную поставку рабочих мест и участков. Из разработанных типовых рабочих мест можно скомпоновать различные участки с двумя—четырьмя сварочными постами.

На рис. 1.29, а показано типовое комплексно-механизированное рабочее место для изготовления в условиях мелкосерийного производства трубных секций (приварка к трубам диаметром 80...500 мм фланцев, патрубков, отводов и деталей насыщения). Сварка выполняется полуавтоматом 1 на роликовом вращателе с педальным включением и быстросействующим устройством прижатия трубы. Это устройство служит также токосъемником. Загрузка заготовок и выгрузка готовых секций выполняется местным краном 2, управляемым сварщиком. Рабочее место снабжено местным отсосом вредных газов, балансирным устройством, уравнивающим частично массу горелки и шланга, а также другими устройствами, обеспечивающими механизацию вспомогательных операций и комфортные условия труда.

Комплексно-механизированные рабочие места могут быть сварочными, сборочными и сборочно-сварочными. Типовое сборочно-сварочное комплексно-механизированное рабочее место для мелких деталей показано на рис. 1.29, б со сваркой на однопозиционном столе 3.

Интерес представляет типовое комплексно-механизированное рабочее место (рис. 1.30) со сборочным порталом 1 для сборки и сварки балочных и коробчатых конструкций с двумя универсальными сборочно-сварочными плитами 3 и консольно-поворотным краном 2 для загрузки, манипулирования и выгрузки изделий.

Сборка металлоконструкций выполняется с принудительным прижатием друг к другу отдельных элементов и с последующей их сваркой. Плиты имеют Т-образные пазы, позволяющие применять стандартные универсальные сборочно-сварочные приспособления

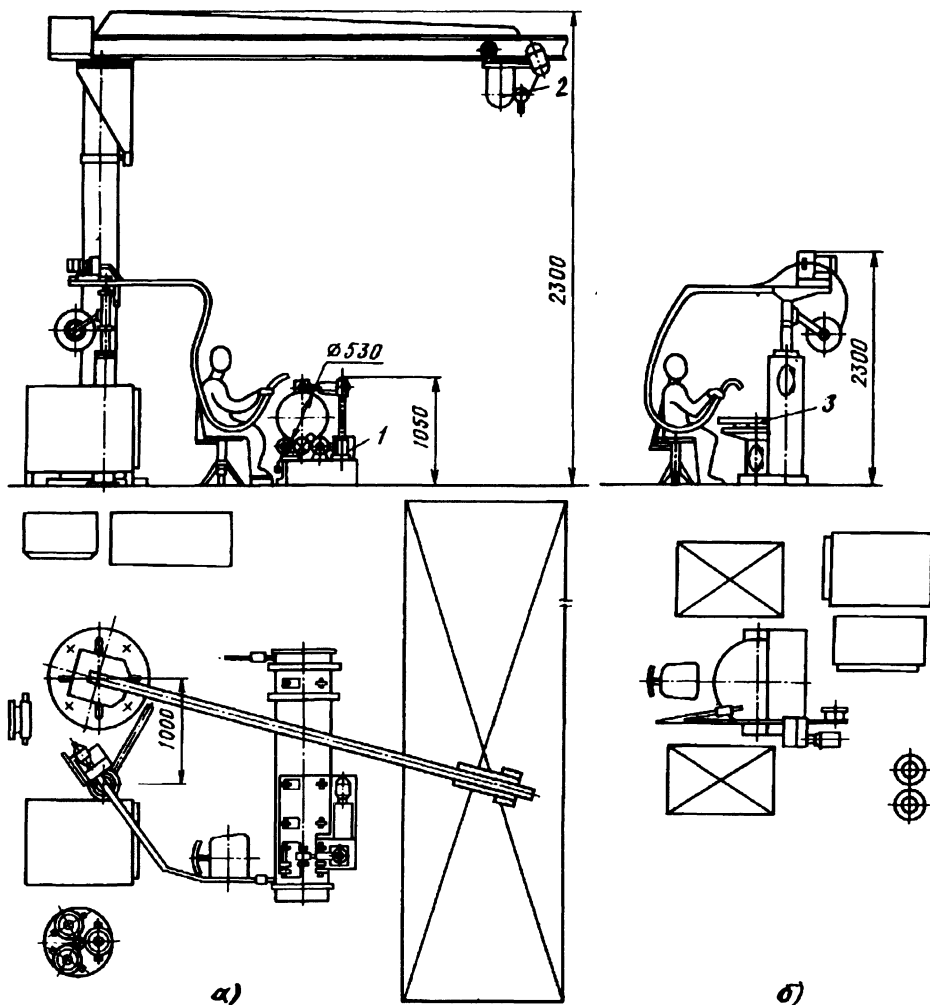


Рис. 1.29. Типовое комплексно-механизированное рабочее место:

а — для изготовления трубных секций; *б* — сборочно-сварочное для изготовления мелких деталей

(УССП) или устройства малой механизации. Сборка под сварку ведется с помощью портала попеременно на первом или втором рабочем месте: пока на одном осуществляется сборка (и другие основные и вспомогательные операции), на другом выполняется сварка.

В общем плане каждое типовое рабочее место следует рассматривать как модуль, из которого при соответствующих технологических связях можно компоновать комплексно-механизированные участки. Так, участок УД246, показанный на рис. 1.31, содержит три типовых рабочих места, связанных единой технологической цепочкой, предназначен для сборки и дуговой сварки полуавтоматом плоских, пространственных, цилиндрических

и малогабаритных изделий. Участок состоит из стенда 3 с Т-образными пазами, универсального манипулятора 2, стола с поворотной планшайбой, а также консольно-поворотного крана 1, который обслуживает все три рабочих места в части сборочных и манипуляционных операций. Участок УД246 снабжен типовыми контейнерами переносного типа, стеллажом для складирования УССП, различными приспособлениями, инструментальной тумбочкой, технологической оснасткой и др. Комплексные участки обеспечивают лучшую загрузку вспомогательного оборудования, позволяют широко применять бригадные методы работы.

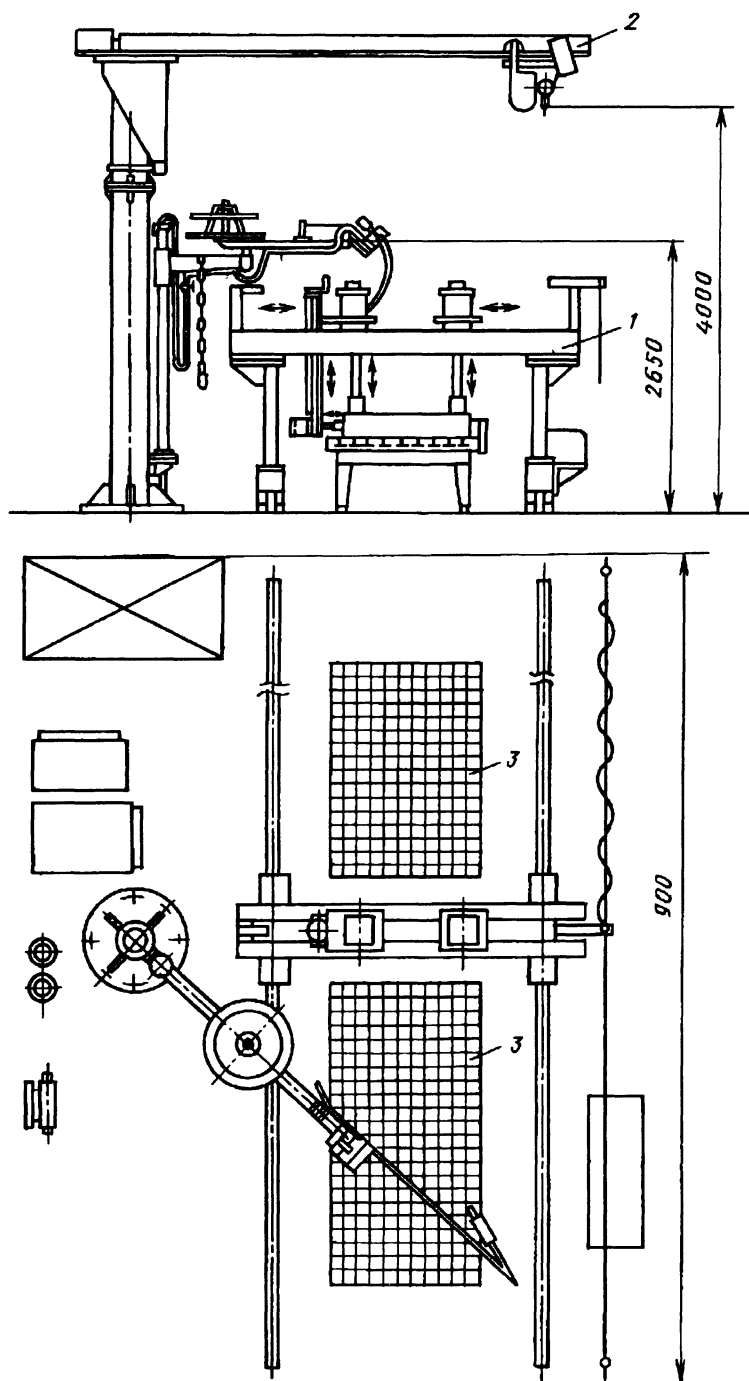


Рис. 1.30. Типовое комплексно-механизированное рабочее место со сборочным порталом для сборки и балочных и коробчатых конструкций

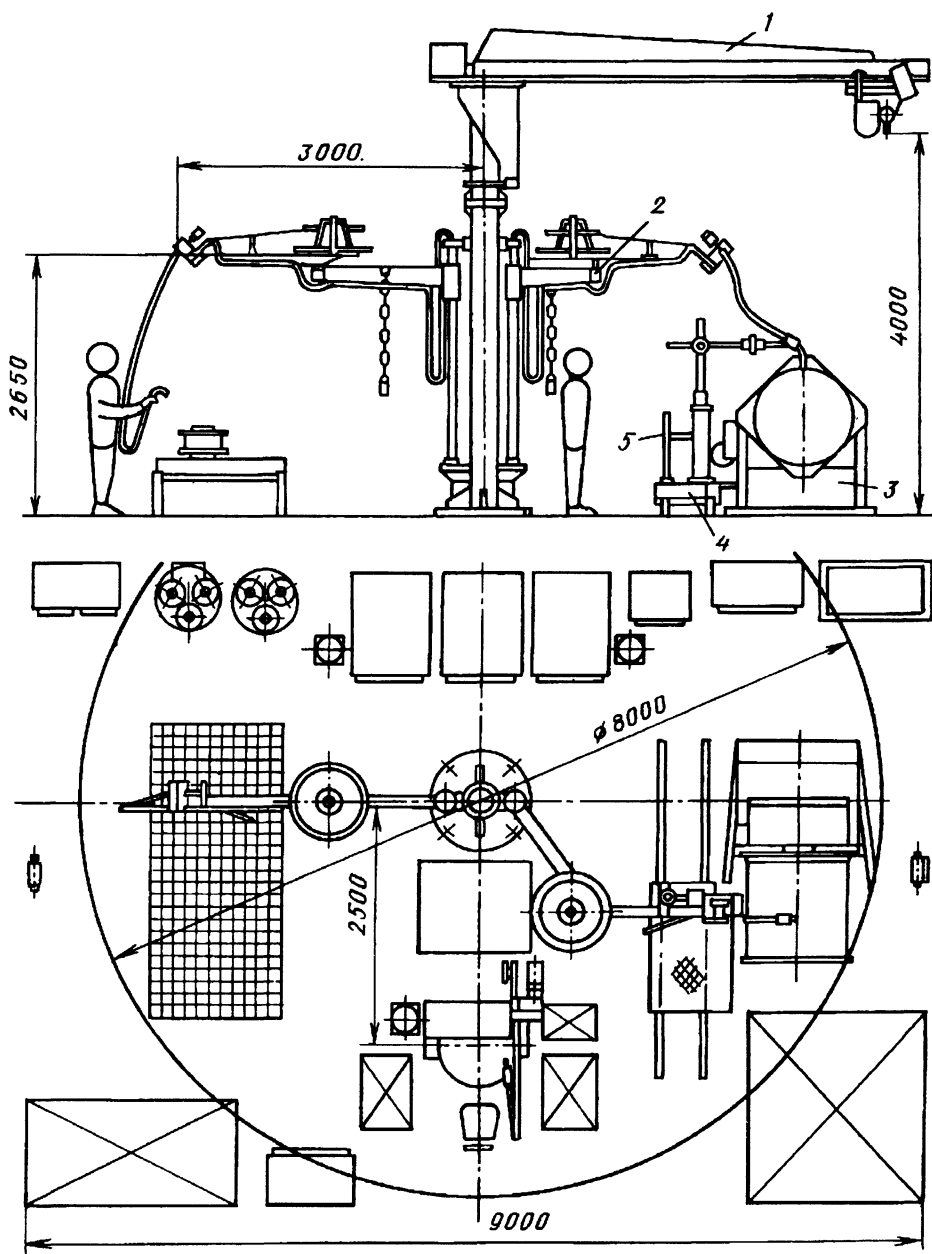


Рис. 1.31. Типовой комплексно-механизированный трехпостовый участок УД246 для сборки и сварки плоских, пространственных, цилиндрических и малогабаритных изделий

Использование в комплексных рабочих местах и участках шланговых полуавтоматов не исключает применения автоматической сварки, например, при сварке протяженных швов правильной геометрической формы. В этом случае

горелка полуавтомата крепится на штативе 5 (рис. 1.31) на правом рабочем месте. Штатив размещен на тележке 4, снабженной фиксатором относительно рельсового пути. Он имеет корректоры, определяющие положение горел-

ки относительно шва. Горелка может быть легко отсоединена от штатива и использована для механизированной сварки коротких швов с различной ориентацией в пространстве, недоступных для автоматической сварки. При необходимости на штативе можно закрепить две горелки, каждую со своей системой суппортов.

Увеличения объема автоматической сварки при наличии шлангового полуавтомата можно достичь также применением простых механизмов перемещения горелки относительно свариваемых кромок, т. е. используя средства малой механизации. Техничко-экономическая эффективность комплексно-механизированных рабочих мест и участков, при компоновке которых используются шланговые полуавтоматы, достигается благодаря следующему.

— Применению различных подвесок или других устройств, снижающих нагрузку на руку сварщика (его утомляемость), а также обеспечивающих маневренность горелки полуавтомата, равноценную маневренности держателя для ручной сварки с достижением более высокой производительности, характерной для механизированной сварки.

— Снижению затрат времени на различные вспомогательные работы. Так, применение подвесок полуавтоматов в виде шарнирных консолей обеспечивает легкое перемещение полуавтомата при сравнительно большой зоне обслуживания, позволяет применять большие катушки, что исключает их частую замену. В типовых рабочих местах можно обеспечить рациональную систему подачи защитного газа или смесей газов путем применения рамповых контейнеров и других средств централизованного газоснабжения.

— Повышению количества наплавленного металла в единицу времени путем преимущественного выполнения сварки в нижнем положении различными универсальными или специальными манипуляторами-кантователями или позиционерами: сравнение типовых режимов сварки в нижнем и вертикальном положении показывает, что в нижнем положении количество наплавленного металла в единицу времени может быть в 2—3 раза больше, чем в вертикальном.

— Механизации сборочных работ, установки и переустановки заготовок, главным образом за счет применения местных (входящих в состав участка) транспортных и подъемных средств. Использование на рабочих местах настенных кранов, консольно-поворотных кранов на колоннах или шарнирно сбалансированных манипуляторов облегчает труд сборщиков и сварщиков, сокращает время на ожидание цеховых кранов.

— Экономии производственных площадей, чему способствуют рациональное расположение сварочного и вспомогательного оборудования (подвеска полуавтомата и различного инструмента) над рабочим местом с использованием в качестве несущих конструкций колонн и кранов и планировка в соответствии с требованиями научной организации труда. На

многоместных участках экономия площадей обеспечивается также благодаря использованию многопостовых источников питания.

— Улучшению условий труда вследствие применения вентиляционных устройств, балансиров для подвески инструмента, столов с поворотными деками, повышения энергооснащенности рабочих мест и др.

— Снижению расходов на проектирование при использовании типовых решений и технологий к конкретным задачам.

Как показали исследования, наибольший интерес вызывают рабочие места на основе сборочно-сварочных плит с Т-образными пазами (неподвижных, наклоняющихся или поворотных), что связано с возможностью крепления различных видов оснастки, с удобством эксплуатации таких плит в сварочном производстве, а также комплект оборудования с различными сварочными порталами, самоходными подвесками для аппаратов и поворотными рамами.

Роботизированные рабочие места и участки.

Появление роботов позволило приступить к решению наиболее сложной задачи дуговой сварки большого количества швов различной длины и различного пространственного расположения в свариваемой конструкции. (До последнего времени эта задача считалась технически невозможной или экономически нецелесообразной.) В данном случае применение роботов возможно в виде автономных роботизированных технологических рабочих мест, участков, линий, цехов. Для начального периода внедрения роботов для дуговой сварки наиболее характерно использование автономных технологических рабочих мест и концентрация их в виде участков.

Роботизированное технологическое рабочее место для дуговой сварки обычно состоит из робота-манипулятора, горелки, одного или нескольких манипуляторов изделия, сварочной аппаратуры, источника питания, стоек управления, коммуникаций, ограждений и других средств техники безопасности, средств механизации загрузки-разгрузки, унифицированной тары для свариваемых заготовок и готовых сварных конструкций. Как и при создании комплексно-механизированных рабочих мест и участков, для роботизированных рабочих мест важно не разрабатывать специальные компоненты в каждом конкретном случае, а использовать типовые планировки и технические решения.

В ИЭС им. Е. О. Патона разработан ряд типовых компонентов роботизированных рабочих мест для дуговой сварки. Так, типовое роботизированное рабочее место на основе робота РБ251 (рис. 1.32) предназначено для сварки конструкций средних габаритных размеров с механизацией загрузки заготовок и выгрузки готовых изделий. Рабочее место состоит из пятикоординатного манипулятора 1 сварочной горелки с размерами рабочей зоны $2500 \times 1250 \times 630$ мм, двух двухкоординатных манипуляторов 2 изделия грузоподъемностью

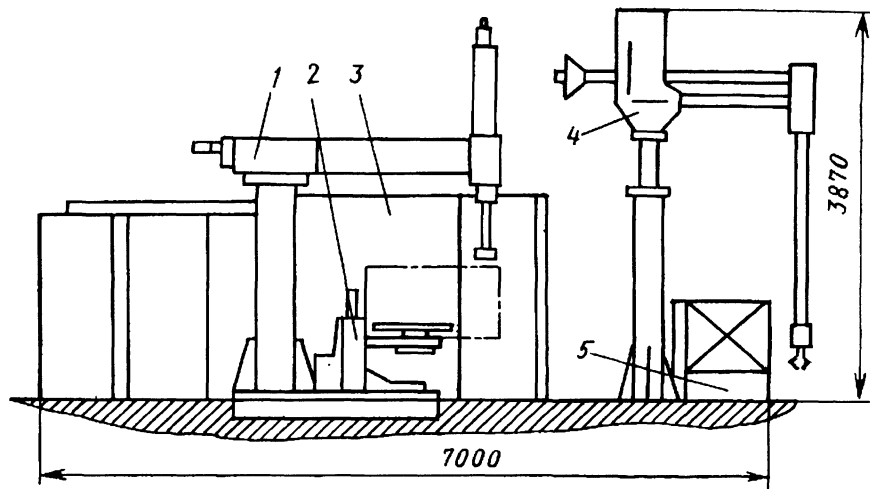


Рис. 1.32. Типовое роботизированное рабочее место на основе робота РБ251

по 250 кг каждый, сварочной аппаратуры, источника питания, стоек управления и приводов, ограждения 3, шарнирно-сбалансированного манипулятора 4 с ручным управлением, приемных столов 5, отделенных от зоны действия оператора ограждениями, инструментальной тумбочки, тары с заготовками и сваренными изделиями. Приемный стол служит для связи потоков заготовок и изделий технологического рабочего места с цеховыми потоками и внутрицеховым транспортом.

Наличие двух манипуляторов изделия позволяет существенно повысить степень использования наиболее сложных составных частей рабочего места (манипулятора горелки, сварочного оборудования и системы управления), а также организовать режим двухместного обслуживания для оператора в то время, когда на одном манипуляторе идет сварка роботом, на другом оператор выполняет загрузочно-разгрузочные работы, сборку под сварку, прихватку и другие подготовительные работы. Недостатком двухместного обслуживания является необходимость перехода оператора попеременно от одного манипулятора к другому.

Типовое роботизированное рабочее место для дуговой сварки на базе серийно выпускаемого универсального робота типа ТУР10 (рис. 1.33) предназначено для роботизации сварки конструкций небольших габаритных размеров и состоит из робота 3 типа ТУР10 с угловой системой координат, сварочной аппаратуры 5, источника питания 4, двухпозиционного поворотного устройства 2, двух манипуляторов 1 изделия, расположенных на поворотном устройстве, устройства управления 6, шкафов электроприводов манипулятора горелки и изделия, шарнирно-сбалансированного манипу-

лятора, инструментальной тумбочки, ограждений с проемом, тар для заготовок и готовых сварных конструкций, баллонов (при отсутствии централизованного газоснабжения).

Применение двухпозиционного поворотного устройства 2 с манипулятором изделия в каждой позиции, как и в предыдущем случае, направлено на повышение степени использования оборудования рабочего места.

В этом случае оператор работает в одной зоне, что повышает его безопасность и улучшает условия труда. Однако применение поворотных устройств удобно лишь для конструкций относительно небольших размеров, а также вытянутых в одном направлении. В последнем случае применяют поворотное устройство с горизонтальной осью вращения и однокоординатные манипуляторы изделия (вращатели) в каждой позиции. Выделение одиночных роботизированных рабочих мест является лишь первым шагом в освоении роботизации сварки на производстве.

Существенный эффект может быть достигнут лишь при объединении роботов как минимум в роботизированные участки с комплексным решением следующих задач: накопления и хранения комплектов заготовок; выдачи комплектов на освободившееся рабочее место; хранения и выдачи сборочно-сварочной оснастки на рабочее место; автоматического ввода программы работы оборудования рабочего места; механизации и автоматизации сборки конструкций под сварку (установка, зажим и удержание заготовок в процессе сварки); механизации и автоматизации выгрузки сварного изделия из сборочно-сварочного приспособления; транспортировки сварного изделия.

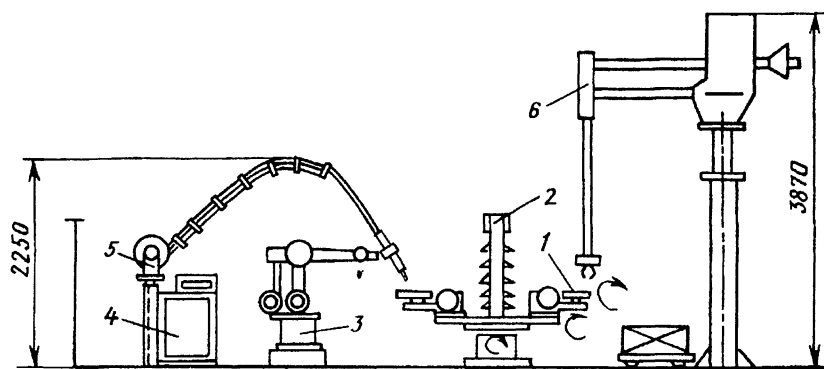


Рис. 1.33. Типовое роботизированное рабочее место для дуговой сварки на базе универсального робота ТУР10

Разработаны типовые планировки частично автоматизированных производственных участков с использованием роботов для дуговой сварки. На рис. 1.34 приведена схема типового роботизированного участка, содержащая несколько рабочих мест для дуговой сварки [6, 16, 20, 22, 23, 27].

В состав участка входят роботы РБ251 1, манипуляторы 2 изделия, стеллажный склад 7, шкафы управления склада, автоматический кран-штабелер 8, который обслуживает склад (выдает тару с заготовками на передающее устройство и принимает тару со сваренными конструкциями), передающее устройство 5, тара 4, манипуляторы 6 шарнирные сбалансированные, пульта управления роботизированными рабочими местами, ограждения 3 рабочих зон роботов. Роботизированные рабочие места могут быть расположены по обе стороны от стеллажного склада и только с одной стороны. При необходимости участок может наращиваться вверх, так как принцип построения участка — модульный; основными модулями являются роботизированные рабочие места. При этом необходимо удлинять стеллаж склада и пути для автоматического крана-штабелера.

На основе робота ТУР10 создан роботизированный участок с односторонним расположением двух роботизированных рабочих мест относительно транспортного средства, связывающего рабочие места со складом и между собой. В отличие от рассмотренных выше на нем для связи технологических рабочих мест со складом используется трансманипулятор. Выбор варианта связи склада с рабочими местами и рабочих мест между собой, определяется балансом времени работы транспортных устройств (штабелера и трансманипулятора) и зависит прежде всего от времени сварки изделий, размеров склада и участка, а также скоростей перемещения транспортных средств.

Поточные и автоматические сборочно-сварочные линии. Применение поточных и автоматических линий позволяет решить проблему комплексной механизации и автоматизации сборочно-сварочных работ, существенно по-

высвив эффективность сварочного производства [6, 16, 20, 22, 23, 27]. В состав поточных и автоматических линий входит комплекс технологически связанного оборудования, последовательно расположенного на рабочих местах, позволяющего в поточных линиях с участием операторов механизировать все основные сварочные, сборочные и частично вспомогательные операции, а в автоматических линиях полностью механизировать и автоматизировать все технологические, вспомогательные и транспортные операции. Функции оператора в последнем случае сводятся к наладке элементов линии, а иногда к загрузке заготовок и выгрузке готовых деталей.

Механизированные и автоматические линии сварочного производства разделяют по следующим признакам: виду выполняемых работ; номенклатуре изготавливаемых изделий; непрерывности технологического процесса; компоновке; расположению оборудования и системе управления. По виду выполняемых работ линии классифицируют в зависимости от охвата операций процесса производства сварных изделий. Они могут охватывать весь процесс производства сварных конструкций, начиная от заготовки и кончая отделкой, или включать только часть операций, например сборочно-сварочные и отделочные. Комплекс операций, включаемых в линию, зависит от конструкции свариваемого изделия и масштабов производства.

По номенклатуре изготавливаемых изделий линии разделяют на однономенклатурные, предназначенные для изделий одного типоразмера, и многономенклатурные, предназначенные для изделий разных типоразмеров с переналадкой или без переналадки линии. Однономенклатурные линии применяют в массовом, крупносерийном производстве, многономенклатурные — в серийном и мелкосерийном.

По признаку непрерывности технологического процесса различают линии с непрерывным и прерывистым технологическим процессом. Линии с непрерывным технологическим

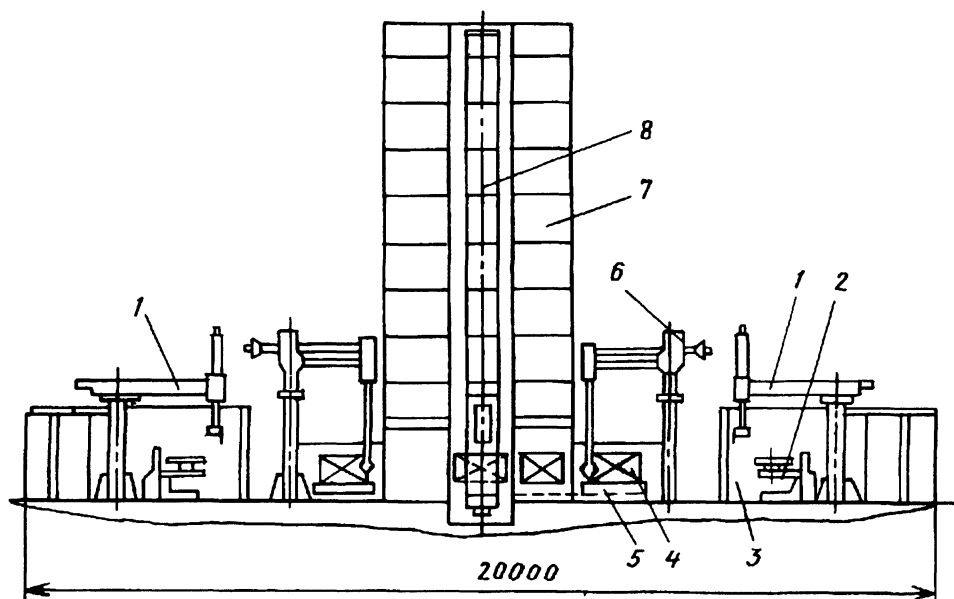


Рис. 1.34. Схема типового роботизированного участка для дуговой сварки с несколькими рабочими местами

процессом характеризуются непрерывным воздействием инструмента на обрабатываемое изделие при постоянном перемещении изделия. Такие линии наиболее производительны, так как из производственного процесса исключается вспомогательное время на установку изделия, подвод инструмента и другие приемы. При прерывистом технологическом процессе воздействие инструмента происходит с перерывами, необходимыми для снятия изделия после обработки, установки нового изделия и подвода инструмента.

По компоновке выделяют линии с жесткой и гибкой связью. На линиях с жесткой связью обрабатываемые изделия перемещаются от одного рабочего места к другому (1—6) без образования заделов (рис. 1.35, а), линии с гибкой связью имеют накопители полуфабрикатов (штриховые линии) у каждого рабочего места (рис. 1.35, б). Линии с жесткой связью занимают меньшую производственную площадь, имеют более простое оборудование, однако неисправность любого механизма влечет за собой остановку всей линии, что является серьезным их недостатком. Кроме того, в линиях с жесткой связью дополнительные потери рабочего времени связаны с несинхронностью операций, выполняемых на разных местах линии. В связи с этим в многооперационных линиях прибегают к разделению линий на участки из заблокированных рабочих мест, между которыми предусматриваются накопители полуфабрикатов (рис. 1.35, в). По пространственному расположению оборудования выделяют линии с последовательным (рис. 1.35, а—в),

последовательно-параллельным (рис. 1.35, г) и параллельным (рис. 1.35, д) расположением оборудования [6].

При создании поточных линий эффективность внедряемой технологии и оборудования определяется двумя основными факторами: прогрессивностью технологии изготовления сварных конструкций и используемых при этом сварочных процессов; производительностью, надежностью и стоимостью применяемого оборудования. Факторы надежности и стоимости определяются в значительной мере степенью использования типовых, проверенных решений, унифицированных узлов и модулей различного уровня.

Основными параметрами автоматизированных и механизированных поточных линий, определяющими меру ритмичности и непрерывности их работы, являются: ритм потока, такт выпуска и общая продолжительность производственного цикла. Ритм потока (производительность линии) — это количество продукции, выпускаемой в единицу времени. Такт выпуска — это интервал времени, через который периодически происходит выпуск изделий с линии.

При проектировании линии такт выпуска (мин) можно определить по формуле [1]

$$t = \frac{60 \Phi \eta}{N},$$

где Φ — действительный (расчетный) годовой фонд времени оборудования, ч; η — коэффициент использования действительного фонда

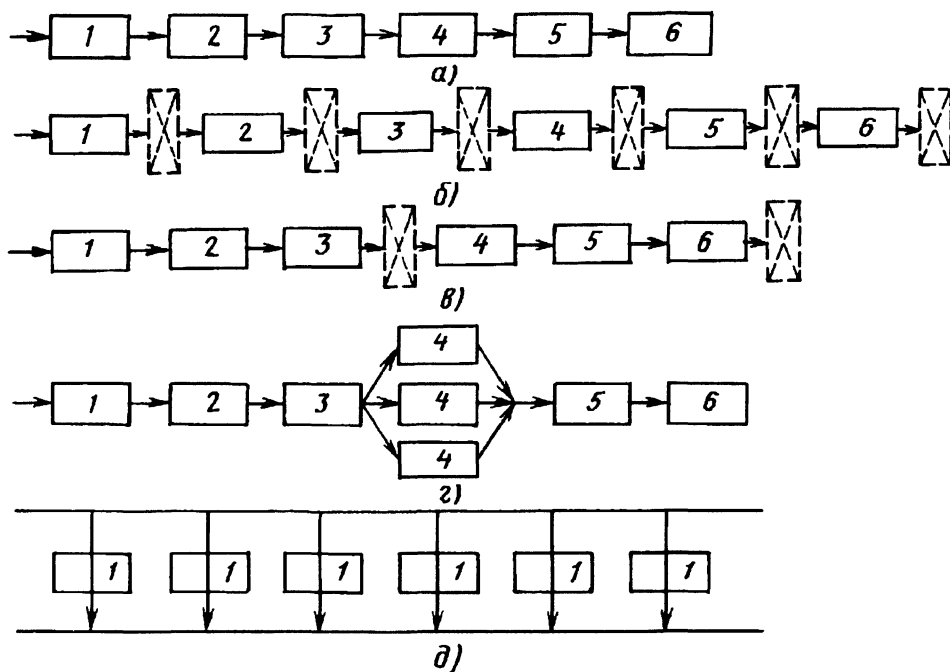


Рис. 1.35. Классификация поточных линий:

а — с жесткой связью и последовательным расположением рабочих мест; б — с гибкой связью и последовательным расположением рабочих мест; в — с накопителями между участками и последовательным расположением рабочих мест; г — с последовательно-параллельным расположением рабочих мест; 1—6 — номера рабочих мест

времени, учитывающий неизбежные простои линии из-за неполадок, повреждений и настроек; $\eta = 0,7...0,9$ [1]; N — годовая программа выпуска сварочных изделий.

Соответственно часовая производительность линии

$$Q = 60/t.$$

Продолжительность производственного цикла изготовления изделия на линии равна времени $T_{\text{ц}}$ прохождения изделия по линии, начиная от подачи заготовок или сырьевого материала на первую позицию и заканчивая выдачей готового изделия с последней позиции. Для линий с жесткой связью и последовательным расположением рабочих мест

$$T_{\text{ц}} = tn,$$

где n — число рабочих мест.

Примерами действующих поточных и автоматических линий являются: поточная линия У996 сборки и сварки корпусов электродвигателей ЧАН; поточная линия У950 изготовления канистр; автоматизированная линия производства охладителей силовых трансформаторов; поточная линия сборки и сварки балки моста управляемых колес; комплексно-меха-

низированная и автоматизированная поточная линия сборки и сварки оснований платформ полуприцепов.

В поточной линии сборки и сварки оснований платформ полуприцепов повышение технического уровня производства и получение при этом высоких технических и экономических показателей достигается путем широкого применения высокопроизводительных технологических процессов и оборудования для их осуществления, замены транспортных операций, выполняемых цеховыми кранами, соответствующими специализированными транспортными устройствами, путем расчленения конструкции основания на самостоятельно изготавливаемые сварные узлы и подузлы.

Такая линия (рис. 1.36) состоит из четырех участков сборки и частичной сварки рам платформ: 1) полуавтоматической сварки рам; 2) сборки рам с местами настила пола; 3) автоматической приварки этих листов точечными швами к рамам платформ; 4) доварки платформ, исправления дефектов и их сдачи.

Для эффективного использования преимуществ поточных и автоматических линий оборудование, входящее в эти линии, должно иметь повышенную надежность и работоспособность.

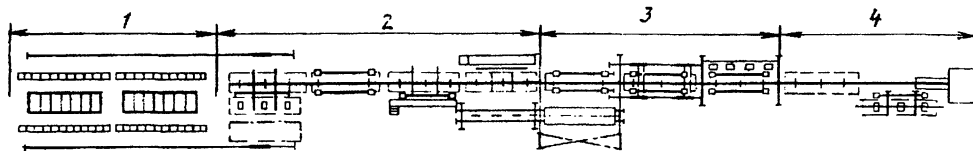


Рис. 1.36. Принципиальная технологическая схема поточной линии сборки и сварки оснований платформ полуприцепов

1.13. АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРАМИ ПРОЦЕССА ДУГОВОЙ СВАРКИ

Системы автоматизации процессов дуговой сварки обеспечивают:

программное управление последовательностью операций сварочного цикла и установкой начальных значений параметров, характерных для каждой операции;

управление термическими циклами путем стабилизации или изменения по оптимальному закону энергетических параметров (силы тока и напряжения дуги, ЭДС источника питания, длительности операций сварочного цикла);

регулирование геометрических и кинематических параметров (длины дуги, ее пространственного положения относительно изделия, вылета электрода, поперечных колебаний);

управление технологическими параметрами (глубиной провара, динамикой переноса электродного металла в сварочную ванну, кинетикой кристаллизации расплава), обеспечивая, тем самым, качество сварных швов.

Для описания программ работы оборудования при выполнении сварочных циклов используют циклограммы, графы функционирования, алгоритмы, которые получили преимущественное распространение на практике [1]. Целесообразность применения различных регуляторов параметров дуги может быть оценена по взаимному расположению статической характеристики дуги I (рис. 1.37) при различных плотностях силы тока и внешней характеристики 2 источника сварочного тока, выбранного с учетом критерия устойчивости дуги:

$$\left(\frac{\partial U_d}{\partial I_d} - \frac{\partial U_{\text{и}}}{\partial I_d} \right)_{I_d = I_{\text{до}}} > 0.$$

При малых сварочных токах, например при сварке неплавящимся (вольфрамовым) электродом (область I), падающая характеристика дуги I в сочетании с крутопадающей 2 источника тока обеспечивает достаточную для большинства случаев стабилизацию сварочного тока без применения специальных регуляторов. Однако при этом отклонения напряжения дуги, например вследствие изменения длины дуги и перемещения ее статической характеристики в положение I' , могут выходить за допустимые пределы, что обуславливает целесообразность применения в таких случаях автоматических регуляторов напряжения дуги

(АРНД). Аналогично для устранения отклонений силы тока и напряжения дуги для большинства применяемых режимов сварки свободно расширяющейся дугой — (область II) эффективным является использование явления саморегулирования дуги (системы АРДС), регуляторов типа АРНД с воздействием на скорость подачи электродной проволоки, либо систем совместного регулирования силы тока и напряжения дуги с воздействием на подачу электродной проволоки и на источник сварочного тока. Возрастающая статическая характеристика сжатой дуги, например, при сварке тонкой электродной проволокой в защитном газе в сочетании с жесткой внешней характеристикой источника сварочного тока (область III) требует применения автоматических регуляторов силы тока дуги типа АРТД.

Особенностью сварки неплавящимся электродом является отсутствие самовыравнивания (саморегулирования) энергетического состояния дуги. Для устранения возникающих при изменении длины дуги ошибок по напряжению ΔU_d и току ΔI_d используют регуляторы типа АРНД с воздействием на перемещение сварочной горелки или электрода с обратной связью по напряжению дуги или расстоянию между электродом и поверхностью сварочной ванны. В последнем случае (для малоамперных дуг) в качестве датчиков цепи обратной связи применяются струйные пневматические либо оптические, фотометрические, обеспечивающие точность измерения расстояний между сварочной горелкой и изделием примерно

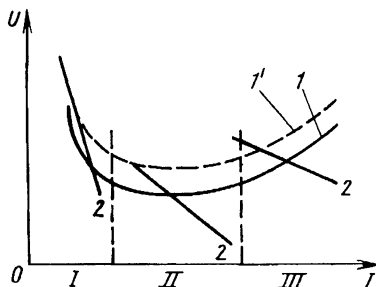


Рис. 1.37. Статическая характеристика дуги (к выбору типа регуляторов автомата для дуговой сварки)

10^{-1} мм. В исполнительной части системы АРНД применяют шаговые электродвигатели с цифровым управлением. При этом стабилизируется не только напряжение дуги, но и расстояние между соплом сварочной горелки и изделием для обеспечения стационарности потока защитного газа, регулируются величина погружения электрода в ванну и параметры других технологических операций [1].

В сварочных аппаратах с регуляторами типа АРДС стабилизация силы тока и напряжения достигается с помощью естественной отрицательной обратной связи по скорости плавления электродной проволоки. Интенсивность саморегулирования возрастает с уменьшением диаметра электрода и увеличением плотности силы тока. Переходный процесс при саморегулировании зависит от индуктивности сварочной цепи и плотности силы тока в электроде. Для обеспечения аperiodического переходного процесса, при котором опасность обрыва дуги заведомо исключена, максимальная индуктивность $L_{\max}$ не должна превышать значения, определяемого из неравенства [1]:

$$0,25 \left(\frac{R_d - R_n}{L} + k_2 E \right)^2 \geq (k_1 - k_2 R_n) E / L,$$

где R_d и R_n — соответственно динамическое сопротивление дуги и источника сварочного тока; k_1 и k_2 — коэффициенты саморегулирования; E — градиент напряженности электрического поля в столбе дуги.

Для сокращения времени переходных процессов при саморегулировании дуги следует стремиться наряду с ограничением индуктивности к уменьшению разности динамических

сопротивлений дуги $R_d = \frac{\partial U_d}{\partial I_d}$ и источника

питания $R_n = \frac{\partial U_n}{\partial I_d}$ и к применению электродных проволок малого диаметра (большим плотностью силы сварочного тока).

Работа регуляторов типа АРДС может сопровождаться появлением статических ошибок по силе тока ΔI_d и напряжению ΔU_d дуги под влиянием постоянно действующих возмущений, эквивалентных возмущениям: а) по скорости v , перемещения торца электрода; б) в питающей системе $\tilde{U}_c$; в) по сопротивлению

сварочной цепи $\tilde{R}_{n0}$. Возмущения группы а) приводят к эквидистантному смещению статической характеристики I устойчивой работы регуляторов типа АРДС в положение I' и переходу точки A энергетического равновесия в точку B (рис. 1.38, а). Статическая ошибка ΔI_d определяется в этом случае величиной и знаком возмущения и может быть причиной существенных отклонений глубины провара.

Применение регуляторов типа АРДС наиболее целесообразно для предупреждения возможных отклонений глубины провара при появлении возмущений по напряжению сети и (или) сопротивлению сварочной цепи. Смещение точек энергетического равновесия в этих условиях определяется изменением положения внешней характеристики (2 смещается в положение $2'$) источника питания дуги и сопровождается минимальными статическими ошибками по силе тока ΔI_d (рис. 1.38, б, в). Расчет ошибок регулирования по силе тока ΔI_d и напряжению ΔU_d дуги может быть выполнен для различных возмущений [1].

В автоматах для сварки плавящимся электродом с регуляторами типа АРНД естественные обратные связи, характерные для саморегулирования дуги, дополняются искусственной обратной связью по напряжению дуги. Статические ошибки ΔI_d и ΔU_d при использовании регуляторов АРНД с воздействием на скорость подачи электродной проволоки зависят от коэффициента усиления регулятора

$$k_{\text{рег}} = k_{\text{ус}} k_{\text{дв}} i_{\text{п.м}},$$

где $k_{\text{ус}}$ — коэффициент усиления усилителя сигнала рассогласования; $k_{\text{дв}}$ — передаточный коэффициент двигателя по скорости; $i_{\text{п.м}}$ — передаточное число редуктора механизма подачи проволоки.

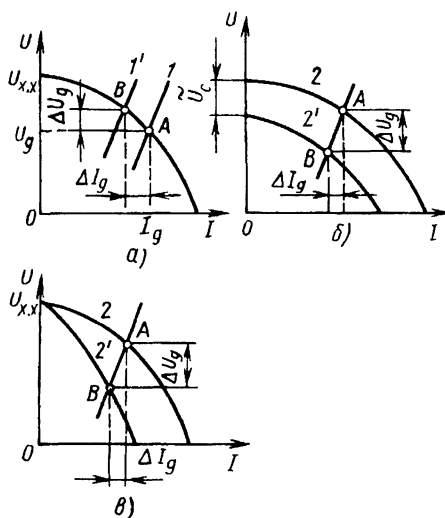


Рис. 1.38. К оценке статических ошибок по силе тока ΔI_d и напряжению ΔU_d при использовании регуляторов типа АРДС:

1 — статическая характеристика регулятора; 2 — внешние характеристики источника питания

С увеличением $k_{\text{рег}}$ уменьшается статическая ошибка ΔU_d , но одновременно увеличивается ошибка ΔI_d . Минимальное значение $k_{\text{рег}}$ определяется из условия [1]:

$$k_{\text{рег min}} = \frac{v_{\text{э max}}}{U_{\text{д min}} - U_3},$$

где $v_{\text{э max}}$ — максимальная скорость плавления электрода при заданных режиме сварки и диаметре электрода; U_3 — напряжение короткого замыкания электрода на деталь (при сварке под флюсом $U_3 = 5...7$ В).

При постояннодействующих возмущениях ($\tilde{v}_{\text{э}}$, $\tilde{U}_{\text{с}}$, $\tilde{R}_{\text{ц}}$) неизбежное смещение точек энергетического равновесия A в положение B сопровождается появлением статических ошибок ΔI_d и ΔU_d . Для минимизации отклонений ΔI_d при появлении возмущений типа $\tilde{v}_{\text{э}}$ целесообразно для питания сварочных цепей автоматов с регуляторами АРНД использовать источники питания с крутопадающей внешней характеристикой. Точка A энергетического равновесия смещается в точку B' , а не в точку B и $\Delta I_d' < \Delta I_d$ (рис. 1.39, а). Возмущения $\tilde{U}_{\text{с}}$, $\tilde{R}_{\text{ц}}$ отражаются прежде всего на силе тока дуги (рис. 1.39, б, в), причем величина отклонений ΔI_d определяется в основном уровнем этих возмущений.

Статические и динамические свойства регуляторов энергетических параметров дуги можно улучшить, применив системы с двумя регуляторами: АРНД с регулированием скорости подачи и регулятором силы тока, действующим на источник питания (рис. 1.40). Регуляторы силы тока реализуются в схемах сварочных выпрямителей с тиристорным управлением, например, типа ВДУ-504. Выбор системы регулирования дуги, обеспечивающей заданное качество регламентируемого параметра сварного шва, может быть произведен по расчетным выражениям коэффициента качества регулирования, определяемого отношением отклонения параметра сварного шва к вызвавшему его возмущению, составленным в относительных единицах:

$$k_{\text{э}} = \frac{\Delta Y / Y}{\tilde{Z} / Z},$$

где ΔY — статическая ошибка контролируемого параметра шва (глубины провара, ширины шва, концентрации легирующего элемента и др.) в абсолютных единицах; Y — значение контролируемого параметра при номинальном режиме; $\tilde{Z}$ — величина возмущения (скачок) в абсолютных единицах; Z — номинальное значение параметра, по которому происходит возмущение.

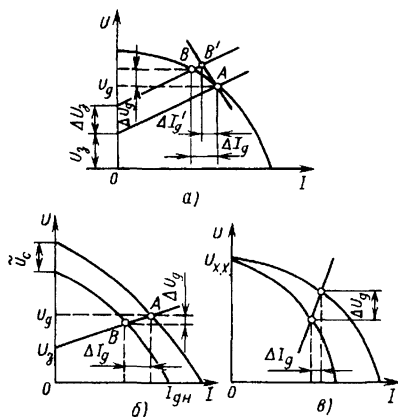


Рис. 1.39. К оценке статических ошибок по току ΔI_d и напряжению ΔU_d при использовании регуляторов типа АРНД

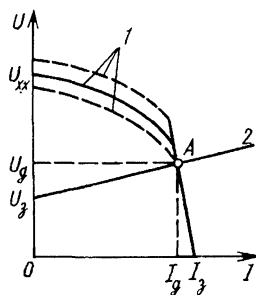


Рис. 1.40. Статические характеристики системы с двумя регуляторами:

1 — внешние источники питания при разных напряжениях холостого хода — с регулятором силы тока с воздействием на сопротивление источника питания; 2 — АРНД

Коэффициент качества $k_{\text{э}}$ — безразмерное число, его знак определяется знаком статической ошибки системы регулирования при единичном возмущении. Чем меньше абсолютное значение $k_{\text{э}}$, тем лучше качество регулирования, тем точнее поддерживает система заданные номинальные значения параметров сварного шва. При астатическом регулировании $k_{\text{э}} = 0$. Для обычно применяемых режимов при сварке неплавящимся электродом в аргоне и плавящимся под флюсом значения различных коэффициентов качества находятся в пределах ± 3 . Суммарная ошибка системы ΔY_{Σ} по регламентируемому параметру сварного шва с учетом одновременного воздействия всех характерных возмущений (по длине дуги $\tilde{l}_d$, напряжению сети $\tilde{U}_{\text{с}}$, скорости подачи проволоки $\tilde{v}_{\text{п}}$, скорости сварки $\tilde{v}_{\text{св}}$)

$$\Delta Y_{\Sigma} = \alpha_{уд} \dot{I}_d + \alpha_{ус} \dot{U}_c + \alpha_{уп} \dot{v}_n + \alpha_{у св} \dot{v}_{св},$$

где коэффициенты качества и возмущения берутся с присущими им знаками.

Качество регулирования обеспечивается при $\Delta Y_{\Sigma} \leq \Delta Y_0$, где ΔY_0 — допустимое по техническим условиям отклонение регламентируемого параметра сварного шва. Для заданных конкретных производственных условий лучшее качество регулирования обеспечат те сварочные автоматы, которые имеют наименьшее значение ΔY_{Σ} . Для обеспечения заданной точности стабилизации регламентируемых параметров сварного шва используется методика расчета и выбора основных параметров автоматов для дуговой сварки [16].

При автоматической сварке плавящимся электродом в среде защитных газов, когда применяются источники питания с жесткими характеристиками (область III, см. рис. 1.37), типичными являются возмущения по вылету электрода, приводящие к статическим ошибкам по силе тока дуги. Для стабилизации вылета (расстояния между токоподводом и изделием) могут использоваться механические системы копирования с "плавающей" сварочной головкой или мундштуком либо электромеханические программные устройства, обеспечивающие подъем головки на заранее установленную величину по мере заполнения разделки при многопроходной сварке. Отсутствие в таких системах обратных связей по фактическому значению вылета электрода и электрическим параметрам дуги делает их нечувствительными к изменениям вылета вследствие колебаний напряжения дуги, скорости плавления электрода.

Для непосредственного контроля вылета в системах его автоматического регулирования (АРВ) применяют фотоэлектрический датчик, корпус которого жестко связан с токоподводящим мундштуком, а оптическая ось ориентирована на переходную область между концом плавящегося электрода и столбом дуги. При изменении расстояния между токоподводом и свариваемой поверхностью изменяются длина нерасплавленной части электрода и, соответственно, световой поток, воспринимаемый датчиком. Рассогласование, выделенное в результате сравнения сигналов датчика и эталонного, используется для управления приводом вертикального перемещения токоподводящего мундштука сварочной головки с целью стабилизации вылета электрода [1]. В таких системах точность стабилизации вылета при сварке плавящимся электродом в среде аргона достигает $\pm 0,25$ мм.

Существенное влияние вылета электрода на силу сварочного тока при сварке в защитных газах электродами малого диаметра используется в системах АРВ с обратной связью по току (рис. 1.41). Такие системы обеспечивают стабилизацию силы тока как при отклонениях вылета электрода, так и при появлении других возмущений, нарушающих установленный режим сварки, и по существу являются

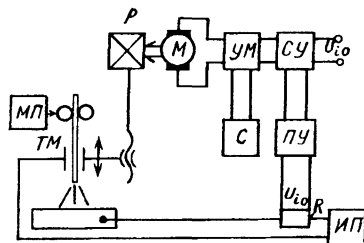


Рис. 1.41. Система АРВ с обратной связью по току: МП — механизм подачи; Р — редуктор; М — двигатель; ТМ — токоподводящий мундштук; УМ — усилитель мощности; С — сигнализатор; СУ — сравняющее устройство; ПУ — предварительный усилитель сигнала обратной связи; ИП — источник питания

системами АРТД с воздействием на вылет электрода.

Перенос электродного металла при дуговой сварке оказывает определенное влияние на динамические характеристики электрических параметров сварочной дуги, металлургические процессы в сварочной ванне, в значительной мере определяет технологические возможности процесса, его стабильность и устойчивость. Управление переносом (переход от крупнокапельного к мелкокапельному или струйному) осуществляют путем воздействия на величину электромагнитной силы

$$F_{эм} = \frac{\mu_0 I_d^2}{4\pi} \ln \frac{d_a}{d_s},$$

где μ_0 — магнитная постоянная; I_d — сила тока дуги; d_s и d_a — соответственно диаметры электрода и анодного пятна дуги на капле.

Отрыв капли возможен при

$$F_{эм} > 0 \text{ и } F_{эм} > F_{пн} + F_p,$$

где $F_{пн}$ — сила поверхностного натяжения; F_p — реактивная сила, определяемая реакцией испарения металла капли. Он практически достигается путем наложения на сварочный ток кратковременных и мощных импульсов. С этой целью используют специальные генераторы G_2 , подключаемые параллельно основному источнику питания G_1 (рис. 1.42, а), либо шунтирование сглаживающего дросселя L (рис. 1.42, б). При первом способе для формирования импульсов служат устройства с накопительной емкостью, с непосредственным получением импульсов от сети, с регулируемой индуктивностью и коммутаторами на тиристорах с фазовым управлением [1]. Возможно применение серийно выпускаемых выпрямителей или вращающихся преобразователей вместе с генераторами импульсов ГИД-1 и ГИ-ИДС. При втором способе используют только тиристорный регулятор UZ с импульсным тиристором VS (рис. 1.42, б) вместо генератора импульсов.

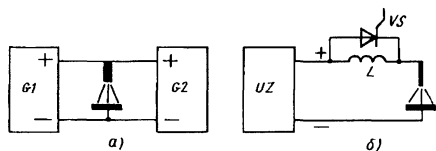


Рис. 1.42. Способы формирования импульсов сварочного тока:

$G1$ — источник постоянного тока; $G2$ — генератор импульсов; UZ — тиристорный регулятор; L — сглаживающий дроссель; VS — импульсный тиристор

Этот способ реализован в серийно выпускаемых отечественных импульсных выпрямителях ВДГИ-301.

Импульсное управление переносом металла при сварке происходит при разомкнутом цикле воздействий. Отделение капель определяется частотой следования импульсов тока (50 и 100 Гц), изменяемых ступенчато. Такой способ управления переносом получил применение при использовании в качестве защитной среды аргона и его смесей с кислородом и углекислым газом (CO_2), если его содержание в смеси не превышает 25%. При сварке в CO_2 значение $F_p > F_{эм}$ и перенос металла возможен лишь при резком уменьшении F_p в моменты коротких замыканий. Алгоритмы импульсного управления энергетическими параметрами процесса сварки в CO_2 предусматривают ступенчатое уменьшение силы сварочного тока до тока паузы перед коротким замыканием, в начальный момент которого силу тока резко увеличивают. При лавинообразном росте падения напряжения, сопровождающем переход электродного металла в сварочную ванну, производят очередное ступенчатое уменьшение силы тока с тем, чтобы перемычка между электродом и сварочной ванной разрушилась при небольшой силе тока паузы. Для реализации таких алгоритмов используют замкнутые системы автоматического регулирования, по каналам обратных связей которых обеспечивается контроль за изменением напряжения на дуге, силой сварочного тока, мгновенной мощности дуги в течение всего сварочного микроцикла [13, 15].

Практически любые алгоритмы управления переносом электродного металла могут быть реализованы при использовании инверторных источников питания сварочной цепи. Такие источники (типа ВДУЧ, УДГ-350, фирм ESAB, КЕМРПИ и др.) позволяют применить любую (обычно 1...50 кГц) технологически обусловленную частоту следования импульсов тока, повысить быстродействие управления процессом сварки (примерно на два порядка по сравнению с традиционными источниками тока) и стабильность процесса сварки, уменьшить разбрызгивание путем более точного дозирования энергии, выделяемой в дуге в моменты

коротких замыканий и повторного возбуждения дуги.

Для предупреждения выхода геометрических размеров швов за допустимые пределы, задаваемые соответствующими стандартами, системы управления дуговой сваркой должны обеспечивать автоматическую коррекцию параметров режима по результатам контроля регулируемых размеров поперечного сечения швов. Обычно такие системы используют для стабилизации провара, величины выпуклости шва, так как эти параметры наиболее чувствительны к большинству типовых (и, особенно трудноустраняемых технологических) возмущений.

Частным решением общей задачи управления размерами сварных швов является автоматическое регулирование глубины провара на основе контроля температуры в максимально нагретой точке в области корня шва [9]. Для этого применяют, например, фотодатчик, устанавливаемый с обратной стороны шва и перемещаемый синхронно с пятном нагрева. Сигналы датчика используют для стабилизации провара, изменяя силу сварочного тока, амплитуду поперечных колебаний электрода, скорость сварки и др. Ограничения по применению таких систем определяются необходимостью специального устройства управления положением датчика температуры для автоматического поиска точки визирования датчика и его синхронного перемещения с пятном нагрева [1].

Использование математических моделей в системах управления формированием швов позволяет определять по исходным технологическим условиям (толщине металла свариваемых деталей или катету углового шва, зазору между деталями, диаметру электродной проволоки) параметры режима и условия оптимальной ориентации сварочной горелки, обеспечивающие получение шва заданных размеров и формы. Модели представляются уравнениями регрессии [17] и их применение в замкнутых системах управления, требует текущего контроля соответствующими датчиками исходных технологических параметров, а также вычислительных устройств для расчета корректирующих воздействий и поддержания оптимальной взаимосвязи между управляемыми параметрами сварочного режима (напряжением дуги, силой сварочного тока, скоростью подачи электродной или присадочной проволоки и сварки) с учетом действующих возмущений.

Известна система программного управления формированием швов неповоротных кольцевых стыков труб малого диаметра, в которой математическая модель используется для расчета программы изменения силы сварочного тока по периметру стыка с учетом характерных для каждого стыка технологических возмущений, в частности по толщине заготовок, зазору. В основу такого способа адаптации режима положена зависимость энергии, затрачиваемой на сварку, от технологических условий

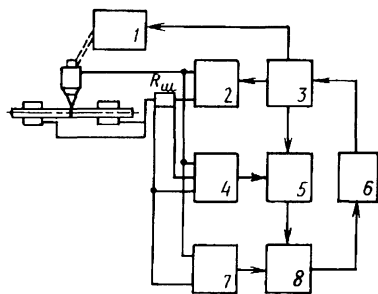


Рис. 1.43. Система управления сваркой неповоротных стыков труб малого диаметра с адаптацией режима по энерговыделению:

1 — привод перемещения сварочной горелки; 2 — источник сварочного тока; 3 — интерфейс; 4 — датчик мощности; 5 — интегратор; 6 — микроЭВМ; 7 — фильтр низких частот; 8 — аналого-цифровой преобразователь

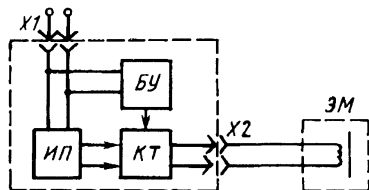


Рис. 1.44. Схема магнитного управления сварочными процессами

сварки. Суммарный эффект отклонения этих условий от номинальных определяют по энергозатратам при шаговой импульсной сварке со сквозным проваром двух-трех точек начального участка стыка — участка идентификации. Достижение сквозного провара определяют по колебаниям напряжения на сварочной дуге, совпадающим по частоте с пульсациями защитного газа внутри трубы.

Энергии измеряют последовательным включением датчика мощности, реализованного на аналоговом множителе 525ПС2Б, и интегратора со сбросом от микроЭВМ, выполненного на операционном усилителе УД 1408Б. Модель, определяющая связь между энергией, затраченной на участке идентификации и законом изменения силы сварочного тока от положения горелки при сварке основной части стыка, с учетом его подогрева опережающим дугой тепловым полем, представлена линейным уравнением первого порядка с переменным коэффициентом. Система управления сваркой неповоротных стыков труб с адаптацией режима по энерговыделению, контролирующему технологические условия сварки (рис. 1.43), реализована в установке, включающей сборочно-сварочный станок типа "Восток" и источник сварочного тока ВСУ-80, которые управляются микроЭВМ на основе МСУВТ В7 [18].

Для управления формированием и кристаллизацией сварных швов и определяемыми ими показателями качества сварных соединений нашли применение электромагнитные воздействия, расширяющие технологические возможности традиционных способов сварки. Эти воздействия создаются электромагнитами (ЭМ), конструктивно совмещенными со сварочными горелками или токоподводящими мундштуками сварочных автоматов. Питание электромагнитов производят от источника регулируемого переменного напряжения ИП (рис. 1.44) через тиристорный контактор КТ, работа которого, а следовательно, программа изменения управляющего магнитного потока (УМП) определяются блоком управления БУ режимом электромагнитного воздействия. Устройства БУ, КТ и ИП обычно объединяются в конструктивно самостоятельный блок управления, подключаемый непосредственно к сети разъемом Х1 и снабженный разъемом Х2 для подсоединения электромагнита ЭМ.

Взаимодействие УМП с электрическим током дуги или с жидким металлом сварочной ванны приводит к появлению массовых пондеромоторных сил, ответственных за вынужденные, управляемые параметрами УМП (величиной его магнитной индукции, полярностью и частотой ее перемены) перемещения дуги или расплава ванн. Колебания дуги поперек или вдоль направления сварки поперечным УМП или ее вращение с переходом в конусную форму в продольном УМП применяют для улучшения прогрева свариваемых кромок, перераспределения тепловой энергии дуги между кромок основного металла, присадочной проволокой и сварочной ванной, регулирования глубины провара, обеспечения хорошего формирования швов при повышенных скоростях сварки и перекрытия валиков при наплавке. Для управления дугой достаточной является индукция УМП в пределах 2,5...6 мТл при частоте реверсирования тока электромагнитом 1...50 Гц. Допустимая по условиям устойчивости дуги индукция поперечного УМП обычно не превышает 12 мТл.

Для управления электромагнитными перемещениями расплава сварочной ванны применяют продольные (аксиальные) УМП. Объектами управления при электромагнитных перемещениях являются теплоперенос в сварочной ванне и кинетика ее кристаллизации. Простейшие программы изменения амплитуды и частоты перемены полярности тока питания электромагнита при управлении сварочной дугой значительно усложняются с учетом необходимости соблюдения критериев оптимальности электромагнитных перемещений. Алгоритмы управления предусматривают регулирование скважности импульсов тока питания электромагнита, временные задержки между последовательными группами униполярных либо разнополярных импульсов этого тока, синхронизацию начала обработки заданной программы изменения напряжения питания с фронтом импульса сварочного тока при им-

пульсно-дуговой сварке [29]. Для управления электромагнитными перемещениями при различных условиях сварки требуется УМП с индукцией 8...65 мТл и переменной полярности через каждые 0,08...0,2 с.

Практическая реализация систем управления электромагнитными воздействиями при дуговой сварке может быть выполнена с учетом имеющихся рекомендаций, схемных и конструктивных решений [29], на основе серийных установок УЭМП-1 и опытных устройств ОИ 119. Создаются замкнутые системы управления качеством сварных швов по параметрам кристаллизации с применением ЭВМ в качестве регулирующих воздействий.

1.14. АВТОМАТИЗАЦИЯ НАПРАВЛЕНИЯ СВАРОЧНОГО ИНСТРУМЕНТА ПО СТЫКУ СВАРИВАЕМЫХ КРОМОК

Выбор метода и состава технических средств автоматизации перемещения сварочного инструмента по линии шва зависит прежде всего от характера и объема информации, которая должна обрабатываться при управлении. В этом смысле объекты сварочного производства можно разделить на две группы: 1) для которых случайными отклонениями линии сопряжения свариваемых элементов можно пренебречь; 2) для которых случайными отклонениями пренебречь нельзя.

Для объектов первой группы траектория движения и величина перемещения сварочного инструмента относительно изделия могут быть заданы один раз для всех экземпляров изделия данного наименования.

Траектория движения может определяться: прямолинейными направляющими кареток, тележек, штанг; круговыми направляющими шпинделей, планшайб, рычагов, направляющими сложной формы; средствами кинематического программного управления — геометрическими аналогами линии соединения — кулачками, шаблонами, копирами; в числовом виде с помощью средств числового программного управления. При управлении только величиной перемещений (позиционные задачи) программа может быть задана с помощью путевых кулачков или в числовом виде. Перечисленные способы задания траектории движения или точек (положений) могут быть применены при сварке жестких изделий небольших размеров с достаточно точным изготовлением свариваемых элементов и качественной их сборкой, а также нежестких изделий малых и средних размеров с использованием точных и жестких сборочно-сварочных приспособлений (кондукторов).

Для объектов второй группы траектория движения и (или) величины перемещений не могут быть полностью заданы заранее: ими необходимо управлять с учетом фактического положения линии сопряжения свариваемых элементов индивидуально для каждого экземпляра изделия. Эту задачу можно решить с по-

мощью методов и средств автоматического слежения.

Программные средства по способу задания и обработки программы и виду применяемых технических средств делят на кинематические и числовые (рис. 1.45). Применение простых и наглядных методов и средств кинематического управления может быть оптимальным в следующих случаях: дуговой сварки в массовом производстве канистр, овальных цистерн, тройников; сварки балок сложной формы; вварки штуцеров; дуговой точечной сварки плоских конструкций массового производства.

Средства ЧПУ перемещениями отличаются тем, что информация о величинах и траекториях перемещений задается в алфавитно-цифровом виде, а переработка этой информации осуществляется с применением методов и средств вычислительной техники. Применение в сварочном оборудовании устройств ЧПУ, разработанных и серийно выпускаемых для автоматизации обработки металлов резанием и других технологических, а также транспортных операций, позволяет обойтись без разработки дополнительных устройств ЧПУ и их модификаций, предназначенных для сварочных операций; использовать серийные основные устройства, упростив процесс внедрения сварочного оборудования с ЧПУ.

Вместе с тем такой путь имеет ряд ограничений, а именно: избыточность серийных устройств ЧПУ (по точности обработки, количеству вспомогательных команд) и их недостаточность в ряде случаев по числу управляемых подвижностей, возможности свободного управления параметрами процесса сварки и наращивания их средствами геометрической и технологической адаптации, т. е. корректировки программы по каждому экземпляру изделия; языковые средства устройств управления



Рис. 1.45. Классификация программных средств автоматизации перемещений

нии корректировки; l_0 — расстояние между точкой сварки и точкой измерения; при двух роликах необходимо в качестве l_0 принимать расстояние от точки сварки до более удаленного от нее ролика.

При копировании в двух и более точках и дополнительной подвижности шупа относительно инструмента (рис. 1.47, в, д) или шупа с инструментом относительно изделия (рис. 1.47, з, е) можно существенно уменьшить погрешность (рис. 1.47, з), связанную с тем, что точка измерения находится впереди точки сварки.

При сварке "в угол" удобны двухкоординатные устройства прямого копирования, известные и возможные схемы которых могут быть сведены к вариантам, представленным на рис. 1.48.

Недостатками систем прямого действия являются: невозможность копирования стыковых соединений без разделки или гарантированного зазора и сложность копирования стыковых соединений с мелкими разделками, нахлесточных соединений с толщиной верхнего листа менее 3 мм, угловых соединений (с внешней стороны угла) с катетом менее 3 мм; необходимость специальной конструкции сварочного аппарата "с плавающей" в направлении слежения частью, несущей сварочный инструмент; влияние искажения формы разделки на точность работы устройства; повышенное изнашивание шупов; при невозможности копирования сбоку точки сварки и нецелесообразности применения планок для вывода шупа необходимо предусматривать фиксацию "плавающей" части аппарата перед выходом шупа из контакта с изделием при наложении конечного участка шва и обеспечивать достаточно высокую жесткость конструкции всей манипуляционной системы, чтобы снятие усилия копирования не вызывало чрезмерного дополнительного смещения сварочного инструмента из зафиксированного перед этим положения.

Системы непрямого действия свободны от многих из перечисленных недостатков.

Следящие системы с электромеханическими датчиками применяются наиболее часто. Особенностью электромеханических датчиков является наличие в них копирующего элемента — шупа, который под действием пружин находится в контакте с копируемыми поверхностями или кромками изделия. Как правило, шуп электромеханического датчика прижимается к поверхности изделия с небольшой силой (1...10 Н), в отличие от систем прямого копирования, в которых сила прижима шупа определяется в основном массой перемещаемых частей и достигает сотен ньютонов.

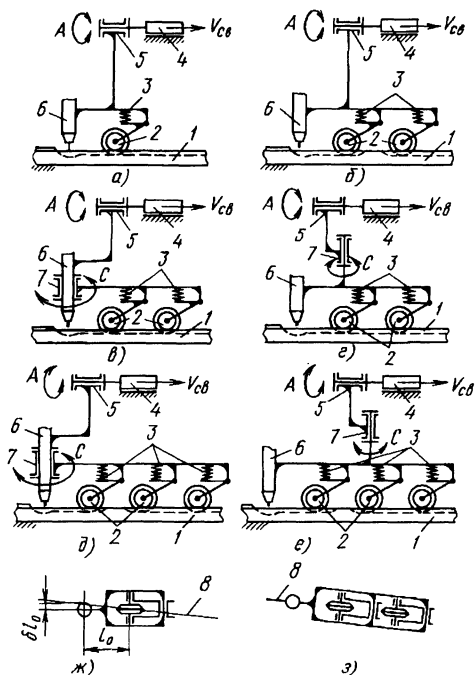


Рис. 1.47. Схемы устройств прямого копирования для направления сварочного инструмента на линию соединения:

1 — свариваемое изделие; 2 — копирующий ролик; 3 — пружина; 4 — звено, перемещающееся вдоль линии соединения; 5 — подвижный элемент (подвижность), обеспечивающий корректировочное перемещение; 6 — сварочный инструмент; 7 — дополнительный подвижный элемент; 8 — линия соединения

Преобразователь электромеханического датчика практически полностью защищен корпусом датчика от воздействия электромагнитных полей, светового и теплового излучений, брызг расплавленного металла, флюса, пыли, газов, случайных механических повреждений. Это позволяет применять различные типы преобразователей: электроконтактные, резисторные, электромагнитные, фотоэлектрические, емкостные и др.

Общим существенным недостатком контактных и бесконтактных двухпозиционных путевых выключателей как преобразователей электромеханических датчиков является наличие в них значительного дифференциала хода, т. е. несовпадения положений срабатывания при включении и отключении. Бесконтактные выключатели, кроме того, имеют погрешность, связанную с колебаниями напряжения питания и изменениями температуры окружающей среды.

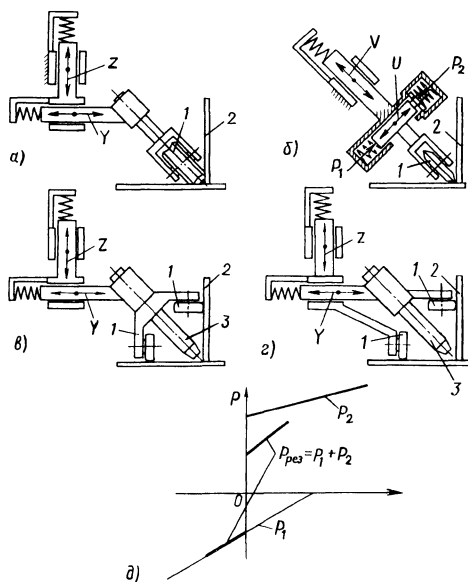


Рис. 1.48. Схемы двухкоординатных устройств прямого копирования для сварки "в угол":

а — со скольжением копирных роликов; б — без скольжения копирного ролика координаты Y; в — выбор усилия пружин (для схемы б), устанавливающих копирный ролик в среднее положение; г — копирный ролик; 2 — свариваемое изделие; 3 — сварочный инструмент

При необходимости более высокой точности слежения, применяются электромеханические датчики с преобразователями, имеющими линейный выход на всем диапазоне измерения или на его части. Наиболее известны резисторные преобразователи в виде потенциометров. Основной недостаток резисторных преобразователей со скользящим контактом — это их недолговечность. Угловые реостаты представляют собой наборы (столбы) из угловых шайб, при увеличении или уменьшении силы их сжатия изменяется общее электрическое сопротивление набора. Они отличаются малыми размерами, но имеют малый ход и требуют приложения больших сил, чем при использовании преобразователей других видов. Из резисторных преобразователей наиболее компактны тензорезисторные.

Из бесконтактных преобразователей для электромеханических датчиков наиболее удобны дифференциально-трансформаторные, самые простые из которых имеют линейную характеристику в пределах $\pm (1,5...2,5)$ мм от нейтрального положения.

Наиболее широко применяются двухкоординатные электромеханические датчики, установленные под углом к оси сварочного инструмента (рис. 1.49). Они отличаются достаточно высокой точностью измерения, надежностью контроля за правильностью функционирования датчика и обеспечивают высокую

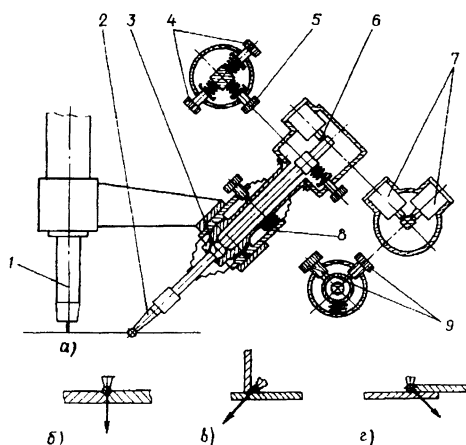


Рис. 1.49. Схема двухкоординатного электромеханического датчика (а) и направления усилия копирования при сварке стыковых (б) и угловых (в, г) швов:

1 — горелка; 2 — шуп; 3 — шарнир поворота шупа в корпусе; 4 — корректоры направления и силы копирования поперек оси электрода; 5 — корректор силы копирования вдоль оси электрода; 6 — корпус первичных преобразователей; 7 — первичные преобразователи; 8 — корпус датчика; 9 — корректоры нулевых положений вдоль и поперек оси электрода

надежность работы систем. Это объясняется кинематической связью (через шуп) между изделием и преобразователем и надежной защитой последнего от внешних воздействий. Однако такая связь делает практически невозможным использование датчиков такого типа при наличии протеклов металла после сварки с обратной стороны, а при наличии прихваток усложняет конструкцию датчика. Кроме того, она является источником специфических погрешностей, связанных со случайными отклонениями от номинальных значений геометрических параметров соединения, подготовленного под сварку, и попаданием под шуп частиц флюса, шлака и брызг металла.

Следящие системы с электромеханическими датчиками целесообразно применять при сварке соединений: стыковых (только с разделкой); нахлесточных и угловых без протеклов металла и (предпочтительно) без прихваток; тавровых независимо от наличия прихваток. Во всех случаях глубина разделки или высота копируемого уступа должна быть, как правило, не менее 3 мм.

Следящие системы с фотоэлектрическими датчиками применяются для слежения за линией стыка, контрастной относительно поверхности свариваемого металла; за контрастной копирной линией (полосой), нанесенной на поверхность на постоянном расстоянии от линии соединения; за границей "черно-белое"

на копирной ленте, наклеиваемой на изделие; за линией, разделяющей поверхности изделия с разной освещенностью или отражательной способностью (например, при сварке встык двух листов, поверхность одного из которых зачищена до металлического блеска или окрашена). Возможно также слежение за зазором или кромкой изделия, подсвечиваемыми со стороны, обратной расположению датчика. Известны фотоэлектрические системы для слежения за разогретыми кромками или зоной нагрева с обратной стороны соединения, излучающими в световом диапазоне, а также системы слежения за стыком с учетом фактического положения излучающего конца электрода.

Весьма перспективно применение в качестве осветителей лазеров, а в качестве фотоэлектрических приемников — преобразователей типа линеек и матриц, позволяющих в сочетании с методом светотеневого сечения получать информацию не только о положении, но и о геометрических параметрах соединения. Обработку сигналов фотоприемников в матричных датчиках выполняют средствами вычислительной техники.

Фотоэлектрические системы отличают: независимость выходного сигнала при слежении по контрастной копирной линии от изменения всех параметров разделки; достаточно большое расстояние от датчика до поверхности изделия; достаточно большая информативность (при использовании матричных фотоприемников). Однако необходимость защиты датчика от световых помех и оптических элементов датчика и осветителя от загрязнения и эрозии, связанных с условиями эксплуатации в сварочном производстве, существенно затрудняет расширение практического применения фотоэлектрических следящих систем.

Следящие системы с телевизионными датчиками создаются на базе промышленных телевизионных установок. Одновременно с измерением они позволяют дистанционно наблюдать за фактическим положением стыка или другого контрастного элемента, осуществляя контроль за работой системы. Средства телевизионной техники, включая следящие системы, целесообразно применять в сварочном производстве прежде всего в следующих случаях: при сварке в местах труднодоступных для прямого визуального контроля (внутренних швов труб, резервуаров и других подобных конструкций); в тяжелых и опасных для жизни или здоровья персонала условиях вблизи зоны сварки (радиация, взрыво- и пожароопасность, высокая температура, интенсивное световое излучение, токсичность, запыленность и т. д.); при обслуживании одним оператором нескольких мест сварки крупных изделий одновременно несколькими сварочными аппаратами.

Следящие системы с электроразрядными датчиками основаны на использовании для измерения электрической цепи, образуемой шупом-электродом, изделием и электриче-

ским разрядом между ними. Использование сварочной дуги в качестве датчика положения свариваемого соединения основано на измерении параметров дугового процесса, зависящих от расстояния между концом электрода и поверхностью изделия: напряжения на дуге, силы сварочного тока, частоты или скважности коротких замыканий (при сварке плавящимся электродом).

Сварочная дуга в качестве статического датчика используется в системах АРНД для управления положением электрода вдоль его оси. Эти системы вначале были созданы для дуговой сварки неплавящимся электродом, при которой дуговой процесс отличается достаточно высокой стабильностью, благодаря чему измерение и регулирование может быть осуществлено сравнительно простыми средствами. С использованием таких систем реализуют многокоординатные следящие системы для дуговой сварки швов сложной формы, лежащих в одной плоскости с электродом.

При дуговой сварке других видов параметров дугового процесса имеют значительную случайную составляющую и выделение информации о положении поверхности изделия существенно усложняется. В ряде случаев для получения приемлемой точности оказывается необходимо применение интеграла измеряемого сигнала и методов, основанных на анализе случайных процессов. Следящие системы для наведения электрода на линию соединения, в которых в качестве датчика используется сварочная дуга, стали интенсивно развиваться только после появления микроэлектронной техники и необходимости создания средств адаптации для сварочных промышленных роботов, применительно к которым преимущества использования сварочной дуги в качестве датчика имеют решающее значение при выборе методов и технических средств адаптации. В большинстве известных систем рассматриваемого типа для сварки плавящимся электродом в качестве информационного параметра используется сила сварочного тока. При сварке неплавящимся электродом с применением источника питания с крутопадающей характеристикой более информативным параметром оказывается напряжение на дуге.

В электромеханических сканирующих устройствах режим сканирования должен быть согласован с требуемой технологией и техникой сварки исходя из формирования сварного шва с заданными параметрами. В этом случае параметры сканирования (амплитуда, частота, форма траектории) определяются прежде всего требованиями технологии и для разработчика системы слежения за линией соединения являются, как правило, заданными. При сканировании отклонением дуги электромагнитным полем параметры развертки могут выбираться в более широких пределах, так как частота отклонения дуги может быть значительно больше, чем при электромеханическом сканировании.

Более просты в реализации, но менее точны системы слежения, в которых измере-

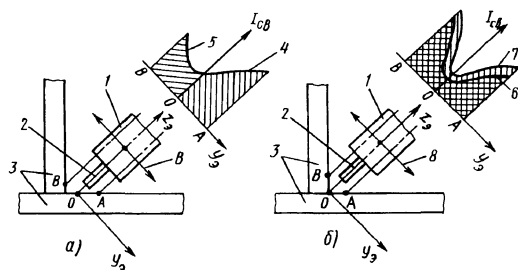


Рис. 1.50. Принцип получения сигналов рассогласования поперек (а) и вдоль (б) оси электрода при использовании сканирующей сварочной дуги в качестве датчика:

1 — горелка; 2 — электрод; 3 — свариваемые элементы; 4, 5 и 6 — изменение силы сварочного тока $I_{св}$ при перемещении дуги между точками соответственно А и О, О и В, А и В; 7 — эталонное значение силы тока; 8 — направление сканирования

ние параметров дуги производится в фиксированных положениях сварочной горелки или электрической дуги.

Информация о смещении электрода относительно линии соединения в направлении координаты Y_z (рис. 1.50) содержится в разности интегральных либо максимальных сил токов для каждого полупериода колебаний, а в направлении координаты Z_z — в их сумме. При сварке плавящимся электродом угловых или стыковых соединений с разделкой возникает задача равномерного заполнения разделки, изменяющейся по ширине. Использование дуги в качестве датчика положения кромок свариваемых элементов позволяет достаточно простыми техническими средствами обеспечить одновременную коррекцию среднего положения сварочной горелки относительно стыка и оптимальную (исходя из заполнения разделки) амплитуду колебаний электрода.

Электрод перемещают поперек разделки, пока расстояние между ним и одной из стенок разделки не достигнет заданного значения. Этот момент фиксируется схемой, формирующей выходной сигнал при достижении заданной силы тока. По данному сигналу изменяется направление перемещения электрода, т. е. производится ограничение амплитуды его колебаний. При этом электрод автоматически повторяет очертания кромок при различной форме разделки. С увеличением ширины разделки скорость сварочного движения автоматически уменьшается.

Системы с использованием дуги в качестве датчика весьма перспективны благодаря их следующим преимуществам: возможности измерения непосредственно в точке сварки, что исключает транспортное запаздывание и делает ненужным запоминание полученной информации при любых формах линии соедине-

ния; отсутствию в зоне сварки каких-либо измерительных устройств; управлению непосредственно положением дуги, т. е. исключению влияния таких факторов, как износ направляющих элементов сварочного инструмента и нестабильная правка проволоки, которые не учитываются в других видах систем.

Следящие системы с электромагнитными (индукционными) датчиками положения стыковых соединений и расстояния до изделия довольно распространены. В общем случае, когда контролируемое металлическое изделие вносится в первичное переменное электромагнитное поле датчика, происходит его искажение, так как на поверхности изделия возникают вихревые токи, образующие собственное электромагнитное поле. Обычно используется излучающее поле, которое изменяется во времени по гармоническому закону. Характеристики результирующего поля зависят от электромагнитных и геометрических параметров системы датчик—объект.

При наличии на изделии технологических прихваток используют свойство индукционных датчиков снимать информацию интегрально с некоторой поверхности, которая по площади для небольшой высоты установки датчика над изделием примерно равна площади торцовой поверхности датчика, обращенной к изделию, и возрастает с увеличением высоты установки датчика. Таким образом, прихватка, форма которой в среднем симметрична относительно стыка, датчиком не фиксируется. Кроме того, размер датчика вдоль стыка часто выбирают больше длины прихватки. Свойство интегральной чувствительности индукционных датчиков отклонения стыкового соединения позволяет использовать их также для измерения смещения усиления сварного шва, форма которого содержит мелкие отклонения от геометрических размеров, вызванные различными по природе нестационарностями сварочного процесса. В этом случае указанные нерегулярности усредняются датчиком. Некоторые схемы применения индукционных датчиков приведены на рис. 1.51.

Преимуществами электромагнитных датчиков являются: отсутствие механического и электрического контакта датчика и изделия; интегральные, усредненные по некоторой площади результаты измерения; возможность применения для стыковых соединений без разделки кромок, а также для стыковых соединений с наложенным на обратную сторону швом; возможность применения для изделий из магнитных и немагнитных металлов; малые габаритные размеры; простота конструкции. Основным недостатком датчиков рассматриваемого типа — влияние на выходной сигнал большого количества возмущений (электромагнитных помех и превышения кромок свариваемых элементов).

Следящие системы с тепловыми (фотопирометрическими) датчиками основаны на использовании тепловой локации нагрева кромок при сварке. Преимущество способа в том,

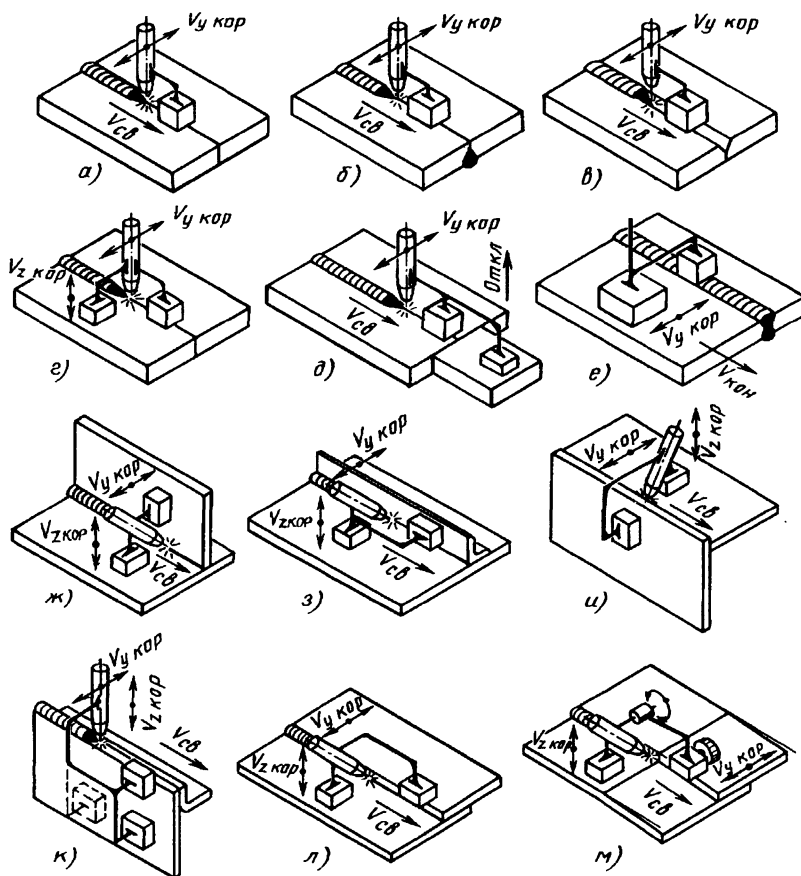


Рис. 1.51. Рекомендуемые схемы расположения индукционных датчиков для наведения инструмента на линию сопряжения свариваемых элементов при выполнении стыковых (а—д) и угловых (ж—м) швов, а также при контроле (е) стыковых швов

что он обеспечивает корректировку положения центра нагрева, а не оси сварочного инструмента, как это происходит во всех других системах.

Следящие системы с пневматическими датчиками могут использоваться для стабилизации расстояния до поверхности изделия и для слежения за кромкой, зазором, разделкой. Датчик типа сопло-заслонка работает при избыточном давлении питания $p_0 = 0,14$ МПа и обеспечивает выходной сигнал $p = 0,02 \dots 0,1$ МПа. Диаметр отверстия сопла $d_c = 0,5 \dots 1,0$ мм, диаметр дросселя $d_d = 0,25$ мм. Наибольшее расстояние, контролируемое датчиком, измеряется десятками долями миллиметра, что затрудняет его использование при грубых поверхностях, характерных для многих свариваемых изделий. Датчик, основанный на использовании давления отраженной струи, работает при избыточном давлении $p = 0,1 \dots 0,2$ МПа.

С его помощью можно контролировать положение поверхности изделия на расстоянии до 6 мм. Чтобы работа пневматического датчика, расположенного вблизи зоны сварки, не нарушала газовой защиты дуги, в датчике используют аргон. В следящих системах с электроприводом выходной сигнал пневматического датчика подается на пневмоэлектрический преобразователь. Известны также следящие системы с пневматическими исполнительными элементами.

Пневматические датчики отличаются простотой и малой стоимостью применяемой с ними аппаратуры, но вместе с тем — опасностью засорения и повреждения сопел, что препятствует широкому их распространению в сварочном производстве.

Из других способов измерения положения соединения известны ультразвуковые, ионизационные, спектральные, акустические и др.

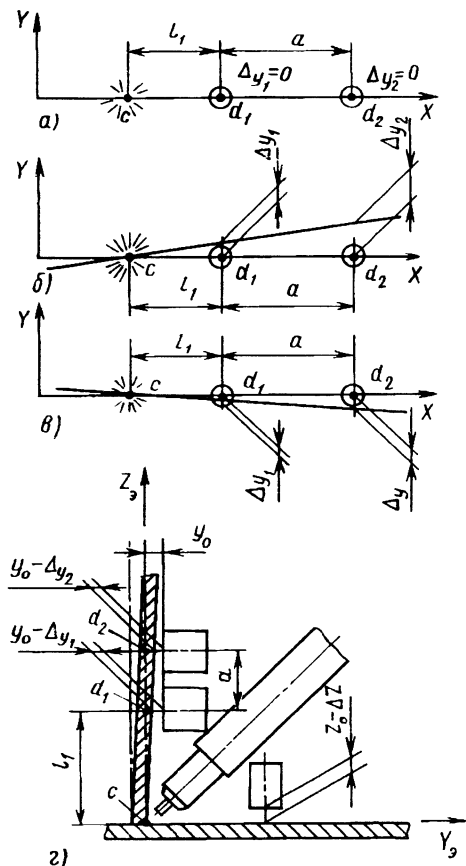


Рис. 1.52. Метод линейной экстраполяции с использованием двух датчиков, расположенных впереди точки сварки (а—б) и сбоку от точки сварки (2) (d_1 , d_2 — точки измерения; c — точка сварки)

При расположении точки измерения впереди точки сварки использование обычных следящих систем (без запоминающих устройств для хранения информации в течение времени перемещения от точки сварки до точки измерения) возможно лишь при строго ориентированных швах и только при малых случайных угловых отклонениях линии соединения от расчетного положения. Расположение точки измерения сбоку точки сварки допустимо в тех случаях, когда отклонениями от ориентации свариваемых элементов можно пренебречь.

Применение следящих систем без запоминающих устройств при больших случайных угловых отклонениях линии соединения возможно при использовании метода линейной экстраполяции с измерением положения линии соединения в двух точках, расположенных впереди точки сварки. Рассмотрим наиболее

простой для анализа случай, когда статические характеристики обоих датчиков линейны и идентичны, а выходные сигналы датчиков равны нулю, если линия соединения параллельна направляющим и сварочный инструмент направлен на линию соединения (рис. 1.52). Система направляет сварочный инструмент на прямую линию соединения, если сигнал рассогласования определяется, как $\Delta y = (\Delta y_1 - \Delta y_2)l/(l_1 + a)$. Разумеется, этот способ полностью устраняет методическую ошибку только при сварке строго ориентированных швов.

Метод линейной экстраполяции можно использовать также при небольших случайных отклонениях ориентации одного из свариваемых элементов таврового соединения (рис. 1.52, 2).

Выбор принципа измерения положения свариваемого соединения и конструкции датчика выполняется исходя из большого числа факторов, среди которых основную роль играют тип сварного соединения, габариты свободного пространства в зоне, прилегающей к соединению, материал изделия, характер его поверхности и кромок, подготовленных под сварку, особенности технологического процесса изготовления изделия. Остальные элементы следящих систем: регуляторы, усилители, исполнительные двигатели, механизмы корректоров должны быть унифицированы независимо от используемых способов измерения.

Дополнительные требования к сварочному оборудованию, оснащённому следящими системами, вытекают из общих требований к оборудованию с автоматическим управлением перемещениями и из опыта по созданию этого оборудования для дуговой сварки. Между сварочным инструментом и датчиком должно быть минимальное число промежуточных несущих и крепежных элементов, а взаимное положение электрода и датчика не должно изменяться под действием силы подачи проволоки (в частности, при упоре подаваемой проволоки в поверхность изделия при возбуждении дуги), вибрации, случайных механических воздействий. Должна быть обеспечена возможность непосредственного или дистанционного наблюдения за совмещением сварочного инструмента с линией сопряжения свариваемых элементов. Настройка взаимного положения сварочного инструмента и нейтрального положения датчика должна обеспечиваться как при наладке, так и во время сварки. Необходимо предусматривать возможность перехода на ручное управление корректировочными перемещениями в случае внезапного выхода из строя следящей системы для того, чтобы окончить сварку, по крайней мере, данного экземпляра изделия. Масса подвижных частей, перемещаемых приводами следящей системы, должна быть минимальна. В этом смысле наилучшим решением при использовании следящих систем является выполнение корректировочных перемещений только сварочной горелкой, а не всей сварочной головкой, аппаратом или свариваемым изделием. Манипуляцион-

ная система и базовые (неподвижные) элементы должны иметь повышенную жесткость по сравнению с жесткостью традиционных конструкций оборудования для дуговой сварки, особенно при применении следящих устройств прямого копирования и с электромеханическими датчиками. Кинематические цепи и направляющие механизмов корректировочных перемещений должны состоять из минимального числа элементов, не иметь зазоров и обеспечивать наименьшее различие сопротивления перемещению при движении и при трогании с места.

1.15. ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ

Тенденции развития оборудования для дуговой сварки и наплавки необходимо рассматривать с учетом различных его видов.

Анализ конструкций полуавтоматов и их основных частей позволяет сделать следующие выводы относительно тенденций развития этого вида сварочного оборудования [23, 29].

- Преимущественное развитие передвижных и переносных полуавтоматов, сопровождающееся дальнейшим уменьшением массы подающих устройств. Упрощение механизмов подающих устройств, применение наряду с роликовыми подающих механизмов планетарного и импульсного типов, а также механизмов подачи новых типов.

- Совершенствование стационарных полуавтоматов с верхним расположением подающих механизмов, а также с расположением части шланга на консоли с целью расширения зоны обслуживания и снижения утомляемости сварщика.

- Применение дымогазоотсасывающих устройств как встроенных, так и располагаемых отдельно в первую очередь в полуавтоматах на большие токи и при сварке в ограниченных пространствах.

- Применение предварительной настройки величин или соотношений параметров режима сварки с последующим оперативным выбором одного из нескольких заранее настроенных режимов.

- Создание малогабаритных регулируемых электроприводов для подачи проволоки на базе прогрессивных конструкций электродвигателей с постоянными магнитами. Применение для систем управления современной элементной базы интегральных схем со средним и высоким уровнем интеграции, микропроцессоров.

- Широкая унификация и стандартизация присоединительных размеров основных агрегатов и быстроизнашивающихся узлов и деталей; расширение применения принципа агрегатирования. Увеличение долговечности изнашивающихся элементов и повышение надежности полуавтоматов.

- Применение принципа шланговой подачи с использованием основных составных частей шланговых полуавтоматов в станках и установках для дуговой сварки и особенно при

большом числе степеней подвижности сварочного инструмента, в том числе в робототехнологических комплексах для сварки.

Анализ конструкций сварочных автоматов позволяет сделать следующие выводы относительно основных тенденций их развития [23, 27, 29].

- Одним из важнейших остается принцип агрегатирования аппаратов различного назначения из унифицированных функциональных узлов и блоков.

- Существенно расширение применения систем автоматического поиска линии соединения и автоматического направления сварочного инструмента или непосредственно электрода (дуги) на линию соединения свариваемых элементов, средств автоматического зажигания дуги и заварки кратера, а также выполнения перекрытия швов с управлением параметрами режима по заданной программе.

- Сварочные аппараты следует снабжать средствами измерения силы сварочного тока и напряжения на дуге, скорости подачи проволоки, скорости сварки, расхода и состава защитного газа, наличия и влажности флюса, а также средствами измерения параметров соединения, подготовленного под сварку, и параметров сварных швов. Кроме того, сварочные автоматы должны оснащаться исполнительными механизмами и устройствами, пригодными для автоматического управления процессами, и операциями сварочного производства. Это создает возможность широко применять автоматизированные системы управления технологическими процессами сварки.

- Получат дальнейшее развитие и распространение комплекты сварочной аппаратуры для станков и сварочных промышленных роботов, а также поточных и автоматических линий. Управление этим оборудованием на основе микропроцессорной техники пригодно для решения следующих задач: сбора и обработки данных о процессе сварки и функционировании оборудования (информационно-измерительные системы); программирования режимов сварки (как внешнее, так и методом обучения при сварке изделия опытным сварщиком); обработки информации, поступающей с датчиков положения сварочной горелки относительно линии свариваемого соединения; адаптивного управления процессом сварки в зависимости от изменяющихся параметров свариваемых соединений (главным образом зазора в соединении); автоматизации нормирования сварочных работ (в том числе и выбора режимов) с помощью электронных советчиков технолога — автоматизации выбора режимов сварки непосредственно на сварочном оборудовании по данным об исходных технологических условиях (тип шва, пространственное положение, толщина свариваемого металла и др.).

Рассмотрение компоновок и конструкций механического сварочного оборудования, его составных частей, источников питания позволяет сделать следующие выводы [22, 26, 27].

— Установки для сварки изделий крупных размеров компонуются, как правило, на основе агрегатов различного механического сварочного оборудования (МСО) стационарных и передвижных колонн и порталов (для установки и перемещения сварочных автоматов), а также зажимных стенов, манипуляторов, позиционеров, вращателей, кантователей, делительных столов, роликовых стенов для установки, закрепления и перемещения изделий.

— Аналогично станки для сварки изделий средних и малых размеров компонуются преимущественно из узлов, обеспечивающих прямолинейное перемещение сварочных головок или сварочных инструментов, а также из малогабаритных кантователей, поворотных столов, вращателей, сборочных и зажимных устройств для установки, закрепления и перемещения изделий.

— Основным методом создания станков и установок всех размеров следует считать агрегатирование из серийно выпускаемых типовых агрегатов, узлов, элементов, разработанных на основе принципов унификации. При этом существенно расширяется номенклатура агрегируемых элементов, а также ряды их основных параметров.

— Уровень автоматизации станков и установок возрастает, в первую очередь, за счет автоматического выполнения следующих элементов операций: наведения сварочного инструмента на линию свариваемого соединения до начала сварки и управления положением относительно свариваемого соединения (наплавляемой поверхности) в процессе сварки, возбуждения сварочного процесса, заварки кратера, выполнения перекрытия швов.

На основе все возрастающего уровня автоматизации установок и станков и повышения надежности применяемых при этом технических средств возрастает степень интеграции сварочных операций в одном агрегате и на одном рабочем месте, в первую очередь за счет создания многопозиционных и многоместных установок и станков и применения одновременной сварки несколькими головками. Одновременная сварка несколькими головками возможна как с разбивкой одного шва между несколькими сварочными инструментами (для швов большой длины), так и путем сварки нескольких параллельных швов.

— В связи с увеличением доли автоматической и механизированной сварки механическое сварочное оборудование может эффективно развиваться в следующих направлениях: больших типоразмеров, позволяющих механизировать и автоматизировать сварку крупногабаритных сварных конструкций; малых габаритов и грузоподъемности при серийном и мелкосерийном производстве небольших сварных деталей машин и при наплавке в условиях ремонтных мастерских.

— Важным направлением развития МСО будет оснащение по требованию заказчика колонн, тележек, вращателей средствами циклового и числового программного управления,

что позволяет повысить уровень автоматизации сварки и получить сварные швы заданного качества. При этом следует отметить, что наряду с повышением уровня механизации и автоматизации МСО видимо сохранится существующий высокий спрос на простые и недорогие, часто с ручным приводом (для малых типоразмеров) колонны и вращатели, необходимые для механизации сварки различных деталей в условиях небольших предприятий при небольшой серийности производства.

— Прослеживается расширение требований к источникам питания. Следует отметить перспективность инверторных источников питания (тиристорных и транзисторных на сверхзвуковых частотах) в установках и станках для дуговой, контактной, электронно-лучевой и других видов сварки. Традиционные сварочные источники питания еще не исчерпали своих возможностей, особенно это касается сварочных трансформаторов с устройствами стабилизации горения дуги, источников с индуктивностью и емкостью в сварочной цепи, малогабаритных источников питания с улучшенными энергетическими показателями, а также многопотенциальных систем питания постоянного и переменного тока.

Тенденции развития комплексно-механизированных рабочих мест и участков, поточных и автоматизированных линий [26] связаны с применением в них самых прогрессивных и производительных способов сварки и созданию их как законченных комплексов по производству готовых сварных конструкций (особенно в линиях), в которых на вход подаются исходный материал в виде рулонной ленты, листов, труб, а на выходе получают готовые сварные конструкции.

Следует отметить агрегатно-модульный принцип создания таких комплексов. В качестве модулей в них выступают унифицированные модули прямолинейного и кругового перемещений, сварочные аппараты, головки, горелки, комплекты манипуляторы сварочных аппаратов, головок, горелок, манипуляторы изделий, несущие конструкции, транспортные средства, средства управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоматизация сварочных процессов / Под ред. В. К. Лебедева, В. П. Черныша. Киев: Вища школа, 1986. 296 с.
2. Акулов А. И., Бельчук Г. А., Демянцевич В. П. Технология и оборудование сварки плавлением. М.: Машиностроение, 1977. 432 с.
3. Аппарат для механизированной сварки трехфазной дугой / Г. М. Сюкасов, И. П. Никонов, В. С. Манаков и др. // Автомат. сварка. 1988. № 6. С. 54—57.
4. Аппаратура для механизированной дуговой и электрошлаковой сварки и наплавки / А. И. Червотко, Б. Е. Патон, М. Г. Бельфор, Г. М. Гологовский. Киев: Наукова думка, 1978. 199 с.

5. **Восстановление** изношенных деталей автоматической вибродуговой наплавки / О. А. Бакин, М. И. Кипиани, Г. П. Клековкин и др. Челябинск: Кн. издательство, 1956. 208 с.

6. **Гитлевич А. Д., Эттингер Л. А.** Механизация и автоматизация сварочного производства. М.: Машиностроение, 1979. 280 с.

7. **Каталог** сварочного оборудования, серийно выпускаемого в странах — членах СЭВ / Под ред. А. И. Чвертко. Киев: Наукова думка, 1981. 334 с.

8. **Клебанов М. Я., Пацкевич И. Р., Ильницкая А. В.** Усовершенствование способа наплавки в потоке воздуха // Автомат. сварка. 1973, № 11. С. 52—54.

9. **Куликов Г. Д., Пацкевич И. Р.** Вибродуговая наплавка в потоке воздуха // Исследование и применение вибродуговой наплавки М.: Машиностроение, 1964. С. 104—111.

10. **Куликов Г. Д., Пацкевич И. Р.** Исследование колебательных величин при автоматической вибродуговой наплавке // Исследование и применение вибродуговой наплавки. М.: Машиностроение, 1964. С. 150—164.

11. **Оборудование** для дуговой сварки / Под ред. В. В. Смирнова. Л.: Энергоиздат, 1986. 656 с.

12. **Патон Б. Е.** Пути развития автоматической дуговой сварки // Автомат. сварка. 1976. № 5. С. 1—5.

13. **Патон Б. Е., Лебедев А. В.** Управление плавлением и переносом электродного металла при сварке в углекислом газе // Автомат. сварка. 1988. № 11. С. 1—5.

14. **Регулирование** проплавления по максимальному излучению теплового поля с обратной стороны шва / В. К. Лебедев, Ю. А. Паченцев, Е. С. Драгомйрский и др. // Автомат. сварка. 1982. № 4. С. 74—75.

15. **Сараев Ю. Н.** Управление переносом электродного металла при сварке в CO_2 // Автомат. сварка. 1988. № 12. С. 16—23.

16. **Сварка** в машиностроении: Справочник. Т. 4. / Под ред. Ю. Н. Зорина. М.: Машиностроение, 1979. 512 с.

17. **Сергацкий Г. И., Дубовецкий С. В., Касаткин О. Г.** Модели для разомкнутого управления формированием шва при сварке в CO_2 // Автомат. сварка. 1983. № 2. С. 22—26.

18. **Скачков И. О., Семенюк В. С., Черныш В. П.** Импульсно-дуговая сварка труб малого диаметра // Автомат. сварка. 1990. № 2. С. 49—51.

19. **Технология** электрической сварки металлов и сплавов плавлением / Под ред. Б. Е. Патона. М.: Машиностроение, 1974. 768 с.

20. **Чвертко А. И.** Механизация и автоматизация сварочных процессов. Киев: Наукова думка. 1983. 92 с.

21. **Чвертко А. И.** Оборудование для сварки и наплавки без внешней защиты дуги и под флюсом // Сварка в машиностроении. 1979. Т. 4. С. 126—155.

22. **Чвертко А. И.** Основы рационального проектирования оборудования для автоматиче-

ской и механизированной электрической сварки и наплавки. Киев: Наукова думка, 1988. 240 с.

23. **Чвертко А. И.** Современные направления в создании высокопроизводительного сварочного оборудования // Сварочное оборудование и средства комплексной механизации и автоматизации. 1984. № 5. С. 3—18.

24. **Чвертко А. И., Бельфор М. Г., Патон Б. Е.** Классификация аппаратуры для электродуговой и электрошлаковой сварки и наплавки // Автомат. сварка. 1963. № 2. С. 52—57.

25. **Чвертко А. И., Бельфор М. Г., Патон Б. Е.** Классификация и индексация сварочного оборудования // Автомат. сварка. 1967. № 2. С. 42—47.

26. **Чвертко А. И., Патон Б. Е., Тимченко В. А.** Оборудование для механизированной дуговой сварки и наплавки. М.: Машиностроение, 1981. 264 с.

27. **Чвертко А. И., Тимченко В. А.** Унифицированное оборудование для автоматической и механизированной дуговой сварки и наплавки. Киев: Наукова думка, 1987. 192 с.

28. **Чвертко А. И., Тимченко В. А.** Установки и станки для электродуговой сварки и наплавки. Киев: Техника, 1974. 240 с.

29. **Черныш В. П., Кухарь С. Н.** Оборудование для сварки с электромагнитным перемещением. Киев: Вища школа, 1984. 56 с.

Глава 2

РОБОТЫ ДЛЯ ДУГОВОЙ СВАРКИ

2.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Промышленный робот — это автоматическая машина, стационарная или передвижная, состоящая из исполнительного устройства в виде манипулятора, имеющего несколько степеней подвижности, и программного устройства управления для выполнения в производственном процессе двигательных и управляющих функций. Программированию в данном случае подвергается последовательность и (или) величины перемещений по степеням подвижности, и управляющие функции.

Роботизация сварочного производства рассматривается как гибкая автоматизация, обеспечивающая выполнение своих функций при изменениях объектов сварки, определяемых характером и планами развития производства [1, 7]. По назначению сварочные роботы занимают место между механизированным и автоматическим сварочным оборудованием. Их целесообразно применять в серийном и крупносерийном многоменклатурном производстве корпусных, рамных, решетчатых конструкций и сварных деталях машин со швами сложной формы или несколькими швами любой формы, по-разному ориентированных между собой. При серийности 1...60 тыс. машиностроительных сварных конструкций каждого наименования роботы целесообразно применять при сварке одиночных или параллельных швов большой протяженности, для этой

цели экономичнее сварочные автоматы (в том числе тракторного типа).

В сварочном производстве роботы могут использоваться для выполнения операций сварки (сварочные роботы), загрузки и разгрузки сварочных установок, станков, машин и другого оборудования сварочного производства (загрузочно-разгрузочные работы), транспортировки деталей и сварных конструкций между позициями, на которых выполняются сварочные, сборочные, контрольные, складские и другие операции сварочного производства.

Роботизация производственных процессов обеспечивает: экономию трудовых ресурсов, улучшение условий труда; повышение производительности труда; автоматизацию многоменклатурного повторяющегося производства; сокращение сроков и стоимости перехода на новый вариант продукции; повышение пропускной способности производства, улучшение коэффициента использования основных средств и ускорение оборачиваемости оборотных средств.

В результате использования робототехники в сварочном производстве представляется возможным автоматизировать сварку швов любой формы, а также сварку большого количества коротких швов, различным образом расположенных в пространстве; выполнять швы с линией соединения любой формы в оптимальном пространственном положении, что, в свою очередь, позволяет применять наиболее производительные режимы сварки при оптимальном формировании сварных швов; уменьшать в ряде случаев калибр сварных швов благодаря гарантированной стабильности их параметров, характерной для автоматической сварки, обеспечивая таким образом дополнительный рост производительности, экономию сварочных материалов и электроэнергии и уменьшение сварочных деформаций; сокращать потребность в специальном сварочном оборудовании и изготовлении специальных и специализированных станков, установок и машин для сварки [3].

Характерная для большинства сварных конструкций невысокая точность изготовления свариваемых деталей, их сборки и фиксации в положении сварки вызывает случайные отклонения линии сопряжения свариваемых элементов и геометрических параметров соединения, подготовленного под сварку, от расчетных. Эти отклонения, а также сварочные деформации в тех случаях, когда их совместным действием пренебречь нельзя, требуют применения методов и средств автоматической корректировки траектории движения сварочного инструмента относительно изделия (геометрической адаптации) и параметров режима сварки (технологической адаптации) для каждого экземпляра сварной конструкции.

Автоматическое измерение результатов отклонений с целью корректировки программы значительно усложняется сле-

дующими факторами (в зависимости от характера сварных конструкций и способа сварки): высокой температурой вблизи точки сварки; нестационарным магнитным полем и световым излучением; разбрызгиванием расплавленного металла; интенсивным выделением аэрозолей; наличием пыли, невысоким качеством поверхностей свариваемых деталей — большими отклонениями от номинальных размеров, заусенцами, окалинами, задирами, прилипшими брызгами металла.

Существенной особенностью роботизированной сварки по сравнению с ручной или механизированной является необходимость, как правило, более высокой точности подготовки изделий под сварку. Это обеспечивается повышением точности изготовления заготовок и гарантируется применением сборочно-сварочных приспособлений, что требует дополнительных затрат. Следовательно, экономическая эффективность при применении сварочных роботов в значительной степени определяется правильным выбором объектов роботизации. Положительный эффект достигается в следующих случаях:

при сварке изделия со сложной пространственной конфигурацией швов, трудно поддающиеся другим видам автоматизации процесса;

когда на одном роботизированном комплексе попеременно сваривают несколько типов изделий;

при достаточно высоком коэффициенте машинного времени — робот загружен в две или три смены;

если возможны размерные и конструктивные изменения свариваемых деталей и узлов;

когда механизированы такие вспомогательные операции, как загрузка и выгрузка, транспортирование и др.;

при применении наиболее производительных сварочных процессов;

если используются манипуляторы сварочного инструмента и изделия с максимальными скоростями и ускорениями холостых перемещений;

при совмещении времени роботизированной сварки одного изделия с временем разгрузки-загрузки другого;

при концентрации операций в пространстве и во времени — установка на работе нескольких горелок при сварке параллельных швов, сварка одного изделия одновременно несколькими роботами, сварка одновременно нескольких изделий в общей оснастке;

если роботы применяются не в составе единичных комплексов, а концентрированно, группами, обеспечивая условия для расширения зон обслуживания операторов;

при комплексной роботизации производства сварных конструкций — создание гибких производственных систем.

2.2. КЛАССИФИКАЦИЯ

Промышленный робот состоит из двух основных частей — манипулятора и системы управления.

Манипулятор промышленного робота представляет собой многозвенник с последовательно соединенными одним неподвижным и несколькими подвижными звеньями. Появились экспериментальные модели роботов с параллельными звеньями.

В зависимости от числа подвижных звеньев различают роботы с двумя, тремя, четырьмя, пятью и шестью степенями подвижности. По типу системы управления различают роботы с цикловыми и числовыми системами управления. Числовые системы управления, в свою очередь, могут быть позиционными и контурными. Числовые системы управления функционально более гибкие, чем цикловые. Наиболее гибкие и универсальные системы — числовые контурные системы управления.

По степени универсальности назначения различают универсальные и специализированные сварочные роботы. Универсальные сварочные роботы с функционально и конструктивно неделимыми манипуляторами, имеющими пять-шесть степеней подвижности, оснащенные функционально гибкими системами управления, чаще всего применяются для серийного и мелкосерийного производства, а также крупносерийного многономенклатурного производства с частой сменой свариваемых изделий, т. е. когда универсальность и гибкость робота не избыточны, а действительно необходимы.

Применение универсального, хотя и более сложного, робота позволяет быстрее начать изготовление продукции при переналадке производства на новый тип продукции. Рост производства универсальных роботов способствует снижению их стоимости, что, в свою очередь, способствует росту потребления. Стоимость сложных, функционально универсальных и гибких систем управления имеет устойчивую тенденцию к снижению.

Специализированные роботы, особенно модульные с более простыми системами управления, наиболее пригодны для крупносерийного и массового производства с редким (один—четыре раза в год) изменением типоразмеров свариваемых изделий. Применение модульных роботов с двумя—четырьмя степенями подвижности целесообразно при сварке изделий со швами простой формы, прежде всего с прямолинейными и круговыми швами, особенно в тех случаях, когда эти швы могут быть ориентированы вдоль направляющих. Во многих случаях для специализированных роботов достаточно иметь простую, например цикловую, систему управления и несложные средства геометрической адаптации [6]. Применение контурных систем управления в модульных роботах делает их более гибкими с минимальной функциональной избыточностью.

Сварочные роботы выполняют переносные (региональные) и ориентирующие (локальные) перемещения. Переносные перемещения необходимы для переноса рабочей точки инструмента (точки сварки) в пределах зоны обслуживания манипулятора, ориентирующие — для обеспечения заданной ориентации сварочного инструмента относительно изделия в заданной точке зоны обслуживания.

В зависимости от системы координат переносных перемещений различают сварочные роботы, построенные в прямоугольной, цилиндрической, цилиндрической угловой, сферической и угловой системах координат (рис. 2.1). Угловые системы координат называют также рычажными, антропоморфными, двухполярными. Системы координат отличаются числом и порядком соединения звеньев, имеющих прямолинейное и вращательное перемещение, и их ориентацией в пространстве [4]. К преимуществам звеньев с прямолинейным перемещением относятся большая длина хода, возможность расположения направления движения параллельно прямолинейным швам сварной конструкции, а к недостаткам — необходимость механизмов для преобразования вращательного движения ротора приводного двигателя в прямолинейное и, связанное с этим, ограничение максимальной скорости звена (кроме механизмов с линейными двигателями), сложность защиты направляющих и передач, большие металлоемкость и габаритные размеры.

Звенья с вращательным движением отличаются простотой и компактностью механизмов привода и направляющих, возможностью получения больших линейных скоростей, малыми металлоемкостью и габаритными размерами механизмов. К их недостаткам относятся: ограниченная линейная величина хода; высокие требования к точности изготовления и сборки передач и направляющих, обусловленные тем, что рычажное устройство является мультипликатором погрешностей привода и его механизма, если рабочая точка находится от оси поворота дальше, чем точка приложения приводной силы.

Любая система координат переносных движений принципиально пригодна для любого способа сварки. Однако для дуговой сварки чаще всего применяют роботы с угловой системой координат. Это объясняется перечисленными выше преимуществами звеньев с вращательным движением. Наибольшей популярностью пользуются сравнительно небольшие шестикоординатные сварочные роботы с угловой системой координат, перемещаемые с помощью манипуляторов-расширителей зоны обслуживания, имеющих одну, две или три степени подвижности с прямолинейным перемещением. При одной подвижности манипулятора-расширителя робот может устанавливаться в нижнем или потолочном положении. При двух и трех подвижностях, как правило, используется потолочное положение робота. В случае применения поворотных консолей

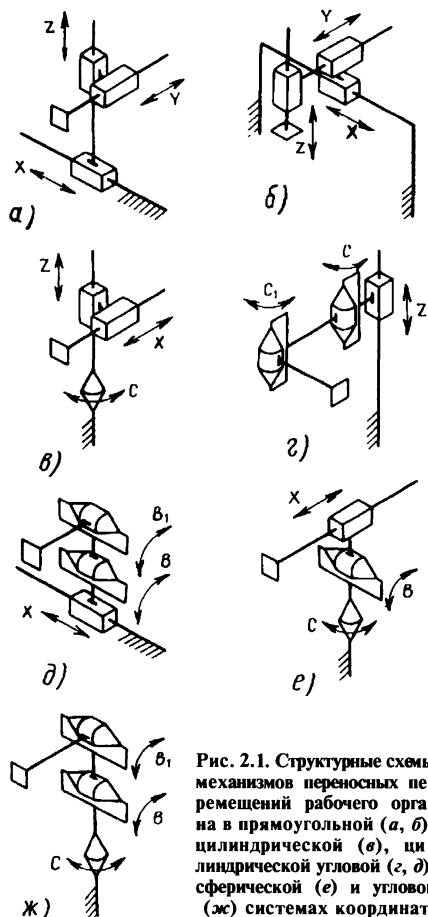


Рис. 2.1. Структурные схемы механизмов переносных перемещений рабочего органа в прямоугольной (а, б), цилиндрической (в), цилиндрической угловой (г, д), сферической (е) и угловой (ж) системах координат

сварочный робот установлен в потолочном положении.

Ориентирующие движения робота (от одного до трех) осуществляются относительно непараллельных осей. Известные механизмы ориентирующих движений роботов для дуговой сварки могут быть сведены к восьми типовым схемам (рис. 2.2) и по числу ориентирующих подвижностей бывают с одной (рис. 2.2, а, б), двумя (рис. 2.2, в, г, д, е, ж) и тремя (рис. 2.2, з) степенями подвижности. В некоторых случаях в блок механизмов ориентирующих перемещений встраивают механизм поступательного движения (рис. 2.2, б), благодаря чему обеспечивается сварка швов по дуге окружности разного радиуса при относительно простой системе управления (числовой позиционной или даже цикловой). Если оси всех ориентирующих вращений проходят через точку сварки (рис. 2.2, а, б, е), то переносные координаты становятся независимыми от ориентирующих. В результате упрощается задача автоматического управления манипуляцион-

ной системой, в частности снижаются требования к точности обработки ориентирующих движений и уменьшаются наибольшие рабочие скорости переносных движений.

Распределение функций между манипуляторами инструмента и изделия манипуляционной системы комплекса зависит от способа осуществления относительного перемещения сварочного инструмента и изделия, который определяется способом сварки, размерами и массой изделия, формой и расположением сварных швов, организацией сварочных операций и всего производственного процесса. В зависимости от способа осуществления относительного перемещения сварочного инструмента и изделия могут быть следующие варианты применения роботов в составе комплекса.

Изделие не меняет своей ориентации в пространстве в течение всей операции (остается неподвижным или равномерно перемещает-

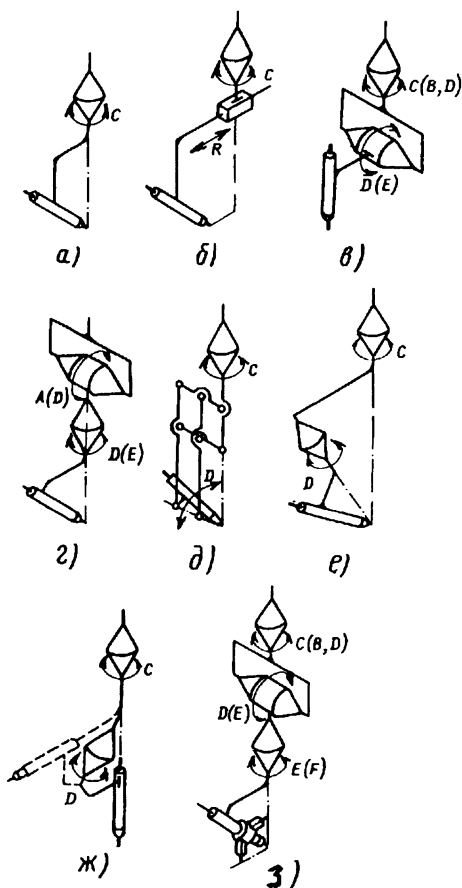


Рис. 2.2. Структурные схемы механизмов ориентирующих перемещений рабочего органа с одной (а, б), двумя (в, г, д, е, ж) и тремя (з) ориентирующими степенями подвижности

ся на конвейере), а сварочный инструмент выполняет все перемещения, необходимые для сварки. Данный способ используется, когда все швы доступны для манипулятора (манипуляторов) инструмента или когда переориентация изделия затруднена.

Изделие периодически изменяет ориентацию в пространстве с помощью манипулятора, выполненного в виде кантователя или позиционера, но во время отдельных сварочных переходов остается неподвижным, а сварочный инструмент выполняет все перемещения, необходимые для сварки, с учетом смещений изделия при его переориентации. Этот способ используется, когда необходима и достаточна периодическая переориентация изделия. Этот вариант более распространен при роботизации операций дуговой сварки.

Изделие и сварочный инструмент непрерывно находятся в движении, обеспечивая перемещение сварочного инструмента вдоль линии соединения с одновременным поддержанием зоны сварки во всех точках шва в заданном, например нижнем, положении. Этот вариант требует контурного взаимно согласованного управления звеньями манипулятора как инструмента, так и изделия, т. е. является наиболее сложной системой управления. Он является оптимальным для дуговой сварки изделий малых и средних габаритных размеров со швами сложной формы, так как позволяет производить сварку всех участков в оптимальном, например нижнем, положении, когда допускаются наиболее интенсивные режимы сварки при обеспечении наилучших условий формирования сварного шва.

Изделие выполняет все перемещения, необходимые для сварки, а сварочный инструмент закреплен неподвижно. В общем случае этот способ требует применения манипулятора изделия с пятью—шести степенями подвижности, т. е. использования промышленного робота в качестве манипулятора изделия. Применение этого варианта ограничено грузоподъемностью современных роботов. Он применим при дуговой сварке достаточно жестких конструкций компактной формы, не требующих крепления в сложных и тяжелых сборочно-сварочных приспособлениях. Сварка выполняется с помощью стационарно закрепленного сварочного аппарата. При этом один и тот же промышленный робот выполняет как загрузочно-разгрузочные операции, так и сварочные и вспомогательные перемещения.

2.3. ОПИСАНИЕ РОБОТОВ

Наиболее распространенный робот РМ-01, техническая характеристика которого приведена ниже, представляет собой манипулятор, выполненный в угловой системе координат, с системой управления "Сфера 36".

Грузоподъемность, кг	2,5
Число степеней подвижности	6
Статическая сила в рабочей точке, Н, не более	60

Погрешность позиционирования (повторяемость), мм, не более 0,1

Диапазон перемещений, °, подвижности:

1	320
2	266
3	284
4	280
5	200
6	532

Максимальная угловая скорость, °/с, подвижности:

1	1,4
2	0,9
3	2,1
4	4
5	4,2
6	4

Язык программирования ARPS

Емкость запоминающего устройства

программы (К слов) 12

Число входов 32

Число выходов 32

Масса, кг:

манипулятора 53

стойки управления "Сфера 36" 280

Длина кабеля между стойкой и роботом, м 7,5

При использовании робота РМ-01 для дуговой сварки он оснащается оборудованием, пригодным для управления от системы 11 "Сфера 36" и представляет собой постоянную часть робототехнологического комплекса различной конфигурации, т. е. технологический модуль (рис. 2.3). В состав модуля типа ОБ 2652, разработанного в ИЭС им. Е. О. Патона, входят: робот РМ-01, комплект сварочного оборудования со средствами начальной адаптации, колонна для потолочной установки робота. Особенности модуля ОБ 2652 являются:

возможность автоматической коррекции программы перемещения горелки (установочная адаптация) при сварке неточно изготовленных и собранных конструкций путем касания соплом горелки изделия перед сваркой;

удобство программирования траектории перемещения горелки благодаря высоким манипуляционным характеристикам шестикординатного робота РМ-01 в сочетании с линейной и круговой интерполяцией с сервисными программами системы управления "Сфера 36";

практически свободное (64 ступени) программирование параметров режима сварки и управление всеми элементами технологического оснащения комплекса с клавиатуры системы управления "Сфера 36";

"горячее редактирование" с помощью специального технологического пульта первоначально установленных значений параметров режима сварки ($I_{св}$, U_d , $v_{св}$) с запоминанием в системе управления скорректированных значений параметров;

наличие специальной программы расчета значений параметров режима сварки для наиболее распространенных технологических ус-

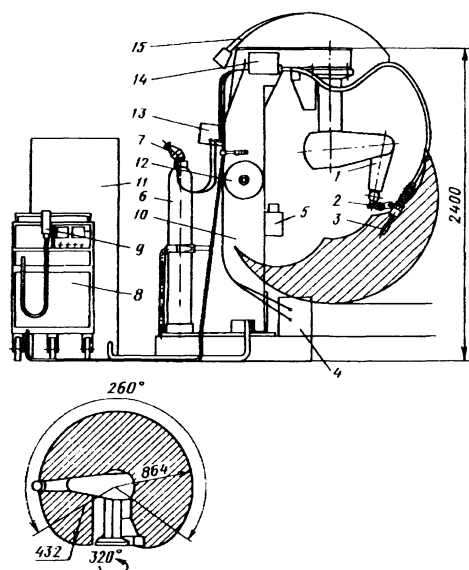


Рис. 2.3. Технологический модуль дуговой сварки на основе робота РМ-01 и зона его обслуживания:

1 — робот РМ-01; 2 — устройство защиты горелки от поломки; 3 — горелка; 4 — устройство автономного охлаждения горелки; 5 — устройство очистки горелки от брызг и смазки; 6 — стойка с двумя баллонами; 7 — газовая аппаратура; 8 — источник питания ВДУ-506; 9 — технологический пульт; 10 — колонна; 11 — система управления "Сфера-36"; 12 — кассета с проволокой; 13 — смеситель газов; 14 — механизм подачи проволоки; 15 — подвеска коммуникаций

ловий (программа выполняет функции "советчика технолога");

возможность быстрой смены горелки (разной формы) и проволоки (разных диаметров) за счет использования быстросъемных комбинированных разъемов в местах подсоединения сварочных коммуникаций к горелке и к подающему механизму;

автоматическая (механическая и пневматическая) очистка горелки от брызг с одновременным впрыскиванием противопригарной жидкости и обрезкой оплавленного конца электронной проволоки;

защита горелки от поломки при случайных соударениях ее с препятствием в результате использования специального устройства двойного действия (микропереключатель и механическое отсоединение).

Робот ТУР-10 КМ (рис. 2.4), техническая характеристика которого представлена ниже, выполнен в виде электромеханического манипулятора с угловой системой координат, управляемого от системы управления "Прогресс-1-8".

Грузоподъемность, кг 10
Число степеней подвижности 5
Диапазон перемещений, °, подвижности:

1	340
2	100
3	90
4	190
5	720

Емкость главной оперативной памяти (Н слов) 12 (ОЗУ)
Емкость оперативной памяти для технологических команд 10
Виды интерполяции Линейная и круговая
Число дискретных входов и выходов 16 (менее 64)
Установленная мощность электродвигателей, кВт 1,25
Способ установки Напольный
Масса манипулятора, кг 280

Робот РР 161/15 представляет собой манипулятор, работающий в угловой системе координат (рис. 2.5) и управляемый от позиционно-копирной системы управления РС 20/41. Он выпускается по лицензии фирмы КУКА (Германия). Робот может работать в любом пространственном положении. Техническая характеристика робота РР 161/15 представлена ниже.

Грузоподъемность, кг 15
Число степеней подвижности 6
Погрешность позиционирования (повторяемость), мм Не более 0,2
Диапазон перемещений, °, подвижности:

1	320
2	129
3	270
4	500
5	240
6	540

Максимальная скорость подвижности, °/с:

1	136
2	119
3	148
4	187
5	182
6	225

Установленная мощность двигателей, кВт 3,9
Емкость запоминающего устройства (К слов) 24
Вид интерполяции Контурная
Число входов 6,5 мА 32
" выходов: 100 мА 32
2А 32
Масса манипулятора, кг 740

К наиболее совершенным зарубежным роботам этого же типа относятся IRB 2000 (Швеция) и Motoman-K10S (Япония). Ниже приведена техническая характеристика робота IRB 2000.

Грузоподъемность, кг 10
Число степеней подвижности 6
Повторяемость, не хуже, мм 0,1
Максимальная скорость движения, м/с 3
То же, в режиме интерполяции 1
Число дополнительных подвижностей (приводов), управляемых от стойки управления робота 6
Виды интерполяции Линейная, круговая
Число вводов и выводов, менее:

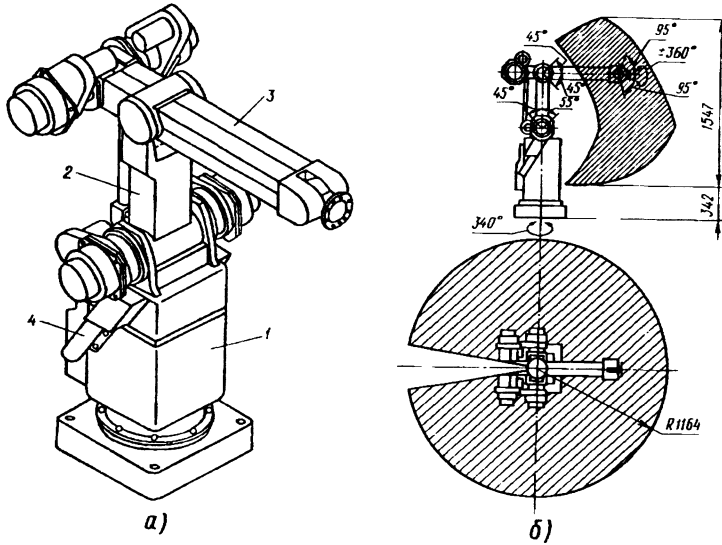


Рис. 2.4. Универсальный робот ТУР-10КМ:

a — внешний вид; *б* — зона обслуживания; 1 — механизм поворота; 2 — вертикальное звено с механизмом качания; 3 — горизонтальное звено с механизмом наклона и кистью; 4 — механизм уравнивания

цифровых	128
аналоговых	8
Объем памяти	448
Масса, кг:	
манипулятора робота	350
стойки управления	300

Ниже приведена техническая характеристика робота Motoman-K10S.

Грузоподъемность, кг	10
Число степеней подвижности	6
Повторяемость, мм, не менее	0,1
Диапазон перемещений, °:	
поворота робота	340
качания нижнего плеча	240
качания верхнего плеча	275
вращения захвата	40
наклона захвата	270
поворота захвата	360
Максимальная скорость, °/с:	
поворота робота	120
качания нижнего плеча	120
качания верхнего плеча	120
вращения захвата	120
наклона захвата	400
поворота захвата	263
Число:	
цифровых входов	55
цифровых выходов	35
аналоговых выходов	2
Вид интерполяции	Линейная, круговая
Масса манипулятора робота, кг	300

которых состоят из комплекта унифицированных модулей. Системно проработанный комплект модулей роботов для дуговой сварки КОРДС-01 позволяет легко компоновать наиболее оптимальные по содержанию, форме и стоимости комплексы или роботизированный

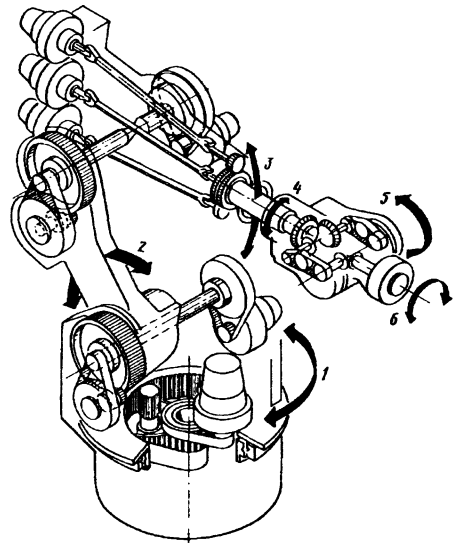


Рис. 2.5. Универсальный робот ПР 161/15:

1—6 — оси подвижности

Эти роботы имеют интегральную неделимую конструкцию. Вместе с этим находят применение модульные роботы, манипуляторы

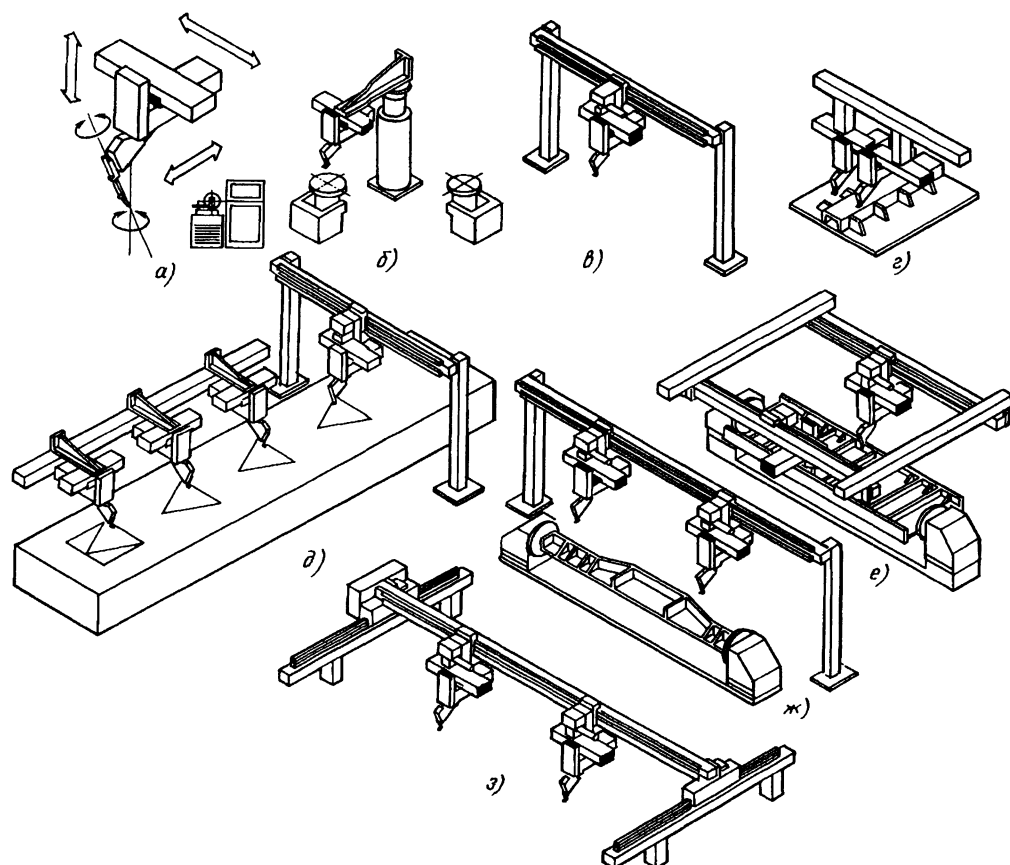


Рис. 2.6. Комплект модулей КОРДС-01:

а — манипулятор сварочного инструмента (МСИ); *б* — один МСИ на поворотной консоли; *в* — то же, на неподвижном портале; *г* — два МСИ на неподвижном портале; *д* — то же, на двух неподвижных направляющих; *е* — то же, на подвижном портале (катучей балке); *ж* — четыре МСИ в составе одного комплекта; *з* — то же, на неподвижных направляющих

сварочный участок с привязкой его к конкретным производственным условиям (рис. 2.6). Техническая характеристика комплекта КОРДС-01 представлена ниже.

Максимальная абсолютная погрешность позиционирования, мм	0,5
Система координат	Прямоугольная
Форма зоны обслуживания	Параллелепипед
Число степеней подвижности:	
МСИ	4—5
вращателя	1—5
Максимальное перемещение звеньев МСИ по оси, мм:	
X	630
Y	400
Z	320
Максимальный угол, °:	
поворота горелки относительно вертикальной оси	200

наклона горелки относительно вертикальной оси	60
Максимальное перемещение МСИ в пространстве (в зависимости от исполнения), мм	1250, 2000, 3200
Максимальная грузоподъемность вращателя (в зависимости от исполнения), кг	160, 400, 500
Число сварочных позиций вращателя	1—2
Номинальная сила сварочного тока, А:	
ПВ-100%	315
ПВ-60%	400
Пределы регулирования сварочного тока, А	60...500
Диаметр электродной проволоки, мм	1,2...1,6
Тип привода	Электромеханический
Тип управления	Контурный
Режим работы комплекта	Ручной, обучение, автоматический
Способ программирования	Обучение
Масса МСИ, кг	250

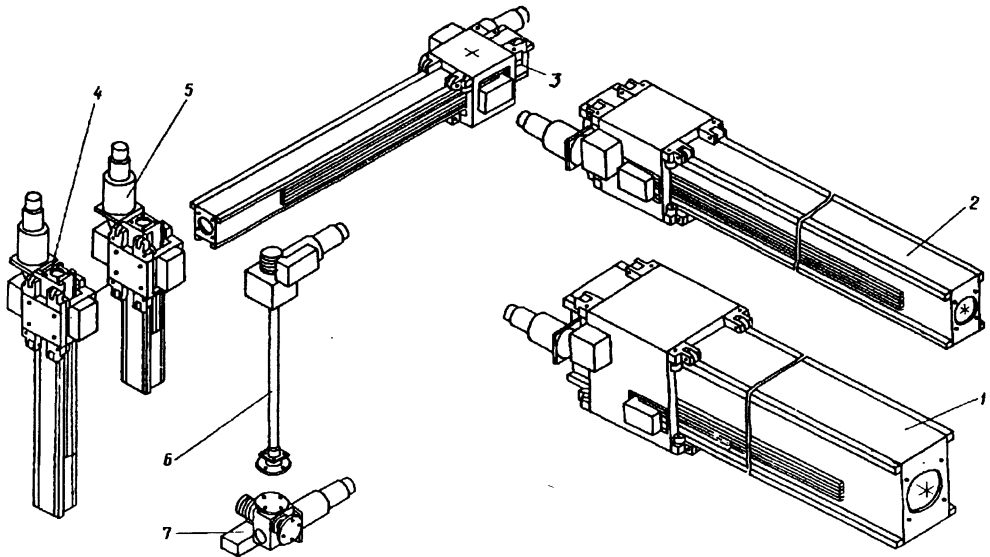


Рис. 2.7. Комплект модулей УД 375 для компоновки манипуляторов сварочного инструмента с программным управлением:

1 — прямолинейного перемещения с ходом 5000 мм; 2 — то же, с ходом 2500 мм; 3 — то же, с ходом 1250 мм; 4 — то же, с ходом 630 мм; 5 — то же, с ходом 315 мм; 6 — вращения сварочного инструмента; 7 — наклона сварочного инструмента.

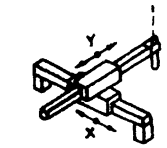
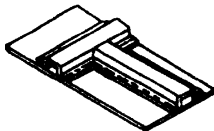
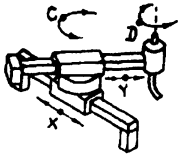
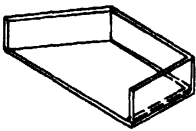
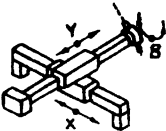
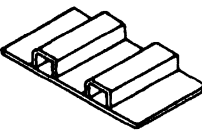
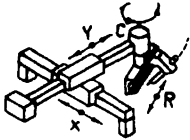
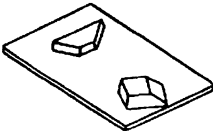
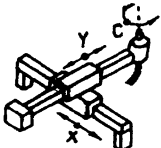
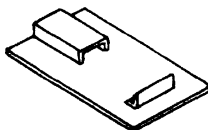
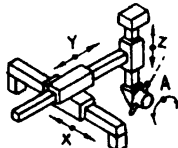
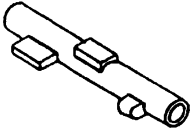
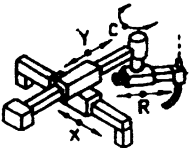
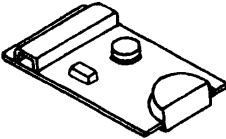
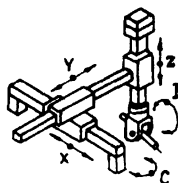
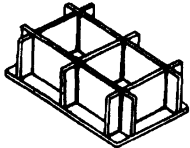
КОРДС-01 состоит из набора модулей, предназначенных для перемещения сварочной горелки и свариваемого изделия, сварочного оборудования и системы управления. Он предназначен для дуговой сварки плавящимся электродом в углекислом газе на постоянном токе изделий из низколегированных сталей при обеспечении точности сборки под сварку в пределах $\pm 0,5$ мм. В состав набора модулей входят манипулятор сварочного инструмента, устройства горизонтального его перемещения, вращатели, колонны и другая роботная оснастка. Система управления механической частью КОРДС-01 и сварочным оборудованием работает в режиме обучения, в ручном и автоматическом режимах как со сваркой, так и без нее. При обучении информация о положении механизмов и установленных режимах сварки в опорных точках "запоминается" устройством управления, образуя управляющую программу. Комплект оборудования имеет оперативную и долговременную память, что позволяет создать библиотеку необходимых программ.

Модульная система УД 375, разработанная в ИЭС им. Е. О. Патона для компоновки специализированных манипуляторов сварочного инструмента (горелки, клещей) в прямоугольной системе координат, состоит из минимального числа модулей: пяти прямолинейного перемещения и двух вращения (рис. 2.7). В модулях применены корпусные детали простой конструкции, зубчато-реечная передача для преобразования вращательного движения в прямо-

линейное (в модулях прямолинейного перемещения) и червячные редукторы. В зависимости от типа серийного устройства управления в качестве датчиков положения звеньев используют путевые упоры, взаимодействующие с блоком путевых переключателей, либо датчики, применяемые при числовом управлении перемещениями (вращающиеся трансформаторы, кодовые и импульсные датчики и др.). Импульсные датчики могут быть установлены на валу приводного двигателя, либо связаны отдельной передачей с выходным валом червячного редуктора. Компоная из модулей различные по конфигурации манипуляторы сварочного инструмента, можно сравнительно простым путем создать модульные роботы для сварки достаточно сложных изделий (табл. 2.1).

Конструкция и элементы всех рассмотренных выше роботов имеют следующие общие особенности. Звенья роботов обычно выполнены в виде тонкостенных жестких отливок из легких сплавов. Двигатели, датчики и другие элементы роботов выбирают и устанавливают из условия минимизации массы и моментов инерции подвижных частей. Направляющие элементы прямолинейного движения сварочных роботов обычно имеют вид колес-роликов, шариковых втулок либо роликовых башмаков, установленных на более коротком элементе пары — тележке. В качестве направляющих вращательного движения применены особо тонкие прецизионные шариковые и роликовые подшипники.

2.1. Компоновочные схемы модульных роботов и фрагменты типового изделия при цикловом управлении координатами

Схема	Типовое изделие	Схема	Типовое изделие
			
			
			
			

В качестве передаточных механизмов используются традиционные зубчатые, червячные, зубчато-роликовые цепные передачи, но высокой точности изготовления и монтажа, а также шарико- и роликовинтовые, волновые и циклоидные передачи, имеющие малые габаритные размеры и позволяющие осуществлять большую редукцию при высоком КПД передачи. Ввиду отсутствия самоторможения в кинематическую цепь таких передач встраивают тормоз, который удерживает звенья робота в том положении, в котором они были в момент отключения приведенного двигателя. Тормоз, встроенный в приводной двигатель, растормаживает ротор при включении двигателя [4].

Одним из важнейших требований, предъявляемых механизмам робота, является отсутствие зазоров свободных ходов в передачах и направляющих, что обеспечивается высокой точностью их изготовления и применением механизмов выбора свободного хода (разрезные шестеренки, параллельные ветви кинематики с пружинными элементами).

Одна из важнейших характеристик роботов — скорость перемещения звеньев. В современных сварочных роботах линейная ско-

рость сварочного инструмента при маршевых перемещениях (подвод и отвод инструмента, холостые перемещения инструмента между отдельными швами) составляет 0,25...3 м/с. Минимальные линейные скорости отдельных звеньев при дуговой сварке измеряются долями миллиметра в секунду. Поэтому приводы звеньев манипуляционных систем современных комплексов для сварки имеют диапазон регулирования до 10^4 (в лучших моделях до $2 \cdot 10^4$). Для обеспечения высокой динамической точности полоса пропускания современных приводов роботов должна быть от 60 Гц и выше (в лучших образцах она достигает 120 Гц).

Наибольшее распространение получили тиристорный и транзисторный электроприводы на основе высокомоментных двигателей постоянного тока с возбуждением от постоянных высокоэнергетических магнитов с номинальной частотой вращения порядка 3000 мин^{-1} [2]. Тиристорные преобразователи приводов при промышленной частоте сети обеспечивают полосу пропускания привода до 40 Гц, в то время как транзисторные преобразователи обес-

печивают полосу пропускания 500...1000 Гц (без учета динамических свойств двигателя).

Получает распространение непосредственный привод вращающихся звеньев на базе встроенного в кинематическую пару низкоскоростного высокомоментного двигателя, датчика положения и тормоза, выполненных в одном блоке. Такой привод позволяет полностью исключить необходимость в механических передачах, что с свою очередь исключает удары при быстрых перемещениях и зазорах, повышает точность обработки и позволяет получить линейные скорости звеньев до 5 м/с и выше.

У приводов на основе машин переменного тока с возбуждением от постоянных магнитов и с короткозамкнутым ротором отсутствуют коллекторы, что обуславливает их простоту, невысокую стоимость и надежность в эксплуатации приводных двигателей. Преобразователи этих приводов сложнее, чем у привода на основе коллекторных двигателей постоянного тока, однако благодаря непрерывному совершенствованию управляющих и силовых электронных компонентов этих приводов, последние успешно применяются во многих моделях роботов для сварки.

2.4. ПРОГРАММНО-УПРАВЛЯЕМЫЕ УНИВЕРСАЛЬНЫЕ ВРАЩАТЕЛИ

Программно-управляемые универсальные вращатели (манипуляторы изделия) применяются при роботизированной дуговой сварке для того, чтобы обеспечить выполнение всех швов в оптимальном положении. Грузоподъемность манипуляторов изделия в комплексе для сварки изменяется от десятков килограмм до нескольких тонн.

Манипуляторы изделия по сравнению с манипуляторами сварочного инструмента менее универсальны. Их кинетическая структура и компоновка существенно зависят от формы, размеров и массы изделия, а также от формы и расположения линий соединения свариваемых элементов. При сварке на конвейере, например, он отсутствует. Они имеют одну или две ориентирующие степени подвижности, обеспечивающие возможность вращения (поворота) изделия и изменение ориентации оси. При сварке круговых швов с вращением изделия подвижность, обеспечивающая вращение, выполняет переносное движение.

В большинстве традиционных конструкций двухкоординатных манипуляторов изделия, применяемых при дуговой сварке, оси вращения и наклона обычно пересекаются над планшайбой (рис. 2.8, а, б). Однако в этом случае при сварке одного и того же изделия с различной ориентацией оси вращения сварочный инструмент должен иметь возможность дополнительного перемещения, пропорционального расстоянию от места сварки до оси наклона. Кроме того, с увеличением расстояния до оси наклона повышаются требуемые скорости переносных перемещений звеньев или минимальные радиусы закруглений швов, по которым возможна непрерыв-

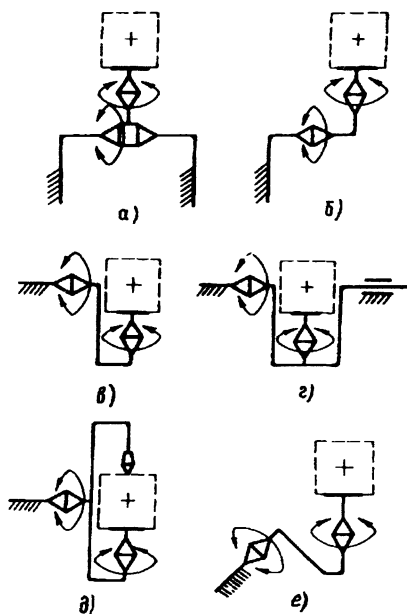


Рис. 2.8. Структурные схемы универсальных вращателей (двухкоординатных манипуляторов изделия) комплекса для сварки:

а, б — с традиционной компоновкой; в—е — с пересечением оси вращения и наклона над планшайбой

ная сварка с поддержанием свариваемой зоны изделия в оптимальном положении [10]. Целесообразно, чтобы оси вращения и наклона планшайбы проходили примерно через центр объема, охватывающего сварные швы изделия, что возможно только в том случае, если весь наклон проходит над планшайбой (рис. 2.8, в—е).

Для совмещения во времени сварки одного экземпляра изделия и вспомогательных работ по выгрузке предыдущего экземпляра, загрузке деталей, сборке, прихватке последующего применяются двухпозиционные манипуляторы изделия, представляющие собой поворотные столы с одно- или двухкоординатным вращателем в каждой позиции (рис. 2.9). При сварке изделий сложной формы для сокращения требуемой зоны обслуживания применяются также манипуляторы изделия с одной дополнительной переносной степенью подвижности — подъемом планшайбы.

Разработан ряд сварочных универсальных вращателей с программным управлением, предназначенных для установки перемещения и переориентации свариваемых изделий в соответствии с заданной программой при дуговой сварке. Манипуляторы М150400 и М150500 имеют блочно-модульную конструкцию, основой которой является узел вращения (моноблок) с выбором зазоров в кинематических передачах (рис. 2.10). Один из двух

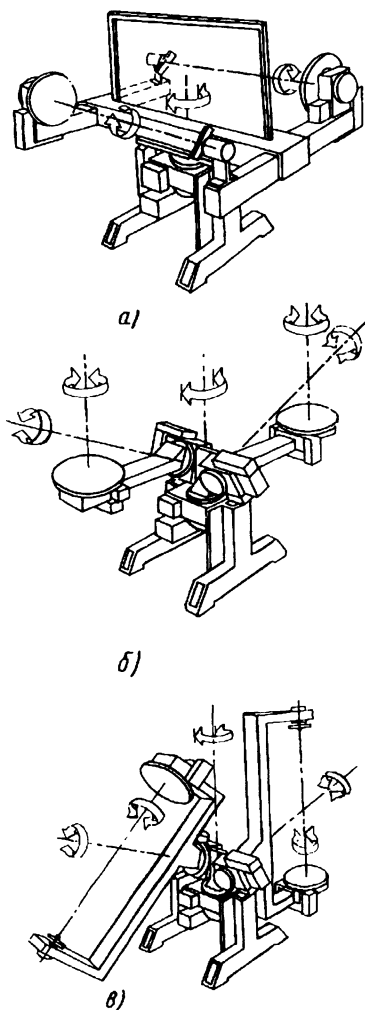


Рис. 2.9. Компонировка двухпозиционных манипуляторов изделия:

а — с однокоординатным горизонтальным вращателем;
б — с двухкоординатным консольным вращателем; *в* — с двухкоординатным двухопорным вращателем в каждой позиции

одинаковых моноблоков служит механизм вращения планшайбы, а второй — механизм наклона оси ее вращения. Техническая характеристика манипуляторов М150400 и М150500 представлена в табл. 2.2. В зависимости от формы свариваемого изделия и положения его центра тяжести расстояние от рабочей плоскости планшайбы до оси наклона может изменяться при наладке на сварку данного изделия.

Для совмещения во времени сварки одного изделия с разгрузкой предыдущего и загруз-

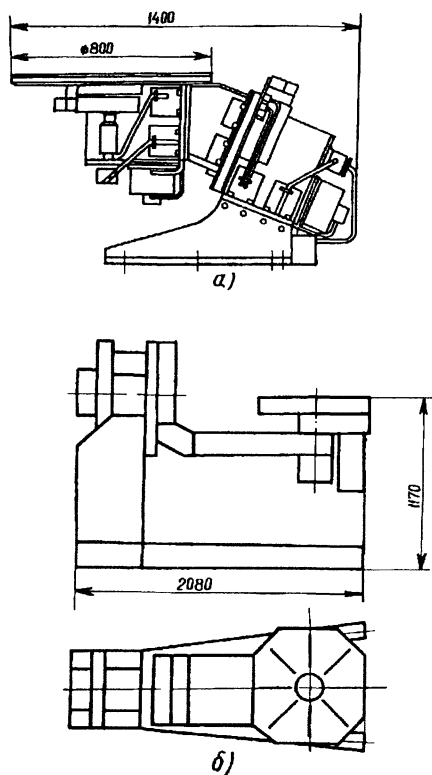


Рис. 2.10. Сварочные универсальные вращатели с программным управлением:
а — М150400; *б* — М150500

кой следующего изделия предназначены сварочные универсальные вращатели с программным управлением типа М150320 и М150410 (рис. 2.11). Техническая характеристика этих манипуляторов представлена в табл. 2.3.

Манипуляторы М150320 и М150410 включают в себя двухпозиционные поворот-

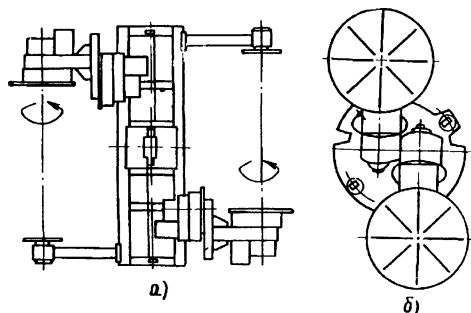


Рис. 2.11. Сварочные двухпозиционные вращатели с программным управлением:
а — М150320; *б* — М150410

2.2. Технические характеристики манипуляторов

Параметры	M150400	M150500
Наибольшая грузоподъемность, кг	400	1000
Наибольший крутящий момент на оси вращения планшайбы, Н · м	400	1000
Наибольший момент относительно опорной плоскости планшайбы, Н · м	630	1600
Наибольший поперечный размер свариваемого изделия, мм	1300	1800
Диапазон перемещения по координатам, °:	Не ограничен	
вращение изделия		
наклон оси вращения	335	335
Скорость (частота) перемещения по координатам, °/с (мин ⁻¹):		
наименьшая	18 (0,05)	(0,063)
наибольшая	36 (10)	(6,3)
Погрешность позиционирования, °, не более	±0,017	±0,023
на диаметре 1000 мм, мм	± 0,15	± 0,2
Номинальная сила сварочного тока, А	500	500
Масса манипулятора, кг	420	905

2.3. Вращатели сварочные двухпозиционные с программным управлением

Параметры	M150320	M150410
Наибольшая грузоподъемность одной позиции, кг	160	420
Наибольший крутящий момент на оси вращения, Н · м	160 (при использовании задней опоры 250)	400
Наибольший момент относительно опорной плоскости планшайбы, Н · м	400	630
Наибольший поперечный размер свариваемого изделия (оснастки), мм	800	1300
Наибольший продольный размер свариваемого изделия, мм	1250	—
Число позиций	2	2
Скорость перемещения по координатам:		
частота вращения планшайбы, мин ⁻¹	0,063... 15,0	0,05... 10,0
наклона оси вращения, °/с	—	60
поворота позиций вокруг вертикальной оси, °/с	37,8	37,8
Погрешность позиционирования по координатам, °	±0,017	±0,017
Масса собственно манипулятора, кг	1050	1500

ные основания (столы) с вертикальной осью поворота. Каждая из двух позиций оснащена двухкоординатным манипулятором изделия: в то время, когда на одной позиции идет сварка, на второй выполняются вспомогательные работы (загрузка, разгрузка, сборка, прихватка и др.).

Сварочный горизонтальный вращатель с программным управлением M150730 предна-

значен для установки перемещения и переориентации крупногабаритного изделия в соответствии с заданной программой с изменением высоты, а также наклона оси вращения (рис. 2.12).

Изменение положения оси вращения по высоте осуществляется синхронным подъемом передней и задней бабок по направляющим соответствующих стоек, а изменение накло-

на достигается разновысотным подъемом этих бабок.

Техническая характеристика манипулятора М150730 приведена ниже.

Наибольший крутящий момент на оси вращения, Н · м	6300
Наибольшая грузоподъемность, кг ...	6300
Наибольший поперечный размер свариваемого изделия, мм	2400
Число управляемых степеней подвижности	3
Частота вращения шпинделя, мин ⁻¹ 0,028...2,5	
Наибольшая скорость вертикального перемещения, м/с	0,04
Погрешность позиционирования (повторяемость):	
при вращении шпинделя, °, не более	±0,023
при вертикальном перемещении, мм, не более	±0,02

2.5. ПРИНЦИПЫ УПРАВЛЕНИЯ СВАРОЧНЫМИ РОБОТАМИ И РТК

Управление роботом и робототехнологическим комплексом для сварки состоит в обеспечении согласованного перемещения звеньев манипуляционной системы и сварочного оборудования, а также в обмене информацией с внешними системами на основании программы выполнения операции о внутреннем состоянии составных частей комплекса и о производственной среде. (Под производственной средой следует понимать свариваемое изделие, приспособление, в котором оно закреплено, оборудование, осуществляющее транспортные и накопительные функции, а также другие системы, участвующие в производственном

процессе, состояние которых оказывает влияние на данный робот или комплекс [9].)

Управление звеньями манипуляционной системы может быть позиционным или контурным. Позиционное управление положением обеспечивает лишь определенное значение координат рабочего органа в заданных точках, а управление движением по траекториям, повторяющим форму направляющих, — произвольные, в определенных пределах, траекторию движения между точками и скорость этого движения, кроме случаев, когда звенья перемещаются поочередно и траектория рабочего органа определяется отрезками соответствующих направляющих.

Контурное управление состоит в обеспечении движения рабочего органа по траектории любой формы с заданной скоростью. Задачи позиционного управления проще задач контурного управления. Однако системы, реализующие контурное управление, универсальны и, как правило, могут использоваться для решения позиционных задач.

Позиционное управление манипуляционными системами может применяться при роботизации сварки электрозаклепками, дуговой и ударно-конденсаторной приварки шпилек, сварки труб в трубные доски и приварки круглых бобышек с помощью сварочной головки, имеющей круговое движение горелки (горелок), а также при роботизации поочередной сварки прямолинейных и круговых швов, расположенных вдоль направляющих движения звеньев манипуляционной системы. Контурное управление манипуляционными системами необходимо при сварке и наплавке по траекториям, требующим двух и более степеней подвижности. В многозвенных манипуляцион-

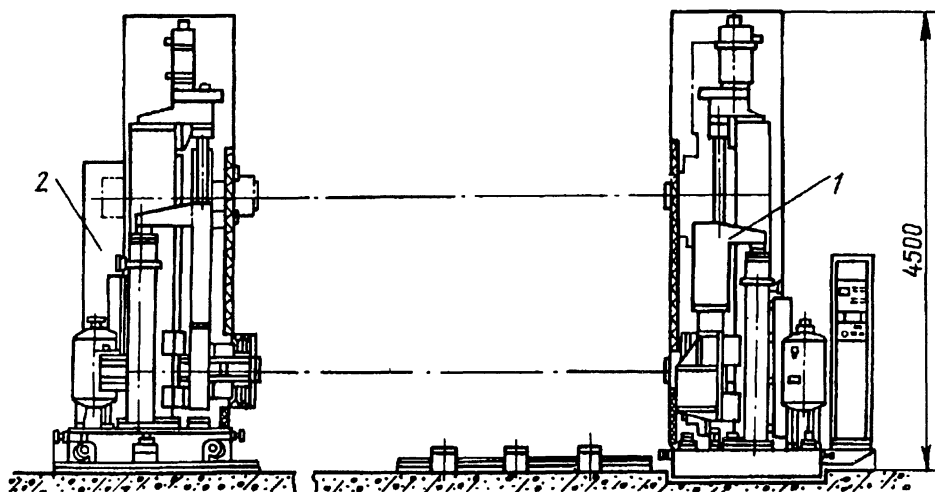


Рис. 2.12. Сварочный горизонтальный вращатель с программным управлением М150730:
1 — стойка приводная; 2 — стойка не приводная

ных системах с большим количеством вращательных движений, а следовательно, с переменной конфигурацией манипулятора сварочного инструмента получение заданной скорости и точности перемещений существенно осложняется необходимостью учета переменных инерционных сил, в том числе кориолисовых.

Известны две группы методов программирования манипуляционных систем роботов и их комплексов для сварки: обучения (on-line) — задание программы с использованием манипуляционной системы робота или комплекса внешнего программирования (off-line) — составление программы без использования манипуляционной системы. Различают следующие методы обучения: с использованием обратимой кинематики манипулятора инструмента и перемещением сварочного инструмента или его имитатора вручную по линии соединения; с использованием рукоятки обучения со встроенными в нее датчиками, воздействующими на приводы звеньев в режиме слежения за рукой оператора; с использованием дистанционного управления с пульта обучения для последовательного перемещения сварочного инструмента в характерные точки траектории и языка программирования для описания характера траектории между указанными точками и скорости перемещения между ними. Дистанционное управление может быть реализовано как управление отдельными степенями подвижности с помощью кнопок или посредством многокоординатного переключателя-рукоятки.

Методы обучения роботов и их комплексов для сварки с использованием дистанционного управления с пульта обучения являются в настоящее время основными. Небольшое применение нашли методы, основанные на обратной кинематике (роботы типа Apprentice, MAC 2001). Методы обучения отличаются наглядностью, однако во время обучения не выдается продукция, а при сварке швов сложной формы или большого числа точек, или коротких швов программирование усложняется и требует больших затрат времени. Так, при программировании работы робота в течение 1 мин для дуговой сварки методом обучения требуется 20...80 мин. Следует отметить, что большая часть травм, связанных с использованием сварочных роботов, происходит во время обучения, когда оператор-программист вынужден находиться в зоне действия робота.

Различают следующие методы внешнего программирования: текстовое, когда последовательность действий робота задается в виде инструкций, а перемещения и параметры режима сварки вводятся в числовом виде; с использованием компьютерной графики, позволяющей в наглядном виде моделировать работу комплекса, сравнивать различные варианты выполнения программы и проверять возможность ее реализации без столкновений робота с препятствиями. Методы внешнего программирования сокращают простой робота,

связанные с составлением новой программы, что важно при мелкосерийном производстве, и способствуют повышению безопасности обучения. При этом обычно требуется "точная настройка" программы перед ее использованием с применением элементов обучения и геометрической адаптации. Поэтому в системах управления современных сварочных роботов сочетают принципы внешнего программирования и обучения.

Системы управления промышленными роботами [5, 8] представляют собой многопроцессорные управляющие устройства, построенные по иерархическому принципу. На верхнем уровне управления осуществляются: расчет траектории движения рабочего органа; формирование команд, управляющих движением звеньев робота; логическая обработка информации от периферийных устройств комплекса; диалоговый режим работы оператора через видеотерминальное устройство; обмен информацией с ЭВМ верхнего уровня и внешним программноносителем (НГМД, КНМЛ); управление роботом через пульт ручного управления; диагностика работы системы; калибровка координат звеньев [11]. Нижний уровень управления используется для решения задачи управления движением звеньев в соответствии с программой, поступающей с верхнего уровня.

Связь между процессорами, реализующими функции верхнего и нижнего уровней управления, может осуществляться через общую память (системы с общей памятью) или через системную магистраль (распределенные системы). Примером системы с общей памятью является система МПСУ (рис. 2.13, а), в которой обмен данными между ЦПУ-П, ЦПУ-Пр, ЦПУ-Тр и ЦПУ-Св происходит по таймеру через общую память, расположенную в модуле ЦПУ-П. Структура распределенных систем может содержать одну общую системную магистраль M , как в системе "Прогресс 1-8" (рис. 2.13, б), или системные магистрали верхнего уровня $M1$ и нижнего $M2$, взаимодействующие через модуль связи MC , как в системе "Сфера-36" (рис. 2.13, в).

В системах МПСУ и "Прогресс 1-8" используются проблемно ориентированные языки, а в системе "Сфера-36" — язык высокого уровня ARPS, структура и возможности которого позволяют решать задачи установочной, а в ряде случаев, и текущей адаптации путем создания алгоритмов адаптивного управления на уровне прикладных программ пользователя.

Системы управления промышленных роботов для сварки имеют развитое программно-математическое обеспечение (ПМО). Основой ПМО является операционная система реального времени, которая обеспечивает распределение ресурсов системы, устанавливает порядок решения задач в соответствии с их приоритетами, организует процедуру обмена данными между программами, инициирует систему при ее включении, запускает программные тесты для проверки состояния аппаратной час-

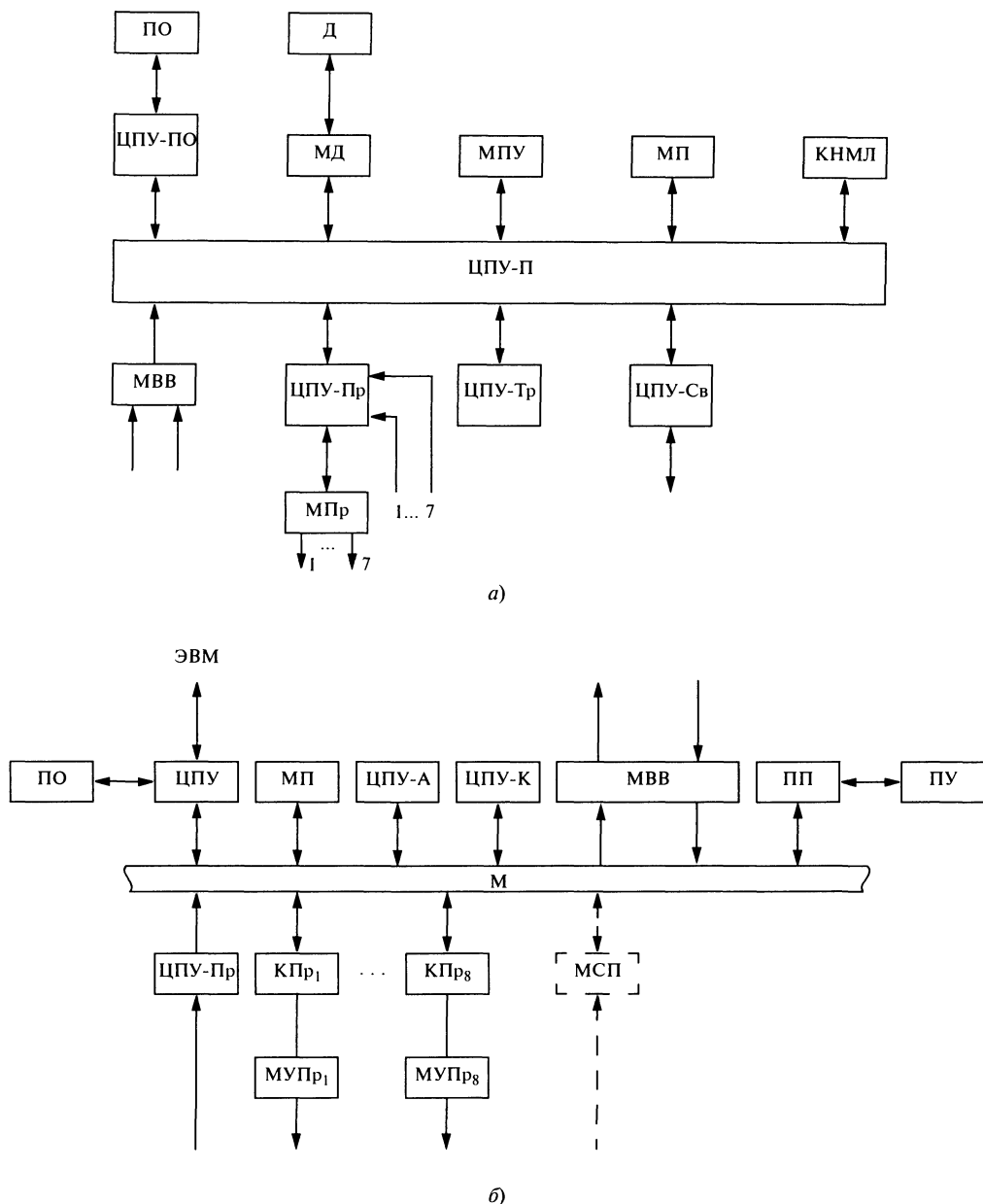


Рис. 2.13. Структурная схема системы управления:

а — МПСУ робота для дуговой сварки СУР-25; *б* — "Прогресс 1-8" робота ТУР-10КМ; *в* — "Сфера-36" робота РМ-01; *ПО* — пульт обучения; *ЦПУ* — процессорное устройство; *Д* — дисплей; *М* — модуль (первая буква в обозначении); *ПУ* — пульт управления; *П* — память; *КНМЛ* и *НГМД* — накопитель соответственно на магнитной ленте и на гибких магнитных дисках; *ВВ* — ввод-вывод; *Пр* — привод; *Тр* — пересчет траектории; *Св* — сварочного оборудования; *А* — арифметический универсальный; *К* — расчет координат; *ПП* — переходная плата; *М* — магистраль; *К* — контроллер управления; *У* — управление; *СП* — сенсорная подсистема; *ОЗУ* — оперативное запоминающее устройство; *ПЗУ* — постоянное запоминающее устройство; *ПИ* — последовательный интерфейс; *ВТУ* — видеотерминальное устройство; *ПРУ* — пульт ручного управления; *АВ* — аналоговый ввод; *ШИ* — широтно-импульсное питание

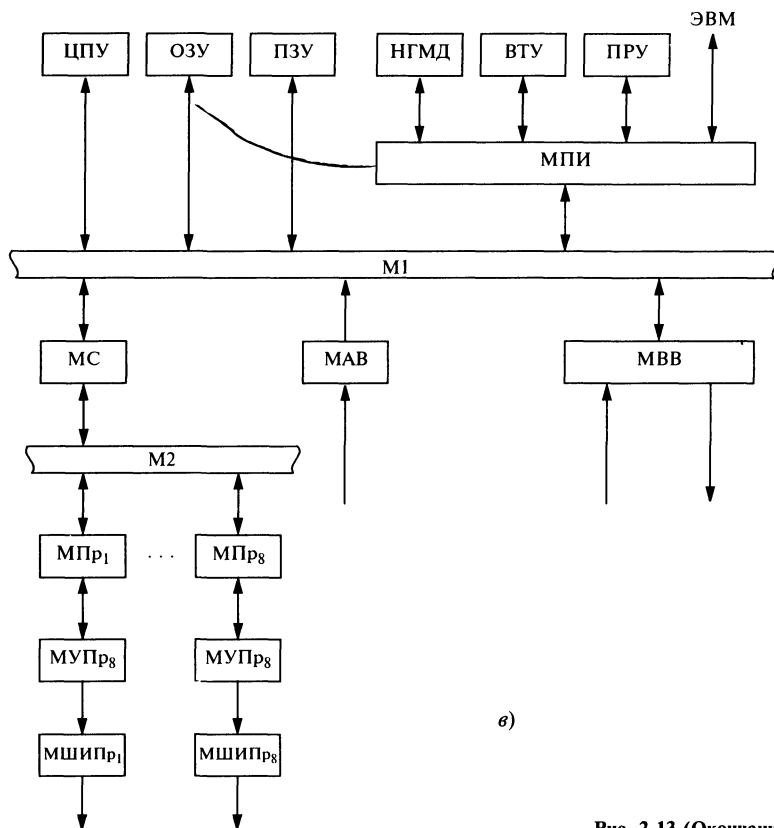


Рис. 2.13 (Окончание)

ти системы, прерывает функционирование системы при обнаружении ошибок (рис. 2.14). Наибольшие ограничения по применению роботов для дуговой сварки оказывает отсутствие или недостаточность их адаптивных возможностей по отношению к случайным отклонениям от программных значений положения линии сопряжения свариваемых элементов (геометрическая адаптация) и геометрических параметров соединения, подготовленного под сварку (технологическая адаптация).

В первом приближении допускаемое случайное отклонение линии сопряжения свариваемых элементов от расчетного значения при сварке плавящимся электродом в защитных газах не должно превышать в направлении, поперечном оси электрода, $0,5d_3$ (без колебаний электрода) и d_3 (с колебаниями электрода). При роботизированной дуговой сварке сталей плавящимся электродом диаметр электродной проволоки $d_3 = 0,8 \dots 1,6$ мм.

Различают два класса задач, связанных с необходимостью геометрической адаптации (корректировки программ перемещений сварочного инструмента относительно изделия), когда отклонение линии сопряжения

свариваемых элементов не сопровождается случайным искажением размеров и формы этой линии и сопровождается случайными искажениями размеров или формы линии сопряжения [10].

Первый класс задач геометрической адаптации решается с помощью методов установочной (начальной) адаптации и может быть разделен на два подкласса: 1) отклонения сводятся к случайному малому параллельному переносу линии сопряжения в двух- или трехмерном пространстве; 2) отклонения могут рассматриваться как случайный малый поворот в плоскости (вокруг одной оси) или в пространстве (вокруг двух или трех осей). Задачи первого подкласса наиболее часто встречаются при сварке коротких швов в конструкциях средних и крупных габаритных размеров, в частности, каркасно-решетчатого типа. При этом можно не учитывать случайный малый поворот короткой линии соединения, так как линейные смещения коротких швов пренебрежимо малы.

Для корректировки программы при случайном параллельном переносе необходимо и достаточно найти фактические положения трех или двух базовых точек соответственно

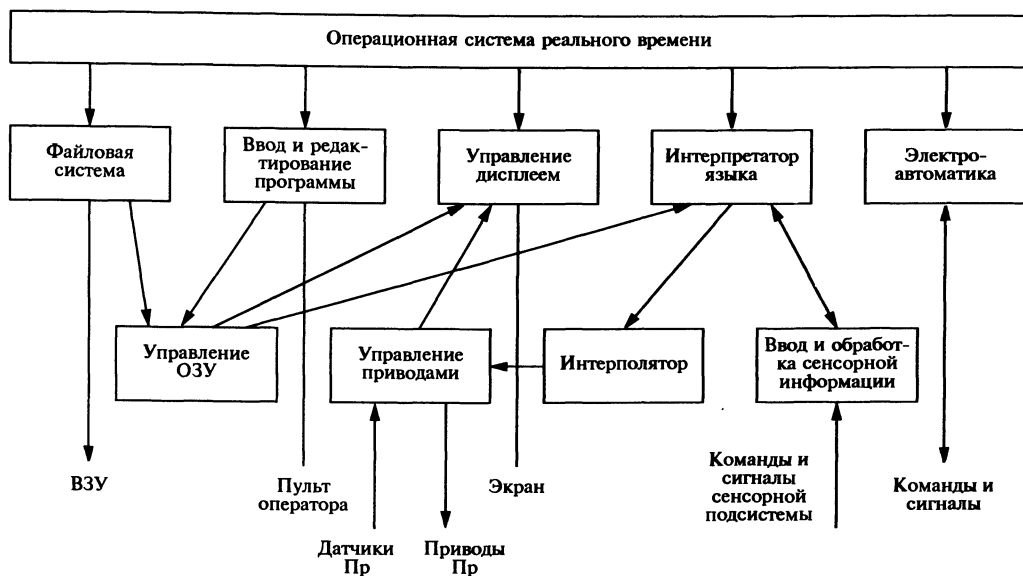


Рис. 2.14. Структура программно-математического обеспечения роботов

для трех- или двухмерных задач. Базовые точки находятся до начала сварки с помощью датчика поиска, который в простейшем случае может быть выполнен в виде тактильного электромеханического датчика, шуп которого радиусом r расположен на определенном расстоянии от конца электрода. Ориентация линий поиска базовых точек в рабочей зоне комплекса, неизменная для всех экземпляров изделия данного наименования, определяется программой перемещений сварочного инструмента относительно изделия.

Задачи второго подкласса встречаются в сварочном производстве значительно реже, чем предыдущие. Так, при приварке жестких, достаточно стабильно обрабатываемых бобышек, накладок и вставок средних размеров к листовым, каркасным, рамным конструкциям случайным поворотом, если он имеется, пренебречь нельзя. Для получения информации о необходимой корректировке программы при случайном малом повороте линии соединения в плоскости или в пространстве необходимо и достаточно определить положение соответственно трех или шести базовых точек.

Назначение минимального числа базовых точек, необходимых для определения положения каждого короткого шва (число таких швов на конструкциях каркасно-решетчатого типа велико), и выполнение поисковых движений на возможно большей скорости — важные пути повышения производительности комплекса для сварки, а следовательно, его экономической эффективности.

Второй класс задач геометрической адаптации решается с помощью методов текущей

адаптации; для каждого экземпляра изделия определяется случайная вектор-функция, характеризующая текущее смещение линии соединения, т. е. текущую коррекцию положения точки сварки, а также текущую коррекцию ориентации сварочного инструмента относительно изделия. В этом классе целесообразно выделить два подкласса задач получения швов: с большим радиусом кривизны; имеющих участки с малым радиусом кривизны.

Для швов с большим радиусом кривизны требуемые изменения ориентации горелки, связанные с малыми отклонениями линии соединения от расчетного положения, весьма малы, поэтому их влияние на качество сварного соединения незначительно. Следовательно, при сварке швов с большим радиусом кривизны достаточно определить три линейных составляющих смещения линий соединения ΔX_3 , ΔY_3 , ΔZ_3 относительно программного положения и скорректировать на соответствующее текущее положение горелки (точки сварки) относительно изделия, не меняя ее ориентации (рис. 2.15). Следует отметить, что составляющая ΔX_3 в рассматриваемом случае необходима только при сварке незамкнутых швов для определения момента начала конца сварки. По длине шва составляющая ΔX_3 может не использоваться.

Текущая адаптация при сварке швов с большим радиусом кривизны связана с определением составляющих отклонения линии соединения от расчетного положения Δy_3 и Δz_3 и соответствующей коррекции положения горелки без изменения ее программной ориента-

ции. В общем случае измерение отклонений линии соединения вдоль направлений Y_3 и Z_3 требует трех ориентирующих подвижностей манипулятора сварочного инструмента. Исключение составляют только системы с круговым сканированием измерительного зонда вокруг точки сварки, которые при осесимметричном сварочном инструменте позволяют решить общую задачу при двух ориентирующих подвижностях.

Для швов, имеющих на линии соединения участки с углами и весьма малыми радиусами кривизны (пересечения и закругления различных конструктивных элементов), нельзя пренебречь требуемыми изменениями ориентации горелки, связанными с отклонением соответствующих точек линии соединения от расчетного положения. Задача текущей геометрической адаптации в этом случае существенно усложняется техническими трудностями получения информации о положении линии соединения в углах и на закруглениях малого радиуса, а также большой скоростью изменения переносных и ориентирующих координат.

Для швов с участками, имеющими углы и малые радиусы кривизны, целесообразно комбинированное решение задачи с помощью методов как начальной, так и текущей адаптации, основанное на том, что участки, подобные $1_p - 2_p$ (рис. 2.16), имеют малую длину и поэтому могут рассматриваться как случайным образом смещенные в пространстве в положение $1-2$ без искажения их формы. Тогда при сварке прямоугольного патрубка с закруглениями на углах (рис. 2.16) до начала сварки необходимо определить положение четырех базовых точек: $2^1, 4^1, 6^1, 8^1$, отстоящих от расчетного положения сторон прямоугольника на расстоянии b . Положения точек $1-8$, ограничивающих участки с закруглениями, определяются во время сварки из условия их удаленности друг от друга по соответствующим координатам на расстояние a .

Для начальной адаптации могут быть использованы электромеханические (тактильные), электроискровые датчики и датчики расстояния. Последние получили наибольшее распространение. В них касание изделия до начала сварки осуществляется электродом или изолированным соплом горелки (рис. 2.17). Во время поиска базовых точек $1-3$ на электрод или сопло подается напряжение 400 В частотой 400 Гц. Электрод может предварительно выдвигаться до подводимого упора и фиксироваться специальной цангой, встроеной в горелку, для предотвращения его смещения вдоль оси во время измерений. Однако при этом усложняется конструкция горелки и снижается ее надежность. Альтернативным решением является автоматическое отрезание конца электрода на заданном вылете в отдельном стоящем устройстве, что повышает надежность последующего возбуждения сварочной дуги.

Использование изолированного сопла в качестве шупа позволяет исключить влияние

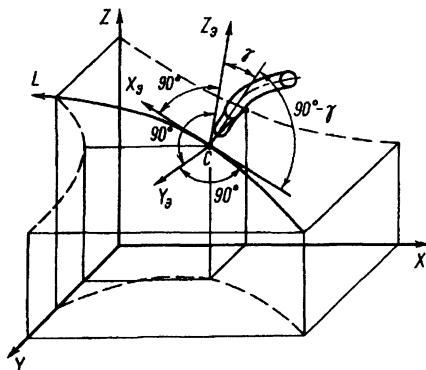


Рис. 2.15. Направления измерения координат X_3, Y_3, Z_3 случайных отклонений линии соединения от расчетного (программного) положения

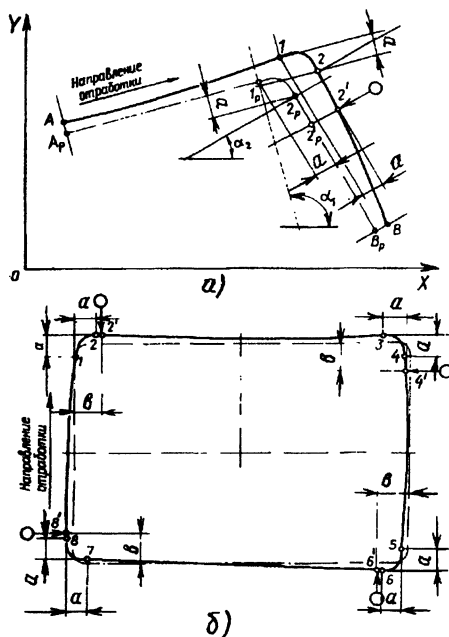


Рис. 2.16. Комбинированная адаптация при сварке швов с закруглениями малого радиуса (а) и характерная форма линии соединения (б), требующая комбинированной адаптации:

$2^1, 4^1, 6^1, 8^1$ — базовые точки, положение которых определяется до начала шва; $1-8$ — вычисляемые положения точек, в которых осуществляется переход от текущей адаптации к параллельному переносу угловых участков и наоборот; — — программное положение шва; — — фактическое положение шва

длины свободного конца электрода и его случайных отклонений от оси рабочей части горелки на точность измерения.

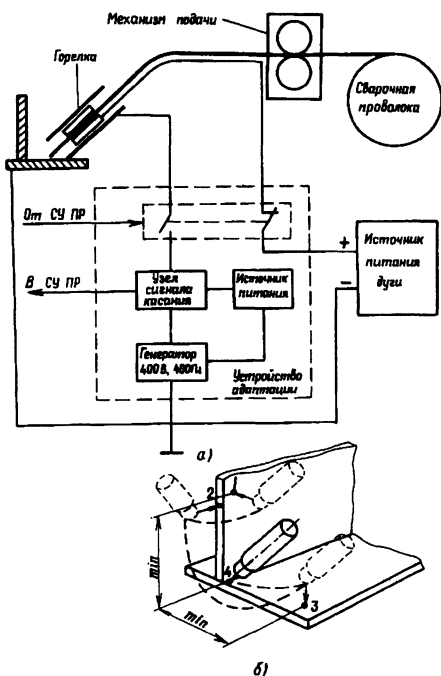


Рис. 2.17. Структурная схема (а) системы поиска базовых точек (б) с использованием сварочного электрода в качестве щупа:

1—3 — базовые точки; 4 — точка начала шва

Создание средств измерения для текущей адаптации сварочных роботов возможно с использованием тактильных электромеханических датчиков и устройств прямого копирования, бесконтактных датчиков расстояния до поверхности элементов свариваемого изделия, сварочной дуги в качестве датчика и видеосенсорных устройств. Электромеханические датчики и устройства прямого копирования получили значительное распространение при автоматической сварке прямолинейных и круговых протяженных швов простой формы преимущественно в специализированных комплексах, реже в роботах.

Бесконтактные датчики расстояния могут использоваться при сварке угловых швов тавровых соединений, которые являются основным объектом роботизации дуговой сварки. В качестве бесконтактных датчиков расстояния могут применяться пневматические, емкостные, ультразвуковые, индукционные и другие устройства. Для адаптации сварочных роботов некоторое распространение нашли индукционные датчики. Они накладывают ограничения на технику сварки роботами, например: исключают возможность сварки с текущей адаптацией в угловых участках внутри коробчатых конструкций (часто требуют при этом отвода датчиков), на одном изделии раз-

личных видов соединений, а также сварки с колебаниями электрода поперек линии соединения, если среднее расстояние от поверхности изделия соизмеримо с амплитудой колебаний.

Использование сварочной дуги в качестве датчика позволяет получить информацию о фактическом положении свариваемого соединения, а в некоторых случаях и о ширине зазора или разделки в зоне сварки. Недостатком системы адаптации с использованием дуги в качестве датчика является то, что процесс адаптации начинается только после начала сварки. При значительных начальных несоответствиях электрода и линии соединения начальный участок шва не совпадает с линией соединения. Поэтому целесообразно сочетание системы текущей адаптации с дугой в качестве датчика, и системы начальной адаптации с соплом или электродом в качестве щупа.

Системы с использованием сварочной дуги в качестве датчика наиболее эффективны при сварке в аргоне и аргоносодержащих смесях защитных газов, когда дуговой процесс наиболее стабилен. При сварке в CO_2 применение этого способа затруднено вследствие нестабильности дугового процесса. При сварке швов малого калибра применение колебаний дуги неэффективно с точки зрения производительности процесса.

Видеосенсорные устройства составляют большую группу измерительных средств. Некоторые из них достаточно универсальны и перспективны для адаптации сварочных роботов. При дуговой сварке в защитных газах необходимо учитывать помехи от светового излучения дуги, брызг расплавленного металла, а также выделяющихся дымов и газов, поскольку оптика видеосенсоров подвергается интенсивному загрязнению и эрозии пылью, брызгами металла, агрессивными аэрозолями и газами. В ряде случаев предлагается измерение каждого экземпляра изделия осуществлять на повышенной скорости до начала сварки, хотя предпочтительным является измерение во время сварки.

Наиболее универсален и информативен триангуляционный метод измерения [10] сечения зоны свариваемого соединения световой плоскостью (рис. 2.18). Секущая плоскость может быть представлена движущимся точечным лучом (с помощью колеблющегося зеркала), стационарным щелевым лучом или светотеневой границей. Такое освещение получило название структурированного. Наиболее эффективным осветителем является лазер. Зона светового сечения наблюдается под углом, позволяющим получить трехмерную информацию о свариваемом шве: о положении линии соединения, зазоре или сечении разделки, превышении кромок. Картина, воспринимаемая двухмерным, чаще всего матричным фотоприемником, определяется типом соединения.

Одним из наиболее совершенных и компактных видеосенсоров, построенных с использованием метода триангуляции, является

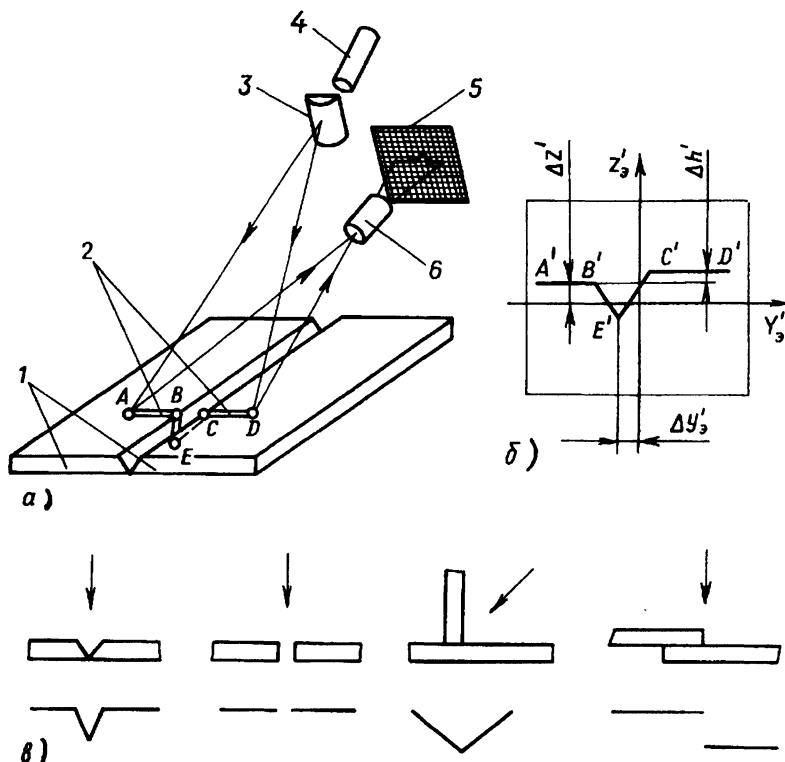


Рис. 2.18. Триангуляционный метод измерения положения линии шва и геометрических параметров соединения, подготовленного под сварку, с помощью видеосенсорной системы:

a — схема измерения; *б* — изображения на экране видеоконтрольного устройства; *в* — направления освещения и изображения, получаемые при различных типах соединения; 1 — свариваемые элементы; 2 — световой след на поверхности изделия; 3 — цилиндрическая линза; 4 — лазерный осветитель; 5 — матричный фотоприемник; 6 — объектив

видеосенсор, смонтированный в одном корпусе с горелкой. Аппаратура видеосенсора, которая должна быть расположена вблизи зоны сварки, заключена в цилиндрический корпус диаметром 57 мм, центральная часть которого занята горелкой (рис. 2.19). Видеосенсор состоит из двух частей, каждая из которых, в свою очередь, содержит источник структурированного освещения, состоящий из мало-мощного инфракрасного лазера и цилиндрической оптики для получения полосы, пересекающей линию соединения; фотоприемник на основе ПЗС-матрицы; интерференционный фильтр, объектив и сменное входное окно. Поле зрения каждой части видеосенсора 19×16 мм. При этом центр поля зрения удален от точки сварки на расстояние 16 мм. Щиток 5 горелки защищает фотоприемник от прямого света сварочной дуги и препятствует попаданию брызг металла на входное окно.

Одна из двух частей видеосенсора анализирует соединение перед точкой сварки и служит для получения информации об отклонении линии соединения данного экземпляра изде-

лия от эталонного, а также для измерения зазора в соединении с погрешностью не более 0,2 мм. В начале сварки отклонение линии соединения от эталонного положения не должно превышать 5 мм. В противном случае должна реализовываться специальная процедура поиска. Вторая часть видеосенсора анализирует соединение после сварки и используется для получения информации об отклонении формы и положения получаемого шва от заданных номинальных значений.

Компьютер, являющийся частью видеосенсорной системы, вырабатывает информацию, необходимую как для геометрической, так и технологической адаптации.

2.6. ОСОБЕННОСТИ СВАРОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ РОБОТИЗИРОВАННОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ

Передача функций сварщика роботу, как правило, бывает недостаточно эффективной: с одной стороны, роботу не хватает сенсорных и манипуляционных способностей квалифицированного сварщика; а с другой — осна-

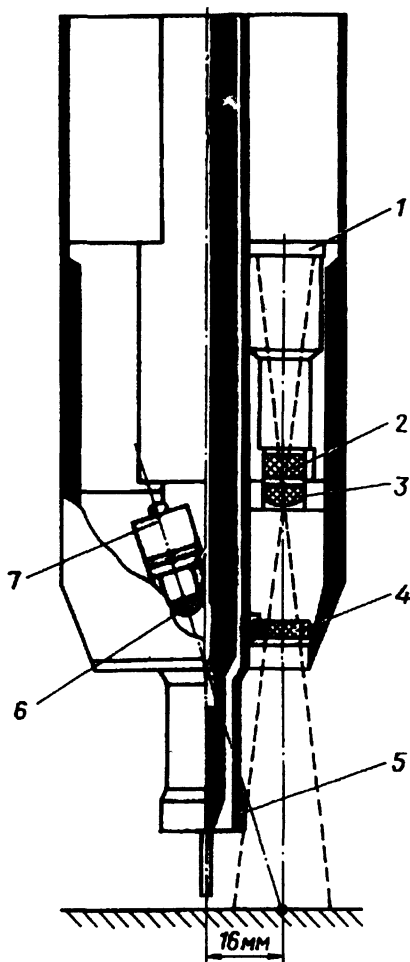


Рис. 2.19. Схема видеосенсора, расположенного в одном корпусе со сварочной горелкой:

1 — фотоприемник (ПЗС-матрица); 2 — интерференционный фильтр; 3 — объектив; 4 — окно; 5 — газовое сопло горелки; 6 — цилиндрическая оптика; 7 — лазерный осветитель

шение робота предназначенным для человека механизированным инструментом означает недоиспользование РТК по возможности его системы управления, а также его фонда времени.

В связи с этим оборудование для роботизированной дуговой сварки (РДС) необходимо рассматривать отдельно. При этом не исключается возможность и целесообразность использования составных частей традиционных видов сварочной аппаратуры. В свою очередь, создание и развитие сварочного оборудования для РДС оказывает положительное влияние на совершенствование традиционных видов оборудования.

Общим требованием к сварочному оборудованию РДС является возможность его эксплуатации длительное время (не менее одной смены) без участия человека с сохранением стабильных свойств свариваемых соединений.

В комплект сварочного оборудования для РДС входят: источник питания сварочной дуги; аппаратура подачи сварочной проволоки; сварочные горелки; аппаратура охлаждения горелки; газовая аппаратура; устройства автоматической обрезки конца электрода, очистки горелки от брызг и впрыскивания противопригарной жидкости; аппаратура удаления газов и аэрозолей; устройство защиты горелки от поломки; аппаратура контроля и управления сварочным оборудованием.

Свойствами источника определяются технологические параметры процесса роботизированной сварки. Такие показатели источников питания, как надежность зажигания дуги, стабильность поддержания заданного режима, гибкость изменения параметров процесса сварки приобретают для роботизированной дуговой сварки первостепенное значение.

Для роботизированной дуговой сварки могут применяться те же источники, что и для механизированной или автоматической сварки при условии, что они имеют аналоговые или цифровые входы и выходы для связи с системой управления робота или комплекса, либо могут быть снабжены преобразователями, выполняющими эти функции. В составе оборудования для РДС обычно применяют самые совершенные источники питания сварочной дуги, в которых осуществляется управление процессом использования теплоты и переноса металла на уровне объема капель и времени переноса каждой из них, инверторные источники питания. Транзисторные источники питания могут обеспечивать скорость изменения силы сварочного тока до 50 А/мс, что значительно уменьшает разбрызгивание и позволяет выполнять роботизированную сварку в самых различных пространственных положениях.

На работах для дуговой сварки обычно используют сварочную проволоку сплошного сечения диаметром 0,8...1,6 мм, чаще диаметром 1,2 мм. Непременным условием надежной подачи проволоки является тщательная ее намотка на барабаны или катушки (ГОСТ 25445—82) непосредственно на предприятии-изготовителе. Это значительно сокращает число отказов в тракте подачи проволоки и обеспечивает минимальные случайные отклонения конца проволоки после выхода ее из наконечника горелки.

Особенностью работы сварочного оборудования для РДС является увеличение затрат времени, связанных с заменой барабана с проволокой (рис. 2.20). Так, мотка сварочной проволоки массой 5 кг достаточно для непрерывной работы оборудования в течение 1...2 ч при силе сварочного тока $I_{св} = 200...300$ А. Если принять время заправки барабана 2...5 мин, то простой робота, связанный с заправкой, может

составить 30 мин в смену. Поэтому целесообразно применять катушки большей массы. Так, катушки проволоки массой 80 кг при том же режиме сварки достаточно для непрерывной работы в течение 15...30 ч.

За рубежом применяют катушки массой до 400 кг, а для обеспечения подачи проволоки используют специальные разматывающие устройства, обеспечивающие отделение витка за витком с неподвижной катушки.

При РДС применяют как роликовые, так и планетарные безредукторные механизмы подачи сварочной проволоки. Планетарные механизмы обеспечивают стабильную подачу с одновременной правкой проволоки, а следовательно более стабильное положение конца электродной проволоки, меньшее изнашивание тракта подачи и большую его длину, благодаря крутильным колебаниям проволоки в канале, существенно снижающим силы трения проволоки о внутреннюю поверхность канала. Однако применение планетарных подающих механизмов требует хорошей обработки поверхности, стабильности формы и размеров сечения сварочной проволоки.

В ряде случаев, например при сварке в труднодоступных местах (внутри крупногабаритных конструкций), а также при использовании катушек большей массы и при широкой рабочей зоне, когда требуется обеспечить подачу проволоки на расстояние 10 м и более, применяется принцип подачи проволоки "тяги-толкай". При этом толкающий механизм расположен вблизи катушки, а дополнительный тянущий механизм либо встроен в горелку, либо расположен на одном из звеньев манипулятора горелки.

Эффективное использование РДС зависит от варианта исполнения сварочных горелок, выбор которого определяется типом и структурой манипуляционной системы комплекса, конструктивными особенностями свариваемого изделия и режимом сварки.

Сварочные горелки для РДС должны удовлетворять следующим требованиям:

обеспечивать значительную большую продолжительность непрерывной работы, достигающую при рационально организованной эксплуатации 90% общего фонда рабочего времени;

предусматривать возможность быстрой замены сопла и токоподводящего наконечника, а также всей горелки с гарантированным сохранением положения рабочей точки относительно последнего звена манипулятора горелки (ручные корректоры положения горелки на комплексе нежелательны); точная обработка заменяемых элементов с четким базированием по местам присоединения обязательна;

иметь достаточные жесткость и прочность горелки, исключающие ее деформирование под действием сил, возникающих при срабатывании устройства защиты от поломки в случае столкновения горелки с препятствием;

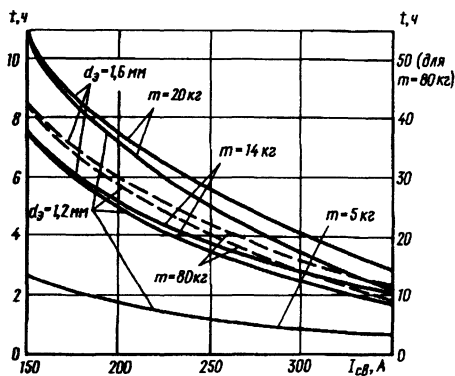


Рис. 2.20. Зависимости продолжительности t использования мотков проволоки массой 5, 14, 20, 80 кг, диаметром 1,2 и 1,6 мм от силы $I_{св}$ сварочного тока

обеспечивать возможность конструктивно-го сопряжения с датчиками положения свариваемых элементов;

предусматривать надежный токопровод к электродной проволоке в строго определенном месте наконечника горелки, независимо от его износа (что особенно важно в системах, использующих сварочную дугу в качестве датчика положения свариваемых элементов);

иметь дополнительный подвод сжатого воздуха к газовому соплу для его пневматической очистки и впрыскивания противопожарной жидкости.

Наряду с прямыми горелками применяют изогнутые, у которых рабочая часть расположена под углом 20...40° к оси участка крепления. Горелки для роботизированной сварки с силой тока менее 250 А в защитной среде CO_2 или с силой тока менее 200 А в смеси газов, как правило, имеют естественное охлаждение. Для сварки с большей силой тока требуется водяное охлаждение газового сопла и токоподводящего наконечника горелки.

Водяное охлаждение горелки обеспечивает автономное устройство, встроенное в источник питания или размещенное в отдельном корпусе. Для РДС может применяться также газовая аппаратура, что и при механизированной и автоматической сварке в защитных газах, а также газовая аппаратура с управляемым расходом защитного газа.

Основным способом РДС является сварка в аргоносодержащих двойных (Ar и 20...30% CO_2) или тройных (Ar и 20...30% CO_2 или 3...7% O_2) окислительных смесях. Наиболее полно технологические преимущества таких смесей проявляются в диапазоне режимов сварки, обеспечивающих струйный перенос металла электрода. Низкий уровень потерь металла на разбрызгивание (в 3—4 раза меньший, чем при сварке в CO_2), гладкая, мелкочешуйчатая поверхность швов, возмож-

ность применения технологических приемов сварки, повышающих производительность процесса (прямая полярность сварочного тока, удлинённый вылет проволоки, сварка модулированным током), выгодно отличают этот способ от сварки в CO_2 . Дополнительные расходы, связанные с повышенной стоимостью смеси приблизительно в 3 раза больше чем при CO_2 , намного меньше стоимости оборудования РДС, приходящейся на единицу продукции. Они окупаются за счет повышения качества, а также сокращения трудозатрат на очистку сварных конструкций от брызг после сварки.

Пневматическая очистка сопла горелки осуществляется сжатым воздухом с впрыскиванием противопригарной жидкости (силиконового масла), а механическая — с помощью перемещающейся внутри сопла очищающей втулки с приводом от пневмоцилиндра либо с помощью внешнего устройства типа вращающейся полый фрезы или полый щетки. При сварке в CO_2 очистка сжатым воздухом приемлема при небольших силах тока (до 220 А) после получения шва длиной 100...500 мм, а при сварке в аргоносодержащих смесях длина шва между включениями очистки в 2—3 раза больше. При сварке на больших силах тока целесообразно применять механическую очистку, которую следует производить перед началом сварки очередного изделия, и не реже, чем после сварки шва длиной 8 м.

Наиболее эффективна комбинация очистки сжатым воздухом после сварки каждого шва и механической очистки после сварки каждого изделия. Поскольку установка в корпусе горелки дополнительных устройств с подвижными частями значительно усложняет ее конструкцию, механическую очистку обычно выполняют внешним устройством, а противопригарную жидкость наносят окунанием или впрыскиванием. Емкость (аэрозольный баллон) с жидкостью размещается в непосредственной близости от очистных устройств.

Удаление газов и аэрозолей из зоны сварки роботом может осуществляться с помощью всасывающего сопла и местной вентиляции. Применение всасывающего сопла, встроенного в горелку, обеспечивает хорошие санитарные условия в зоне сварки, но существенно затрудняет манипулирование горелкой в труднодоступных местах свариваемой конструкции. Кроме того, при длинных коммуникациях отсос ухудшается из-за ограниченного диаметра сопла, поскольку с увеличением диаметра уменьшается гибкость отсасывающего трубопровода.

Использование местной вытяжной вентиляции с помощью зонтов и отсосов в столах и манипуляторах изделий целесообразно, когда сварщик не находится в зоне интенсивного выделения аэрозолей. Весьма эффективны изоляция рабочей зоны от окружающего пространства и организация вытяжки из этой зоны.

Случайные ошибки оператора при обучении робота, сбой средств контроля положения изделия и элементов приспособления, а также сбой в системе управления робота могут привести к повреждению горелки, ее манипулятора и других частей РТК при случайном столкновении горелки с ними. Поэтому крепление горелки к последнему звену манипулятора не должно быть жестким. Целесообразно использовать предохранительное устройство пружинного типа, обеспечивающее фиксированное положение горелки, если действующая на нее сила не превышает допустимую. При столкновении горелки с препятствием происходит упругая деформация пружин, смещается держатель горелки, о чем сигнализирует встроенный микровыключатель. Известен метод защиты горелки от поломки путем подачи электрического потенциала на изолированное сопло горелки и получении сигнала при соприкосновении сопла с изделием. Однако в ряде случаев сварка ведется с малыми вылетами электрода, при которых трудно избежать случайных легких касаний сопла и изделия, которые не приводят к повреждению горелки.

В функции аппаратуры контроля и управления (контроллера) сварочным оборудованием входит управление стандартными циклами (зажигание дуги, заварка кратера, очистка горелки и др.), преобразование команд системы управления робота в заданные значения параметров режима сварки, формирование для системы управления и оператора информации о текущем состоянии всех устройств сварочного оборудования, автономное управление в режиме отладки и контрольных проверок оборудования для РДС.

Возможно несколько принципов построения контроллера сварочного оборудования. На первых этапах применения сварочных роботов использовались контроллеры с предварительной плавной настройкой параметров (напряжение на дуге, скорость подачи проволоки, амплитуда и частота колебаний и др.) для нескольких (обычно пяти—шести) режимов сварки. При воспроизведении программы в заранее выбранных точках траектории по командам от системы управления происходит переход с одного режима на другой из числа предварительно настроенных. При этом не вызывает затруднений корректировка значений параметров при сварке в процессе отладки программы. Существенным недостатком подобных контроллеров является отсутствие в программе сварки данного типоразмера изделия значений параметров режима, что при переналадке на сварку данного изделия требует повторной ручной установки указанных значений. В результате возможны случайные отклонения значений параметров режима от заданных, грубые ошибки или недопустимая интенсификация режима. Кроме того, невозможно автоматическое плавное изменение параметров режима, что необходимо, прежде всего, для решения задач технологической адаптации.

Применение современных контроллеров сварочного оборудования позволяет обеспечить свободное управление режимом сварки с практически плавным его изменением по программе, содержащей данные как о перемещениях горелки относительно изделия, так и о значениях параметров режима, и исключить влияние оператора на программу. Предусматривается также "горячее" (при сварке) редактирование программы.

Для универсальных, а также адаптивных роботов, предназначенных для изменяемого производства, наиболее перспективны свободные программируемые контроллеры как основное средство управления сварочным оборудованием. Для специализированных РДС с редкими переналадками на сварку другого изделия целесообразно применение упрощенных контроллеров с несколькими заранее выбранными режимами. Во многих случаях роль контроллера может выполнять система управления робота, если она имеет достаточное число аналоговых и дискретных вводов—выводов.

Известно, что возможности определения и, тем более, регулирования в реальном масштабе времени параметров качества сварного соединения весьма ограничены.

При основном способе разомкнутого управления решаются две задачи: выбор и задание оптимальных параметров режима в зависимости от заданных номинальных технологических условий; стабилизация параметров режима или их изменение по заданному закону при наличии возмущений.

Для стабилизации параметров режима помимо информации о пространственном положении горелки необходима информация о текущих значениях параметров и состоянии сварочного оборудования. Для дуговой роботизированной сварки плавящимся электродом в общем случае необходимо измерять следующие величины: мгновенное и действующее значения силы сварочного тока и напряжения на дуге; скорость сварки; энергию, приходящуюся на единицу длины шва; скорость подачи и вылет электродной проволоки; количество израсходованной и оставшейся проволоки; расход, давление и состав защитного газа или смеси газов; температуру, расход и давление охлаждающей жидкости; износ наконечника; забрызгивание сопла. Косвенный контроль двух последних величин может быть осуществлен путем измерения времени сварки, отсчитываемого после очередной замены наконечника и сопла, и сопоставления этого времени с ресурсом работы указанных деталей.

При изготовлении ответственных сварных конструкций целесообразно применение устройств допускового контроля режима сварки, а также информационно-измерительных систем, осуществляющих не только контроль, но и документирование значений основных параметров режима.

2.7. РТК И ГИБКИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ДУГОВОЙ СВАРКИ

Робототехнологический комплекс для дуговой сварки — это совокупность робота (возможно с расширителем рабочей зоны), сварочного оборудования, одного или нескольких манипуляторов изделия, средств безопасности, сборочно-сварочных приспособлений и средств механизации и автоматизации загрузочно-разгрузочных работ. Гибкая производственная система — это совокупность технологического, транспортного, складского и другого оборудования с числовым программным управлением, включая роботы, способная автоматически функционировать и обладающая свойством автоматизированной переналадки при изменении свариваемого изделия другим из числа заранее предусмотренных для сварки.

Так, РТК с одним манипулятором изделия портального типа РТДК-1 предназначен для дуговой сварки плавящимся электродом в среде защитного газа на постоянном токе изделий из малоуглеродистой стали при обеспечении точности сборки изделий под сварку в пределах $\pm 0,5$ мм и может быть использован в условиях мелкосерийного и серийного производства в качестве самостоятельной установки, а также в составе автоматических линий как гибкий производственный модуль. Техническая характеристика комплекса приведена ниже.

Число степеней подвижности манипулятора:	
сварочной горелки	5
изделия	2
Абсолютная погрешность позиционирования, мм	0,5
Максимальное перемещение сварочной горелки в зоне обслуживания, мм:	
вдоль портала	1500
поперек портала	1000
по вертикали	1000
Максимальный угол, °:	
поворота горелки вокруг вертикальной оси	± 200
наклона горелки от вертикального положения	45
поворота стола манипулятора изделия вокруг оси	± 200
наклона стола относительно горизонтальной оси	± 200
Грузоподъемность манипулятора, кг, номинальная:	
сварочной горелки	10
максимальная изделия	500
Максимальная линейная скорость перемещения горелки в зоне обслуживания, мм/с	110
Максимальная угловая скорость поворота, °/с:	
горелки вокруг вертикальной оси	45
стола манипулятора вокруг горизонтальной и вертикальной осей	8
Род сварочного тока	Постоянный
Номинальная сила сварочного тока, А:	
при ПВ-100%	315
при ПВ-60%	400
Пределы регулирования сварочного тока, А	100...500

Диаметр электродной проволоки, мм 1,2...1,6	
Способ охлаждения сварочной горелки	Естественный
Тип системы управления	Контурный
Тип интерполяции	Линейный
Потребляемая мощность, кВт · А	45
Габаритные размеры механической части комплекса (манипулятора горелки, манипулятора изделия и опорной рамы), мм 3025 × 4030 × 4650	
Масса механической части комплекса (без системы управления и сварочного оборудования), кг	5000
Занимаемая площадь, м ²	11,04

Комплекс позволяет производить сварку изделий в нижнем положении, наиболее благоприятном для формирования шва, крупногабаритных деталей размерами 1500 × 1000 × 1000 мм.

Манипуляторы сварочной горелки и изделия установлены на общем основании и служат для их перемещения в пространстве. Манипулятор сварочной горелки имеет станину портального типа, на которой расположены три исполнительных механизма, обеспечивающих линейные перемещения сварочной горелки вдоль осей прямоугольной системы координат. На выходном звене механизма вертикального перемещения установлены два механизма вращения, обеспечивающие ориентирование горелки по отношению к линии шва — поворот вокруг вертикальной оси и наклон в вертикальной плоскости. Манипулятор изделия имеет два механизма вращения, оси которых пересекаются под прямым углом. Механизм с осью вращения, расположенной горизонтально, обеспечивает наклон изделия, а второй — вращение изделия.

Сварочное оборудование комплекса состоит из контроллера, сварочной горелки, блока управления, механизма подачи электродной проволоки, источника питания сварочной дуги, газового редуктора с расходомером и подогревателем газа и комплекта монтажных проводов и шлангов. Сварочный контроллер позволяет установить пять любых режимов сварки и является согласующим звеном в работе сварочного оборудования и управляющего устройства РТК. В него поступают команды на начало цикла сварки и его окончание, на остановку цикла при наличии аварийной ситуации и на выбор соответствующего режима сварки.

Система управления предназначена для управления механической частью РТК и сварочным оборудованием в режиме обучения, в ручном и автоматическом режимах работы как со сваркой, так и без нее. При обучении информации о положении механизмов и установленных режимах сварки в опорных точках "запоминается" устройством управления комплекса, образуя управляющую программу. Комплекс имеет оперативную и долговременную память, что позволяет создать библиотеку необходимых программ. При автоматическом режиме работы исполнительные механизмы

комплекса обрабатывают введенную управляющую программу.

В РТК с одним манипулятором изделия существует очередность работы робота и сварочного оборудования или загрузочно-разгрузочного устройства (при отсутствии многостаночного обслуживания). Поэтому РТК с одним манипулятором изделия целесообразно применять только в тех случаях, когда время сварки значительно больше времени загрузки-выгрузки. При двух манипуляторах изделия в то время, когда на одном из них производится сварка, на другом выполняются разгрузочные, загрузочные, сборочные и другие работы. Если время сварки равно времени перечисленных вспомогательных работ, то обеспечивается полная загрузка оборудования и оператора.

Характерным РТК с двумя манипуляторами изделия является ОЈ-10 (рис. 2.21). Техническая характеристика РТК ОЈ-10 приведена ниже.

Грузоподъемность робота, кг	10
Число степеней подвижности робота	5
Диапазон движений робота, °:	
вращение основания	260
качание нижнего плеча	±40
качание верхнего плеча	300
качание кисти	±150
вращение кисти	±305
Рабочая скорость робота, мм/с	0,1...99,0
Максимальные скорости робота:	
вращение основания, рад/с	1,31
перемещение рабочей точки, м/с:	
вперед—назад	0,8
по вертикали	1,0
качание кисти, рад/с	2,19
вращение кисти, рад/с	3,28
Погрешность позиционирования, мм, не более 0,1	
Установленная мощность электродвигателей робота, Вт	1250
Масса робота, кг	295
Грузоподъемность позиционера, кг	250
Число степеней подвижности позиционера	2
Диапазон вращения планшайбы, °	560
Наклон оси вращения, °	270
Максимальная скорость вращения и наклона изделия, °/с	60
Установленная мощность электродвигателей позиционера, Вт	1500
Масса позиционера, кг	340
Число одновременно управляемых координат	10
Число двузначных вводов-выводов	32
Вид интерполяции Прямолинейная и круговая	
Максимальная длина кабелей, м	6
Масса, кг	450
Номинальная сила сварочного тока, А:	
при ПВ-100%	300
при ПВ-60%	400
Напряжение, В:	
первый диапазон	10...35 ± 5%
второй диапазон	15...45 ± 5%
Скорость подачи электродной проволоки, м/мин	0,5...14
Диаметр электродной проволоки, мм:	
сплошной	0,8; 1,0; 1,2; 1,6
порошковый	2,0; 2,3; 2,5

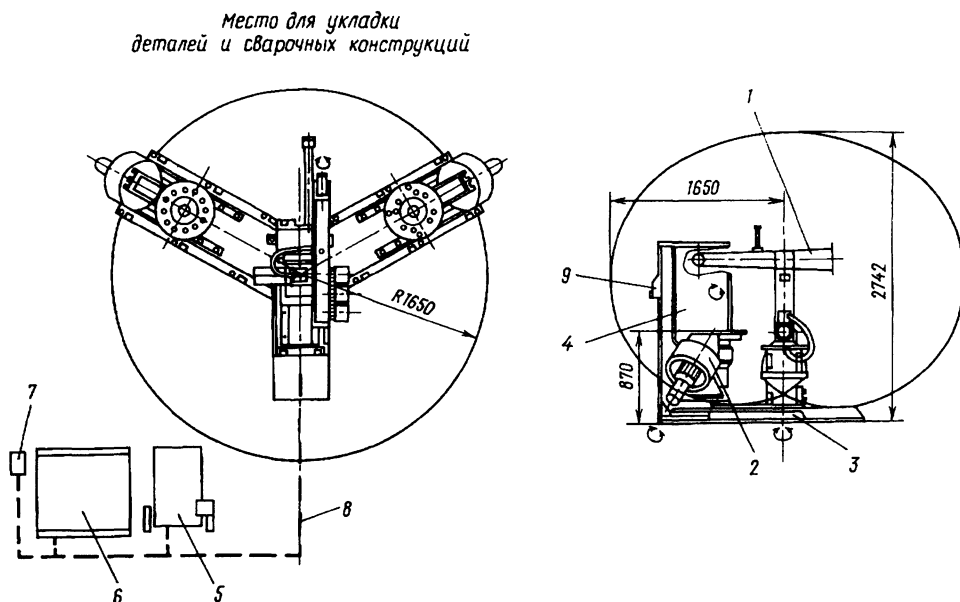


Рис. 2.21. РТК для дуговой сварки типа ОJ-10 с двумя манипуляторами изделия (Чехия):

1 — робот ОJ-10 RS; 2 — позиционер (манипулятор изделия) ОJ-10Р; 3 — основание; 4 — шкаф системы управления RSP-01; 5 — светобрызгозащитный экран; 6 — сварочный агрегат UNIMIG 400S с установленным на нем пятирежимным блоком программирования сварочных параметров JPP-5; 7 — центральный "стоп"; 8 — силовой щит-распределитель USR1-B; 9 — соединительные кабели

В состав РТК входят: манипулятор сварочного инструмента с угловой системой координат — робот ОJ-10 PS, позиционер ОJ-10 Р; система управления RSP-01; сварочная аппаратура UNIMIG 400 S; пятирежимный блок программирования сварочных параметров JPP-5 устройства очистки сопла сварочной горелки; светобрызгозащитный экран. Комплекс ОJ-10 может комплектоваться средствами геометрической адаптации.

Следует отметить, что оператор или загрузочно-разгрузочное устройство попеременно должен занимать два различных места (это усложняет организацию рабочего места и повышает утомляемость оператора) и действует в рабочей зоне манипулятора сварочного инструмента. Такие РТК целесообразно применять при сварке преимущественно средние- и крупногабаритных конструкций с большим временем сварки и загрузочных, сборочных, прихваточных и разгрузочных работ.

В составе одного РТК может быть два и более манипулятора изделия (рис. 2.22). При закреплении за таким РТК нескольких наименований сварных конструкций, каждая из которых, в свою очередь, закреплена за отдельным манипулятором с соответствующей оснасткой, время и сложность переналадки сводятся к минимуму, что особенно важно, если изделия подаются на сварку малыми партиями. Однако в этом случае РТК занимает большую

площадь и коэффициент использования манипуляторов изделия обычно невелик.

Для исключения перемещений оператора между двумя или более манипуляторами изде-

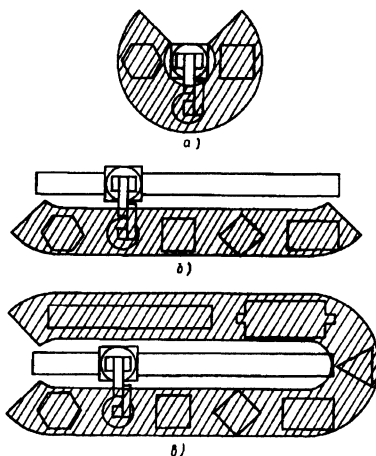


Рис. 2.22. Схемы РТК с тремя и более манипуляторами изделий, расположенными по окружности (а), в линию (б) и по обе стороны от манипулятора сварочного инструмента (в)

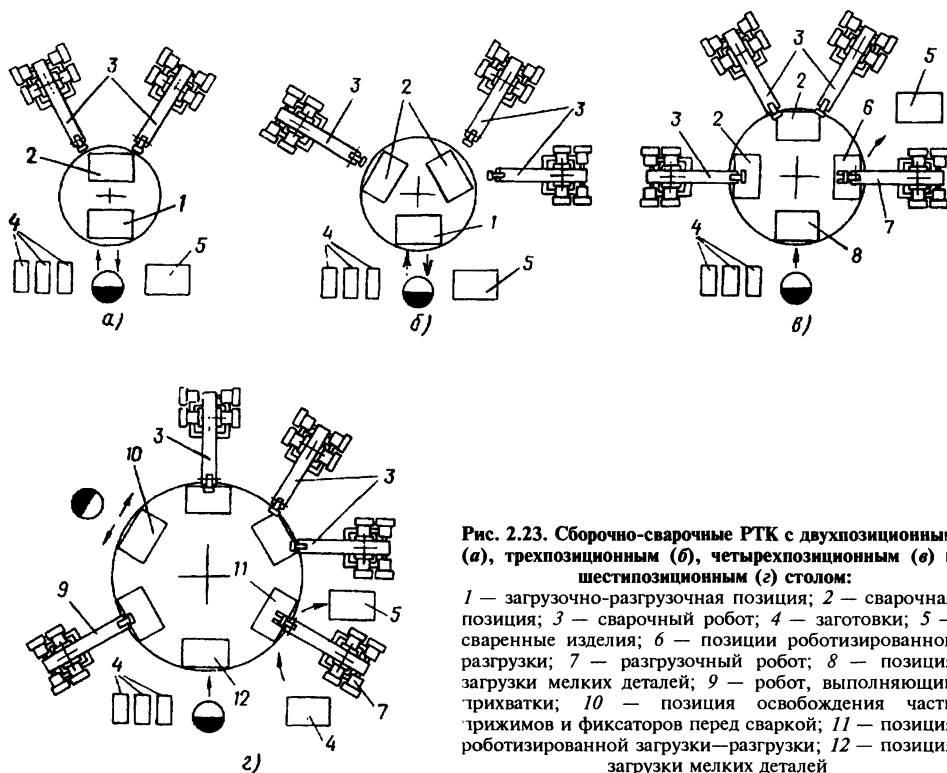


Рис. 2.23. Сборочно-сварочные РТК с двухпозиционным (а), трехпозиционным (б), четырехпозиционным (в) и шестипозиционным (г) столом:
1 — загрузочно-разгрузочная позиция; 2 — сварочная позиция; 3 — сварочный робот; 4 — заготовки; 5 — сваренные изделия; 6 — позиции роботизированной разгрузки; 7 — разгрузочный робот; 8 — позиция загрузки мелких деталей; 9 — робот, выполняющий трижвтки; 10 — позиция освобождения части трижвтков и фиксаторов перед сваркой; 11 — позиция роботизированной загрузки—разгрузки; 12 — позиция загрузки мелких деталей

для используются поворотные столы или барабаны, которые могут иметь несколько позиций, одна из которых загрузочно-разгрузочная (иногда одна загрузочная, другая разгрузочная), остальные — сварочные (рис. 2.23). Поворотные столы с позициями больше трех обычно применяют для разделения сварочной работы между двумя или несколькими роботами с целью сокращения такта работы РТК. Следует иметь в виду, что на разных позициях можно также выполнять сварку различными способами или сварочными инструментами различных типов. Для одновременной сварки изделий двух типоразмеров (правого и левого) применяют РТК с двумя роботами и четырехпозиционным столом, двумя загрузочно-разгрузочными позициями, каждая из которых обслуживается одним оператором. Недостатком "связанного" РТК является необходимость двум рабочим работать в одном ритме.

Компоновки РТК с двух- или многопозиционным столом или барабаном включают дополнительный механизм для поворота позиций. РТК с двухпозиционным столом целесообразно применять для легких изделий, преимущественно небольших габаритных размеров. Поворотные барабаны применимы для сварки длинных изделий типа балок и рам. Двух- и многоместные компоновки с двухпозиционными столами позволят на одном месте

выполнять сварку с высокой степенью использования фонда времени робота и оператора, а на другом — вести переналадку на другие изделия. Простой робота и сварочного оборудования в последнем случае существенно сокращаются за счет совмещения времени на переналадку со временем сварки других изделий.

При большом объеме и темпе выпуска продукции и значительной трудоемкости сварки изделия требуются роботизированные сварочные линии. Так, роботизированная линия для сварки рамы автомобиля-вездехода [8] состоит из трех сварочных позиций, каждая из которых обслуживается четырьмя роботами для дуговой сварки (рис. 2.24). Кроме того, еще четыре робота выполняют сварку подборок, поступающих на основную линию.

Как известно, наиболее эффективна комплексная автоматизация и роботизация. Комплексные гибкие производственные системы сварочного производства должны охватить в общем случае следующие вспомогательные операции: сборку под сварку; загрузочно-разгрузочные работы, связанные с подачей заготовок в зону сборки или сварки и выводом из этой зоны собранных или сваренных конструкций; складирование заготовок, подготовленных к сварке, и сваренных конструкций до передачи их на следующие производственные участки; складирование и замену (переналад-

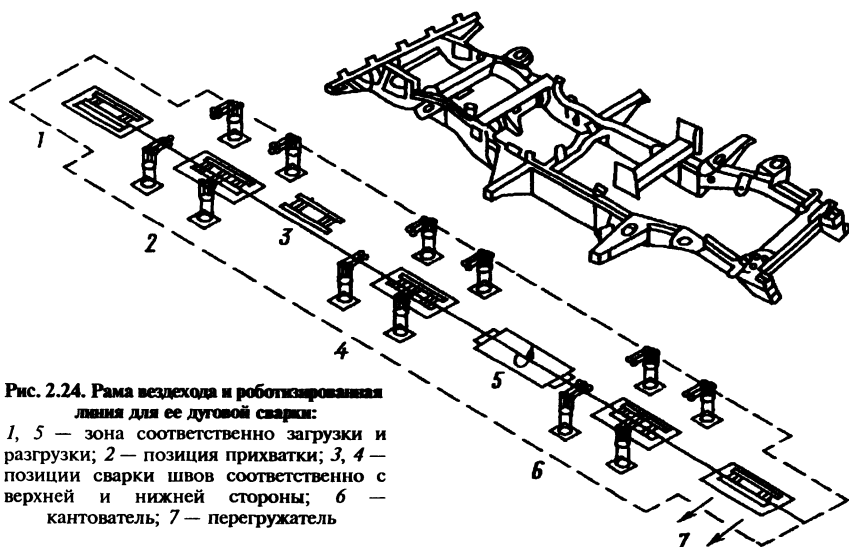


Рис. 2.24. Рама вездехода и роботизированная линия для ее дуговой сварки:

1, 5 — зона соответственно загрузки и разгрузки; 2 — позиция прихватки; 3, 4 — позиции сварки швов соответственно с верхней и нижней стороны; 6 — кантователь; 7 — перегружатель

ку) оснастки; межоперационную транспортировку.

При сборке под сварку необходимо манипулировать деталями, имеющими значительно меньшую точность изготовления и жесткость, худшую обработку (заусенцы, забоины, необработанные поверхности и др.), менее компактную форму (полосовые и стержневые элементы) по сравнению с деталями, являющимися объектами роботизированных сборочных операций в других областях машиностроения и приборостроения.

Автоматизация сборки под сварку и установки свариваемых деталей и конструкций в положение сварки представляет собой во многих случаях весьма сложную задачу. Поэтому при дуговой сварке находят применение гибкие системы, в которых операции сборки под сварку выполняются вручную. Примером та-

кой системы является гибкая сварочная система фирмы Вествуд (рис. 2.25). Система с роботизированным рабочим местом с двухэтажным асинхронным роликовым конвейером и двумя подъемниками в начале и в конце конвейера предназначена для сварки конструкций небольших габаритных размеров без изменения их ориентации при сварке. Свариваемые конструкции закрепляются на стальных плитах размером 762×1220 мм с сеткой отверстий диаметром 8 мм, расположенных с шагом $(25,4 \pm 0,025)$ мм.

Каждая плита имеет на боковой стороне шестипозиционный код для идентификации ее и закрепленной на ней детали при подаче на сварочную позицию. Оператор снимает с плиты, прошедшей позицию сварки, сваренную конструкцию, загружает детали следующего экземпляра этой же конструкции и нажимает

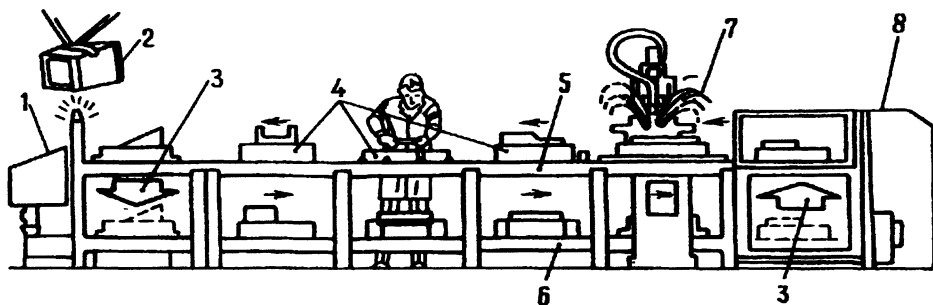


Рис. 2.25. Гибкая производственная система для дуговой сварки (фирма Вествуд, Великобритания):

1 — система управления; 2 — видеомонитор; 3 — подъемник; 4 — позиция разгрузки-загрузки; 5 — верхний конвейер; 6 — конвейер с подготовленными под сварку изделиями; 7 — позиция роботизированной сварки; 8 — система управления роботом

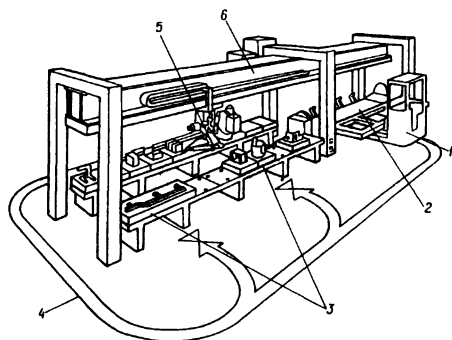


Рис. 2.26. ГПС для дуговой сварки с гибким транспортом:

1 — роботар; 2 — программно-управляемый горизонтальный вращатель; 3 — позиции сварки без переориентации изделия; 4 — траектория движения робота; 5 — сварочный робот; 6 — портал с направляющими для перемещения робота вдоль позиций

кнопку "готово". Плита перемещается в сторону левого подъемника. Если последний свободен, он опускает плиту на нижний конвейер, являющийся накопителем. Первый подъемник поднимает плиту на уровень верхнего конвейера и, когда сварочная позиция освобождается от очередной плиты, следующая поступает в зону сварки. Порядок сварки различных деталей произвольный.

Система может работать без участия человека в течение отрезка времени, определяемого числом загруженных плит и общим временем сварки изделий. С увеличением длины конвейера возрастает время работы системы без участия человека.

Гибкая сварочная система с роботизированным транспортом (роботарами) показана на рис. 2.26. Детали собираются под сварку на плитах на отдельных рабочих местах. После этого с помощью роликового конвейера перемещаются в положение, где они поднимаются роботарами и переносятся в позицию сварки гибкой сварочной системы. Таких позиций в системе несколько, причем одна из них представляет собой программно-управляемый горизонтальный вращатель для рамных конструкций, которые необходимо кантовать во время сварки. Если все позиции сварки заняты, собранные конструкции поступают в буферный склад. Система способна вести сварку в любом порядке 50-ти различных изделий. Работа системы в автоматическом режиме может продолжаться две рабочие смены [9].

2.8. ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ

Применение роботов, РТК и гибких систем для дуговой сварки является одним из основных направлений автоматизации производственных процессов в условиях серийного и крупносерийного выпуска конструкций со швами сложной формы и большим числом

швов пространственного положения. Анализ состояния робототехники для дуговой сварки за последние годы позволяет выявить следующие тенденции развития этого направления.

— Создание сварочных РТК с большим числом степеней подвижности. Сварочные роботы с шестью степенями подвижности, выполненные в угловой системе координат, почти полностью вытеснили пятистепенные роботы. При необходимости сварки конструкций больших габаритных размеров шестистепенные роботы устанавливают на одно-, двух- и трехкоординатные манипуляторы-расширители рабочей зоны, построенные в прямоугольной системе координат. Такие манипуляторы-расширители могут нести больше двух роботов при перемещении каждого из них независимо от других по одной, двум или трем координатам. Только для манипулирования горелками в одном РТК с двумя роботами может использоваться до 18 степеней подвижности. Манипулятор изделия обычно имеет одну, две, реже три или четыре степени подвижности. В одном РТК может быть несколько манипуляторов изделия.

В связи с этим система управления современными роботами предусматривает управление шестью собственными подвижностями и несколькими внешними с тенденцией увеличения общего числа управляемых координат.

— Создание и совершенствование источников питания, позволяющих осуществлять импульсный дуговой сварочный процесс при управлении переносом электродного металла на уровне объема капель и частоты их отрыва от электрода, что обеспечивает возможность сварки в различных пространственных положениях с минимальным разбрызгиванием и требуемым формированием сварного шва.

— Переход к сварочному оборудованию для роботов для дуговой сварки, позволяющему использовать катушки массой до 400 кг, которое предусматривает автоматическую размотку сварочной проволоки.

— Оснащение сварочного оборудования для роботов различными датчиками параметров сварочного процесса и состояния элементов сварочного оборудования, что обеспечивает свободное, практически бесступенчатое программирование параметров процесса сварки и позволяет повысить качество сварки и осуществлять технологическую адаптацию.

— Применение наряду с глубоко регулируемым транзисторным приводом на базе высокомагнитных двигателей постоянного тока вентильного привода с бесколлекторным двигателем и асинхронного глубоко регулируемого привода.

Использование непосредственного привода на основе низкооборотных высокомоментных двигателей позволяет полностью исключить механические, повысив точность и скорость обработки. Прецизионные зубчатые передачи, шарико- и роликовинтовые и волновые передачи вытесняются циклоидными передачами

благодаря их высокому КПД, компактности, долговечности.

— Развитие систем управления роботами и РТК в направлении упрощения взаимодействия человека с роботом, прежде всего в режимах программирования, а также поиска и устранения неисправностей. Это требует усложнения систем управления и особенно их математического и программного обеспечения, но благодаря быстрому совершенствованию микроэлектроники такое усложнение не ведет к удорожанию средств робототехники. Дальнейшее развитие средств внешнего программирования позволяет увеличить коэффициент использования времени РТК и их интегрирование с системами автоматического проектирования сварных конструкций.

— Развитие методов и средств геометрической адаптации преимущественно в направлении совершенствования двух типов средств измерения положения линии соединения: с использованием сварочной дуги в качестве датчика различных видеосенсорных измерителей. Возможно использование адаптивных систем, основанных на измерении интенсивности и формы тепловых полей вблизи зоны сварки. Интерес представляют системы технологической адаптации, позволяющие получать шов стабильного качества в условиях, когда зазор в соединении и другие геометрические параметры разделки изменяются случайным образом.

— В области практического применения роботов в сварочном производстве можно отметить следующие тенденции:

применение для сварки одного изделия одновременно нескольких роботов, что повышает производительность рабочего места, сокращает требуемую производственную площадь и время на перемещение изделия от одного робота к другому;

создание РТК, в которых совмещаются несколько разнородных операций: сборка и сварка, обработка и сварка, сварка и зачистка места сварки, сварка и контроль качества сварки;

переход к комплексной роботизации производства сварных конструкций, включая роботизацию заготовительных, сборочных, сварочных, контрольных, транспортных и складских операций;

дальнейшее повышение гибкости РТК вплоть до автоматической системы управления не только сварочными инструментами и захватами, но и сборочно-сварочными приспособлениями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Асфаль Р. Роботы и автоматизация производства. М.: Машиностроение, 1989, 448 с.
2. Краснопрошина А. А., Скаржепа В. А., Яковлев В. Б. Электрические элементы систем управления промышленными роботами /

Под ред. А. А. Краснопрошиной. Киев: Вища школа, 1990. 248 с.

3. Куркин С. А., Ховов В. М., Рыбачук А. М. Технология, механизация и автоматизация производства сварных конструкций. М.: Машиностроение, 1989. 328 с.

4. Механика промышленных роботов. Т. 1—3 / Е. И. Воробьев и др. М.: Высшая школа, 1988, 1989. 304, 367, 383 с.

5. Робототехника и гибкие автоматизированные производства. Т.3 // Управление робототехническими системами и гибкими автоматизированными производствами / И. М. Макаров, В. З. Рахманкулов, В. М. Назаретов и др.: Под ред. И. М. Макарова, М.: Высшая школа, 1986. 159 с.

6. Сварочные роботы / В. Геттерт, Г. Герден, Х. Гюттнер и др.; Под ред. Г. Гердена. М.: Машиностроение, 1988. 288 с.

7. Скотт П. Промышленные роботы — переворот в производстве. М.: Экономика, 1987. 304 с.

8. Справочник по промышленной робототехнике. Т. 1, 2 / Под ред. Ш. Нофа. М.: Машиностроение, 1989, 1990. 480 с.

9. Спыну Г. А. Промышленные роботы. Конструирование и применение. Киев: Вища школа, 1991. 311 с.

10. Тимченко В. А., Сухомлин А. А. Роботизация сварочного производства. Киев: Техника, 1988. 175 с.

11. Фу К., Гонсалес Р., Ли К. Робототехника. М.: Мир, 1989. 624 с.

Глава 3

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ СВАРКИ И НАПЛАВКИ

3.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

При электрошлаковой сварке и наплавке (ЭШС и ЭШН) шов образуется в пространстве между свариваемыми кромками, искусственно ограниченном формирующими приспособлениями, удерживающими ванну расплавленного металла до ее затвердевания. Эти процессы, как правило, ведут при вертикальном или близком к нему положении изделий. Кромки расположены вертикально или под углом до 30° к вертикали [1]. Вследствие практической неограниченной толщины металла можно значительно расширить область применения механизированной или автоматической сварки.

В качестве оборудования для ЭШС и ЭШН, подобно оборудованию для дуговой сварки, применяют сварочные аппараты (полуавтоматы и автоматы), станки и установки. Процесс сварки предусматривает одновременное выполнение следующих операций: нагрев шлаковой ванны свариваемых кромок и присадочного материала до температуры их плавления; подачу в зазор между кромкой электродного и дополнительного металла; подвод к

электроду сварочного тока; удержание сварочной ванны в зоре до ее затвердевания; перемещение источника нагрева и формирующих сварное соединение устройств по мере образования шва; возвратно-поступательное перемещение источника нагрева в зоре для равномерного проплавления кромок толстого металла и др. Эти операции выполняет сварочный аппарат: при выполнении всех перечисленных функций — это сварочный автомат, а при выполнении только некоторых из них — это полуавтомат.

В состав сварочных (наплавочных) аппаратов для ЭШС входят: сварочная головка; устройства для принудительного удержания сварочной ванны в зоре между кромками и формирования шва; механизмы для перемещения сварочного аппарата и других систем по вертикали, вдоль свариваемых кромок; источники питания, характеристики и параметры которых обеспечивают устойчивость процесса; механизмы возвратно-поступательного перемещения (колебания) электродов по толщине свариваемого металла; вспомогательные устройства (бункер для флюса, катушки для сварочной проволоки, элементы управления).

Электрошлаковая сварка металла толщиной менее 20 мм не всегда целесообразна, а иногда и невозможна, так как для устойчивости процесса нужна шлаковая ванна определенного объема.

В связи с необходимостью во многих случаях выполнения ЭШС на большой высоте (более 2 м) изделий преимущественно со значительными размерами, большой массой и связанной с этим длительной (до 24 ч) работе, а также недопустимости вынужденных остановок (прекращения процесса), вызывающих образование неисправимых или трудноисправимых дефектов, возникает необходимость в повышенной надежности оборудования. При сварке уникальных толстостенных конструкций (кольцевых и прямолинейных соединений) установки оснащают сварочным оборудованием, дублирующим все основные элементы сварочных автоматов, источников питания и установок, что обеспечивает непрерывность процесса сварки и наплавки.

При организации участка, оборудованного соответствующими установками, следует придерживаться следующих общих правил.

Участок необходимо располагать в непосредственной близости от печей или устройств для высокотемпературной обработки сварных изделий.

Для безопасности установки должны располагаться в торце пролета, либо около цеховых колонн с таким учетом, чтобы исключалась возможность переноски грузов цеховыми кранами над установкой во время ее работы.

На участке необходимо иметь устройства для предварительного подогрева свариваемых деталей, пункты ручной дуговой сварки и резки, станок для намотки и очистки проволоки, систему автономного водоснабжения формирующих устройств и источников питания.

3.2. КЛАССИФИКАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ

Аппараты для электрошлаковой сварки (наплавки) можно классифицировать по следующим признакам: по степени механизации — полуавтоматические и автоматические; по способу перемещения аппарата — самоходные (рельсовые и безрельсовые) и подвесные. Аппараты рельсового типа движутся по зубчатой рейке или прокатному уголку, которые устанавливаются параллельно свариваемым кромкам, а аппараты безрельсового типа движутся непосредственно по свариваемым кромкам или самому изделию. Аппараты подвесного типа (для плавящегося мундштука) крепятся на установке или на самом свариваемом изделии; по виду электродов — с проволочным электродом, пластинчатым электродом и плавящимся мундштуком (ГОСТ 19521—74).

Некоторые автоматы универсальны, так как ими можно производить сварку проволочным электродом или пластиной, пластиной или плавящимся мундштуком. В аппаратах для сварки проволочными электродами используются одна или несколько проволок, а в аппаратах для сварки пластинчатыми электродами — пластины большого сечения, соизмеримого с размерами зора. Обычно для равномерной загрузки трех фаз переменного тока применяют сварку тремя пластинчатыми электродами. Аппараты для сварки пластинчатыми электродами не имеют механизма перемещения и осуществляют только их подачу в зону сварки пластин по мере расплавления и имеют вид станков. В аппаратах для сварки плавящимся мундштуком расплавляемые электродные пластины одновременно выполняют функции мундштуков. Пластины имеют направляющие трубки, по которым в шлаковую ванну подаются электродные проволоки. В процессе сварки пластины остаются неподвижными, а недостаток металла для заполнения зора компенсируется подачей проволоки.

Установки и аппараты для ЭШС и ЭШН подразделяют на универсальные и специальные. По типу выполняемых швов различают установки для прямолинейных и кольцевых швов, а также швов сложной конфигурации [1, 8, 9].

Установки для ЭШС и ЭШН прямолинейных швов состоят, как правило, из следующих элементов: комплектов сварочной аппаратуры и технологической оснастки; стелла для сборки или крепления собранных под сварку деталей; устройства для крепления и перемещения сварочного аппарата; приспособлений для перемещения оператора во время работы. Установки для ЭШС и ЭШН кольцевых швов обычно состоят из таких элементов: комплектов сварочной аппаратуры и технологической оснастки; роликового стелла для вращения цилиндрических изделий в процессе сварки; торцового вращателя или привода роликового стелла; устройства для размещения сварочной аппаратуры и обслуживающего персонала; приспособления для размещения резчика.

В зависимости от степени механизации и автоматизации сварочные (наплавочные) установки делятся на три класса: 1) установки, у которых все сборочно-сварочные операции выполняются механизмами установки. Переналадка установки с одного вида изделия на другое механизирована. Цеховые краны используются только для установки и снятия изделий. Их использование для других целей возможно как исключение; 2) установки, у которых сборка изделия под сварку и переналадка установки осуществляются цеховым краном; 3) установки, у которых не только сборка изделия под сварку и переналадка установки, но и размещение сварочного аппарата на изделии или около него для выполнения шва производятся цеховым краном [1].

При выборе типа установки следует учитывать, что в связи с высокой производительностью процесса ЭШС при большой массе свариваемых деталей и малосерийном характере производства основная часть времени (около 70...80%) в общем цикле производства сварной детали приходится на вспомогательные и подготовительно-сборочные операции. Для существенного сокращения вспомогательного времени следует применять установки второго и первого классов, что позволяет сократить вспомогательное время (до 30% общего времени сварки). Однако такие установки имеют высокую стоимость, и целесообразность их применения определяется нагрузкой.

В настоящее время наибольшее распространение получили универсальные установки второго класса, средняя их нагрузка составляет 30...40%.

3.3. ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ СВАРКИ

При ЭШС энергия, необходимая для плавления металла, поступает из ванны жидкого шлака, находящейся между кромками свариваемого металла. Расплавление и нагрев шлака происходят в результате прохождения через него электрического тока в цепи источника питания электрода и свариваемого металла. Холодный шлак в большинстве случаев — изолятор, а расплавленный обладает ионной проводимостью. Электропроводность шлака, определяемая концентрацией и подвижностью положительных и отрицательных ионов, с ростом температуры существенно возрастает. Основная доля сварочного тока приходится на более нагретую часть расплавленного шлака между торцом электрода и поверхностью жидкой металлической ванны. С увеличением скорости подачи плавящегося электрода сила сварочного тока, температура и проводимость шлака увеличиваются.

В качестве электрической нагрузки источника питания шлаковая ванна представляет собой нелинейное активное сопротивление. На мгновенных значениях силы тока и напряжения нелинейность не отражается из-за большой тепловой инерции шлаковой ванны. При сварке переменным током кривые силы тока

и напряжения сохраняют синусоидальную форму и совпадают по фазе. Статическая вольт-амперная характеристика шлаковой ванны падающая, что объясняется ярко выраженной зависимостью проводимости шлака от температуры. Образование шлаковой ванны между кромками свариваемого металла, как правило, осуществляется за счет теплоты дуги, зажигаемой между электродом и изделием. После образования достаточного количества расплавленного шлака для быстрого перехода от дугового процесса к электрошлаковому необходимы условия, препятствующие стабильному горению дуги. Низкое напряжение холостого хода источника переменного тока, наличие активного сопротивления, шунтирующего дуговой промежуток (расплавленный шлак) обеспечиваются при использовании в качестве источника питания трансформатора с жесткими внешними характеристиками и невысоким напряжением холостого хода.

В отличие от дугового разряда, электрошлаковая ванна хотя и имеет падающую внешнюю характеристику, вполне устойчива при жесткой внешней характеристике источника питания (равно как и при полого- и крутопадающей). Сварочные трансформаторы с жесткими (пологопадающими) внешними характеристиками обладают меньшим весом при более высоком КПД и близким к единице коэффициентом мощности. Технологические преимущества трансформатора с жесткой внешней характеристикой заключаются в обеспечении интенсивного саморегулирования нагрева и плавления металла, быстрого и надежного установления электрошлакового процесса при незначительной скорости подачи плавящихся электродов, простой технике подбора заданного режима сварки.

Для сварки применяются одно- и трехфазные трансформаторы. Получили также распространение трехфазные трансформаторы, приспособленные для работы в однофазном режиме при удвоенной номинальной силе сварочного тока. Особенность трансформаторов для электрошлаковой сварки — широкий диапазон регулирования вторичного напряжения. По способам регулирования напряжения они подразделяются на две группы: с секционированными обмотками, ступенчатым регулированием и с плавным амплитудным регулированием.

Трансформаторы со ступенчатым регулированием напряжения. К этой группе относятся трансформаторы типов ТШС-1000-1 и ТШС-1000-3. Они предназначены для питания автоматов переменным током. Трансформаторы типа ТШС-1000-3 обеспечивают питание трехфазным током до 1000 А в каждой фазе. После соответствующего переключения трансформатор ТШС-1000-3 может работать как однофазный с номинальной силой тока 2000 А. Технические данные трансформаторов ТШС-1000-1 У4 и ТШС-1000-3 УХЛ4 приведены в табл. 3.1.

3.1. Техническая характеристика трансформаторов ТПС-1000-1 У4 и ТПС-1000-3 УХЛ4

Параметры	ТПС-1000-1 У4	ТПС-1000-3 УХЛ4
Напряжение трехфазной питающей сети, В	380	380
Частота питающей сети, Гц	50	50
Наибольшая потребляемая мощность, кВт	54	180
Максимальная сила потребляемого от сети тока, А	145	275
Сила сварочного тока при ПВ-100 %, А	900	900
Номинальная сила сварочного тока при ПВ-80 %, А	1000	1000
Пределы ступенчатого регулирования вторичного напряжения холостого хода, В	38... 62	38... 62
Число ступеней	18	18
Охлаждение	Воздушно-принудительное	
Габаритные размеры, мм	875×690×1150	1442×1000×1763
Масса, кг	490	1250

Вторичное напряжение трансформаторов регулируется переключением секционированных первичной и вторичной обмоток. В табл. 3.2 приведены значения вторичного напряжения в зависимости от включения того или иного числа витков первичной и вторичной обмоток для всех 18 ступеней переключения.

Трансформаторы с плавным регулированием напряжения. Трансформаторы этой группы (типов ТРМК-1000-1 и ТРМК-3000-1) предназначены для электрошлаковой сварки и электрошлакового переплава, могут применяться в электротермии.

Плавное регулирование напряжения осуществляется в пределах нескольких крупных ступеней, перспективно создание трансформаторов с плавным регулированием во всем диапазоне изменения напряжения. Трансформаторы типа ТРМК обеспечивают плавное регулирование напряжения на режиме холостого хода и под нагрузкой, а также стабилизацию вторичного напряжения. Ступенчатое регулирование достигается путем переключений витков вторичной обмотки. Плавное регулирова-

ние внутри каждого диапазона достигается изменением магнитного потока посредством подмагничивания постоянным током ярем трансформатора. Предусмотрена возможность дистанционного управления. Трансформатор типа ТРМК-3000-1 может работать в трех режимах: самостоятельно (автономный режим); параллельно с другим трансформатором того же типа в качестве задающего (органы управления задают режим сварки); параллельно с другим трансформатором в качестве ведомого трансформатора, работающего в режиме слежения за током нагрузки задающего. Технические данные трансформаторов ТРМК-1000-1 и ТРМК-3000-1 приведены в табл. 3.3.

Электрошлаковая сварка осуществляется также постоянным током. В этом случае используются источники питания с жесткими (пологопадающими) внешними характеристиками, обладающие достаточно широким диапазоном регулирования напряжения, применяемые для сварки под флюсом и многопостовой дуговой сварки. Так, достаточно широкое применение нашел сварочный выпрямитель ВДУ-1602 УЗ.

3.2. Значения вторичного напряжения, В, в зависимости от числа витков

Число витков первичной обмотки	Число витков вторичной обмотки		
	7	8	9
70	38,0	43,5	48,9
67	39,8	45,4	51,0
64	41,5	47,5	53,4
61	43,6	49,8	56,1
58	45,8	52,4	59,0
55	48,4	55,4	62,2

3.4. АППАРАТЫ ДЛЯ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ СВАРКИ И НАПЛАВКИ

Механизированная электрошлаковая сварка выполняется полуавтоматами предпочтительно при изготовлении простых конструкций из металла относительно небольшой толщины (до 50 мм). В промышленности применяются полуавтоматы А671Р и А820МК (табл. 3.4) [1, 12, 13].

Сварочный полуавтомат А671Р безрельсовый. Предназначен для электрошлаковой сварки в условиях монтажа и в труднодоступных местах стыковых соединений. Полуавтомат состоит из легкой сварочной головки, передвигаемой с помощью ручного привода вдоль свариваемых кромок, механизма подачи электродной проволоки через гибкий направ-

3.3. Технические данные трансформаторов ТРМК-1000-1 и ТРМК-3000-1

Параметры	ТРМК-1000-1	ТРМК-3000-1
Напряжение трехфазной питающей сети, В	380	380
Частота питающей сети, Гц	50	50
Номинальная мощность, кВт	70	190
Номинальная сила сварочного тока при ПВ-100 %, А	1000	3000
Номинальное сварочное напряжение, В	50	50
Пределы регулирования вторичного напряжения при режиме холостого хода трансформатора, В	24... 62	24... 62
Пределы регулирования вторичного напряжения при номинальной нагрузке, В	21... 57	18... 57
Число ступеней регулирования	3	3
Диапазон плавного регулирования в пределах ступени, В	16	16
Стабильность установленного вторичного напряжения (допустимое колебание напряжения сети +5, -10 %), %	± 1,5	± 1,5
Коэффициент мощности	0,9	0,92
Коэффициент полезного действия, %	93	96
Охлаждение	Воздушно-принудительное	
Габаритные размеры, мм	950×730×1600	1250×1200×1500
Масса, кг	700	1750

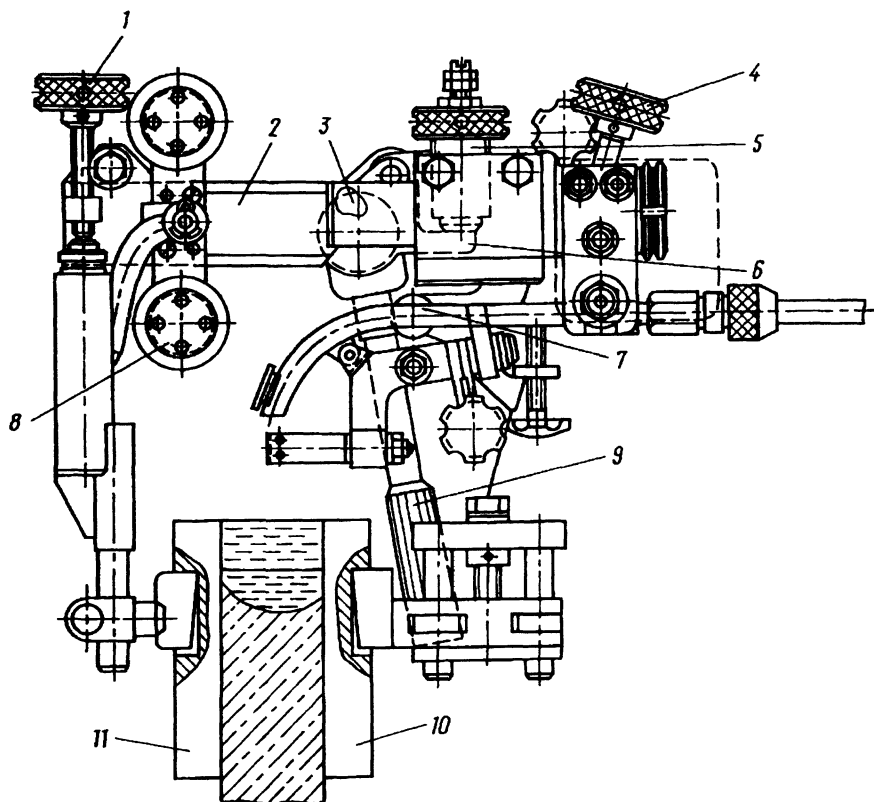


Рис. 3.1. Сварочная головка полуавтомата А671Р

3.4. Техническая характеристика полуавтоматов для электрошлаковой сварки

Параметры	A671P	A820МК*
Толщина свариваемого металла, мм	16... 50	18... 50
Номинальная сила сварочного тока ПВ-100 %, А	300... 700	700
Диаметр электрода, мм	2,5... 3	2,5... 3
Скорость подачи электрода, м/ч	250... 400	58... 580
Габаритные размеры, мм	350×200×300	350×250×650
Масса, кг	18,6	20
Источник питания	ВДУ-1001	

* Может использоваться для дуговой сварки металла толщиной 14... 20 мм.

ляющий канал, сварочных проводов и аппаратуры управления. Сварочная головка (рис. 3.1) состоит из двух тележек 6 и 8, связанных тягой 2, прижатых к свариваемым кромкам мощной пружиной 5 и перемещающихся с помощью рычага 9, который воздействует на ведущий ролик 3 ходовой тележки. Рычаг снабжен храповым механизмом. К передней тележке подвешен мундштук 7 и передний ползун 10, к задней тележке на пружинной подвеске 1 — ползун 11. Направление головки по стыку осуществляется копированием одной из кромок ребрами бегунков тележки 8. Прижим реборд бегунков достигается наклоном оси ролика 3 к направлению движения тележки таким образом, что головка стремится прижаться к копируемой кромке. Положение мундштука в зазоре задается винтовым корректором 4.

При сварке деталей, кромок которых имеют наплывы после газовой резки или собраны со значительными или неравномерными зазорами, использовать безрельсовые полуавтоматы А671Р затруднительно. В этих условиях необходимо применять полуавтоматы, движущиеся по рельсу.

Полуавтомат А820МК движется по расположенному рядом со стыком легкому рельсу 1 (рис. 3.2) — угловому прокату (уголку), который крепится к изделю короткими односторонними швами (прихватками). Движение вдоль стыка осуществляется рычажно-храповым механизмом 2. Вследствие некоторой гибкости уголка возможна сварка криволинейных швов со сравнительно большим радиусом кривизны.

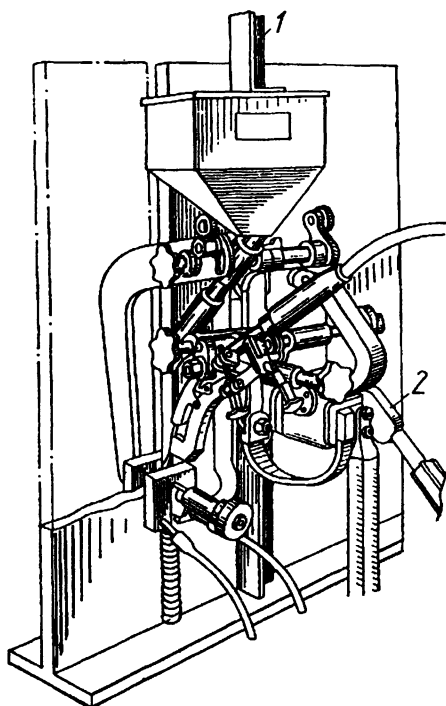


Рис. 3.2. Сварочный полуавтомат А820МК

3.5. АППАРАТЫ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ СВАРКИ И НАПЛАВКИ

Автоматы для ЭШС и ЭШН существенно отличаются от автоматов для дуговой сварки ввиду специфических особенностей: вертикального или близкого к нему положения шва; наличия в зазоре между кромками сварочной ванны; принудительному формированию шва; сварке за один проход металла практически неограниченной толщины; различной форме присадочного материала и др.

В связи с этим аппаратура для ЭШС содержит: устройства для принудительного удержания сварочной ванны в зазоре между кромками; механизмы для перемещения сварочной головки и других систем по вертикали, вдоль свариваемых кромок; источники питания, характеристики и параметры которых обеспечивают устойчивость процесса; механизмы перемещения электродов вдоль зеркала сварочной ванны для равномерного ее прогрева и, следо-

3.5. Техническая характеристика автоматов для электрошлаковой сварки

Параметры	Проволочный электрод					Плавящийся мунштук			
	A820MK	A535	AШ112	A1170	A501M	A645	A1304	AШ113	A550Y
Толщина свариваемого металла, мм	18... 70	50... 450	50... 450	50... 300	18... 100	200... 600	50 ... 400 50 ... 140	50 ... 700 50 ... 140	50... 220
Номинальная сила сварочного тока при ПВ-100 %, А	700	3×1000	3×1250	$\frac{2 \times 1000}{1500}$	750	$\frac{2000}{8000}$	$\frac{3000}{9000}$	$\frac{6 \times 1000}{9000}$	$\frac{3000}{10000}$
Диаметр электрода, мм (число)	2,5... 3 (1)	3 (3)	2... 3 (3)	$\frac{3(2)}{5(1)}$	2,5 (1)	3 (6)	$\frac{3(4)}{9(2)}$	$\frac{3(6)}{9(1)}$	Менее 200 (20)
Скорость подачи электрода, м/ч	58... 580	65... 480	72... 720	65... 480	100... 300	62... 154	$\frac{14 ... 138}{30 ... 306}$	$\frac{30 ... 200}{50 ... 370}$	$\frac{0,8 ... 10}{2,5 ... 30}$
Скорость сварки, м/ч	4... 15	0,4... 9	0,4... 9	0,15... 9	1... 9	—	—	—	—
Габаритные размеры, мм	350×250××650	1600×820×1070	780×510××820	220×280××420	370×400××360	500×340×800	347×240×843 (каждой головки)	1200×575××3800	600
Масса, кг	20	380	350	25	35	ТШС-1001-3 или 3000-3	$\frac{ТШС-3000-1}{3000-1(3)}$	ТШС-3000-3 или ТШП-10000-1	ТШС-3000-1
Источник питания	ВДУ-1001	ТШС-1000-3	ВДУ-1202* или 1602**	ТШС-1000-3	ВДУ-1001	ТШС-1001-3 или 3000-3	ТШС-3000-1	ТШС-3000-3 или ТШП-10000-1	ТШС-3000-1

* На каждый электрод.

** Ширина.

Примечание. В числителе даны значения для стали, а в знаменателе — для алюминия.

вательно, для получения равномерного провара кромок.

Ниже рассмотрены особенности автоматов, предназначенных для серийного производства (табл. 3.5) [1, 8, 12, 13].

Автомат А820МК предназначен для автоматической ЭШС вертикальных швов металла, полуавтоматической ЭШС, если вместо привода вертикального перемещения с помощью электродвигателя установить рычажно-храповой механизм перемещения, электродуговой сварки под флюсом с принудительным формированием шва металла толщиной 14...20 мм. Полуавтомат перемещается по уголку из проката, приваренного короткими односторонними швами к изделию.

Автомат А535 предназначен для сварки прямолинейных и кольцевых швов стыковых, угловых и тавровых соединений. Сварка ведется электродными проволоками швов любой длины. Единственным ограничением является вместимость катушек с учетом повышенного расхода электродной проволоки. Сварка осуществляется одним, двумя или тремя электродами. Автомат А535 во время сварки движется по рельсовой колонне, которая может крепиться непосредственно к изделию или к специальной несущей конструкции. Для сварки кольцевых швов прямые ползуны заменяются кольцевыми.

Автомат АШ112 (рис. 3.3) — универсальный трехэлектродный автомат, предназначенный для сварки прямолинейных и кольцевых швов углеродистых и легированных сталей. Вдоль стыка автомат перемещается подобно аппарату А535 по рельсовой колонне (рис. 3.3). Автомат снабжен тремя (на каждую электродную проволоку) индивидуальными приводами подачи проволоки, обеспечивает механизированное изменение "сухого" вылета электродной проволоки в процессе сварки. Автомат имеет систему автоматизированного контроля на базе микропроцессора с возможностью применения электронного программатора параметров режима сварки, а также индикатор уровня жидкой металлической ванны для автоматизации перемещения автомата вдоль шва.

Автомат А1170 — рельсовый, унифицированный.

Автомат А501М — безрельсовый магнитошагающий; предназначен для сварки угловых, тавровых и стыковых швов металла. При сварке угловых швов поверхность одной из свариваемых кромок копируется магнитами, а другая — ползуном и копирующим роликом. При сварке стыковых швов параллельно одной из кромок устанавливается копирная линейка.

Автоматы А645 и А1304 (рис. 3.4) предназначены для сварки плавящимся электродом изделий из стали или алюминия прямого или сложного профиля, в частности с поверхно-

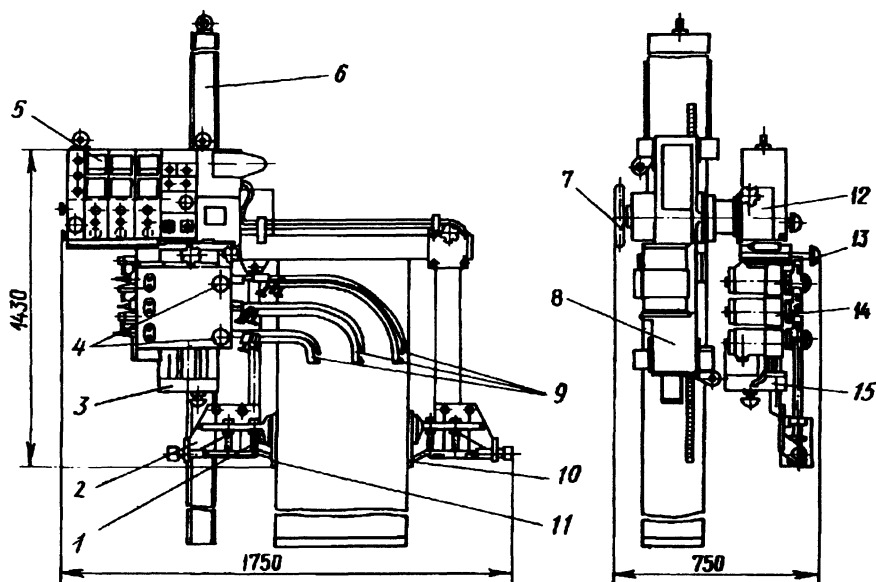


Рис. 3.3. Автомат АШ112 для электрошлаковой сварки:

1 — индикатор уровня; 2 — передняя подвеска; 3 — задняя подвеска; 4 — корректор мундштуков; 5 — пульт управления; 6 — рельсовый путь; 7 — поперечный корректор; 8 — ходовой механизм; 9 — мундштуки; 10 — задний ползун; 11 — передний ползун; 12 — механизм возбуждения колебаний; 13 — корректор мундштуков; 14 — механизм подачи; 15 — механизм изменения "сухого" вылета электродных проволок

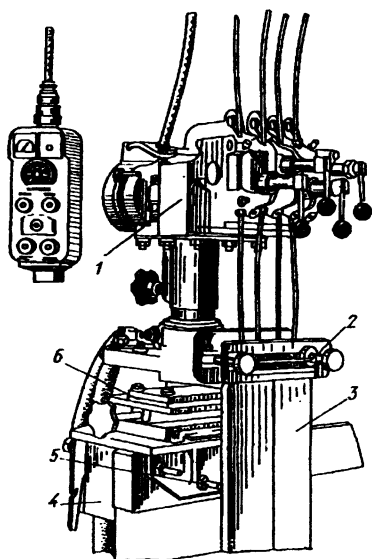


Рис. 3.4. Автомат А1304 для электрошлаковой сварки плавящимся мундштуком:

1 — механизм подачи; 2 — токоподвод; 3 — мундштук; 4 — изделие; 5 — трубина; 6 — суппорт

стями переменной кривизны, изделий с труднодоступными швами и неровной поверхностью (отливки), а также для выполнения ремонтных работ. Они допускают три варианта подачи электродной проволоки: непосредственно в каналы плавящегося мундштука; через полужесткие шланги; через гибкие шланги.

Автомат АШ113 оригинальной конструкции (не имеет зарубежных аналогов), имеет повышенную надежность осуществления электрошлакового процесса при сварке протяженных швов благодаря дублированию механизмов подачи проволоки. Автомат (рис. 3.5) состоит из двух отдельных трехэлектродных подающих механизмов, которые могут использоваться как взаиморезервируемые при сварке изделий со швами большой протяженности.

При сварке сравнительно коротких швов изделий толщиной до 700 мм подающие механизмы устанавливают рядом (рис. 3.5, а) и сварка ведется шестью электродными проволоками одновременно. При сварке изделий со швами большой протяженности подающие механизмы располагаются друг над другом (рис. 3.5, б), а в плавящемся мундштуке предусматриваются двойные каналы для подачи электродной проволоки. Автомат имеет разъем между подающими и прижимными роликами по плос-

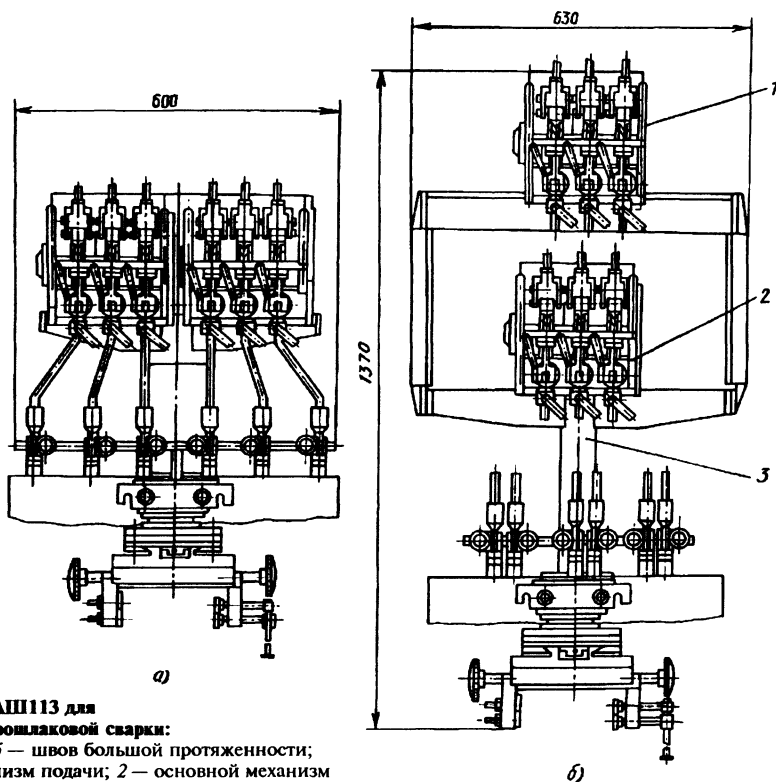


Рис. 3.5. Автомат АШ113 для электрошлаковой сварки:

а — коротких швов; б — швов большой протяженности; 1 — дублирующий механизм подачи; 2 — основной механизм подачи; 3 — стойка

кости подаваемых проволок, что позволяет при сварке с дублированием, вышедшую из строя головку снять с рабочего места для ремонта без остановки процесса сварки, т. е. без разрезания электродных проволок.

Автомат А550У имеет несколько исполнений, предназначен для сварки пластинчатым электродом изделий из низкоуглеродистых, легированных и коррозионностойких сталей, а также из титана, меди и их сплавов. Автомат предназначен для сварки одним пластинчатым электродом, но может быть снабжен приспособлением, позволяющим выполнять сварку тремя электродами, включенными по трехфазной схеме.

3.6. УСТАНОВКИ И СТАНКИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ СВАРКИ И НАПЛАВКИ

Компоновка и конструкция установок и станков для ЭШС и ЭШН определяются следующими условиями: необходимостью проведения операций во многих случаях на большой высоте, поскольку изделия для сварки продольных швов должны устанавливаться в вертикальное положение; способом выполнения сварки (проволокой, пластиной и др.); способами удержания сварочной ванны в зазоре между кромками. Следует учитывать, что сварка может проводиться как в производственных, так и в монтажных условиях [1, 12]. Установки предназначены в основном для сварки проволочными электродами вертикальных швов большой длины. Поэтому кроме устройств для укладки и кантовки изделия предусматри-

ваются подъемные площадки для сварщика и средства, определяющие положение сварочного автомата относительно шва.

На рис. 3.6 представлена схема типовой установки второго класса для электрошлаковой сварки в заводских условиях прямолинейных швов плоских изделий в виде "карт" с толщиной свариваемого металла менее 500 мм, разработанная в ИЭС им. Е. О. Патона. Установка комплектуется автоматом 4 типа А535 и источником питания типа ТШС-1000-3. Собранное на отдельном участке изделие крепится на стенде 2 механическими захватами. Стенд снабжен корректирующими устройствами 1, позволяющими установить свариваемый стык в вертикальном положении. Колонна аппарата А535 закреплена сверху и снизу в специальном устройстве 3, позволяющем отводить аппарат и фиксировать колонну аппарата параллельно стыку. Удержание сварочной ванны в зазоре между кромками и формирование шва осуществляются передним и задним ползунами. Обратная сторона шва может формироваться также с помощью накладки.

Обслуживание аппарата в процессе сварки ведется с площадки 5, которая может вертикально перемещаться по направляющим независимо от аппарата А535. Скорость перемещения площадки равна 3 м/мин. Для обслуживания обратного ползуна предусмотрена стойка 6 с балконом. При установке изделия для сварки стойку 6 краном или вручную отводят в сторону. Установка обслуживается двумя операторами.

Пример компоновки типовой установки второго класса для электрошлаковой сварки в

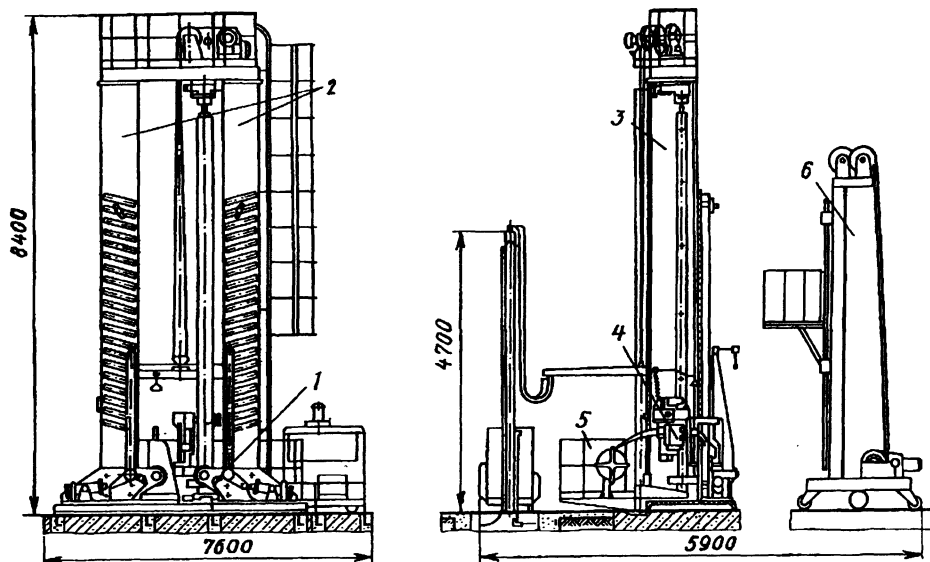


Рис. 3.6. Схема типовой установки для электрошлаковой сварки прямолинейных швов

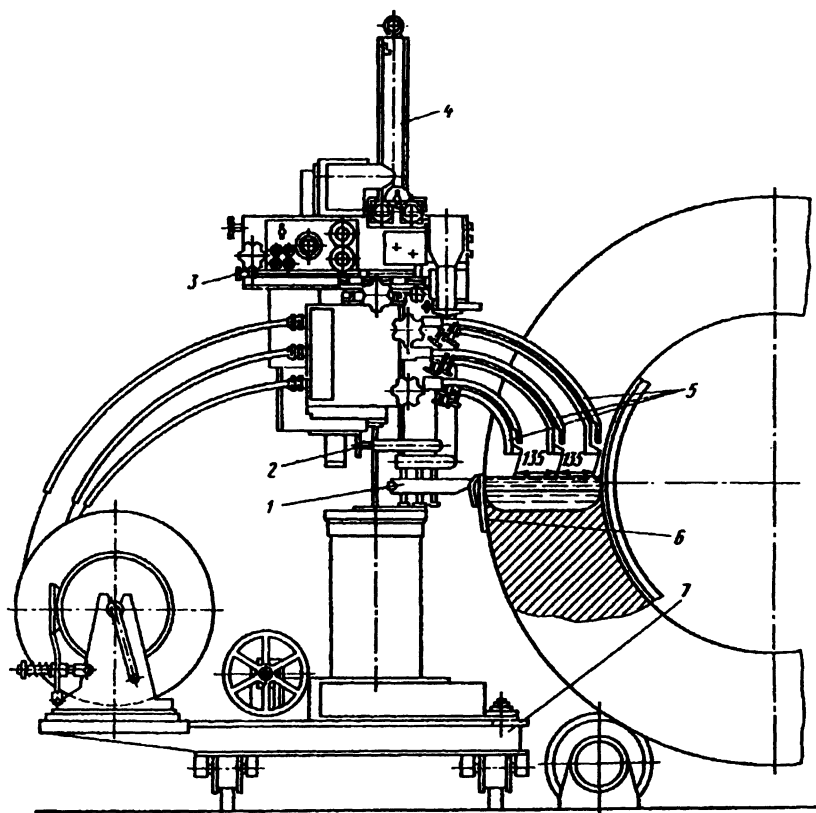


Рис. 3.7. Установка для электрошлаковой сварки кольцевых швов с автоматом А535:

1 — подвеска ползуна; 2 — корректор ползуна; 3 — корректор с плавающим винтом; 4 — рельс; 5 — мундштуки; 6 — передний ползун; 7 — тележка для установки автомата

заводских условиях с тем же автоматом А535, но для кольцевых швов, показан на рис. 3.7. При сварке кольцевых швов вращение изделия осуществляется с помощью роликового стенда или торцовым вращателем. Однако изделия большой массы чаще всего укладывают на мощные роликовые опоры или люнеты. Преимущество торцового вращателя в том, что он удерживает изделие от осевых перемещений, неизбежных в обычных роликовых стендах, а также в том, что он исключает пробуксовку тяжелого изделия на роликах. Тележка, на которой установлен автомат, служит для перемещения его от шва к шву. При сварке кольцевого шва для его замыкания автомат должен передвигаться в вертикальной плоскости. В автоматах рельсового типа эта операция выполняется их собственными механизмами; в подвесных — элементами установки [12].

Установки для сварки вертикальных и кольцевых швов в монтажных условиях значительно проще. Например, при сварке вертикальных швов в монтажных условиях используется, как правило, безрельсовый или легкий

рельсовый автомат. Рельс крепится непосредственно к свариваемому изделию. Для обслуживания автомата на высоте применяют типовую подъемную площадку, подвесную люльку или строительные леса. Установки для электрошлаковой сварки в монтажных условиях часто снабжают автономной замкнутой системой водяного охлаждения, состоящей из бака с охлаждающей жидкостью, насоса и радиатора. Все это необходимо, если на строительной площадке отсутствует водопровод или сварку следует проводить при пониженной температуре. В последнем случае для охлаждения формирующих устройств необходимо применять антифриз или 20%-ный раствор поваренной соли.

Установки для электрошлаковой сварки плавящимся мундштуком и пластинчатыми электродами предназначены, главным образом, для сварки крупногабаритных изделий из металла толщиной до 2 м при сравнительно небольшой длине шва. Они состоят из портала или консоли, на которых размещены механизмы подачи проволоки и катушки. Проволока

подаются автоматами А645, А1304 и др. В установках (станках) для сварки пластинчатым электродом применяют аппараты А550У, которые по мере расплавления пластин осуществляют их подачу.

Установки для электрошлаковой наплавки предназначены для наплавки плоских, цилиндрических и конических поверхностей, конструктивно они подобны рассмотренным выше. Особенностью этого оборудования является необходимость установки на наплавляемую деталь медной, керамической, графитовой или другой формы — кокиля с зазором между формой-кокилем и деталью, равным необходимой толщине наплавляемого слоя. Электродная проволока направляется в плавильное пространство с помощью автоматов А535, А1170 и др.

В качестве примера можно назвать действующую установку УД 413 для электрошлаковой наплавки листов [8].

3.7. АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРАМИ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ СВАРКИ

Эффективность применения ЭШС в значительной мере зависит от уровня ее автоматизации и управления при всем многообразии контролируемых и регулируемых параметров режима. Для качественного проведения процесса ЭШС протяженных швов прежде всего необходимы: стабилизация химического состава, рафинирующие свойств и электро-

проводимости шлаковой ванны на протяжении длительного времени; управление распределением количества теплоты в зоне сварки; контроль сварного зазора на уровне зеркала шлаковой ванны и скорости сварки; систематический контроль параметров процесса ЭШС; регулирование уровня жидкой металлической ванны. Сочетание этих факторов обуславливает создание АСУ процессом сварки (рис. 3.8).

Стабилизация химического состава шлаковой ванны. Химический состав шлака выбирается из условия обеспечения требуемых технологических и металлургических характеристик, которые незначительно изменяются в процессе сварки [3]. Многолетний опыт показывает, что несмотря на тщательный подбор композиций флюса, активные термодинамические и металлургические процессы при ЭШС приводят к заметному изменению химического состава шлаковой ванны (рис. 3.9, а).

Стабилизация химического состава шлаковой ванны достигается добавкой отдельных компонентов, количество которых наиболее значительно уменьшается в процессе сварки и которые существенно влияют на основные физико-химические свойства шлака. При ЭШС

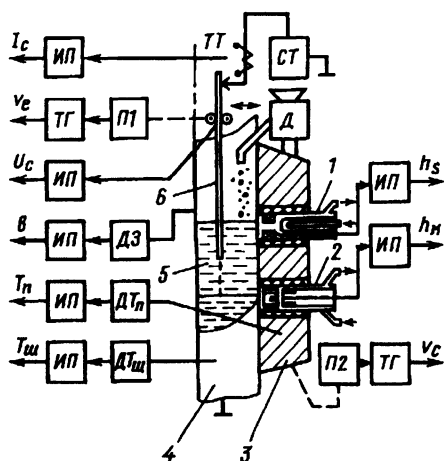


Рис. 3.8. Информационные потоки при ЭШС:

1 и 2 — датчик соответственно теплового потока и уровня жидкого металла; 3 — формирующий ползун; 4 — сварной шов; 5 — шлаковая ванна; 6 — электродная проволока; СТ — сварочный трансформатор; Д — дозатор шлака; ТТ — трансформаторы тока; ТГ — тахогенератор; ДЗ, ДТ_п и ДТ_ш — датчик соответственно ширины зазора, температуры ползуна и температуры шва; П1 и П2 — приводы подачи соответственно проволоки и формирующего ползуна; ИП — измерительные преобразователи

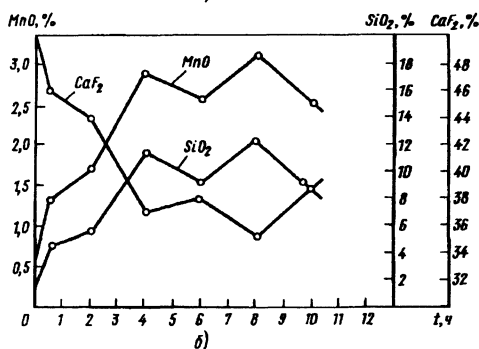
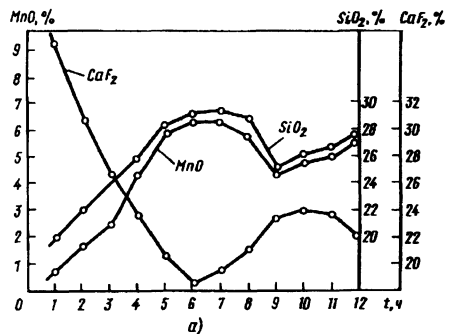


Рис. 3.9. Изменение во времени массовой доли компонентов шлаковой ванны при ЭШС стали 10ГН2МФА:

а — без дозирования компонентов; б — при дозировании CaF₂

низколегированных сталей на флюсах АН-9У, 480Ф-6 таким компонентом шлака является прежде всего CaF_2 . Установлено, что в течение 1 ч сварки потери составляют примерно 15% его общей массовой доли в исходном флюсе.

Дозирование CaF_2 осуществляется дозатором порционного типа автоматически по времени сварки или по длине стыка дозами в 15 г. Добавка в шлаковую ванну заданного количества способствует стабилизации химического состава практически по всем компонентам (рис. 3.9, б). При этом достигается высокая устойчивость процесса и обеспечиваются одинаковые механические свойства по длине шва на уровне предъявляемых требований.

Управление распределением количества теплоты в зоне сварки. При ЭШС элементов больших толщин (190...450 мм) из легированных сталей для энергетического машиностроения двумя или тремя электродами с возвратно-поступательным перемещением их в зазоре в ряде случаев имеет место неравномерное распределение количества теплоты, что приводит к образованию провара с различной шириной в середине и по краям шва (рис. 3.10, а), в результате чего ухудшаются свойства сварных соединений [2].

Для устранения этого недостатка используют принудительное перераспределение энергии источников сварочного нагрева в зоне сварки, снижая мощность P на среднем электроде 2 на 10...30% и периодически изменяя подвод теплоты в шлаке на крайних электродах 1 и 3 путем синфазного изменения напряжения и скорости подачи этих электродов с помощью блока мощности (рис. 3.11).

Повышение мощности $P_{ш}$ до 130% при нахождении крайних электродов у ползунов способствует выравниванию ширины провара по всей толщине металла (см. рис. 3.10, б), а снижение мощности $P_{ш}$ до 70% при нахождении электродов в средней части шва приводит к уменьшению глубины жидкой металлической ванны по ее длине (рис. 3.10, в). Эта задача решается с помощью устройства для модуляции мощности источников нагрева (рис. 3.12) [3].

После наведения ванны и установления стабильного режима плавления электродов, напряжение якоря двигателя M подается на вход звена полярности и направления счета 1, выполненного таким образом, что при одной или другой полярности напряжения на якоре через оптопару, например, ОП1, ОП2 открывается ключ Б. При этом импульсы заданной частоты с непрерывно работающего генератора 4 поступают на суммирующий вход реверсивного счетчика 5 (РС), который осуществляет прямой счет импульсов во время перемещения электродов из одной точки в другую.

Цифровой код с реверсивного счетчика 5 поступает на цифроаналоговый преобразователь 6, на входе которого формируется линейно возрастающее напряжение. Последнее пе-

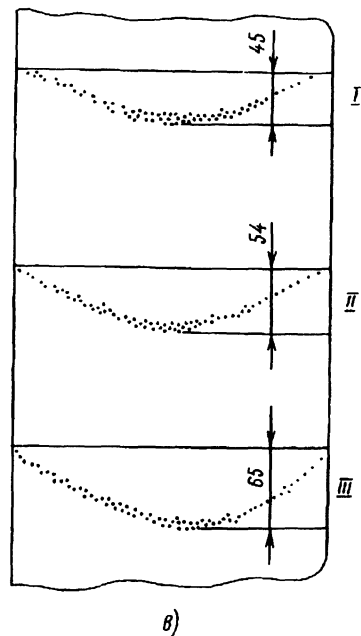
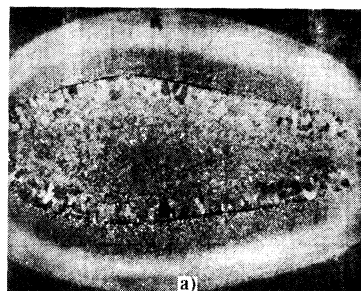


Рис. 3.10. Макрошлифы шва из стали 15X2NMFA ($S = 250$ мм):

а — поперечный, сварка на обычном режиме, б — поперечный, сварка с изменением мощности в пределах $\pm 30\%$; в — продольный, сварка с изменением мощности; I — $\pm 30\%$; II — $\pm 20\%$; III — $\pm 10\%$

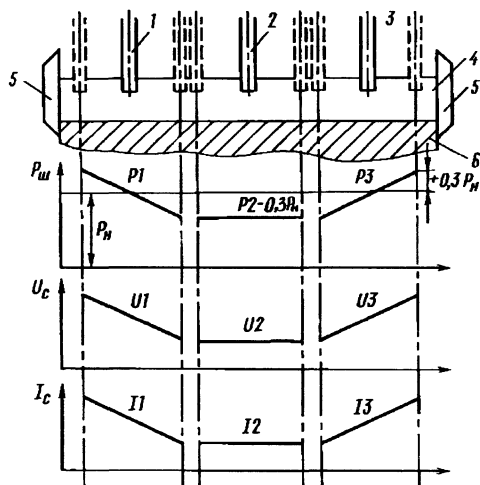


Рис. 3.11. Схема расположения электродов в зазоре и диаграммы изменения мощности, тока и напряжения при электрошлаковой сварке:

1, 2, 3 — электроды; 4 — шлаковая ванна; 5 — ползуны; 6 — сварной шов

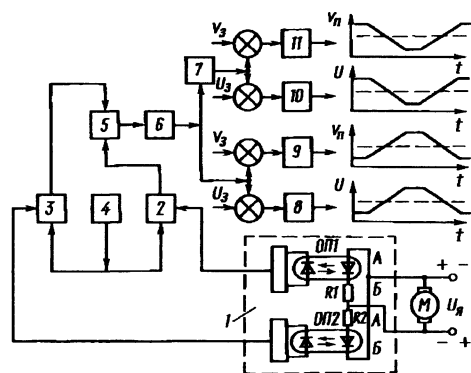


Рис. 3.12. Схема устройства для модуляции мощности источников нагрева:

1 — звенo полярности и направления счета; 2, 3 — ключи; 4 — генератор импульсов; 5 — реверсный счетчик; 6 — цифроаналоговый преобразователь; 7 — инвертор; 8 и 9 — соответственно привод подачи и источник питания первого крайнего электрода; 10 и 11 — соответственно привод подачи и источник питания второго крайнего электрода; M — двигатель; R1 и R2 — нагрузочные резисторы

редается на задатчики скорости привода подачи 8 и напряжения источника питания 9 одного крайнего электрода, и через инвертор 7 с обратным знаком — на задатчики скорости 10 и напряжения 11 другого крайнего электрода. При этом мощность для электрода, движущегося к формирующей накладке, линейно увеличивается, а для электрода, движущегося от формирующей накладки, линейно уменьшается (при условии $U/I = R = \text{const}$).

В таком циклическом режиме устройство работает в течение всего времени сварки, перераспределяя энергию источников сварочного нагрева вдоль сварочного зазора.

Контроль сварочного зазора на уровне зеркала шлаковой ванны и скорости сварки. Зазор в стыке соединяемых деталей на уровне жидкой металлической ванны является величиной переменной и зависит от деформационных перемещений кромок, определяемых местным нагревом в процессе сварки и усадкой кристаллизующейся части шва. Сварочный зазор изменяется в зависимости от типа стали, толщины деталей, их закрепления, предварительного и сопутствующего подогрева и других факторов. Отклонение фактического сварочного зазора от расчетного на уровне жидкой металлической ванны в процессе сварки прямолинейных протяженных швов может достигать 30%, а кольцевых швов — даже 50%, что приводит к изменению важнейшего технологического параметра — скорости сварки, а следовательно, провара кромок и условий кристаллизации металла шва [7]. Поэтому необходима корректировка режима сварки и, прежде всего, скорости подачи электрода.

Для измерения изменяющегося в процессе ЭШС зазора между свариваемыми изделиями используется датчик ширины зазора [7]. Механическая часть датчика, выполненного в виде электромеханического устройства, обеспечивает слежение за положением кромок вблизи уровня шлаковой ванны посредством подпружиненных контактных щупов, а электрическая часть в виде потенциометрической схемы — преобразование перемещения щупов между собой в электрический сигнал напряжения. Зазор измеряется с точностью до $\pm 2\%$ (при номинальном зазоре 35 мм). Вторичным преобразователем может быть измерительный преобразователь типа E827 либо вольтметр постоянного тока.

Непрерывный контроль скорости сварки v_c осуществляется с помощью уравнения:

$$v_c = \frac{F_c}{S + 2qb_c} v_e,$$

где F_c — площадь сечения электрода; S — толщина свариваемой детали; q — усиление шва; v_e — скорость подачи электрода; b_c — сварочный зазор.

Расчет v_c проводится специальным аналоговым вычислителем или управляющей ЭВМ.

Контроль параметров процесса ЭШС. Информационно-измерительная система, осуществляющая систематический контроль, выполнена на базе микропроцессорных БИС серии 145. Основная задача разработки — повышение технологической дисциплины, культуры производства, автоматизация контроля за процессами сварки и наплавки, документирование параметров процесса.

Система выполняет следующие функции в процессе сварки и наплавки: автоматически выводит информацию от датчиков; программирует число опрашиваемых датчиков от одного до семи; автоматически коммутирует опрашиваемые датчики; вводит информацию в синхронном и асинхронном режимах; программирует режим ввода; осуществляет допусковый контроль вводимой информации по заданным в памяти допусковым величинам и индицирует отклонение контролируемых параметров процесса от допускаемых величин с выводом на цифropечать; производит обработку поступающей информации по запрограммированной математической модели с целью прогнозирования исследуемого процесса; производит отметку места на изделии, где произошло отклонение режима с помощью дефектоотметчика. На рис. 3.13 представлена ИИС СУ-150. Она выполнена в виде переносного прибора, на лицевой панели которого разме-

жены необходимые органы управления: клавиатура, кнопочные переключатели, цифровое табло и индикатор отклонения. На задней панели установлены разъемы для подключения системы к внешней сети, серийным измерительным преобразователям типов Е824, Е825, Е827, Е846, к электроуправляемому цифropечатающему устройству ЭУМ-23 и дефектоотметчиком. Систему используют независимо от вида выполняемых швов. На рис. 3.14 приведена схема подключения ИИС СУ-150 к установке для ЭШС кольцевых швов.

Регулирование уровня жидкой металлической ванны. Стабильность положения уровня в ванне относительно ползуна в процессе ЭШС — основной технологический фактор, влияющий на качество сварного шва, который обеспечивается локальными системами автоматического регулирования (САР).

Основными рабочими органами САР уровнем жидкой автоматической ванны является датчик простой конструкции, высокой чувствительности к изменению уровня, стабильный, надежный и безопасный в работе. Наиболее полно этим требованиям удовлетворяет датчик индуктивного типа.

Индуктивным преобразователем (датчиком) является электромагнитное устройство, преобразующее контролируемую неэлектрическую величину (перемещение уровня ванны) в электрический параметр (индуктивное сопротивление). Простейший индуктивный датчик представляет собой магнитную цепь, состоящую из сердечника с катушкой и подвижного якоря, разделенных воздушным зазором δ (рис. 3.15). Полное сопротивление катушки со стальным сердечником в цепи переменного тока

$$R = R_a + j\omega L,$$

где R_a — активное сопротивление катушки преобразователя; ω — частота питающей сети; L — индуктивность преобразователя.

Индуктивность катушки с воздушным зазором без учета влияния поверхностного эффекта, наличия полей рассеяния и неоднородности магнитного поля

$$L = \frac{w^2}{R_{\text{мст}} + 2\delta / M_0 S},$$

где w — число витков катушки; $R_{\text{мст}}$ — магнитное сопротивление стальных участков воздушных зазоров; M_0 — магнитный поток; S — площадь воздушного зазора.

Принцип действия известных индуктивных датчиков уровня основан на изменении площади S воздушного зазора путем перемещения относительно неподвижной части магнитной цепи подвижного якоря — электропроводного неферромагнитного материала. При этом изменение индуктивности L , а следовательно, полного сопротивления R катушки Z обусловлено размагничивающим действием вихревых

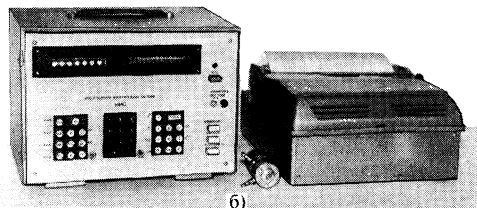
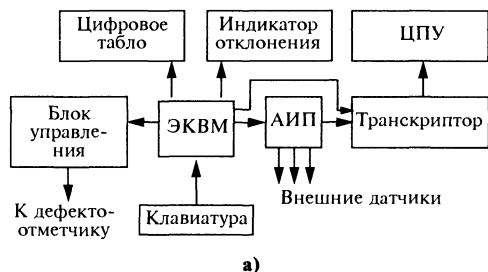


Рис. 3.13. Информационно-измерительная система ИИССУ-150:

а — структурная схема; б — внешний вид

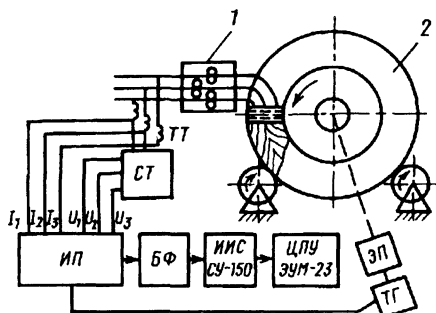


Рис. 3.14. Схема подключения ИИССУ-150 к установке для ЭШС кольцевых швов:

1 — сварочный аппарат; 2 — изделие; БФ — блок фильтров; ЭП — электропривод (остальные обозначения см. рис. 3.8)

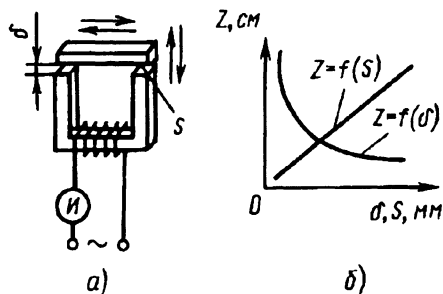


Рис. 3.15. Простейший индуктивный преобразователь: а — схема; б — характеристика

токов I , индуцированных в ванне основным переменным магнитным потоком, проходящим по магнитной цепи. Простейший датчик содержит один П-образный разъемный магнитопровод 2 с намагничивающей катушкой 4, который размещен непосредственно в теле ползуна 1 (рис. 3.16) симметрично между каналами 3 водоохлаждения, при этом торцы магнитопровода являются частью внутренней формирующей поверхности 5 ползуна, а между торцами в теле ползуна по вертикали выполнен сквозной фигурный разрез на толщину ползуна для прохождения переменного магнитного потока к расплаву.

Выходная характеристика индуктивного датчика имеет линейный характер с насыщением при полностью перекрытых жидкой металлической ванной торцах магнитопровода (рис. 3.17) [6].

Согласно функциональной схеме регулятор уровня (рис. 3.18) содержит индуктивный датчик уровня, состоящий из разомкнутого П-образного магнитопровода 1 с намагничивающей обмоткой 2, размещенный непосредственно в теле

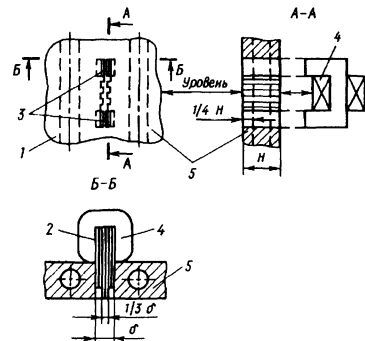


Рис. 3.16. Индуктивный датчик, размещенный в ползуне:

1 — ползун; 2 — магнитопровод; 3 — канал водоохлаждения; 4 — намагничивающая катушка; 5 — формирующая поверхность ползуна

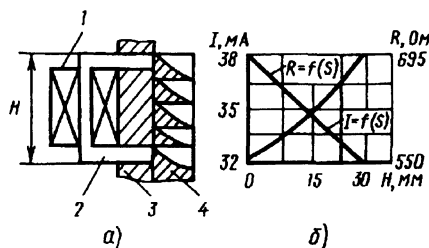


Рис. 3.17. Выходная характеристика индуктивного датчика:

а — расположение датчика относительно уровня H расплава; б — характеристики $R = f(S)$ и $I = f(S)$

ползуна 4; торцы П-образного магнитопровода являются частью внутренней формирующей поверхности ползуна 4. Генератор 10 прямоугольных импульсов высокой частоты (14 кГц) питает первичную обмотку 11 трансформатора 12, вторичные обмотки которого 13 и 9, имеющие равное напряжение, подключены через выпрямитель 14 к намагничивающей обмотке 1 и через выпрямитель 8 к балластному регулируемому сопротивлению 7. Выпрямители 14 и 8 собраны по мостовой схеме, в диагональ которого последовательно включены измерительно-регулирующий прибор 5 и активный фильтр. 6 низких частот второго порядка со сложной отрицательной обратной связью, выполненный по схеме Баттерворта.

Датчик вместе с регулятором уровня СУ-275 (рис. 3.19) обеспечивает высокую надежность, чувствительность и быстроедействие при скоростях сварки до 10 м/ч.

Автоматизированная система управления процессом электрошлаковой сварки протяженных швов. Анализ энергетического баланса электрошлаковой сварки при нестабильном зазоре показывает [7], что для стабилизации

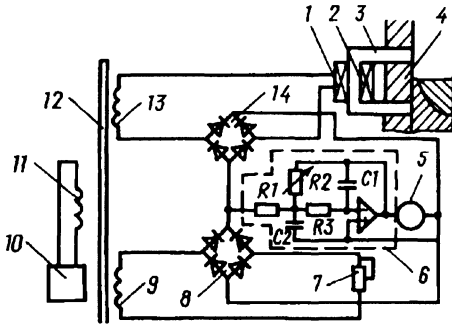


Рис. 3.18. Функциональная схема регулятора уровня жидкой металлической ванны

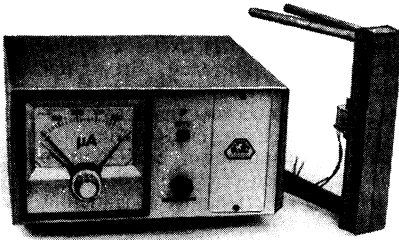


Рис. 3.19. Регулятор и датчик уровня СУ-275

скорости сварки, проплавления кромок и условий кристаллизации металла шва необходимо регулировать основные энергетические параметры процесса (силу тока и напряжение), причем в зависимости от величины сварочного зазора (площади его сечения), регулирование скоростей подачи электродов и напряжений сварки целесообразно вести по условиям, описываемым системой уравнений.

На основании исследования [6, 7] разработана компьютерная САУ сварки кольцевых и прямолинейных швов (рис. 3.20), обеспечивающая автоматическую коррекцию скоростей v_e и v_c в условиях изменяющегося сварочного зазора для стабилизации скорости сварки и ширины проплавления. Для заданных технологических величин v_c , S , q , диаметра d_e и числа электродов n , исходного напряжения U_c^0 и зазора b^0 ЭВМ вычисляет v_e и v_c в функции измеряемого зазора b_c по следующим формулам:

$$v_e = \frac{\delta + D}{1 + D}; v_c = \frac{1 + D + \alpha(\delta - 1)}{\delta + D},$$

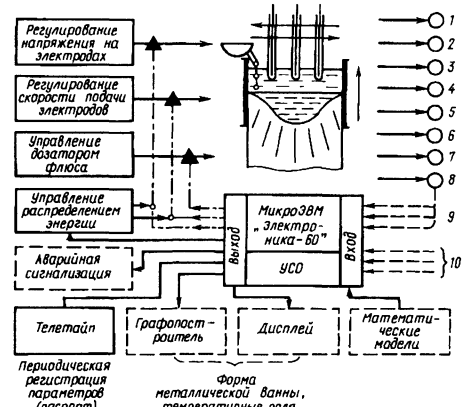


Рис. 3.20. Функциональная схема системы управления процессом электрошлаковой сварки на базе микро-ЭВМ:

1 — суммарная скорость подачи электродов; 2 — силы токов электродов; 3 — напряжения на электродах; 4 — зазор в стыке b_c ; 5 — скорость перемещения формирующего устройства; 6 — уровень шлака; 7 — конечные положения привода поперечного перемещения; 8 — расход воды; 9 — входные сигналы (цифровые, аналоговые); 10 — ручной ввод данных регулирования режимов сварки

где $\alpha = \frac{U_{\min}}{U_c^0}$; $D = \frac{C}{v_e^0}$; $v_e^0 = \frac{v_c(S + 2q)b^0}{Cv_e^2\pi n}$;

$\delta = \frac{b_c}{b^0}$; $U_{\min} = 19...20$ В; C — константа.

Эти величины используются в качестве уставок локальных регуляторов v_e и v_c .

Массовая скорость дозирования компонента $v_D(\text{CaF}_2)$ вычисляется по формуле

$$v_D = (S + 2q)bh_gk v_{\pi},$$

где h_s — высота шлаковой ванны, см; g — плотность шлака, г/см³; k — содержание CaF_2 в исходном флюсе, %; v_{π} — массовая скорость потери CaF_2 , %/ч.

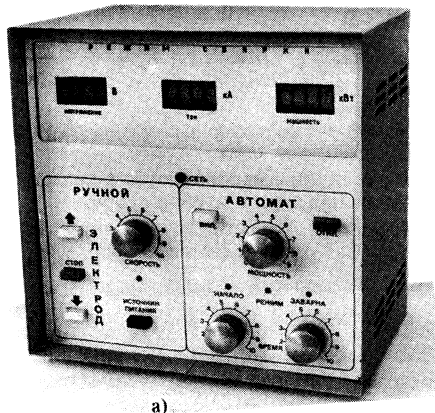
Рассматриваемая АСУ выполнена на базе управляющего вычислительного комплекса УВК-3, в составе микроЭВМ "Электроника-60", устройство связи с объектом — УСО, датчиков, преобразователей и цифрового устройства типа "Консул 260.1".

Система позволяет осуществлять: прямое управление силой тока и напряжением процесса в функции сварочного зазора и стабилизировать линейную скорость сварки; перераспределение энергии источников сварочного нагрева в зоне сварки для достижения постоянной ширины проплавления и оптимального коэффициента формы шва; дозирование компонента шлака для стабилизации его химического состава и электропроводности. Систе-

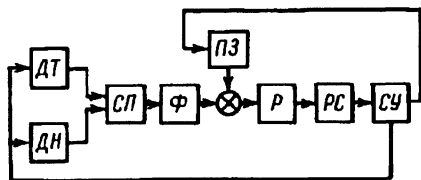
ма осуществляет также автоматический контроль параметров процесса (силы тока, скорости подачи проволоки и перемещения аппарата, напряжений и др.) и, если необходимо, допусковый контроль с выдачей результатов на цифроблесты через каждые 5, 10, 15 мин сварки или по запросу оператора.

При сварке электроды большого сечения применяют значительно реже, чем провололочные электроды или плавящийся мунштук. Условия стабилизации для электрода большого сечения отличаются характером его плавления и формой межэлектродного промежутка. Поэтому управление процессом осуществляют на основе стабилизации электрической мощности вводимой в зону сварки.

В ИЭС им. Е. О. Патона разработан блок автоматического управления для установки электрошлаковой сварки электродом большого сечения (рис. 3.21), который обеспечивает стабилизацию электрической мощности и ее программное изменение в начале и конце процесса сварки. Функциональная схема управления установкой включает: датчики тока *ДТ* и напряжения сварки *ДН*; схему перемножения *СП*; фильтр нижних частот *Ф*; программируемый задатчик *ПЗ*; регулятор мощности сварки *Р*; регулятор скорости подачи электрода *РС*; сварочную установку *СУ*.



а)



б)

Рис. 3.21. Программный регулятор (а) и функциональная схема системы автоматического регулирования (б) мощности электрошлаковой сварки типа СУ-264

В качестве датчика силы сварочного тока используется устройство, состоящее из шунта или трансформатора тока и масштабирующего усилителя. Напряжение сварки снижается со скользящего токосъемника, установленного вблизи ванны и надежно контактирующего с плавящимся электродом, что позволяет устранить погрешность, вносимую падением напряжения на электроде и токоподводящих цепях. Пропорциональный мощности сварки сигнал получается путем аналогового перемножения сигналов, пропорциональных напряжению и току сварки.

Разведение шлаковой ванны и предотвращение образования усадочной раковины в конце сварки производится по программам, введенным в запоминающее устройство специального разработанного цифрового программатора. Во время сварки сигналы с программатора и датчика мощности суммируются и поступают на вход регулятора мощности сварки, выполненного по пропорционально-дифференциальной (ПИД) схеме с применением операционных усилителей. Выходной сигнал ПИД-регулятора поступает на вход схемы, управляющей скоростью привода подачи электрода. Таким образом, система автоматического управления стабилизирует мощность сварки в течение всего процесса, что позволяет получать равнопрочные качественные соединения.

3.8. ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ

Развитие оборудования для ЭШС и наплавки в основном определяется развитием сварочных автоматов и полуавтоматов. Одним из важнейших направлений развития оборудования для ЭШС является широкая унификация основных агрегатов, узлов и деталей, а также всемерное развитие принципа агрегатирования различных аппаратов, установок и станков из унифицированных функциональных узлов и блоков. Усовершенствование полуавтоматов и автоматов в этом направлении позволит сократить и упростить цикл их изготовления, повысить надежность их работы.

— Существенно возрастает уровень автоматизации процесса сварки за счет разработки и применения следующих систем: автоматического контроля положения электрода в плавленном пространстве и его фиксации в требуемом положении с целью возможности управления величиной и равномерностью провара кромок; бесконтактной оценки глубины провара кромок и глубины металлической ванны; автоматизированного контроля глубины шлаковой ванны и др.

— На основе все возрастающего уровня автоматизации установок и станков для электрошлаковой сварки и наплавки и повышения надежности применяемых при этом технических средств существенно расширяются возможности в направлении увеличения толщин свариваемых изделий, особенно для сварки плавящимся мунштуком с подачей нескольких электродов.

— Эффективное средство повышения надежности работы установок — дублирование наиболее ответственных механизмов с автоматическим включением дублирующих механизмов после получения сигнала о выходе из строя основного механизма. Перспективным является разработка систем, обеспечивающих циклическое изменение режимов сварки в зависимости от перемещения электрода относительно зазора.

— Автоматические системы программирования и оптимизации процесса сварки, снабженные этими системами, действующие по заданной программе или управляемые дистанционно сварочные аппараты смогут выполнять без участия человека все необходимые операции по выбору режима и техники сварки в зависимости от конструкции свариваемого изделия. Целесообразна полная автоматизация передвижения аппаратов, а также всех вспомогательных операций (установка, настройка аппарата на шов, смена кассет с проволокой и др.). Понятие автоматической сварки обретет новый смысл [9].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Аппаратура** для механизированной дуговой и электрошлаковой сварки и наплавки / А. И. Чвертко, Б. Е. Патон, М. Г. Бельфор и др. Киев: Наукова думка, 1978. 200 с.
2. **Основное** оборудование и технологическая оснастка для электрошлаковой сварки / М. Г. Бельфор, И. И. Сушук-Слюсаренко, И. И. Лычко и др. Киев: Наукова думка, 1977. 108 с.
3. **Сварочное** оборудование: Каталог-справочник / Под ред. А. И. Чвертко. Киев: Наукова думка, 1989. 250 с.
4. **Стабилизация** химического состава шлаковой ванны при электрошлаковой сварке протяженных швов / О. П. Бондаренко, И. И. Лычко, В. Ю. Поповский и др. // Автомат. сварка. 1986. № 2. С. 54—56.
5. **Технология** электрической сварки металлов и сплавов плавлением / Под ред. Б. Е. Патона. М.: Машиностроение, 1974. 768 с.
6. **Трофимов Н. М., Рошин М. Б., Воронцов Н. Ф.** Аппаратура для непрерывного измерения зазора и скорости электрошлаковой сварки // Сварочное производство. 1982. № 1. С. 30—31.
7. **Трофимов Н. М., Рошин М. Б., Сапиро В. Б.** Регулирование тока и напряжения электрошлаковой сварки при изменении зазора // Сварочное производство. 1982. № 10. С. 16—18.
8. **Чвертко А. И.** Оборудование для электрошлаковой сварки и наплавки. Т. 4 // Сварка в машиностроении / Под ред. Ю. Н. Зорина. М.: Машиностроение, 1979. 380 с.

РАЗДЕЛ 3

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СВАРКИ ДАВЛЕНИЕМ

Глава 1

КОНТАКТНЫЕ МАШИНЫ ДЛЯ ТОЧЕЧНОЙ, ШОВНОЙ И РЕЛЬЕФНОЙ СВАРКИ

1.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Контактные машины для сварки состоят из трех взаимосвязанных частей — механической, силовой, электрической и управления. Механическая часть — это комплекс конструктивных элементов, создающих условия для сжатия свариваемых деталей и необходимого их перемещения во время сварки: корпус (станина), кронштейны, упоры, а также инструментальная оснастка, в которую входят консоли, электрододержатели, электроды.

Электрическая силовая часть машины обеспечивает протекание через свариваемые детали тока требуемой формы, амплитуды и длительности. Силовая часть машины состоит из трансформатора, выпрямителя, иногда батареи конденсаторов, токоведущих элементов вторичного сварочного контура для непосредственной передачи тока к свариваемому изделию (гибкие и жесткие токоведущие шины) и др.

В последнее время управление машины выделилось в отдельную часть вследствие специфики и усложнения электрической и электронной аппаратуры, включая микропроцессорное управление, пневматическую и гидравлическую аппаратуру для перемещения и механических устройств привода и создания силовых нагрузок.

Основными параметрами машины приняты: сила тока короткого замыкания; номинальная сила длительного вторичного тока; номинальная и(или) наибольшая сила сжатия; номинальные и(или) наименьший и наибольший вылет и раствор; наибольшая ковочная сила для машины с переменной силой сжатия; наибольшая длительность прохождения сварочного тока. Эти параметры являются общими для сварочного оборудования этой группы.

Кроме того, к основным параметрам точечных и шовных машин относятся наибольшие вертикальные и взаимные смещения электродов и пределы линейной скорости роликовых электродов шовных машин. Для таких параметров, как сила сжатия, величина осадки, линейная скорость роликовых электродов, указываются условия, при которых они достигаются.

Система обозначения контактных машин позволяет определить назначение оборудования и его характеристики. Машины любого типа имеют буквенное и цифровое обозначения: первая буква М — машина; вторая буква — вид сварки (Г — точечная, Р — рельефная, Ш — шовная); третья буква — тип источника тока (Н — низкочастотный, К — разрядом конденсатора, В — постоянного тока и др.) или конструктивное исполнение машины (Р — радиальная, П — подвесная, М — много-точечная или многоэлектродная); первая цифра — наибольшая сила вторичного тока, кА, или сила осадки, кН; вторая цифра — номер модификации; третья цифра — вид климатического исполнения (ГОСТ 15150—69); четвертая цифра — группа машин по нормируемым требованиям; затем следует напряжение и частота питающей сети, слово "экспорт" при экспортном исполнении (ГОСТ 297—80 Е), обозначение технических условий на машину и ГОСТ 297—80 Е.

Так, условное обозначение машины для рельефной сварки на наибольшую силу вторичного тока 69 кА, с номером модификации 02, при климатическом исполнении Т4, группы А, на напряжение питающей сети 380 В, частоте 50 Гц следующее: МР-6902Т4, А, 380, 50 Гц, экспорт, ГОСТ 297—80 Е.

В экспортном исполнении машины могут выпускаться на различное напряжение для сетей с частотой 50 и 60 Гц. Обозначение специальных машин может существенно отличаться от принятого для машин общего применения. Специальные машины, разработанные в ИЭС им. Е. О. Патона, обозначают буквой К (контактные) и цифрой, указывающей порядковый номер модели.

Вторичный ток может регулироваться ступенчато — изменением коэффициента трансформации и плавно — фазовым регулированием или комбинацией этих способов (смешанное регулирование).

Для машин со ступенчатой регулировкой силы тока, кроме конденсаторных и подвесных со встроенным трансформатором, коэффициент трансформации при переходе со ступени на ступень не должен превышать 20% для машин группы А и группы Б без фазовой регулировки и 30% для машин группы Б со смешанным регулированием.

Сила тока короткого замыкания машин группы А не должна отклоняться от заданного значения более чем на $\pm 3\%$ при установленном качестве электроэнергии и на $\pm 5\%$ при

1.1. Допускаемые вертикальные смещения, мм, электродов машин контактной сварки

Машина	Номинальный вылет, мм		
	Менее 500	500... 1200	Более 1200
Группа А, тип:			
прессовый	1	1,5	2
радиальный	1,5	2	2,3
Группа Б, тип:			
точечный прессовый	2	2,3	2,5
шовный прессовый	2,5	2,8	3

изменении температуры нагреваемых токоподводящих частей машины в допустимых пределах (нормальные условия эксплуатации). Фазовая регулировка силы тока всех машин должна обеспечить его изменение в пределах не менее 50...100% номинального значения. Отношение силы наибольшего вторичного тока к наименьшему допускается для машин группы А не менее 2, а для машин группы Б не менее 1,4 или 1,8 (при отсутствии фазового регулирования).

Переключатель ступеней сварочного трансформатора машин группы Б без фазового регулирования и с длительным первичным током силой не более 470 А и машин группы А должен обеспечивать переключение ступеней при выключенном токе без применения инструмента. Длительность протекания сварочного тока обеспечивается аппаратурой управления. Отклонение от заданного значения силы тока допускается в пределах $\pm 2\%$ для машин группы А и $\pm 10\%$ для машин группы Б.

Машины с пневмоприводом рассчитаны на номинальное давление сжатого воздуха 0,63 МПа. Номинальная сила сжатия на этом оборудовании обеспечивается при колебании давления сжатого воздуха в сети ($-15...+5\%$) при снижении давления сжатого воздуха до 60% номинального значения. Фактическая сила сжатия для машин с пневмо- или гидроприводом не должна отличаться от номинального значения более чем на $\pm 8\%$. Усилие сжатия в этих машинах должно регулироваться в соотношении 1:4. На машинах группы А с переменным усилием время его нарастания от сварочного до 0,8 ковочного не должно превышать 0,01 с.

В машинах для контактной сварки предусмотрено водяное охлаждение электродов, электрододержателей, консолей, сварочного трансформатора и других частей вторичного контура. Система охлаждения рассчитана на давление воды 0,15...0,30 МПа. Номинальный режим работы машины должен быть обеспечен при минимальном давлении воды, при этом предусматривается включение сигнализации или отключение машины при прекращении подачи воды.

Качество сварного соединения зависит от соосности положения электродов. Вертикаль-

ное смещение электродов связано с жесткостью станины и некоторых элементов вторичного контура. При безударной нагрузке эти смещения не должны превышать значений, приведенных в табл. 1.1.

Взаимное смещение электродов Δs точечных и шовных машин в горизонтальной плоскости при номинальном усилии определяется выражением

$$\Delta s \leq \kappa \sqrt{F},$$

где F — номинальная сила сжатия, даН; κ — коэффициент пропорциональности; для машин группы А $\kappa = 0,01$; для машин группы Б $\kappa = 0,025$.

Несовпадение центров рабочих поверхностей электродов при их контактировании в точечных и шовных машинах группы А должно быть не более 0,5 мм. У рельефных машин важна параллельность контактных поверхностей плит. При номинальном усилии сжатия допускаемое отклонение от параллельности не более 0,4 мм на 100 мм радиуса окружности с центром, расположенным на оси действия силы.

В машинах для шовной сварки привод вращения роликов должен обеспечить регулирование линейной скорости не менее 5:1. При ступенчатом регулировании отношение скоростей на любых двух следующих ступенях не должно превышать 1,25. Допустимое отношение скоростей не более $\pm 10\%$. Согласно ГОСТ 297—80 Е показатели надежности машин зависят от их типа. Согласно этим данным срок службы машин составляет 4—10 лет со средним ресурсом работы 14800...29600 ч. В технических условиях на конкретную машину должны быть указаны критерии отказа и предельного состояния для среднего и капитального ремонта, а также средняя оперативная трудоемкость технического обслуживания и установленных видов ремонта.

1.2. КЛАССИФИКАЦИЯ

Сварочные машины классифицируются по следующим признакам:

по виду сварки — точечные, рельефные, шовные;

по назначению — универсальные (общего применения), специальные;

по способу подвода тока к месту сварки — двусторонние и односторонние;

по типу источника сварочного тока — переменного тока, конденсаторные, постоянного тока, низкочастотные, повышенной частоты;

по направлению движения электродов — с прямолинейным ходом (прессовый тип), по дуге окружности (радиальный тип);

по приводу механизмов сжатия — с педальным (пружинным или грузовым), электро-механическим, пневматическим, гидравлическим или комбинированным;

по характеру приложения силы сжатия — с постоянной, с переменной;

по положению сварочного трансформатора в подвесных точечных и шовных машинах — с отдельным трансформатором, со встроенным (в клещи) трансформатором;

по числу одновременно свариваемых соединений — одноточечные (одношовные), многоэлектродные (многоточечные, многошовные);

по расположению роликов шовных машин — для сварки продольных, поперечных швов, универсальные (для обоих швов); для сварки кольцевых швов;

по характеру перемещения деталей при шовой сварке — с непрерывным вращением ролика, с шаговым вращением ролика (во время прохождения сварочного тока ролики неподвижны);

по приводу вращения роликов — с принудительным вращением роликов, с принудительным вращением одного ролика, со свободным вращением роликов и приводом на свариваемые детали;

по способу установки — стационарные, подвижные, передвижные;

по нормируемым техническим требованиям — группа А (с повышенной стабильностью параметров), группа Б (с нормальной стабильностью параметров).

1.3. ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ

Контактные машины подключаются к сети переменного тока частотой 50 Гц и напряжением 380 В. По специальному заказу изготавливают оборудование на номинальное напряжение сети 660 В, а оборудование с потребляемой мощностью до 50 кВт·А — на напряжение 220 В.

По характеру загрузки сети контактные машины подразделяются на однофазные и трехфазные. К однофазным относятся машины переменного тока промышленной частоты и конденсаторные, к трехфазным — машины постоянного тока (в том числе и с промежуточным звеном повышенной частоты), низкочастотные и конденсаторные.

Однофазные контактные машины характеризуются простотой конструкции и универсальностью. Однофазный характер нагрузки —

главный их недостаток (вызывает перекос питающей сети). Однофазные машины переменного тока имеют низкий $\cos \varphi$, что приводит к потреблению ими большой реактивной мощности.

На рис. 1.1 приведены схемы однофазных контактных машин. В машинах переменного тока коммутация тока первичной обмотки сварочного трансформатора $ТС$ и плавное регулирование сварочного тока $I_{св}$ производятся с помощью контактора K , который состоит из двух включенных антипараллельно тиристоров. Меняя угол включения тиристоров, в каждом полупериоде тока производят плавное изменение амплитуды и длительности импульсов сварочного тока.

Для управления тиристорами контакторов используются регуляторы различных типов, построенных на основе интегральной схемотехники. В последнее время распространяются регуляторы, выполненные на базе микропроцессоров.

Электрическая силовая схема конденсаторных машин состоит из двух частей: зарядной и разрядной, которые могут иметь многовариантное построение. Функцией зарядной части является обеспечение заряда накопительного конденсатора до необходимого напряжения с заданной точностью его уставки и за требуемое время. Разрядная часть обеспечивает выделение запасенной накопительным конденсатором энергии (полностью или частично) в зоне сварки.

Конденсаторная машина, выполняющая сварку изделий униполярными импульсами тока (рис. 1.1, б), имеет зарядную часть, состоящую из контактора K , повышающего трансформатора T , токоограничительного элемента R и неуправляемого выпрямительного моста на диодах V . Регулировка и стабилизация напряжения на накопительном конденсаторе $СН$ осуществляется контактором K .

В качестве токоограничительного элемента может быть включен резистор, в этом случае заряд накопительного конденсатора носит аperiodический характер, либо дроссель,

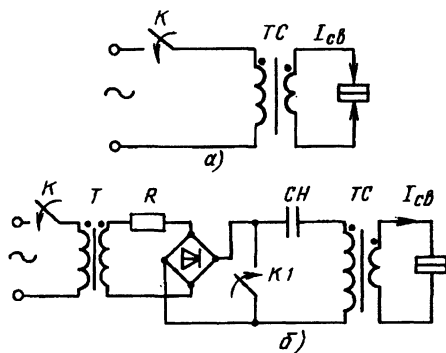


Рис. 1.1. Схемы однофазных контактных машин: а — переменного тока; б — конденсаторной

тогда процесс заряда колебательный. Возможно применение в качестве токоограничительного элемента конденсаторов. Часто зарядные цепи строятся с применением управляемых выпрямительных мостов на тиристорах. Тогда в этих цепях отсутствуют контакторы, и регулировка напряжения на накопительном конденсаторе осуществляется с помощью соответствующего подбора углов включения тиристорного моста.

Разрядная часть силовой электрической схемы конденсаторных машин включает коммутатор KI (как правило, быстродействующий тиристор типа $TБ$) и понижающий сварочный трансформатор $ТС$, вторичная обмотка которого подключена к шинам сварочного контура машины.

Отдача энергии накопительным конденсатором $СН$ сварочному контуру может производиться в режимах полного или частичного разряда конденсатора. В случае полного разряда выключение коммутирующего тиристора происходит после окончания прохождения импульсов разрядного тока за счет приложения к нему обратного напряжения перезаряда накопительного конденсатора. При частичном разряде накопительного конденсатора для выключения коммутирующих тириستоров к ним присоединены дополнительные цепочки. Эти цепочки состоят, как правило, из последовательно включенных дросселя с конденсатором и тиристора. Они обеспечивают в требуемый момент времени протекания через коммутирующий тиристор обратного тока с амплитудой, превышающей амплитуду прямого разрядного тока, и время, необходимое для восстановления коммутирующим тиристором заданных свойств. Обычно это время составляет десятки микросекунд. С этой целью конденсатор дополнительной цепочки заряжают от источника напряжения и в нужный момент времени, включая тиристор этой цепочки, подключают положительную обкладку конденсатора к катоду коммутирующего тиристора.

На рис. 1.2 приведены схемы трехфазных машин контактной сварки. Использование для контактной сварки выпрямленного тока повышает технические характеристики оборудования и расширяет его технологические возможности. Сварочный контур большинства машин представляет собой электрическую цепь, индуктивное сопротивление которой на переменном токе промышленной частоты в несколько раз превышает ее активное сопротивление. Отношение это тем выше, чем больше вылет электродов и раствор сварочного контура. Так, в серийно выпускаемой машине переменного тока МТ-4019, имеющей вылет электродов 500 мм, индуктивное сопротивление сварочного контура составляет 260 мкОм.

В машине постоянного тока МТВ-4801, имеющей тот же вылет электродов и раствор,

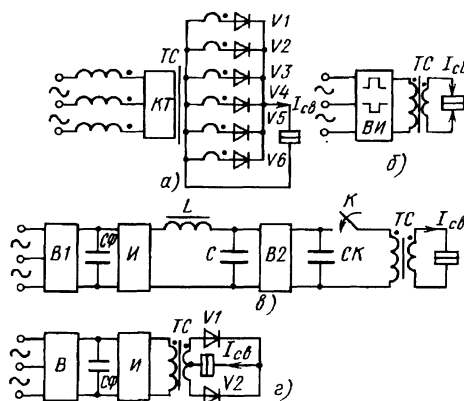


Рис. 1.2. Схемы трехфазных контактных машин: а — постоянного тока; б — низкочастотной; в — конденсаторной; г — с источником питания с промежуточным звеном повышенной частоты

сопротивление сварочного контура постоянно-му току составляет 30 мкОм, а индуктивное практически отсутствует.

Подключение первичных обмоток сварочного трансформатора $ТС$ к сети (рис. 1.2, а) в машинах постоянного тока производится через тиристорный контактор $КТ$, который выполняет функцию управления сварочным током. Выпрямление тока осуществляется во вторичном контуре машины диодами $V1-V6$. Отечественной промышленностью выпускаются диоды на максимальную среднюю силу тока $I_{ср} = 4$ кА. В этом случае нецелесообразно применять мостовые схемы выпрямления напряжения с последовательным соединением диодов. Оптимальными для условий контактной сварки являются схемы выпрямителей с нулевым выводом, не имеющие последовательно соединенных диодов.

Практически все серийные машины переведены или переводятся на шестифазное двухполупериодное выпрямление. Шестифазные выпрямители по сравнению с трехфазными имеют лучшие энергетические показатели, а сварочный ток меньшую глубину пульсаций.

В оборудовании контактной сварки находят широкое применение источники тока с частотой, существенно меньшей промышленной частоты. В целом ряде случаев это позволяет получить наиболее благоприятные энергетические и технологические характеристики оборудования. Источник питания (рис. 1.2, б) представляет собой два трехфазных мостовых тиристорных выпрямителя $ВИ$, соединенных на выходе встречно параллельно и питающих поочередно первичную обмотку однофазного сварочного трансформатора $ТС$. При включении любого выпрямителя на первичную обмотку трансформатора подается напряжение соответствующей полярности. У низкочастотных машин длительность включения тока ог-

раничена возможностью насыщения магнитопровода трансформатора и обычно не превышает 0,5 с. Импульсы тока имеют плавное нарастание и замедленный спад. Если при сварке требуется длительность сварочного тока большая, чем допустимая длительность импульса тока одной полярности, то используют несколько импульсов изменяющейся полярности за счет поочередного включения выпрямителей, подающих на первичную обмотку трансформатора *ТС* импульсы напряжения различной полярности.

Существенной особенностью конденсаторных машин является низкая потребляемая из сети мощность (по сравнению с машинами с непосредственным потреблением энергии). Это связано с тем, что необходимая для сварки энергия накапливается в конденсаторах во время паузы между сварками. В точечных и рельефных машинах время заряда конденсаторов в 5 и более раз превышает время их разряда. Соответственно средняя мощность, выделяемая в зоне сварки при разряде конденсаторов, значительно больше средней мощности, потребляемой из сети при их заряде.

Трехфазные конденсаторные машины подключаются к сети через повышающий трансформатор (рис. 1.2, а). Схемы питания таких машин аналогичны схемам питания однофазных конденсаторных машин. Более перспективными являются конденсаторные машины с безтрансформаторной зарядной цепью. На этой схеме к сети подключен тиристорный выпрямитель *В1* с емкостным фильтром *СФ* на выходе. К фильтру подключен тиристорный инвертор *И* с принудительной коммутацией тириستоров. Инвертор нагружен на *LC*-цепочку. Конденсатор *С* этой цепочки через неуправляемый выпрямитель *В2* подключен к конденсаторной батарее, которая через коммутатор *К* подключена к первичной обмотке сварочного трансформатора *ТС*. Импеданс цепи заряда конденсатора *С* имеет колебательный характер и амплитуду напряжения, превышающую амплитуду напряжения на емкостном фильтре *СФ*. Обычно добротность этой цепи выбирают такой, чтобы амплитуда напряжения на конденсаторе *С* не превышала 1000 В. Энергия, накапливаемая конденсатором *С*, через выпрямительный мост *В2* передается конденсаторной батарее *СК*. Емкость конденсатора *С* выбирается на много меньше, чем емкость батареи *СК*. Постоянная времени цепи заряда конденсатора *С* не превышает 1 мс. Это позволяет быстро заряжать конденсаторную батарею небольшими дозами заряда. Применение подобных схем позволяет обеспечивать точность дозировки заряда конденсаторной батареи без применения систем управления со сложным алгоритмом работы, повышает темп работы силовой части конденсаторной машины, а следовательно, ее производительность. Исключение повышающего трансформатора снижает массу и габаритные размеры конденсаторных машин.

Перспективными являются источники с промежуточным звеном повышенной частоты (рис. 1.2, з). Неуправляемый выпрямитель *В* подключен к трехфазной сети. На его выходе включен емкостной фильтр *СФ*, к которому присоединен инвертор *И*, обеспечивающий питание сварочного трансформатора *ТС* напряжением с повышенной частотой. Вторичная обмотка сварочного трансформатора *ТС* через диоды *В1* и *В2*, образующие двухполупериодный выпрямитель с нулевой точкой, подключена к сварочному трансформатору.

Применение таких источников сварочного тока позволяет разработать подвесные машины для контактной сварки, имеющие целый ряд преимуществ перед машинами переменного и постоянного тока; снижение массы и габаритных размеров сварочных трансформаторов в 5–10 раз по сравнению со сварочными трансформаторами частотой 50 Гц; высокоскоростное регулирование параметров сварочного тока.

1.4. ОПИСАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ

Параметры точечных машин переменного тока представлены в табл. 1.2, постоянного тока, низкочастотных и конденсаторных — в табл. 1.3; рельефных переменного тока и низкочастотных — в табл. 1.4; шовных переменного и постоянного тока, низкочастотных — в табл. 1.5; подвесных — в табл. 1.6, а сварочных клещей — в табл. 1.7. Каждая машина контактной сварки включает: несущий корпус, элементы вторичного (сварочного) контура, сварочный трансформатор, систему управления, привод сжатия, систему охлаждения токоведущих элементов вторичного контура, вспомогательное оборудование.

Несущий корпус предназначен для размещения различных механизмов и систем машины; корпус воспринимает силы, возникающие при сжатии свариваемых деталей. К корпусам предъявляют повышенные требования с точки зрения его жесткости с тем, чтобы относительные смещения сварочных электродов не превышали значений, ограниченных ГОСТ 297—80 Е.

Сварочный трансформатор понижает сетевое напряжение до напряжения питания сварочного контура.

Элементы вторичного контура соединяют выводные колодки вторичного витка (витков) сварочного трансформатора с электродами. Такими элементами являются гибкие и жесткие токопроводящие шины, бронзовые электрододержатели (в точечных машинах) или элементы скользящего токопровода (в шовных машинах).

Система управления обеспечивает функционирование и взаимодействие различных механизмов и систем при работе машины. В ее состав входят электрическое и электронное оборудование, а также пневмо- или гидроаппаратура. Привод предназначен для обеспечения в необходимых пределах силы сжатия сварочных электродов. Система охлаждения обес-

1.2. Параметры точечных машин переменного тока типа МТ

Параметры	1928	2024	2103	2201	3001	4021	4224
Наибольшая сила вторичного тока, А	19000	20000	21000	22000	30000	40000	42000
Сила номинального длительного вторичного тока, А	9000	8000	9000	12500	14000	10000	18000
Наибольшая мощность при коротком замыкании, кВт · А	127	130	210	96	234	420	410
Сила сжатия электродов, даН	150... 682	100... 1900	130... 2350	630	60... 1500	100... 1900	200... 3028
Номинальный вылет, мм	500	500	1200	500	500	500	500
Раствор, мм	180—350	150—300	200—300	150	240—540	150—300	180—280
Диапазон свариваемых толщин, мм:							
низкоуглеродистая сталь	0,5... 5	0,8... 5	0,8... 6	0,5... 5	0,8... 7	0,5... 8	1... 10
коррозионно-стойкая сталь	0,5... 1,5	0,5... 4,0	0,8... 4,0		0,8... 3	0,5... 5	2,0... 4,0
алюминиевые сплавы	—	—	0,5... 0,8	0,6+0,6	0,5... 1,0	0,3... 1,7	2,0... 4,0
титановые сплавы	0,5... 1,5	0,5... 3,0	1,0... 4,0		1,0... 3,0	0,5... 5,0	2,0... 4,0
Аппаратура управления	РКС-801	РКМ-1501	РКМ-1501	РКС-501	РКМ-1501	РКМ-1501	РКМ-1501
Масса машины, кг	600	750	1340	455	870	1100	1350

1.3. Параметры точечных машин постоянного тока, низкочастотных и конденсаторных

Параметры	МТВ-4801	МТВ-4802	МТВР-4801	МТН-7501	МТК-5502	МТК-8501
Наибольшая сила вторичного тока, А	48000	48000	48000	75000	55000	85000
Сила номинального длительного вторичного тока, А	14000	11000	14000	14000	12500	16000
Наибольшая мощность при коротком замыкании, $\text{kB} \cdot \text{A}$	330	400	395	304	68	110
Сила сжатия электродов, даН	1600	2000	1250	2000	1800	5000
Номинальный вылет, мм	500	1250	1200	800	600	1500
Раствор, мм	220... 300	200... 350	140	350	300	500
Диапазон свариваемых толщин, мм:						
алюминиевый сплав	0,5... 1,5		0,3... 2,5	0,3... 2,5	0,3... 1,5	0,5... 2,5
коррозионно-стойкая сталь, титановый сплав	0,5... 2,5		0,3... 2,5	0,4... 4,0	0,3... 1,2	0,3... 2,0
низкоуглеродистая сталь	0,5... 5,0		0,3... 3,0	0,6... 4,0	—	—
латунь и бронза	0,5... 2,5		—	—	—	—
Аппаратура управления	ШУ-347	ШУ-347	ШУ-347-10	ШУ-349	ШУ-351	ШУ-351
Масса машины, кг	1550	2400	2500	4200	2700	6900

1.4. Параметры рельефных машин переменного тока и низкочастотных

Параметры	МР-4020	МР-6924	МРН-24001
Наибольшая сила вторичного тока, А	44000	69000	240000
Сила номинального длительного вторичного тока, А	11000	18000	32000
Наибольшая мощность при коротком замыкании, $\text{kB} \cdot \text{A}$	253	680	1000
Сила сжатия, даН	1870	3028	5000
Вылет, мм	300	300	300
Раствор, мм	130... 330	115... 330	90... 450
Максимальное число свариваемых рельефов деталей из низкоуглеродистой стали при толщине, мм:			
0,5 + 0,5	7	10	—
1,0 + 1,0	4	6	9
2,0 + 2,0	3	4	6
4,0 + 4,0	1	2	4
Аппаратура управления	РКМ-1501	РКМ-1501	ШУ-349
Масса, кг	980	1400	6600

печивает отвод теплоты, выделяемой на токоведущих элементах вторичного (сварочного) контура и предотвращает их перегрев.

Водяное охлаждение контактных сварочных машин может быть проточной водой со свободным сливом, по замкнутому циклу с оборотом воды, по замкнутому циклу с оборо-

том воды со встроенным охладителем (башенный охладитель или холодильная установка). При этом требования к охлаждающей воде должны соответствовать ГОСТ 297—80 Е.

Важным параметром при контактной сварке является сила сварочного тока, выбор которой осуществляется по нагрузочным характе-

1.5. Параметры шовных машин переменного и постоянного тока и низкочастотных

Параметры	МШ-3207	МШ-3208	МШ-3404	МШВ-7501	МШН-8501	МШН-3701
Наибольшая сила вторичного тока, А	32000	32000	34000	75000	85000	37000
Сила номинального длительного вторичного тока, А	22000	22000	32000	36000	36000	36000
Наибольшая мощность при коротком замыкании, кВ · А	260	270	275	960	320	184
Сила сжатия электродов, даН	1350	1350	1350	3000	1500	10–230
Номинальный вылет, мм	800	800	450	1200	600	200
Раствор, мм	110	110	70	150	95	20
Диапазон свариваемых толщин, мм:						
освинцованная сталь	—	—	0,8... 3,0	—	0,8... 2,0	—
низкоуглеродистая сталь	0,5... 3,0	0,5... 3,0	0,8... 2,0	—	1,0... 3,0	—
коррозионно-стойкая сталь	0,3... 2,5	0,5... 2,5	—	0,5... 3,0	1,0... 3,0	0,05... 0,6
медный сплав	—	—	—	0,5... 3,0	—	0,5... 0,6
алюминиевый сплав	—	—	—	0,5... 3,0	1,0... 2,0	0,1... 0,6
Регулируемая скорость сварки, м/мин	0,4... 6,0	0,4... 6,0	0,3... 4,5	0,2... 8,0	0,5... 5,0	0,1... 9,5
Аппаратура управления	РВИ-701	РВИ-701	РКТ-1200	ШУ-342, ШУ-344	ШУ-439	БУ-013
Масса машины, кг	1550	1550	1700	4450	4500	900

1.6. Параметры подвесных машин типа МТП

Параметры	1110	1111	1409
Наибольшая сила вторичного тока, А	11000	1000	14000
Сила номинального длительного вторичного тока, А	3600	3600	5600
Номинальная мощность, кВ · А	90	90	170
Диапазон свариваемых толщин, мм (в зависимости от типа применяемых клещей):			
низкоуглеродистая сталь	0,5... 2,0	0,5... 2,0	0,5... 7,0
стержни арматуры (крестообразные соединения)	0,5... 16,0	0,5... 16,0	4,0... 12,0
Аппаратура управления	РКС-801	РКС-801	РВИ-703
Масса, кг	300	340	440
Сварочные клещи	КТП-8-1, КТП-8-6 КТП-8-7, КТП-8-8	КТГ-8-1, КТГ-8-2 КТГ-8-3, КТГ-8-4	КТГ-12-3-1 КТГ-13-3-2
Привод клещей	Пневманический	Пневмогидравлический	

1.7. Параметры сварочных клещей

Параметры	КТП				КТГ				
	8-1	8-6	8-7	8-8	8-2	8-3	8-4	2-3-1	12-3-2
Движение электродов	Радиальное	Прямолинейное			Прямолинейное				
Номинальный вылет, мм	205	30	35	36	104	39	37	150	300
Номинальный ход электродов, мм	12	35	20	—	15	15	15	30	14
Длина кабеля вторичного контура, мм	2000	2000	2215	2000	2000	2000	2000	2215	2215
Толщина свариваемых листов, мм	0,5... 2,0	0,5... 1,5	0,5... 1,5	0,5... 1,5	0,5... 2,0	0,5... 2,0	0,5... 1,5	0,5... 4,0	0,5... 4,0
Диаметры свариваемой арматуры, мм	0,5... 10,5	0,5... 16,0	0,5... 16,0	0,5... 16,0	0,5... 6,0	0,5... 16,0	0,5... 16,0	4,0... 12,0	4,0... 10,0
Масса, кг	16	11,5	6	6	15	15	16	17	21

ристикам $I_{св} = F(R_d)$, где R_d — сопротивление детали. Каждой контактной машине свойственны только ей присущие нагрузочные характеристики, построенные для каждой ступени сварочного трансформатора. Задача выбора силы сварочного тока $I_{св}$ сводится к определению ступени сварочного трансформатора, на которой должна осуществляться сварка металла, сопротивление которого известно. Нагрузочная характеристика точечной машины МТ-4021 приведена на рис. 1.3.

Оборудование для контактной точечной сварки (рис. 1.4). Для расширения технологических возможностей в пневмосхему контактных машин нового поколения введен редукционный пневмоклапан КР2, регулирующий давление сжатого воздуха в нижней камере пневмоцилиндра сжатия, что позволяет

изменять в широком диапазоне силу сжатия электродов и устанавливать различные соотношения между значениями ковочной и сварочной сил.

Для снижения шума выпуска сжатого воздуха в атмосферу кроме основного глушителя ГЗ из порошкового материала дополнительно установлены глушители Г1 и Г2 на управляющие пневмораспределители У1К и У2К.

Для точечных машин общего назначения применяют унифицированные пневмоприводы сжатия на расчетные силы 1900, 2450 и 3100 даН. Пневмоприводы обеспечивают работу машин с переменной силой сжатия по заданной программе, при этом изменение давления может регулироваться в широких пределах во времени и может происходить перед началом сварки, в процессе сварки или после ее окончания.

Пневмопривод (рис. 1.5) состоит из двух основных частей: трехкамерного пневмоцилиндра 1 и направляющего устройства 5. Пол-

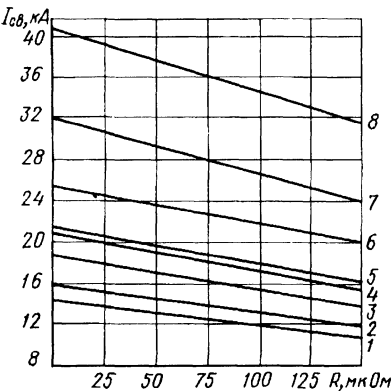


Рис. 1.3. Нагрузочная характеристика точечной машины МТ-4021:
1—8 — ступени трансформатора

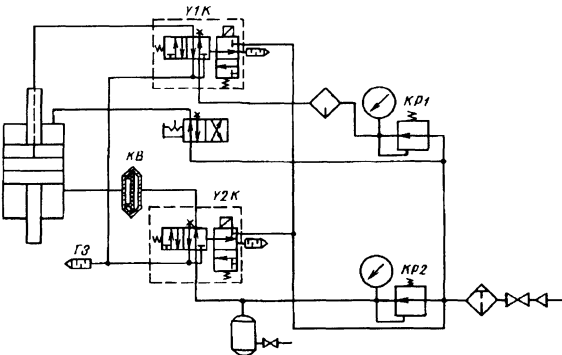


Рис. 1.4. Принципиальная пневматическая схема контактной машины

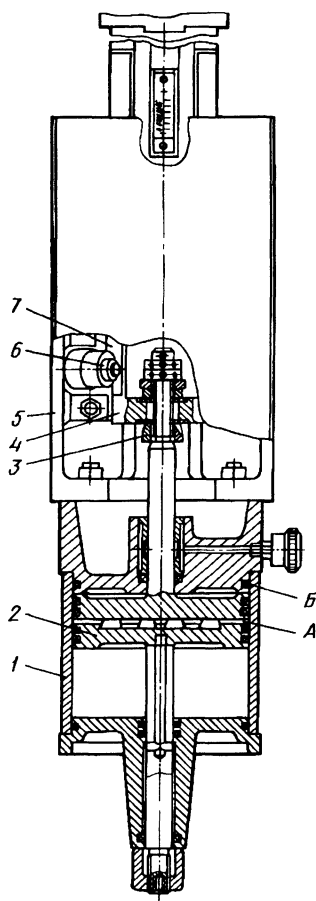


Рис. 1.5. Унифицированный пневмопривод усилия сжатия

зун связан со штоком нижнего поршня 2 через комплект сферических шайб 3. Регулировка хода ползуна 4 и устранение зазоров производятся регулировкой эксцентриковых осей. Игольчатые подшипники 6 опираются на восемь термообработанных планок 7, закрепленных на ползуне, предотвращающих износ корпуса силуминового ползуна.

Сила сжатия определяется разностью давлений сжатого воздуха в камерах А и Б. При выборе сжатого воздуха из камеры Б в атмосферу сила сжатия резко возрастает и определяется только площадью поперечного сечения поршня 2. Тем самым создается полное ковочное усилие. Резкое нарастание ковочной силы обеспечивается выхлопным пневмоклапаном КПВМ-15/25, при этом скорость выброса сжатого воздуха, а следовательно, скорость нарастания силы может регулироваться в определенных пределах игольчатым дросселем, встро-

ным в корпус пневмоклапана КПВМ-15/25 (см. рис. 1.4, клапан КВ).

Для мощных контактных машин (в основном, для конденсаторных и постоянного тока) предназначен диафрагменный пневмопривод усилия сжатия (рис. 1.6). Привод состоит из двух диафрагменных пневмоцилиндров 1, направляющего устройства 4, электродвигателя 2 привода установочных перемещений ползуна с зубчатым зацеплением 5. Ползун установлен с возможностью вертикальных перемещений в роликовых направляющих 3, крайние положения которого регистрируются конечными переключателями 7. Установочные вертикальные перемещения ползуна осуществляются вращением винта 6, связанного зубчатой передачей с валом электродвигателя 2. Рабочие перемещения верхнего сварочного электрода осуществляются при подаче сжатого воздуха в полости пневмоцилиндра над диафрагмами. При этом шток, связанный с ползуном 4, перемещается в бронзовых втулках.

Точечная машина переменного тока имеет следующие основные конструктивные особенности (рис. 1.7). На несущем корпусе 11 установлен пневмопривод 9 усилия сжатия, нижний кронштейн 3, элементы 10 пневматического оборудования, системы охлаждения и электрооборудования. Нижний кронштейн 3 опирается на винтовые домкраты 1 и 2, обеспечивающие возможность плавной регулировки раствора и необходимую дополнительную жесткость кронштейну.

Регулировка вылета (расстояния от оси сварочных электродов до передней стенки корпуса 11) осуществляется с пульта управления 8 перемещением верхнего 6 и нижнего 4 токоведущего хоботов вдоль их продольных осей при отпущенных болтах крепления контактных зажимов. Регулировка раствора (расстояния между верхней плоскостью нижнего токопровода 5 и нижней плоскостью верхнего токопровода 7) осуществляется перемещением нижнего кронштейна 3 при отпущенных болтах его крепления к корпусу и болтах крепления жесткой медной шины, обеспечивающей контакт нижнего токопровода с колодками. В зависимости от типа применяемого в машинах регулятора цикла сварки он располагается либо на верхнем кронштейне машины, либо на крышке корпуса.

Описанная выше конструкция машины МТ-4021 характерна для всей гаммы оборудования точечной контактной сварки переменного тока. Параметры машины МТ-4021 представлены в табл. 1.2.

Точечная машина постоянного тока вследствие необходимости выпрямления переменного тока во вторичном контуре имеет выпрямительные блоки вентилей, крупногабаритный сварочный трансформатор, электрический шкаф управления и др.

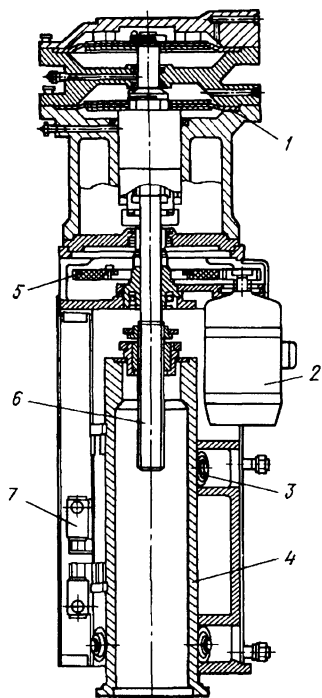


Рис. 1.6. Унифицированный диафрагменный пневмопривод усилия сжатия

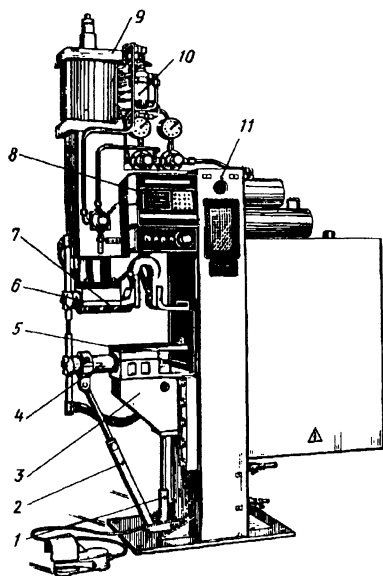


Рис. 1.7. Точечная машина переменного тока

Машины типов МТВ-4801 и МТВ-4802 выполнены в традиционных конструкторских решениях, свойственных машинам точечной контактной сварки переменного тока. Радиальная точечная машина постоянного тока типа МТВР-4801 имеет следующие конструктивные особенности (рис. 1.8). На корпусе 1 в подшипниках 10 установлена качающаяся балка 7 с закрепленным на ней верхним токоподводом, состоящим из хобота 5, электрододержателя 6 с электродом и токоведущих шин 8. В задней части балка 7 соединена со штоком привода усилия сжатия, состоящего из диафрагменного пневмоцилиндра и направляющего устройства. Нижняя крышка привода усилия сжатия жестко связана с корпусом электродвигательного привода дополнительного хода верхнего сварочного электрода, обеспечивающего вертикальные поступательные перемещения пневмопривода усилия сжатия с балкой 7. Нижняя электродная часть 2 выполнена традиционно. Внутри корпуса расположены сварочный трансформатор, выпрямительный блок вентилей, тиристорный контактор и другие элементы электрооборудования.

Управление машиной осуществляется с пульта управления, расположенного на подвижной штанге 9. При необходимости производить сварку в труднодоступных местах в хоботах 4 и 5 предусмотрены отверстия для крепления электрододержателей 3 и 6 под углом 25° к вертикали. Эти отверстия расположены на задних концах хоботов, поэтому перед началом работы их необходимо установить должным образом (отверстиями вперед). Машина комплектуется сменным электрододержателем, который используется при сварке обечаек малого диаметра, а также ножной педалью для управления машиной.

Низкочастотные точечные машины имеют ряд преимуществ, особенно важных при сварке легких сплавов: плавное нарастание и спад импульса сварочного тока низкой частоты (1...8 Гц), сравнительно низкую потребляемую мощность.

Точечная машина типа МТН-7501 (рис. 1.9) имеет пневмопривод 2 и элементы: вторичного контура, 4 электрооборудования, 3 пневматического оборудования и 1 системы охлаждения, установленные на корпусе. Управление осуществляется с помощью шкафа 5 ШУ-439, который комплектуется специальным блоком запоминания полярности полувольт и блоком гашения тириستоров, обеспечивающих высокую эксплуатационную надежность низкочастотных машин.

Точечные машины конденсаторного типа применяются в основном при сварке легких и цветных сплавов. Машина типа МТК-8502 (рис. 1.10) имеет достаточно массивный корпус 4, размеры которого во многом определяются размерами сварочного трансформатора. На верхней консоли корпуса установлен диафрагменный пневмопривод 3 с электрододержателем 2 и сварочным электродом 1, а на нижней — элементы вторичного контура (ши-

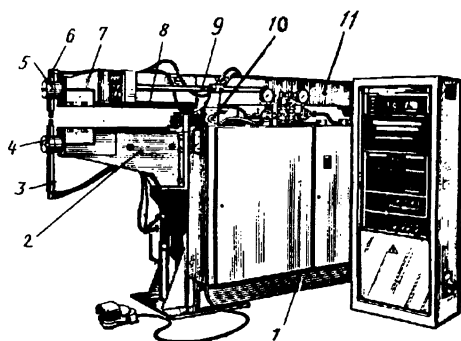


Рис. 1.8. Точечная машина постоянного тока МТПВ-4801

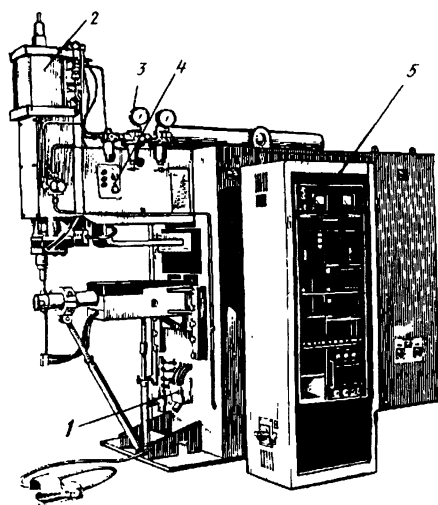


Рис. 1.9. Низкочастотная точечная машина МТН-7501

ны, хобот, электрододержатель, сварочный электрод). Внутри корпуса расположен сварочный трансформатор, автоматический выключатель и другие элементы электрооборудования. Машина комплектуется двумя конденсаторными шкафами ШК-9, шкафом управления типа ШУ-351, подвесным пультом управления 5 и тремя педалями кнопками.

Подвесные точечные машины предназначены для сварки листовых крупногабаритных изделий в труднодоступных местах, а также пространственных (объемных) конструкций. Машина подвешивается на специальных балансирных коромысловых уравновешивающих устройствах, обеспечивающих необходимую маневренность сварочным клещам.

У подвесных машин типов МТП-1110, 1111 и 1409 сварочный трансформатор и клещи расположены отдельно (рис. 1.11). Подвесная машина типа МТП-1111 (рис. 1.12) имеет

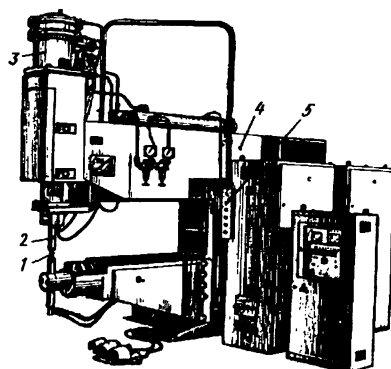


Рис. 1.10. Конденсаторная машина МТК-8502

основной блок, состоящий из сварочного трансформатора 7, закрытого двумя кожухами и листом, пневмоаппаратуры 3, регулятора 4 циклов сварки на интегральных микросхемах, элементов 6 электрооборудования, систему охлаждения, сварочные клещи 1, токоведущие кабели 2 и др. Шарнирная подвеска 5 позволяет поворачивать машину на 360°, изменять положение сварочных клещей по высоте, отбалансировать массу клещей, кабелей и машины.

Сварочные клещи типа КТП-8-7 имеют преимущества по сравнению с ранее выпускавшимися клещами: сила сжатия увеличена от 320 до 350 даН, масса снижена от 16 до 6 кг, размеры электрододержателя уменьшены от 100 до 81 мм, а длина увеличена от 55 до 115 мм. Они проще в сборке и при обслуживании. Особенностью конструкции является несоединенное расположение штока 1 (см. рис. 1.11) относительно поршня пневмоцилиндра, причем шток является одновременно и электрододержателем. Электрододержатель изолирован от корпуса втулкой.

Рельефные машины переменного тока отличаются от рассмотренных выше точечных машин конструкцией электродной части и более жестким корпусом.

Рельефные машины низкочастотной контактной сварки предназначены для сварки током низкой частоты деталей ответственного назначения из коррозионно-стойких, низкоуглеродистых, жаропрочных сталей и сплавов. Типичная рельефная машина МРН-24001 имеет следующую конструкцию (рис. 1.13). На верхнем кронштейне 9 корпуса 10 установлен пневмопривод 8, на ползуне которого закреплена верхняя контактная плита 5, соединенная с выводными колодками силового сварочного трансформатора жесткими 4 и гибкими 7 шинами. Нижняя контактная плита 3, установленная на столе 2, соединена с выводными колодками сварочного трансформатора жесткими шинами 1, допускающими при опущенных болтах подъем или опускание стола 2 с целью изменения величины раствора. В рельефных машинах нового поколения вывер-

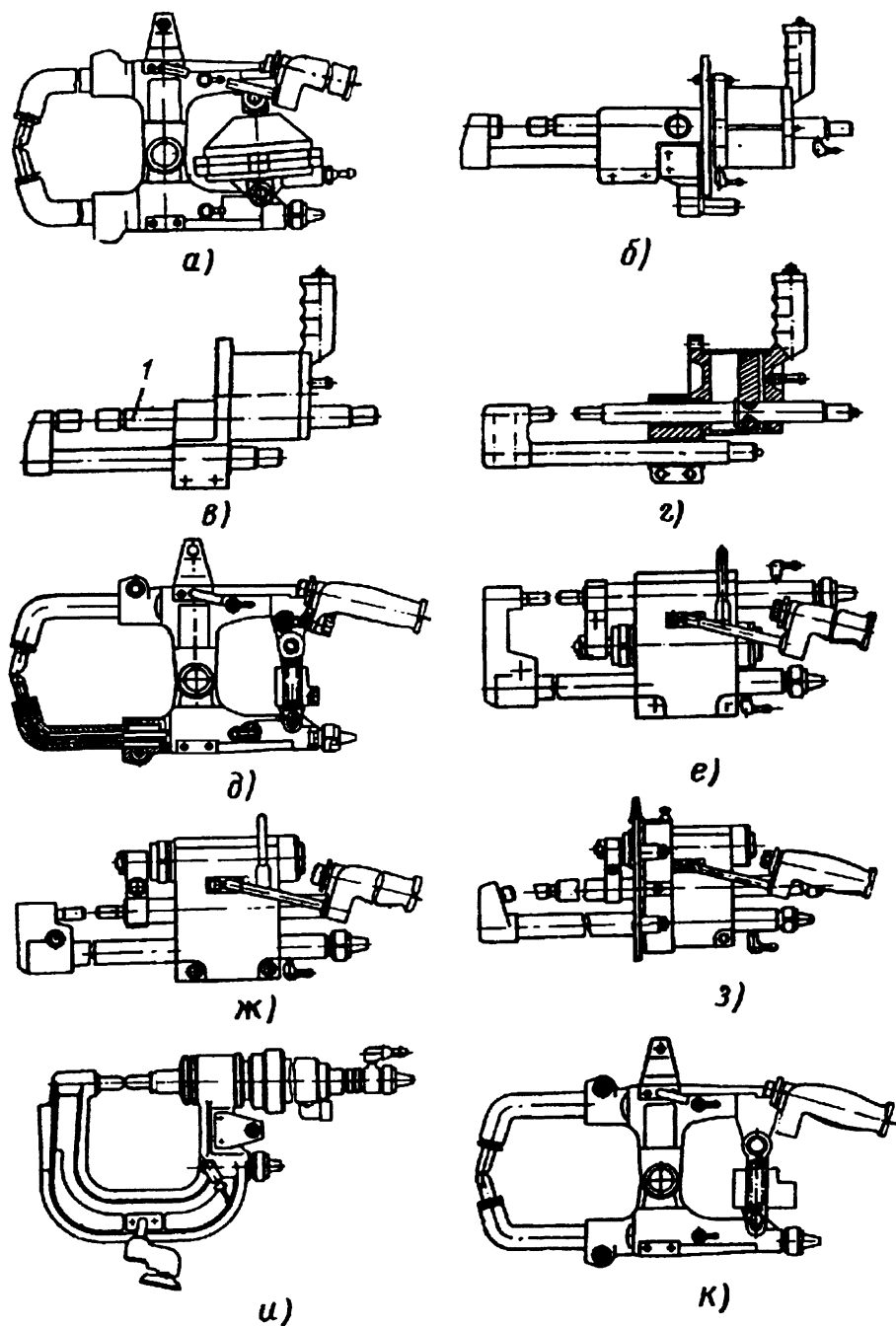


Рис. 1.11. Сварочные клещи подвесных машин серии МТП:

а — КТП-8-1; б — КТП-8-6; в — КТП-8-7; г — КТП-8-8; д — КТГ-8-1; е — КТГ-8-2; ж — КТГ-8-3; з — КТГ-8-4; и — КТГ-12-3-1; к — КТГ-12-3-2

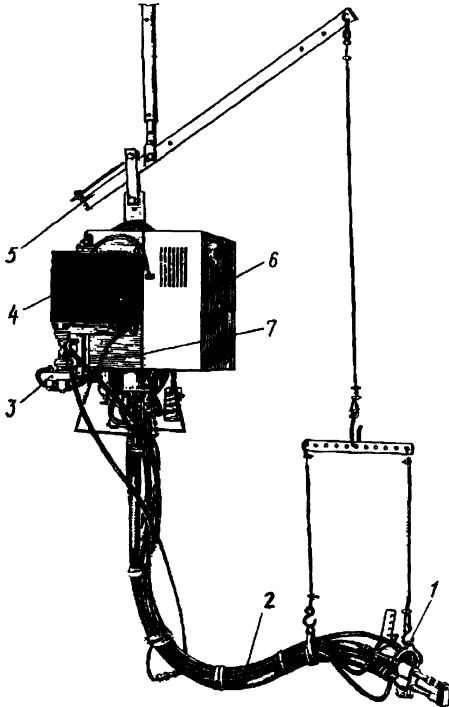


Рис. 1.12. Подвесная точечная машина МТП-1110

ка параллельности верхней и нижней электродных плит осуществляется не прокладками, как было в машинах прежних выпусков, а с помощью четырех резьбовых втулок 6, при вращении которых при отпущенных контргайках верхняя плита устанавливается параллельно нижней. Внутри корпуса расположен сварочный трансформатор, переключатель ступеней 12, рукоятки 11 которого выведены наружу, и другие элементы электрооборудования. Машина комплектуется шкафом типа ШУ-439.

Оборудование для контактной шовной сварки. Конструктивными элементами шовных машин являются следующие: *сварочные электроды (ролики)*, изготавливаемые в виде дисков из бронзы различных марок. Диаметр роликов (350...450 мм) определяется назначением машины. Ширина рабочей поверхности 4...10 мм. Размеры рабочей поверхности выбирают в зависимости от толщины свариваемого металла.

Устройство подвода тока к сварочным роликам (скользящий токоподвод) — наиболее сложный элемент конструкции шовной машины. Сварочные ролики и электродные валы в процессе сварки нагружаются усилием сжатия, при этом скользящие токоподводы желательно разгрузить от этого усилия.

Наибольшее распространение получили именно разгруженные скользящие токоподводы, которые имеют ряд преимуществ (рис. 1.14): ста-

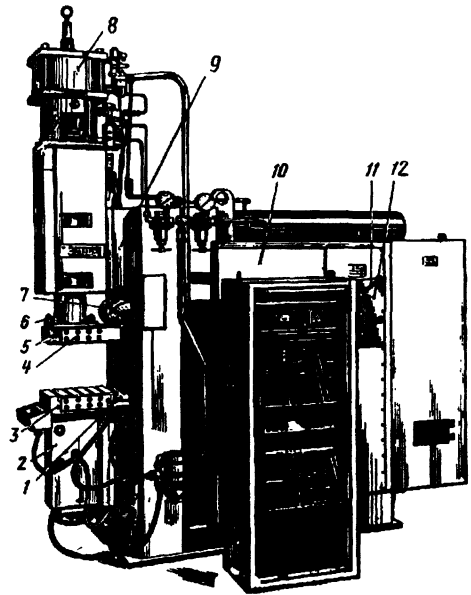


Рис. 1.13. Рельефная машина низкочастотной контактной сварки типа МРН-24001

бильное и низкое в течение всего срока службы электросопротивление, что исключает влияние степени износа скользящих контактов на силу сварочного тока; более длительный срок службы скользящих контактов вследствие постоянной компенсации износа трущихся пар электродный вал—контактные колодки и контактные колодки—токоподвод, а также вследствие наличия во внутренней герметичной полости токоподвода касторовой смазки.

В корпусе 3 токопровода помещен токоподводящий вал 1, вращающийся в подшипниках качения 4 и 5. К валу 1 прикреплен сварочный ролик 2, ток к которому подводится через шесть поджатых пружинами 6 медно-графитовых колодок 7. Усилие сжатия передается на электродный вал 1 через корпус 3 и подшипники качения 4 и 5. Внутренняя полость корпуса заполнена техническим касторовым маслом. Скользящие токоподводы такой конструкции применяют в верхних и нижних электродных устройствах шовных машин поперечной и продольной сварки.

Привод вращения сварочных роликов обеспечивает передачу крутящего момента на один или два сварочных ролика. В шовных машинах общего назначения используют электродвигатель ЭПУ2-1302Е и червячно-конический редуктор, связанные упругой втулочно-пальцевой муфтой и установленные либо внутри корпуса машины, либо вне его. Передача крутящего момента с выходного вала редукто-

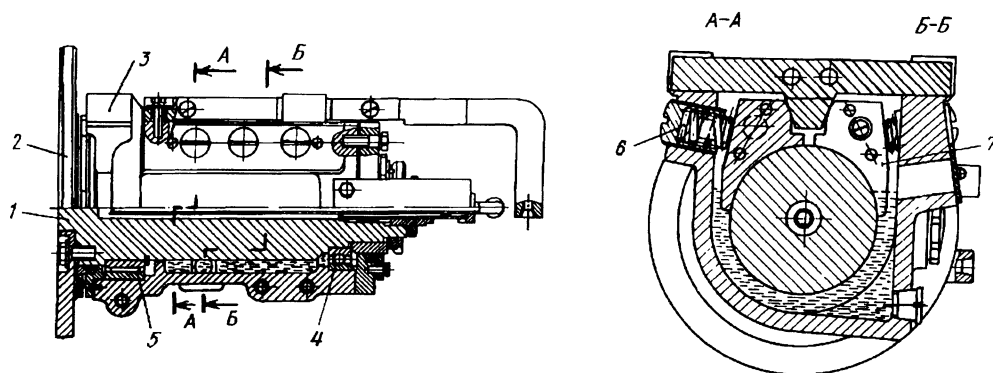


Рис. 1.14. Скользящий токоподвод

ра на верхнее или нижнее электродные устройства обеспечивается карданным валом.

В шарошечном приводе вращения роликов, в отличие от рассмотренного выше, вращающий момент передается не на валы электродных устройств, а непосредственно на ролики путем прижатия к рабочим поверхностям роликов вращающихся шарошек, связанных с электрическими приводами вращения карданными валами. Шарошки формируют рабочие поверхности сварочных роликов, профиль которых изменяется в процессе сварки. Кроме того, шарошечный привод вращения роликов защищает их рабочие поверхности, что имеет особое значение при сварке покрытых металлов (например, при сварке оцинкованных топливных баков). Необходимое усилие прижатия шарошек к роликам обеспечивается пневмогидроприводом. Материал шарошек — сталь Х12МФ.

Устройства зачистки сварочных роликов применяют для зачистки рабочих поверхностей от налипающего в процессе сварки металла, а также для формирования (протачивания) боковых поверхностей сварочных роликов в специальных шовных машинах. Зачистка рабочих поверхностей роликов осуществляется шаберами, установленными на подпружиненных рычагах. Формирование рабочих поверхностей роликов производится специальными резцами, охватывающими рабочие поверхности роликов с боков. Положение резцов относительно ролика выверяется регулировочными прокладками.

Шовные машины переменного тока типов МШ-3207 (рис. 1.15) и МШ-3208 предназначены соответственно для поперечной и продольной сварки прочноплотным швом изделий из низкоуглеродистых и коррозионно-стойких сталей без покрытий. Машины сконструированы по традиционной схеме, но в машинах для поперечной сварки электродные части и приводы вращения роликов расположены внутри корпуса, а для продольного — вне его.

Низкочастотные шовные машины отличаются наличием крупногабаритного сварочного трансформатора, который расположен внутри корпуса. Низкочастотная шовная машина типа МШН-8501 (рис. 1.16) предназначена для полуавтоматической поперечной сварки оцинкованных топливных баков по отбортовкам из сталей обычных марок, баков из алюминиевых сплавов, низкоуглеродистых сталей без покрытия. На корпусе 6 машины установлены пневмоприводы 2 с верхним электродным устройством 1, пневмогидравлический преобразователь 5, соединенный с гидроприводом 4 прижатия шарошек 3 привода вращения роликов, а также устройства для зачистки и профилирования роликов. Шарошки 3 связаны с электроприводом вращения роликов карданными валами 7. Скользящий токоподвод конструктивно выполнен аналогично показанному на рис. 1.14. Для выверки положения нижнего ролика по высоте по мере его изнашивания служит устройство, позволяющее нижнему кронштейну перемещаться по вертикали при вращении маховика.

Особенностью конструкции машины является расположение сварочных роликов с отклонением от вертикали, чем облегчается доступ роликов к отбортовкам свариваемого изделия. К приводу вращения роликов относятся: редуктор, установленный на нем электродвигатель постоянного тока 2ПН-112; привод типа ЭТ1Е2-15; блок управления и сглаживающий дроссель, расположенные внутри корпуса машины. Машины, предназначенные для сварки топливных баков больших размеров, могут комплектоваться пантографом, позволяющим автоматизировать процесс.

Применение низкочастотных шовных машин позволяет увеличить скорость сварки в 1,5 раза по сравнению со скоростью сварки машин переменного тока. Кроме того, качество сварки покрытых сталей с неравномерной толщиной покрытия при использовании низкочастотных машин значительно лучше, чем

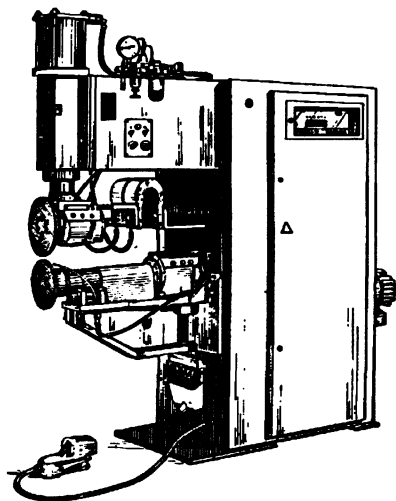


Рис. 1.15. Шовная машина переменного тока МШ-3207

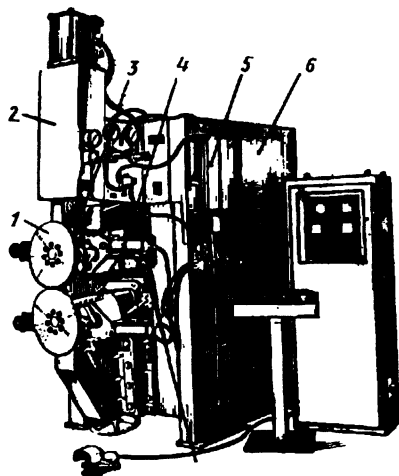


Рис. 1.16. Низкочастотная шовная машина МШН-8501

машин переменного или постоянного тока, вследствие наличия эффекта саморегулирования. Так же, как и в точечных низкочастотных машинах, аппаратура управления шовных низкочастотных машин содержит блоки контроля гашения, запоминания полярности полуволн, датчика проводимости вентиля и другое оборудование, обеспечивающее их высокие эксплуатационные свойства.

Шовные машины постоянного тока применяются для сварки изделий из легких сплавов, латуни, титана и легированных сталей. Шовная машина типа МШВ-7501 (рис. 1.17) обеспечивает сварку продольным и поперечным швами при непрерывном или шаговом враще-

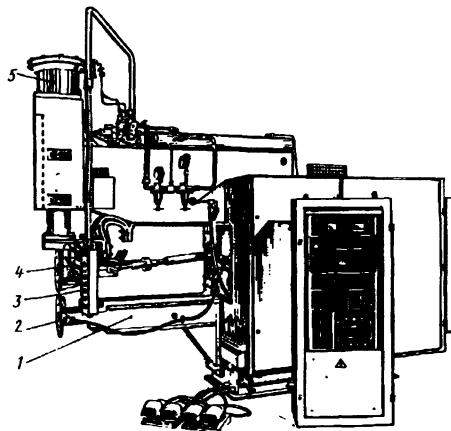


Рис. 1.17. Шовная машина постоянного тока МШВ-7501

нии сварочных роликов. Машина комплектуется шкафом управления ШУ-342 и четырьмя ножными педальными кнопками. На корпусе машины установлен диафрагменный пневмопривод 5 усилия сжатия с верхним электродным устройством 4, нижний кронштейн 1 с нижним электродным устройством 2, выносной пульт 3 управления, элементы системы охлаждения пневмо-, электрооборудования. Внутри корпуса помещен сварочный трансформатор с блоком диодов, привод вращения сварочного ролика с электромагнитной муфтой и редуктором.

При переходе с поперечной сварки на продольную заменяют нижнее электродное устройство, а верхнее поворачивают вокруг вертикальной оси на 90°. Различие в диаметрах сварочных роликов к моменту переналадки компенсируется установкой через комплект изолирующих деталей специальных вставок, поставляемых вместе с машиной.

Скользящие токоподводы выполнены по типу вал-втулка. Привод вращения сварочных роликов состоит из тиристорного привода ЭУУ2-1-3027Е и червячного редуктора. Редуктор связан с приводным электродвигателем шаговой электромагнитной муфтой, обеспечивающей необходимые разъединение и соединение их валов при работе машины. В приводе вращения предусмотрены два диапазона скоростей непрерывного вращения роликов: 0,2...2 и 0,8...8 м/мин.

Диапазон скоростей изменяется установкой сменных зубчатых колес.

1.5. ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ, ИНСТРУМЕНТ, ПРИСПОСОБЛЕНИЯ И ЭЛЕКТРОДЫ

Сборку и фиксацию отдельных деталей изделия перед их контактной сваркой осуществляют в сборочно-сварочных приспособлениях [2, 5, 6, 12—15]. Приспособления повышают точность и производительность операций,

улучшают условия труда, повышают безопасность работ. Их можно классифицировать по нескольким признакам: по отношению к сварочной машине — вынесенные вне сварочной машины, на сварочной машине, встроенные в сварочную машину; по назначению — универсальные, специальные; по характеру выполняемых операций — сборочные, сборочно-сварочные, сварочные; по размерам и сложности — главные, крупные, средние, мелкие; по способу монтажа и характеру работы — переносные, стационарные, передвижные (настольные, подвесные), поворотные.

Универсальные приспособления применяются в одиночном и мелкосерийном производстве. К ним относят наборы фиксирующих, опорных и зажимных элементов (плиты, угольники, винтовые струбины, пружинные зажимы, монтажные болты, ручные тиски и т. д.). В крупносерийном и массовом производстве применяют только специальные приспособления, которые обеспечивают более точную сборку и высокую производительность.

Основание приспособления — стальная плита или сварная рама, на которой смонтированы фиксирующие и зажимные устройства, чаще всего с пневмо- или гидроприводом. При сварке изделий на многоэлектродных машинах сборочные приспособления устанавливают на столе машины.

Если сборка и сварка производится на автоматической линии, то фиксирующие и зажимные устройства устанавливают стационарно на каждой позиции. В этом случае их меняют от позиции к позиции при сохранении базовых фиксаторов. При сварке деталей небольших габаритов приспособления можно сделать переносными или смонтировать на элементах вторичного контура сварочной машины. В зависимости от сложности приспособления могут быть главными, крупными, средними и мелкими. В основу такого деления положены размеры, масса и их стоимость.

Значительную группу сборочно-сварочной оснастки составляют сварочные приспособления, предназначенные для ориентации и перемещения детали относительно электродов сварочных машин. Их обычно выполняют как приставку к сварочным машинам общего применения с соответствующей их модернизацией. Для перемещения изделий применяют шаговые механизмы с электромагнитными муфтами, пневматическими системами, колесорейка, крановые или мальтийские механизмы.

При рельефной, а иногда и точечной сварке эффективно применение поворотных столов различного типа, позволяющих закладывать детали в сборочные приспособления вне сферы сварочных электродов во время рабочего цикла. Наиболее сложными узлами этих устройств являются механизмы для поворота стола, на котором размещается сборочное приспособление. Чаще используют поворотные столы с мальтийскими механизмами или кулачково-роликовые с приводом от электродвигателя.

В приспособлениях широко используют унифицированные узлы различного типа, фиксаторы, зажимы, прижимы, стойки основания и др. Конструкцию приспособлений разрабатывают с учетом следующих основных положений:

обеспечения свободного доступа к местам сварки;

удобства установки деталей в приспособление и их фиксации;

быстродействия прижимных и зажимных устройств с пневмо- и гидроприводом, допускающим их групповую работу;

сохранения базы фиксации изделия на нескольких приспособлениях; использования немагнитных материалов для частей приспособлений, находящихся в контуре сварочной машины;

удобства транспортировки.

При разработке конструкции учитывают возможность периодического применения мастер-макетов для наладки приспособления и его проверки в эксплуатации. Конструкция приспособления должна удовлетворять правилам техники безопасности.

Для точечной сварки наиболее распространены прямые электроды. Их изготавливают из прутка диаметром 12...40 мм (ГОСТ 14111—90). Рабочая поверхность электродов может быть плоской или сферической. Для сварки деталей сложной конструкции используются электроды со смещенной рабочей поверхностью (сапожковые). Электрод крепится хвостовиком, который имеет конусность 1:10 или 1:5. Иногда электроды имеют цилиндрические поверхности крепления. В этом случае их зажимают специальными зажимами или крепят конусными резьбовыми соединениями. Электроды со сменной рабочей частью можно крепить на конусе, накондной гайкой, припаивать или запрессовывать.

Для рельефной сварки применяют электроды, конструкция которых зависит от типа соединений и формы изделия. Размер их рабочей поверхности обычно не имеет существенного значения для концентрации тока, так как форма и площадь контакта определяются формой свариваемых поверхностей в месте соприкосновения. Различают электроды для одно- и многорельефной сварки, для сварки кольцевых рельефов и Т-образных соединений.

Электроды (ролики) шовных машин изготавливают в виде дисков с плоским профилем рабочей поверхности или с симметричными или несимметричными скосами. Диски электродов (диаметром 100...400 мм) крепят запрессовкой или шпонкой. Охлаждающую жидкость подают внутрь электродов. Иногда применяют и наружное охлаждение. Для снижения расхода электродного материала рабочую поверхность ролика делают сменной. Электроды контактных машин изготавливают из специальных сплавов в основном на медной основе. Они имеют низкое электрическое сопротивление, высокую теплопроводность и жаро-

1.8. Состав и свойства электродных материалов

Материал	Легирующие элементы, %	Электропроводность по отношению к чистой отоженной меди, %	Твердость по Бринеллю (после обработки)	Температура рекристаллизации, °С
Медь холодноотянутая М1	—	98	80	200
Сплав меди с серебром МС1	0,07... 0,12	97... 99	90... 100	350
Бронза кадмиевая БрКд1 (МК)	0,9... 1,2, 0,4... 0,7	85... 90	95... 115	250... 300
Сплав меди с магнием и бором	Менее 0,3, менее 0,1	92	110	330... 380
Бронза циркониевая БрЦр	Менее 0,37	90... 95	130... 150	480
Бронза хромокадмиевая Мц5Б (БрХКд-0,5-0,3)	0,2... 0,4, 0,2... 0,35	80... 95	110... 130	350... 400
Бронза хромоциркониевая БрХЦр-0,6-0,05	0,5... 0,7, 0,03... 0,06	80... 82	140... 160	500
Бронза хромовая БрХ	0,4... 1,0	80... 85	140... 180	370... 420
Сплав Мц4	0,4... 0,8, 0,1... 0,2, 0,1... 0,2	75... 78	110... 120	400
Бронза никельбериллититановая БрНБТ	1,4... 1,6, 0,2... 0,4, 0,05... 0,15	50... 55	170... 220	500... 510
Бронза кремненикелевая БрКН-1-4 или БрКН-0,5-0,25	0,6... 1,0, 3,0... 4,0	40... 45	140	430... 450
Бронза алюминийжелезоникелевая БрАЖН11	1,1... 1,2, 3,5... 4,0, 0,4... 0,6	40	225	550

прочность, значительную твердость в горячем виде и малую склонность к взаимодействию с металлом детали.

Электролитическая медь М1 в нагартованном состоянии — наиболее электропроводный материал, иногда применяемый для изготовления электродов. Стойкость таких электродов низкая вследствие небольшой температуры рекристаллизации (200°С). Обычно медь легируют кадмием, хромом, кобальтом, бериллием и другими элементами. Жаропрочность материала повышают дисперсионным твердением или блокировкой границ зерен тугоплавкой фазой. При изготовлении сплавы подвергают холодной деформации, термической или термомеханической обработке, что увеличивает их прочность и жаропрочность.

В табл. 1.8 приведены состав и свойства электродных материалов, получивших распространение в промышленности. Сравнительно новую группу представляют электроды из по-

рошковых материалов на базе меди с дисперсным распределением ряда оксидов. Для изготовления вставок электродов для точечной и рельефной сварки иногда применяют порошковую композицию из вольфрама и меди, карбида вольфрама с медью, а также вольфрам и сплавы молибдена.

Для извлечения электродов из конусного гнезда электрододержателя применяют специальные съемники с винтовым зажимом электрода.

Зачищают рабочие поверхности электродов машин для точечной сварки напильниками, наждачным полотном или специальными переносными фрезерными головками с электрическим приводом. Рабочую поверхность роликов шовных машин зачищают и направляют вращающимися стальными кругами, щетками, стальными шарошками, установленными на головке или консоли машины.

1.6. ПОТОЧНЫЕ И АВТОМАТИЧЕСКИЕ СБОРОЧНО-СВАРОЧНЫЕ КОМПЛЕКСЫ И ЛИНИИ

Контактные машины имеют высокий уровень механизации и автоматизации и хорошо адаптируются к работе в производственных потоках вместе с оборудованием другого типа, сборочными и сварочными приспособлениями [2, 5, 6, 12, 14, 16]. В одном агрегате могут быть объединены десятки, а иногда сотни одноточечных машин. Комбинированное оборудование применяется в серийном и массовом производстве для автоматизации точечной сварки штампованных конструкций из тонколистовых металлов, арматурных конструкций из железобетона и др.

Многояэлектродные машины оборудованы, как правило, несколькими трансформаторами (по числу электродных пар) и выполнены по схемам односторонней и двухсторонней сварки. Сварочные пистолеты или клещи работают параллельно, одновременно зажимая свариваемые детали. Для сокращения числа сварочных пистолетов, клещей и трансформаторов в многояэлектродных машинах с большим объемом сварки широко используют блоки, которые двигаются на нескольких сварочных позициях.

Для сварки изделий с большим количеством соединений применяют несколько многояэлектродных машин, объединяя их в механизированные или автоматизированные линии. Многояэлектродная машина может быть узкоспециализированной, т. е. предназначена для сварки только определенной детали. Если требуется увеличить загрузку этого оборудования при недостаточной серийности, то применяют сварочные многояэлектродные прессы, которые имеют сменную оснастку — сварочные штампы, что позволяет на одном сварочном прессе сваривать несколько изделий.

Производительность многояэлектродных машин зависит от вспомогательного времени, затрачиваемого на съем деталей. Сокращение этого времени достигается применением погрузочно-разгрузочных устройств, конструкция которых должна быть согласована с конструкцией машины и транспортным устройством, подающим свариваемые детали. В группе комбинированных машин, в которых в одном агрегате интегрированы несколько последовательных, различных по технологии операций [12], исключены промежуточные транспортные и загрузочные операции. При объединении операций обычно существенно усложняется конструкция оборудования.

Примером комбинированной машины, в которой объединены операции сборки, формообразования и рельефной сварки, является машина для изготовления тормозных колодок автомобиля [5, 6, 12]. Изделие состоит из обода и ребра из низкоуглеродистой стали. Обод на сварку поступает плоским и в машине он одновременно со сваркой гнется по контуру ребра. Свариваемые детали предварительно закладываются в магазины-питатели и автоматически подаются на сварку. Работа машины

происходит при непрерывном вращении главного механизма. Ее рабочий цикл совершается за один оборот, производительность — до 600 деталей в час.

Механизированная поточная линия — это комплекс основного и вспомогательного оборудования, которое обеспечивает выполнение большей части основных технологических операций (транспортные, загрузочные и др.). Оборудование и рабочие места расположены в порядке выполнения отдельных операций технологического процесса. Пока это основной способ механизации, получивший широкое применение. В автомобилестроении широко применяют поточные механизированные линии для сборки и сварки крупногабаритных штампованных конструкций. Точечная сварка на этих линиях производится подвесными точечными машинами. Транспортировка изделия производится напольным конвейером карусельного или прямолинейного типа с непрерывным или шаговым движением [5, 6, 12, 14]. Такие линии эффективны при относительно больших объемах производства.

Автоматическая линия — это комплекс основного и вспомогательного (транспортного и другого необходимого) оборудования, на котором без непосредственного участия рабочего выполняется определенная часть производственного процесса изготовления изделия. Линия имеет систему общего автоматического управления, обеспечивающего взаимодействие всех механизмов, устройств и аппаратуры, установленной на линии. Функция обслуживающего персонала сводится к наблюдению за работой линии и ее наладке. В отдельных случаях некоторые загрузочные операции выполняются вручную или с помощью неавтоматических механизмов и устройств. Примерами таких линий являются линии на основе многояэлектродных точечных машин, которые применяют для сборки и сварки крупногабаритных штампованных изделий из тонколистовой стали в массовом производстве (автомобилестроение, сельскохозяйственная техника и др.) [2, 5, 6, 12, 14].

Автоматическая линия состоит из многояэлектродных точечных машин, связанных общими транспортным устройством и автоматическим управлением. В последнее время для управления линиями начала использоваться микропроцессорная техника.

При производстве несколько различных изделий в линии вместо многояэлектродных машин устанавливают многояэлектродные прессы. Заменяя сварочные штампы, можно перенастраивать линии на выпуск новых изделий. В зависимости от объемов сварки и массовости производства производительность этих линий достигает от нескольких десятков до нескольких сотен изделий в час. Если на линии кроме точечной сварки производятся другие технологические операции, то это линия комплексной автоматизации. Одним примером может служить линия производства колес легкового автомобиля. Колесо автомобиля со-

стоит из диска и обода. Обод собирается и сваривается с диском в восьми точках. На линии кроме сварки выполняются операции правки полосы, закатки обода, обрезки грата, профилирования обода и др. Производительность линии 720 колес в час [5, 6].

Другим примером линии комплексной автоматизации является линия изготовления радиаторов отопления. Панель радиатора представляет собой плоскую деталь, состоящую из двух половинок со штампованными каналами для циркуляции воды. По периметру деталь сваривается шовной сваркой, а между каналами — точечной. Два патрубка к каждому радиатору привариваются стыковой сваркой. Детали изготавливаются из рулонов низкоуглеродистой стали толщиной 1,5 мм со скоростью 20 м/мин. На последней операции линии радиаторы отрезаются от полосы летучими ножницами и подаются на гидропресс для испытания.

Получили распространение роботизированные линии сборки и точечной сварки штампосварных конструкций, в которых точечная сварка производится промышленными роботами. Основное преимущество этих линий — возможность быстрой переналадки на изготовление сварного изделия. В комбинированных комплексах вместе с промышленными роботами используют традиционные линии со встроенными многоэлектродными точечными машинами. Кузовное производство автомобильных заводов оснащено гибкими роботизированными комплексами, состоящими из нескольких роботизированных линий и включающих 100—200 промышленных роботов для точечной сварки [4, 6, 14, 15].

Необходимо отметить, что окупаемость роботизированных линий не всегда укладывается в нормативные пределы. Эффективность этой техники значительно повышается при полном использовании той гибкости, которая заложена при их расчетах.

1.7. ТЕНДЕНЦИЯ РАЗВИТИЯ

Точечная, шовная и рельефная сварки являются одними из ведущих механизированных процессов сварки в машиностроении и других отраслях производства.

— Новые конструктивные решения позволяют существенно снизить материалоемкость сварочных машин общего назначения и их конструктивных элементов, они лучше приспособлены для создания большого разнообразия специализированных машин. Последнее позволит сократить объемы проектирования более производительного специализированного оборудования и ускорить его внедрение.

— Точечные машины с возможностью регулирования силы сжатия во время процесса нагрева имеют большие технологические возможности и обеспечивают снижение потребления энергии на сварку. Оборудование с пневмоприводом с более совершенными глушителями существенно улучшит условия труда.

— Перспективными являются работы по унификации источников питания мощных трехфазных машин и другого оборудования, что позволит снизить потребление мощности и удельные расходы меди.

— Существенное расширение применения микропроцессорных средств управления машинами контактной сварки позволит осуществлять контроль и управление качеством сварных соединений, диагностику состояния узлов машин и, тем самым, увеличить надежность и срок службы машин, поднять их производительность.

— Получили развитие источники питания с промежуточным звеном повышенной частоты, что значительно снижает массогабаритные характеристики сварочных трансформаторов, имеющих важное значение для подвесных точечных машин. Такие машины могут иметь высокоскоростное регулирование сварочного тока, трехфазное распределение нагрузки на сеть, меньшую глубину пульсаций в сварочном контуре.

— Новое поколение конденсаторных машин — это повышенная точность дозирования энергии и более высокая производительность в результате использования частичного разряда конденсаторов и применения бестрансформаторной инверторно-резонансной системы заряда батареи конденсаторов.

— Целесообразно увеличение номенклатуры и объема изготовления специализированных машин: многоэлектродных машин, машин с повышенной степенью механизации и автоматизации (полуавтоматы, автоматы), выполняющих вспомогательные операции.

— Контактные машины класса А желательно оснащать устройствами для измерения и контроля параметров режима сварки и диагностики состояния отдельных узлов машины. Получит распространение современная вычислительная техника в системах информации, контроля и автоматического управления большим количеством контактных машин. Существенно расширится применение механизированных и автоматических линий, в том числе и линий с применением промышленных роботов для точечной сварки.

— Целесообразно расширение специальных сплавов для изготовления электродов контактных машин, в том числе и новых марок с менее дефицитными легирующими элементами, вставок в рабочей части электродов из специальных сплавов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аксельрод Ф. А., Миркин А. М. Оборудование для контактной сварки. М.: Машиностроение, 1979. 70 с.
2. Бердичевский А. Е., Редькин Е. Н., Элик К. А. Многоэлектродные машины для контактной сварки. Л.: Энергоатомиздат. 1984. 264 с.

3. Глебов Л. В., Пескарев М. А., Файгенбаум Д. С. Расчет и конструирование машин контактной сварки. Л.: Энергоиздат, 1981. 423 с.
4. Глебов Л. В., Филиппов Ю. И., Чулошников П. Л. Устройство и эксплуатация контактных машин. Л.: Энергоиздат, 1987. 312 с.
5. Гуляев А. И. Технология и оборудования контактной сварки. М.: Машиностроение, 1985. 256 с.
6. Гуляев А. И. Технология точечной и рельефной сварки сталей (в массовом производстве). М.: Машиностроение, 1978. 244 с.
7. Кабанов Н. С. Сварка на контактных машинах. М.: Высшая школа, 1985. 271 с.
8. Львов Н. С., Гладков Э. А. Автоматика и автоматизация сварочных процессов. М.: Машиностроение, 1982. 302 с.
9. Моравский В. Э., Воропа Д. С. Технология и оборудование для точечной и рельефной конденсаторной сварки. Киев: Наукова думка, 1985. 272 с.
10. Патон Б. Е., Лебедев В. К. Электрооборудование для контактной сварки. М.: Машиностроение, 1969. 440 с.
11. Рыськова З. А. Трансформаторы для электрической контактной сварки. Л.: Энергия, 1975. 280 с.
12. Севбо П. И. Комбинированные машины для сварочного производства. Киев: Наукова думка, 1975. 224 с.
13. Слиозберг С. К., Чулошников П. Л. Электроды для контактной сварки. Л.: Машиностроение, 1972. 96 с.
14. Орлов Б. Д., Дмитриев Ю. В., Чаколов А. А. Технология и оборудование контактной сварки. М.: Машиностроение, 1986. 352 с.
15. Тимченко В. А., Сухомлин А. А. Роботизация сварочного производства. Киев: Техника, 1988. 175 с.
16. Чулошников П. Л. Контактная сварка. М.: Машиностроение, 1987. 176 с.

Глава 2

КОНТАКТНЫЕ МАШИНЫ ДЛЯ СТЫКОВОЙ СВАРКИ

2.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Контактной стыковой сваркой можно успешно соединять практически все известные конструкционные материалы — низкоуглеродистые и легированные стали, жаропрочные и коррозионно-стойкие металлы и сплавы, сплавы на основе алюминия, магния и титана и др. Это наиболее механизированный и автоматизированный способ сварки: при его использовании практически полностью автоматизирован технологический цикл получения сварного соединения. Наиболее широко применяют два основных способа контактной стыковой сварки: сопротивлением и оплавлением (непрерывным, с предварительным подогревом).

Применение контактной стыковой сварки сопротивлением весьма ограничено в связи со сложностью обеспечения равномерного нагре-

ва стыка и получения соединения по всей площади поперечного сечения деталей из-за трудностей удаления оксидной пленки. Этот способ предназначен в основном для соединения деталей с небольшим поперечным сечением: проволоки, стержней, труб и др.

Контактную сварку оплавлением с предварительным подогревом сопротивлением также ограниченно применяют для соединения деталей преимущественно большого сечения. Этому способу присущи основные недостатки способа сварки сопротивлением. При этом значительно повышаются требования к подготовке торцов деталей перед сваркой.

Стыковую сварку непрерывным оплавлением благодаря отсутствию литого металла в соединении и большим возможностям по регулированию термического цикла используют практически для всех металлов и сплавов. Среди известных способов сварки давлением сварку оплавлением отличает следующее: универсальность применения; относительная простота и высокая производительность оборудования; отсутствие каких-либо требований к форме поперечного сечения деталей и первоначальному состоянию свариваемых поверхностей.

Сварку оплавлением используют в заводских условиях при изготовлении биметаллических заготовок для режущего инструмента, клапанов двигателей внутреннего сгорания, ободьев колес различного назначения, колец из профильного материала, звеньев цепей, меевиковых труб, металлических рам, арматурных каркасов, оконных переплетов, длиномерных металлических лент, рельсов и др.

Площадь поперечного сечения свариваемых деталей чаще всего составляет сотни квадратных миллиметров. Для деталей с площадью поперечного сечения в несколько тысяч квадратных миллиметров сварка оплавлением применяется сравнительно редко. Машины для сварки еще более крупных деталей (некоторых зарубежных фирм) слишком громоздки, мощность их составляет сотни, а иногда и тысячи киловольт-ампер. Следует отметить, что трудности получения сварных соединений высокого качества возрастают по мере увеличения размеров поперечного сечения свариваемых деталей.

В результате исследований, проведенных в ИЭС им. Е. О. Патона, было установлено, что мощность машин может быть многократно уменьшена благодаря переходу к нагреву металла оплавлением без предварительного подогрева. Найдены пути повышения устойчивости оплавления и определены требования к силовым электрическим цепям машин, к системам автоматического управления. Разработаны способы повышения термического КПД оплавления, позволившие интенсифицировать нагрев, сократить потери металла на оплавление и осадку. Предложены и осуществлены новые способы сварки оплавлением и принципы конструктивного исполнения стыковых машин. Определены условия, обеспечи-

вающие значительное повышение технико-экономических показателей стыковой сварки оплавлением.

Сварку оплавлением применяют в полевых условиях при строительстве и ремонте железнодорожных путей, при сооружении газо- и нефтепроводов, нефтяных и газовых скважин на промыслах при температуре окружающей среды $-40...+40^{\circ}\text{C}$.

В последнее время много внимания уделялось вопросам механизации вспомогательных операций, сопутствующих сварке. Одним из важнейших узлов является узел гратосъема. Многие стыковые машины снабжаются специальными блоками и приборами контроля параметров процесса сварки, которые позволяют с большей достоверностью оценить качество сварных соединений без применения разрушающих методов контроля.

2.2. КЛАССИФИКАЦИЯ

Оборудование для контактной стыковой сварки предназначено для реализации заданных технологических циклов и обеспечивает выполнение следующих основных операций: зажатие свариваемых деталей; создание усилия осадки; подвод сварочного тока к деталям; управление сварочным циклом. В зависимости от назначения и характера производства оборудование может комплектоваться дополнительными вспомогательными механизмами: для удаления грата; загрузки деталей и съема готовых изделий; упорами; средствами контроля и регистрации параметров процесса сварки; устройствами для термической и термомеханической обработки сварных соединений и др.

Классификация оборудования производится по ряду функциональных признаков. Стыковые машины подразделяют:

- по виду сварки — для стыковой сварки сопритавлением, для стыковой сварки оплавлением, в том числе для сварки непрерывным оплавлением, оплавлением с предварительным подогревом, импульсным оплавлением (на некоторых образцах оборудования могут быть реализованы несколько видов сварки);

- по характеру установки — стационарные, передвижные;

- по назначению — универсальные, специализированные;

- по типу привода механизмов зажатия, оплавления, подогрева, осадки — с рычажным, с пружинным, с электромеханическим, с пневматическим, с гидравлическим, с пневмогидравлическим;

- по виду питания — однофазные переменного тока, трехфазные с выпрямлением во вторичном контуре, трехфазные низкочастотные;

- по роду управления сварочным процессом — автоматические, неавтоматические.

Кроме того, для классификации стыковых машин могут быть использованы и другие признаки: число одновременно свариваемых

деталей, типы зажимных механизмов и станин, возможность боковой выдачи деталей, ход подвижных частей машины, расположение направляющих и др. Для расширения и поддержания на должном уровне ассортимента электросварочного оборудования при его разработке и производстве разработан ряд классификационных функциональных признаков стыковых машин.

Контактные стыковые машины для сварки оплавлением делят на следующие три класса.

3. Машины универсальные, с автоматизированным циклом сварки по жесткой программе, без стабилизации напряжения, механизации центровки и устройства для снятия грата:

- сварка проводится в автоматизированном цикле по жесткой программе подогрева и оплавления, без узлов стабилизации напряжения; центровка свариваемых деталей немеханизированная; обеспечивается предварительной регулировкой осястки в разжатом состоянии зажимных губок;

- снятие грата осуществляется без встроенного гратоснимателя за пределами машины;

- контроль параметров проводится отдельной приставкой, поставляемой в комплекте с машиной или по заказу;

- очистка токопроводящих губок от брызг металла и нагара ручная;

- адаптация к механизированным линиям не требуется.

2. Машины универсальные и специализированные, с автоматизированным циклом сварки и обратными связями, со стабилизацией напряжения с механизированной центровкой деталей и встроенной в схему машины системой контроля параметров, с автоматизированным гратоснимателем:

- сварка проводится в автоматизированном цикле подогрева и оплавления, с обратными связями по напряжению или току, а также стабилизацией напряжения;

- центровка свариваемых деталей механизированная, производится в их зажатом состоянии;

- снятие грата выполняется встроенным в машину гратоснимателем, работающим в автоматизированном режиме (очистка остатков срезанного грата ручная);

- контроль параметров осуществляется встроенной в схему машины системой контроля;

- очистка токоподводящих губок от брызг металла и нагара ручная;

- адаптация к механизированным линиям ограничена (центровка свариваемых деталей и их зажатие в губках выполняются оператором).

1. Машины специальные и универсальные с автоматизированным циклом сварки, программированием и обратными связями, с автоматизированной центровкой деталей и гратоснимателем, со встроенными системами контроля параметров и диагностики основных систем машины:

сварка проводится в автоматизированном цикле подогрева и оплавления, с программированием нескольких параметров и с обратными связями по току и напряжению;

центровка свариваемых деталей автоматизированная, производится в их зажатом состоянии;

для снятия грата в машину встроен автоматизированный гратосниматель с автоматической очисткой срезанного грата; контроль параметров осуществляет встроенная система контроля и устройство для диагностики основных систем машины (с выдачей документа о результатах контроля) и разрушения бракованных стыков после сварки (для отдельных специализированных машин);

очистка токоподводящих губок от брызг металла и нагара выполняется встроенными автоматическими устройствами;

адаптация к механизированным линиям полная (работа в автоматическом режиме без участия оператора).

Контактные стыковые машины для сварки сопротивлением делят на следующие три класса.

3. Машины универсальные (общего назначения) с частичной механизацией и автоматизацией технологических процессов и с кратковременным режимом работы, в которых по условиям эксплуатации требования к стабильности отдельных параметров процесса сварки могут не предъявляться:

ручные установка и снятие деталей, их зажатие, взвод сварочной каретки, ведение процесса термообработки;

автоматизированное управление процессом сварки по сигналам датчиков положения, перемещения, времени и других параметров;

адаптация к работе в автоматизированных комплексах и линиях отсутствует;

оснащение средствами контроля параметров режима сварки осуществляется по требованию заказчика.

2. Машины специальные и универсальные (общего назначения) с повышенным уровнем механизации (автоматизации) технологического процесса и стабильностью параметров сварки в пределах $\pm 5\%$:

механизированная подготовка деталей под сварку, проковка металла в зоне стыка;

наличие системы управления с автоматическим циклом сварки с термообработкой, системами автоматического регулирования процесса сварки с обратными связями (не менее одного параметра);

адаптация к работе в автоматизированных комплексах и линиях отсутствует (ручная установка и снятие деталей);

контроль параметров режима сварки выполняется устройствами, позволяющими определять усилия зажатия деталей и их осадки;

центровка свариваемых деталей ручная.

1. Машины специальные с высоким уровнем механизации (автоматизации) технологического процесса и стабильностью главных параметров режима в пределах $\pm 5\%$:

автоматическая подготовка деталей под сварку (правка, гибка, резка, очистка);

автоматические установка и центровка свариваемых деталей в зажатом состоянии, подача изделий в зону сварки, загрузка и выгрузка изделий;

наличие системы управления с автоматическим циклом сварки, с системами автоматического регулирования процесса сварки с обратными связями;

наличие системы контроля, диагностики и сигнализации состояния основных узлов машины и протекания процесса сварки;

возможность работы в составе автоматизированных комплексов и линий.

Стыковые машины имеют следующие отличные от точечных машин обозначения (ГОСТ 297—80Е): вторая буква С — стыковая сварка; третья буква — вид сварки (С — со-противлением, О — оплавлением). Например, машина для контактной стыковой сварки оплавлением с силой осадки 60 кН, порядковым номером модификации 06 имеет обозначение: МСО-606.

2.3. ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ

В зависимости от условий использования (стационарные или передвижные) стыковых машин их питание осуществляется либо от трансформаторной подстанции, либо от дизель-генератора. При выборе источника питания следует учитывать его номинальную мощность и внутреннее сопротивление, падение напряжений в токоподводящей линии и стабильность выходного напряжения.

Поскольку стандартные источники питания рассчитаны на трехфазную нагрузку, а сварочная машина создает однофазную, то необходимо, чтобы мощность на одну фазу источника питания была меньше средней мощности $P_{\text{опл}} \approx U_2 I_2$, расходуемой на оплавление, в k раз. Коэффициент k , учитывающий цикличность работы стыковой машины, принимают: $R = 0,5 \dots 0,6$ для передвижной машины и $R = 0,7 \dots 0,8$ для стационарной.

Однако выполнение этого требования гарантирует только отсутствие тепловых перегрузок силового трансформатора или генератора электростанции. Практически установочную мощность источника питания приходится принимать больше вследствие специфических особенностей сварочного процесса и, прежде всего, устойчивостью оплавления. На устойчивость процесса оплавления существенно влияет сопротивление сварочной цепи. При этом необходимо учитывать сопротивление короткого замыкания не только стыковой машины, но и источника ее энергоснабжения. Сила тока в сварочной цепи при коротком замыкании

$$I_{\text{к.з.}} = \frac{U_{2\text{х.х}}}{R_{\text{к.з.}} + R_{\text{и.п.}}/n_{\text{тр}}^2}, \quad (2.1)$$

где $U_{2х.х}$ — напряжение на вторичной обмотке сварочного трансформатора, В; $R_{к.з}$ — сопротивление короткого замыкания стыковой машины, Ом; $R_{и.п}$ — сопротивление источника питания, включая сопротивление токоведущих кабелей, Ом; $n_{тр}$ — коэффициент трансформации сварочного трансформатора.

Согласно экспериментальным данным, при выборе источника питания необходимо стремиться к тому, чтобы $R_{и.п} \leq (0,1 \div 0,15)R_{к.з}$. Поэтому во многих случаях источник питания для стыковой машины приходится выбирать не только по его номинальной мощности из расчета допустимого нагрева, но также по его внутреннему сопротивлению для обеспечения устойчивого оплавления. Внутреннее сопротивление источника питания характеризуется так называемым единичным сопротивлением по переменному току

$$R_1 = \frac{U_{ф.н}}{I_{ф.н}} = \frac{U_{ф.н}}{\frac{P_n}{\sqrt{3} U_{л. \cos \varphi}}}, \quad (2.2)$$

где $U_{ф.н}$ — номинальное фазное напряжение, В; $I_{ф.н}$ — номинальная сила фазного тока, А; P_n — номинальная мощность, В·А; $U_{л.}$ — номинальное линейное напряжение, В; $\cos \varphi$ — коэффициент мощности нагрузки.

Из формулы (2.2) следует, что сопротивление R_1 обратно пропорционально номинальной мощности P_n трансформатора подстанции или генератора передвижной электростанции. В связи с этим для стыковых машин предпочтительнее выбирать источник питания с запасом мощности. Мощность трансформаторной подстанции обычно выбирают в 1,5–2 раза больше номинальной мощности сварочной машины или в 3–5 раз больше средней мощности $P_{опл.}$ требуемой для устойчивого оплавления. С увеличением мощности трансформатора процесс оплавления протекает более устойчиво вследствие уменьшения сопротивления $R_{и.п}$ и увеличения запаса мощности на саморегулирование.

При выборе схемы питания стыковой машины необходимо также учитывать падение напряжения в токоподводящей линии и сопротивление этой линии, вносимое во вторичный контур машины. Падение напряжения в питающей линии определяется по формуле

$$\Delta U = 1,73(R_a \cos \varphi + R_p \sin \varphi)I, \quad (2.3)$$

где R_a и R_p — соответственно активное и реактивное сопротивление линии длиной в 1 км, Ом; $\sin \varphi$ определяется по заданному $\cos \varphi$; I — сила тока в первичной обмотке сварочного трансформатора, А; l — длина кабеля питания, км.

Сопротивление силового кабеля, вносимое во вторичный контур машины,

$$R_{к.вн} = R_k / n_{тр}^2,$$

где R_k — сопротивление силового кабеля, Ом.

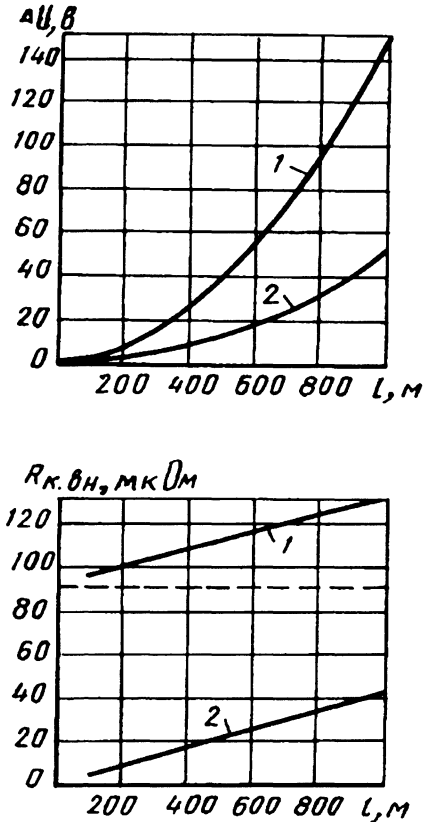


Рис. 2.1. Зависимости падения напряжения ΔU в процессе сварки и сопротивления $R_{к.вн}$ силового кабеля, вносимого во вторичный контур машины от его длины l : 1 — при коротком замыкании оплавляемых торцов на стадии возбуждения процесса; 2 — устойчивый процесс непрерывного оплавления; — — — сопротивление вторичного контура машины

Данные, полученные при сварке рельсов Р50 на машине с сопротивлением $R_{к.з} = 90$ мкОм, подключенной к силовой подстанции мощностью 560 кВт кабелем сечением 240 мм², приведены на рис. 2.1. При длине силового кабеля до 400 м заданный режим сварки рельсов не нарушается, так как увеличение $R_{к.з}$ машины и подсадка питающего напряжения находятся в пределах допустимых изменений.

Реактивное сопротивление линии зависит от числа кабелей в питающей линии и расстояния между ними. При прокладке кабельной линии кабели рекомендуется размещать на минимально возможном расстоянии друг от друга или переплетать их и связывать в жгут. Не рекомендуется укладывать кабель в бухту.

2.1. Техническая характеристика передвижных электростанций типов

Параметры	АС-630С	ЭСДА-200	ЭД-500	ЭД-1000	АМАН (Франция)	“Даусон-кит” (Великобритания)
Номинальное выходное напряжение, В	400	400	400	400	400	400
Мощность, кВт:						
номинальная длительная	630	200	500	1000	1110	760
пиковая	1050	220	550	1100	1700	910
Стабильность напряжения при статической нагрузке, %	±2,3	±2	±2	±2	±2	±2
Максимальная сила тока при однофазной нагрузке, А	2400	580	1450	2500	3900	2000
Масса, т	25	12,8	24,5	30,0	42,0	15,0

так как при этом увеличивается индуктивное сопротивление.

Применяемые в полевых условиях в качестве источников питания стыковых машин передвижные электростанции мощностью 200...1500 кВт построены по типовой схеме, предусматривающей использование дизеля, трехфазного генератора, системы управления, которые расположены в контейнере, установленном на прицепе с пневматическими колесами (для трубосварочных машин) или на железнодорожной платформе (для рельсосварочных машин). Технические характеристики электростанций приведены в табл. 2.1. Важным условием получения устойчивого оплавления является стабилизация напряжения при изменении нагрузки. Лучшие образцы электростанций обеспечивают 10%-ное снижение выходного напряжения и его восстановление с точностью 2...3% за 1...1,5 с при росте нагрузки от 0 до 50% номинальной. Высокая стабильность напряжения зависит от характеристики не только используемого регулятора напряжения, но и топливного регулятора дизеля. Совершенствование регуляторов топливных систем дизель-генераторов электростанций, а следовательно, улучшение их динамических характеристик является перспективным направлением, позволяющим повысить технико-экономические показатели сварочных комплексов.

В некоторых случаях использование дизельных электростанций затруднено, например, при сварке ходовых рельсов метрополитена, трамвайных путей. Наиболее целесообразно использовать преобразователь системы двигатель-генератор с инерционным маховиком: с двигателем постоянного тока (типа ДК-207А мощностью 95 кВт), питающимся от контактной сети постоянного тока; с трехфазным асинхронным двигателем (типа ДК-101/4М мощностью 125 кВт). Номинальная мощность двигателей примерно в 2 раза ниже мощности

синхронного генератора ГС-104-4. Недостаток мощности двигателя компенсируется запасенной кинетической энергией маховика. Поэтому частота вращения ротора генератора поддерживается постоянной при кратковременных резких изменениях нагрузки на стадии возбуждения процесса оплавления.

Пути улучшения энергоснабжения стыковых машин, обеспечивающих равномерную загрузку трех фаз питающей сети, снижение установленной мощности и сопротивления $R_{к.з.}$ являются: сварка постоянным током с выпрямлением во вторичной цепи сварочного трансформатора; сварка токами низкой частоты с использованием преобразователей частоты и числа фаз; использование инверторных источников питания с напряжением прямоугольной формы и устройств симметрирования трехфазных сетей на основе продольно-поперечных структур силовых схем.

Наибольший эффект в снижении потребляемой мощности машины при заданной силе тока достигается при переходе от промышленной на низкую частоту или на постоянный ток. Так, при снижении частоты до 5...10 Гц сопротивление $R_{к.з.}$ машины уменьшается в 3—4 раза. Одновременно возрастают размеры и масса сварочного трансформатора, возрастают требования по соблюдению строгой цикличности его перемagnetивания. Такое же снижение сопротивления достигается при выпрямлении тока во вторичной цепи машины. Вместе с тем, наличие вентилей приводит не только к усложнению конструкции сварочного контура, но и к значительным потерям энергии в выпрямителе: падение напряжения на вентилях достигает 30% напряжения холостого хода.

2.4. ОПИСАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ

Все стыковые машины состоят из следующих основных узлов: станины, подвижного и неподвижного зажимных устройств, механизмов подачи и осадки, сварочного трансформатора с вторичным контуром, устройств для коммутации сварочного тока и аппаратуры управления. В зависимости от назначения машин станины имеют горизонтальные, вертикальные или наклонные столы, на которых размещены неподвижные зажимы и плиты с подвижными зажимами, перемещающиеся по направляющим с трением скольжения или качения. В ряде случаев подвижный зажим устанавливается на рычаге, ось которого закреплена на станине. В данном случае подвижный зажим перемещается по дуге окружности. В оборудовании, предназначенном для сварки в полевых условиях, станина отсутствует, и оба зажима перемещаются друг относительно друга.

Основные узлы. В стыковых машинах наиболее широко применяют зажимные устройства следующих типов: рычажные пневматические или гидравлические, гидравлические клещевого типа или прямого действия (рис. 2.2). В ряде случаев в машинах малой мощности применяют рычажные, пружинные, винтовые или эксцентриковые зажимные устройства с ручным приводом. В процессе работы зажимные устройства обеспечивают точную установку деталей друг относительно друга, токоподвод к деталям от сварочного трансформатора или другого источника питания, а также исключают проскальзывание деталей в процессе осадки. Установку деталей в зажимах осуществляют с упорами и без них. Без упоров сваривают длинные детали (полосы, рельсы, трубы и др.), кольцевые заготовки и некоторые другие. В этом случае создают высокое давление зажатия, так как усилие осадки передается на детали, которые удерживаются в зажимах за счет сил трения, развиваемых между деталями и зажимными губками. Усилие зажатия, как правило, в 2—3 раза больше, чем осадки. При сварке с упорами усилие осадки передается на детали главным образом через упоры и токоподводящие губки разгружаются в значительной степени. Конструкции зажимных губок весьма разнообразны. Они определяются формой деталей, усилием зажатия, условиями и характером производства.

В стыковых машинах используют различные механизмы сближения: рычажные, электромеханические винтовые и кулачковые, пневмогидравлические и гидравлические. В отечественном оборудовании наиболее широко применение нашли электромеханические кулачковые и гидравлические механизмы сближения. В ряде случаев вместе с кулачковыми механизмами оплавления используют пневматические механизмы осадки.

Электромеханические кулачковые механизмы (рис. 2.3, а) применяют в автоматических и полуавтоматических машинах. В полуавтоматических машинах наряду с кулачко-

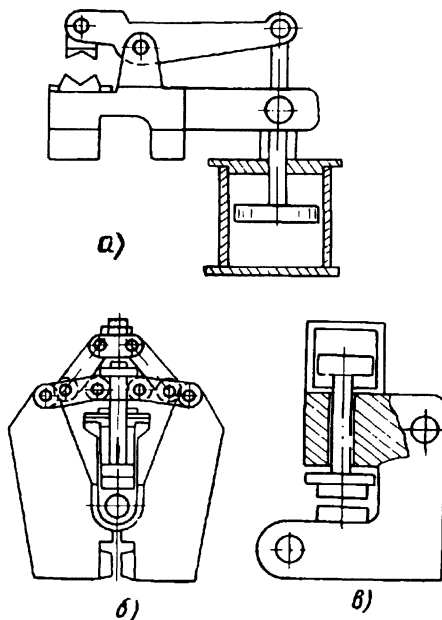


Рис. 2.2. Зажимные устройства стыковых машин:

а — рычажные пневматические или гидравлические; б — гидравлические клещевого типа; в — гидравлические прямого действия

вым приводом оплавления используют рычажный или пневматический механизм подогрева. Кулачковый механизм сближения целесообразно устанавливать в машинах, предназначенных для сварки однотипных изделий, когда не требуется частая переналадка оборудования. В кулачковом механизме подвижная плита 1 перемещается кулачком 3 через опорный ролик 2. Кулачок 3 приводится во вращение от электродвигателя 4 через клиноременную и червячную передачи. Скорость сближения деталей определяется профилем кулачка и его скоростью. Главным недостатком электромеханического кулачкового привода является ограниченная скорость осадки (не более 30 мм/с).

В машинах с гидравлическими механизмами сближения деталей в процессе оплавления и осадки закон перемещения подвижной части задается посредством изменения проходного сечения дросселя или следящей гидравлической системой. Дроссельные регуляторы (рис. 2.3, б) обеспечивают изменение скорости перемещения в широком диапазоне. Осадка при использовании дроссельного регулятора б осуществляется посредством отдельного гидравлического золотника 5. Главным недостатком дроссельных регуляторов является зависимость скорости перемещения подвижных частей машины от давления масла в гидросистеме и температуры рабочей жидкости. Использо-

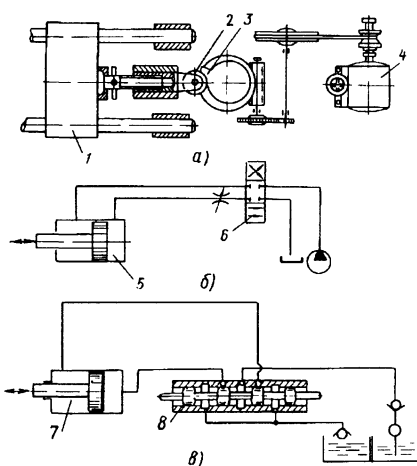


Рис. 2.3. Механизмы сближения стыковых машин для сварки оплавлением:

а — электромеханический кулачковый; б — гидравлический дроссельный; в — гидравлический следящий

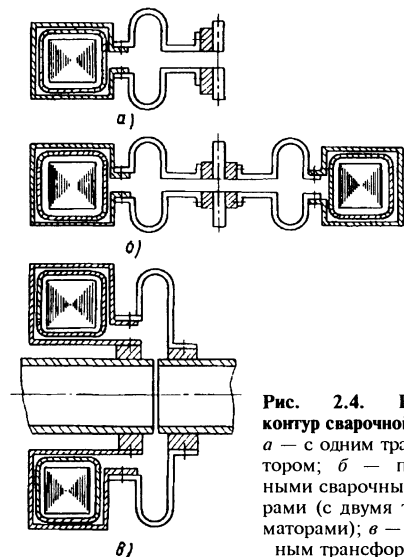


Рис. 2.4. Вторичный контур сварочной машины: а — с одним трансформатором; б — параллельными сварочными контурами (с двумя трансформаторами); в — с контурным трансформатором

ние дроссельных регуляторов затрудняет введение обратных связей при управлении процессом оплавления.

Для стабилизации закона перемещения подвижной части машины в процессе оплавления используют гидравлические следящие регуляторы (рис. 2.3, в). Электромеханический привод следящего золотника 8 установлен на подвижной части машины и связан с его штоком. Корпус крепится на станине. В корпусе золотника имеется пять цилиндрических вы-

точек, соединенных с гидросистемой машины. В нейтральном положении доступ масла в полости гидроцилиндра 7 перемещения закрыт. Если шток золотника 8 переместить влево, то масло будет поступать в правую полость гидроцилиндра 7, а левая полость соединится со сливом. При этом подвижная часть машины переместится влево. Движение прекратится, когда шток золотника займет нейтральное положение. При непрерывном перемещении штока следящего золотника подвижная часть машины повторяет все его перемещения. Электромеханические системы управления перемещением штока золотника обеспечивают коррекцию скорости сближения деталей в процессе оплавления.

В машинах, предназначенных для импульсного оплавления, используют отдельный гидропривод, обеспечивающий наложение возвратно-поступательных колебаний на основное перемещение подвижной плиты.

Компоновка вторичного контура стыковой машины, соединяющего сварочный трансформатор с электродами машины, во многом определяет энергетические показатели машины, а в сочетании с параметрами привода оплавления — технологические возможности сварочного оборудования. В зависимости от типа свариваемых изделий в универсальных машинах наиболее часто используют вторичный контур с одним трансформатором с односторонним (нижним или верхним) или двусторонним токоподводом (рис. 2.4, а). При сварке изделий с компактным поперечным сечением относительно небольшой площади односторонний токоподвод в достаточной степени обеспечивает более равномерный нагрев деталей по всему сечению. Использование верхнего одностороннего токоподвода позволяет увеличить сроки эксплуатации токоподводящих губок при повышенном их изнашивании (например, при сварке арматуры периодического профиля, используемой в железобетонных конструкциях). При сварке изделий с развитым поперечным сечением равномерный нагрев получается благодаря двустороннему токоподводу к деталям. Однако эти меры не позволяют существенно снизить сопротивление короткого замыкания вторичного контура, что особенно важно при создании специализированного оборудования для сварки изделий с большим поперечным сечением.

Использование параллельных сварочных контуров позволяет существенно снизить сопротивление сварочных машин (рис. 2.4, б). При большом числе параллельных ветвей первичные и вторичные обмотки трансформаторов размещают на общем магнитопроводе. Свариваемые детали располагают внутри или снаружи магнитопровода. Поскольку форма магнитопровода таких трансформаторов повторяет форму изделия, их называют контурными (рис. 2.4, в).

Создание оригинальных конструкций вторичного контура с низким сопротивлением короткого замыкания позволило расширить

область применения контактной стыковой сварки непрерывным оплавлением и разработать уникальное оборудование.

Типы машин. В стыковых машинах для сварки сопротивлением относительно малой мощности используют пружинные и пневматические механизмы сжатия. Как правило, на таких машинах сваривают изделия с небольшими сечениями (проволока и т. п.) из различных материалов (табл. 2.2).

Основное назначение этих машин — контактная стыковая сварка сопротивлением. Эти машины имеют ручной эксцентриковый механизм зажатия и ручной рычажный механизм сближения, обеспечивающий работу оборудования в режимах непрерывного оплавления и оплавления с предварительным подогревом.

Машину МС-802 можно использовать и для сварки непрерывным оплавлением изделий из стали площадью сечения до 300 мм².

Машины МС-20.08 позволяют сваривать автоматическим методом непрерывного оплавления изделия из низкоуглеродистой стали сечением до 1000 мм² и полуавтоматическим оплавлением с предварительным подогревом изделия сечением до 2000 мм². Механизмы зажатия — пневматические рычажные с радиальным ходом верхней губки, а механизм сближения — электромеханический кулачковый.

Серия унифицированных машин с усилием осадки 800, 2500 и 6300 даН, предназначенных для стыковой сварки оплавлением низкоуглеродистых и легированных сталей, а также цветных металлов, состоит из машин четырех типоразмеров (табл. 2.3). В машинах МСО-0801, МСО-301 и МСО-602 установлены пневматические рычажные механизмы зажатия, электромеханические кулачковые механизмы оплавления с двигателями постоянного тока и пневмоприводы осадки. В машинах МСО-301 и МСО-602 предусмотрен предварительный подогрев, который осуществляется при возвратно-поступательных перемещениях подвижной плиты с помощью отдельного пневмопривода. Машина МСО-0802 предназначена для неавтоматической сварки оплавлением с предварительным подогревом. Зажимные механизмы и механизм сближения рычажные.

Серия машин К617, К607 и К566М предназначена для контактной стыковой сварки оплавлением кольцевых заготовок, причем машины К617 и К607 могут использоваться как универсальные для сварки прямолинейных заготовок в режимах непрерывного и импульсного оплавления. Это машины рычажного типа с гидравлическими механизмами оплавления и осадки, а также рычажными гидроприводами зажатия.

Машина К724А для контактной сварки стержневой арматуры железобетона может применяться как универсальная. В ней используется верхний односторонний токопровод, подвижная часть перемещается в направляющих качения, механизмы зажатия и сближения гидравлические. Машина К190ПА предназначена для сварки рельсов (Р-18...Р-75)

в стационарных условиях, а также сварки проката различного профиля площадью сечения менее 18 000 мм² (табл. 2.4). Машина проходного типа без боковой выдачи деталей. Вторичный контур имеет две параллельных ветви с двумя трансформаторами, расположенными внутри неподвижной колонны. Для сварки рельсов в пути предназначен комплекс, состоящий из двух машин: К828 (рельсы Р-18...Р-33) и К355А (рельсы Р-50...Р-75). При необходимости эти машины можно использовать и в стационарных условиях. Все механизмы машин имеют гидропривод, механизм зажатия клещевого типа, вторичный контур с двумя параллельными ветвями.

Для сварки трубопроводов диаметром 57...1420 мм в полевых и стационарных условиях используют трубосварочные машины двух категорий: наружнотрубные машины (трубы диаметром 57...530 мм) и внутритрубные (трубы диаметром 720...1420 мм). К первой категории относятся машины К812, К813, К584М и К805. Машины К813 и К584М аналогичны рельсовсварочным машинам К828 и К355А. В машинах К812 и К805 все механизмы гидравлические. Зажатие каждой детали осуществляется двумя (К812) или шестью (К805) встречно-направленными цилиндрами. Ко второй категории относятся конструктивно подобные внутритрубные машины К830, К800, К700-1 и К810. При работе они полностью помещаются внутри трубы. Концы свариваемых труб изнутри разжимаются цанговыми зажимами, которые обеспечивают токоподвод к деталям и удержание их от проскальзывания при осадке. Применение контурных трансформаторов обеспечило снижение сопротивления короткого замыкания вторичного контура до 5...12 мкОм.

Для сварки полос и листов применяют специальные машины МСЛ-50, МСЛ-200-2, МСЛ-500-2, Л-120, Л-500, 1700, 2500 и др. Для контактной стыковой сварки ленточных пил шириной 100...300 мм и толщиной 1...3 мм используется машина К274М, снабженная гидравлической следящей системой. Машина обеспечивает послесварочную термообработку по циклу в автоматическом режиме.

Для сварки труб котлов предназначены машины ЦСТ-200, МС-2001, МСТ-200. Целесварочный автомат типа АСПЦ-150-3 осуществляет стыковую сварку оплавлением с прерывистым подогревом цепей из низкоуглеродистых и легированных сталей площадью сечения до 380 мм². Все механизмы автомата имеют гидроприводы.

Для сварки заготовок металлорежущего инструмента длиной 50...250 мм в условиях массового и серийного производства применяют машины СИ-086А, СИ-111, СА-2 (сварка протяжек) для стыковой сварки оплавлением (табл. 2.5). Машины снабжены специальными регулируемыми упорами для фиксации заготовок.

Аппаратура управления позволяет точно устанавливать необходимые параметры режима

2.2. Техническая характеристика стыковых машин для контактной сварки сопротивлением

Параметры	МС-3	МС-403	МС-502 (МСС-1901)	МС-802 (МСО-202)	МС-1201	МС-1602	К786	К793	К802 (МС-1401)
Номинальная мощность, кВт · А	3,3	7,4	12,4	25	55,0	100,0	1,9	12	12,2
ПВ, %	20	12,5	12,5	12,5	20	20	5	12,5	5
Вторичное напряжение, В	1,0... 2,2	0,525... 2,08	1,35... 3,0	1,9... 3,65	2,53... 5,06	3,4... 6,8	0,55... 1,38	1,2... 2,92	1,2... 2,92
Диаметр свариваемых изделий, мм:									
сталь	0,8... 3,5	0,5... 6,0	3,0... 10,0	5... 12,5	8... 30	15,0... 42,0	0,8... 3,0	3,0... 10,0	3,0... 10,0
медь	0,8... 2,0	0,4... 4,5	3,0... 9,0	5... 12,5			1,0... 2,0	3,0... 8,0	3,0... 8,0
алюминий		0,5... 4,5	4,0... 10,0	5... 12,5			1,0... 2,0	4,0... 9,0	4,0... 9,0
Механизм:									
подачи	Пр	Пр	Пр	Пр	Р	Р	Пр	П	П
зажатия	ПрР	Э	Э	Э	Э	Э	Э	П	П
Сила, даН:									
осадки	18	60	200	2000	3200	5000	2500	10000	10000
зажатия	75	150	500	2500	5000	7500	4500	25000	25000
Производительность, сварок/ч	300	240	200	150	100	60	60	120	120
Масса, кг	70	75	185	340	720	750	95	400	450

Примечание. Пр – пружинный; П – пневматический; Р – рычажный; Э – эксцентриковый.

2.3. Техническая характеристика стыковых машин для сварки оплавлением

Параметры	K274M	МС-20.08	МСО-0801	МСО-0802	МСО-301	МСО-602	K617	K607	K566M	K724A
Номинальная мощность, кВт · А	85	150	100		190	250	150	350	450	150
ПВ, %	20	20	20		20	20	50	50	32	20
Вторичное напряжение, В	2,6... 8,08	4,05... 8,1	2,4... 4,4		3... 6	4... 7,9	4,05... 8,1	6,6... 13,6	10,5	4,05... 8,1
Максимальная площадь сечения свариваемых деталей, мм ² :										
сталь	900	2000	160		800	2000	4000	15000	30000	4000
аустенитная сталь	—	—	100		300	800	1500			1500
сплавы алюминия	—	—	50		150	400	—	4000	10000	—
Механизм подачи (осадки)	Г	ЭК	ЭК (П)	РР	ЭК (П)	ЭК (П)	Г	Г	Г	Г
Механизм зажатия	ГР	ПР	ПР	РР	ПР	ПР	ГР	ГР	ГР	Г
Сила, даН:										
осадки	12500	6300	800	800	2500	6300	16000	63000	285000	16000
зажатия	29000	12500	1600	1600	5000	12500	32000	160000	320000	32000
Производительность, сварок/ч	10	80	600	150	350	250	30	12	8	30
Масса, т	3,4	2,05	1	1	1,7	2,5	3,7	12	35	5

Примечание. РР – ручной рычажный; ЭК – электромеханический кулачковый; ПР – пневматический рычажный; П – пневматический; ГР – гидравлический рычажный; Г – гидравлический.

2.4. Техническая характеристика специализированных стыковых машин для контактной сварки рельсов и труб

Параметры	Стационарные	Передвижные		Наружнотрубные				Внутритрубные			
		K828	K355A	K812	K813	K584M	K805	K830	K800	K700-1	K810
Номинальная мощность, кВт · А	150	70	150	50	70	150	300	600	800	1000	1500
Свариваемая площадь сечения, мм ²	18000	3300	10000	2000	3000	14000	22000	25000	60000	100000	125000
Типоразмеры рельсов	P-18÷ P-75	P-18÷ P-33	P-50÷ P-75								
Размеры свариваемых труб, мм:											
наружный диаметр				57... 60	57... 114	114... 325	377... 530	720... 820	1020... 1220	1420	1420
максимальная толщина стенки				5	10	14	16	10	16	20	26
Сила, даН:											
осадки	80000	16000	45000	8000	12000	40000	100000	100000	240000	400000	500000
зажатия	170000	50000	125000								
Производительность, сварок/ч	14	20	10	15	12	10... 12	8... 10	6... 8	6... 8	6... 8	5
Масса, кг	8500	3100	2500	1000	1300	3500	12000	10000	18000	25000	31000

Примечание. Приводы осадки и зажатия приведенных машин гидравлические.

2.5. Техническая характеристика стыковых машин для инструмента

Параметры	СА-А	СИ-111	СИ-086А	К802
Номинальное напряжение в первичной обмотке, В	380	380	380	380
Номинальная мощность, кВт · А	150	150	75	24,4
Число ступеней регулирования	16	16	16	8
Максимальная сила, кН:				
осадки	140	145	35	10
зажатия	100	100	35	
Диаметр свариваемых заготовок, мм	20... 60	20... 60	12... 32	4,8
Производительность, сварок/ч	70	70	90	240
Масса, кг	2100	1800	1500	2400

сварки. Система регулирования зажимов осуществляет центрирование заготовок в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Такие машины можно использовать для сварки заготовок прямоугольного сечения, а также для сварки низколегированных инструментальных сталей, высокопрочных и легких металлов.

Для сварки инструмента в мелкосерийном производстве возможно применение машин МС-1202 и МС-1602. Для снятия грата и правки заготовок диаметром 10...65 мм после сварки рекомендуется полуавтомат СИ-102, рассчитанный на 45 операций в час. Для сварки заготовок инструмента диаметром 4,8 мм применяется автомат К802, обеспечивающий установку деталей в машину, сварку сопротивлением, удаление грата и складирование готовых изделий.

2.5. ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ, ИНСТРУМЕНТ, ПРИСПОСОБЛЕНИЯ И ЭЛЕКТРОДЫ

Перед контактной стыковой сваркой в местах подвода тока металл необходимо очистить от окалины, коррозии и грязи. Зачистка — ответственная вспомогательная операция, обеспечивающая нормальное протекание процесса сварки и стабильность качества сварных соединений. Эта операция выполняется абразивным инструментом, в ряде случаев используются специальные зачистные механизмы, которые входят в состав линий и специализированного оборудования. Как правило, специальные механизмы используются при зачистке боковых поверхностей деталей цилиндрической формы.

Зачистка производится набором металлических щеток или скребков с твердосплавными наплавками при вращении их вокруг деталей в линиях для сварки арматуры железобетона, в комплекте с наружными трубосварочными машинами и др. При сварке труб внутритрубными машинами зачистка их внутренней поверхности производится агрегатами с иглофрезами — металлическими щетками,

набранными из проволоки повышенной твердости в пакеты.

Среди послесварочных операций наиболее значительное место занимают операции по удалению грата и усилению сварных изделий. Гратосниматель может быть встроен непосредственно в машину или выполнен в виде отдельных узлов и механизмов, устанавливаемых как на машине (вне зоны сварки), так и вне ее. Встроенные гратосниматели предназначены для удаления наружного грата в горячем состоянии непосредственно после сварки. Ножи гратоснимателя охватывают по периметру свариваемую деталь. Срезка грата производится за счет "проталкивания" детали через ножи усилием сварочной машины при разжатом зажиме колонны, на котором они установлены. Такие гратосниматели широко применяют в рельсосварочных и трубосварочных (до диаметра 325 мм) машинах.

Для удаления наружного грата на трубах большого диаметра используют агрегаты типа АНГ, которые удаляют грат методом копирного фрезерования при температуре $-40...+40^{\circ}\text{C}$. При сварке профильного проката, арматуры железобетона применяют гратосниматели, выполненные в виде ряда ножей, охватывающих детали по периметру. Механизмы монтируются на станине машины вне зоны сварки. Снятие грата производится в горячем состоянии усилием сварочной машины. От встроенных гратоснимателей они отличаются тем, что перед удалением грата изделие дополнительными механизмами доводится до упора в ножи, зажимается подвижная колонна и перемещение производится силовым цилиндром сварочной машины.

При сварке труб необходимо удалять внутренний грат. В трубах небольшого диаметра из высоколегированных сталей горячий грат удаляют протяжками или дорнами. Протяжку с изолированными ножами вставляют в трубу за стыком на расстоянии 100...200 мм, а дорн — на расстоянии до 1 м. Гнутые трубы котлов зачищают специальными снарядами. Для снятия внутреннего грата при сварке труб диаметром 114...530 мм применяют внутренние гратосниматели ПВГ-1; ПВГ-2, ВГ-1 и ВГ-2. В

зависимости от исполнения цилиндра для перемещения штанги гратосниматели выпускаются пневматические или гидравлические. Удаление грата осуществляется в горячем состоянии с помощью быстро вращающихся бойков с встроенными в них твердосплавными пластинами.

Для снятия внутреннего грата при сварке труб диаметром 1020...1420 мм используют ножи специальной формы с твердосплавными пластинами и со специальным копирным устройством, установленными на корпусе внутритрубной машины. Грат срезается в нагретом состоянии при перемещении машины двигателем хода непосредственно после сварки.

Электроды и электродные части (например, контактные плиты) являются ответственными частями контактной стыковой машины. Их назначение — подвод тока и передача сил к свариваемым деталям. Материал и конструкция электродов во многом определяют качество сварных соединений, производительность, а в некоторых случаях и возможность проведения процесса контактной сварки. Электроды стыковых машин в ряде случаев повторяют форму деталей, устанавливаемых в зажимы. Электроды для сварки лент и полос имеют плоскую поверхность, для сварки швеллеров, рельсов и брусьев — плоскую выемку, а для сварки труб и круглых стержней — призматическую или полукруглую выемку.

Для деталей сложной формы используют электроды с профилем выемки, повторяющей конфигурацию детали. Полосы сваривают также на подушках с силовыми и токоведущими электродами. При сварке тонких полос на токоведущих электродах делают скосы, обеспечивающие локальный подвод тока. При сварке без упоров проскальзывание предупреждается при ширине электрода, в 2,5 раза превышающей толщину детали. У полос эта ширина составляет не менее десяти толщин детали.

Минимальную площадь контакта электрода с деталью определяют по максимально допустимому давлению 20 МПа для меди, 40 МПа для бронз марок МЦ-2, МЦ-3 и БрНБТ. Плотность тока не должна превышать 7...10 А/мм². Температура контакта электродов с деталями достигает 250...300°C. Электроды контактных стыковых машин работают при относительно низких плотностях тока, поэтому к их материалам предъявляют пониженные требования по тепло- и электропроводности (до 35% электропроводности меди) и повышенные требования по твердости. Последнее обеспечивает меньший износ электродов и более точную центровку.

Использование холоднотянутой меди для изготовления электродов весьма ограничено ее низким сопротивлением деформации. Поэтому наиболее широкое применение получили медные сплавы. Наилучшим комплексом свойств обладают дисперсионно-твердеющие электродные сплавы. В качестве легирующих элементов используют Cr, Cd, Zr, Mg, Zn, Ag, Co (см. табл. 1.8).

Для снижения изнашивания электродов при сварке на машинах применяют специальные упорные приспособления, которые воспринимают усилие осадки. При этом значительно снижается требуемое усилие зажатия. Конструкция упоров определяется формой и размерами свариваемых деталей: универсальные упоры, упоры в корпусах и упоры в губках. Универсальные упоры устанавливаются на плитах сварочной машины, а при сварке длинных деталей — на специальных направляющих. На машинах, предназначенных для сварки коротких деталей, упоры объединяют с зажимными механизмами. Усилие осадки передается через упорные винты, связанные с корпусом зажима, или через заплечики в губках.

2.6. ПОТОЧНЫЕ И АВТОМАТИЧЕСКИЕ СБОРОЧНО-СВАРОЧНЫЕ КОМПЛЕКСЫ И ЛИНИИ

Практически все стыковые машины совмещают сборочно-сварочные операции в единый технологический процесс. Однако универсальное оборудование обеспечивает сварку только одной детали. В отдельную группу можно выделить специализированные комплексы для многопозиционной сварки оплавлением. В ряде случаев на таком оборудовании выполняют тавровые соединения. Машина К329 предназначена для многопозиционной сварки трубных секций охладителей крупных трансформаторов, машина К804 — для многопозиционной сварки всех элементов оконных переплетов. Характерной особенностью последней машины является наличие электромеханического кулачкового механизма оплавления и гидравлического механизма осадки.

Машины К774А и К787 сварки тавровых элементов закладных деталей железобетона обеспечивают одновременную приварку двух анкерных стержней к пластине. Специализированная машина К589 сваривает блоки картелов крупных дизелей. Оплавление производится в пяти местах конструкции. Суммарная площадь свариваемого сечения 50 000 мм². Все механизмы зажатия и сближения перечисленных машин (кроме машины К804) гидравлические. Вторичный контур komponуется на базе нескольких трансформаторов. Токоподвод от каждого трансформатора осуществляется к одному или нескольким элементам свариваемой конструкции. Машина К804 имеет гидроприводы зажатия и осадки, а также электромеханический кулачковый привод оплавления. Такое оборудование обеспечивает установку и фиксацию заготовок деталей перед сваркой, одновременную сварку 2 — 40 стыков, а при наличии вспомогательного оборудования — необходимую послесварочную обработку.

Для контактной стыковой сварки рельсов узкоколейных и трамвайных путей метрополитена в пути применяют передвижные рельсо-сварочные устройства ПРСМ-1, ПРСМ-2, ПРСМ-3, размещенные на железнодорожной платформе (рис. 2.5). Каждая установка обору-

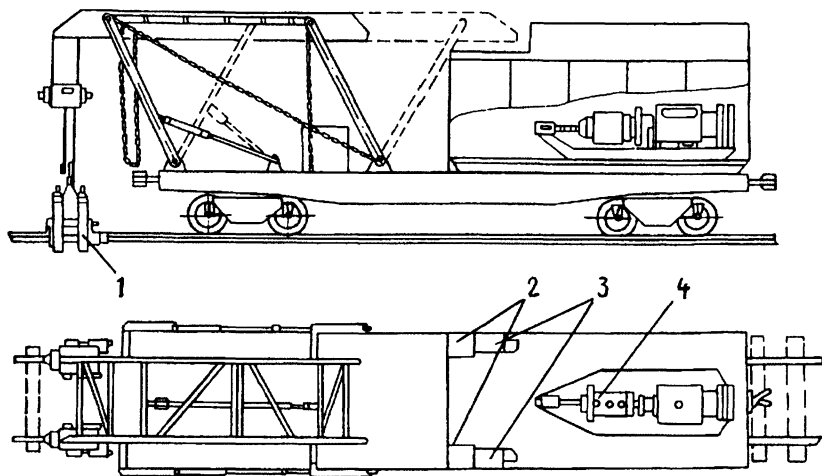


Рис. 2.5. Схема передвижной установки ПРСМ:

1 — сварочная машина; 2 — шкафы управления машины; 3 — насосные станции; 4 — электростанция

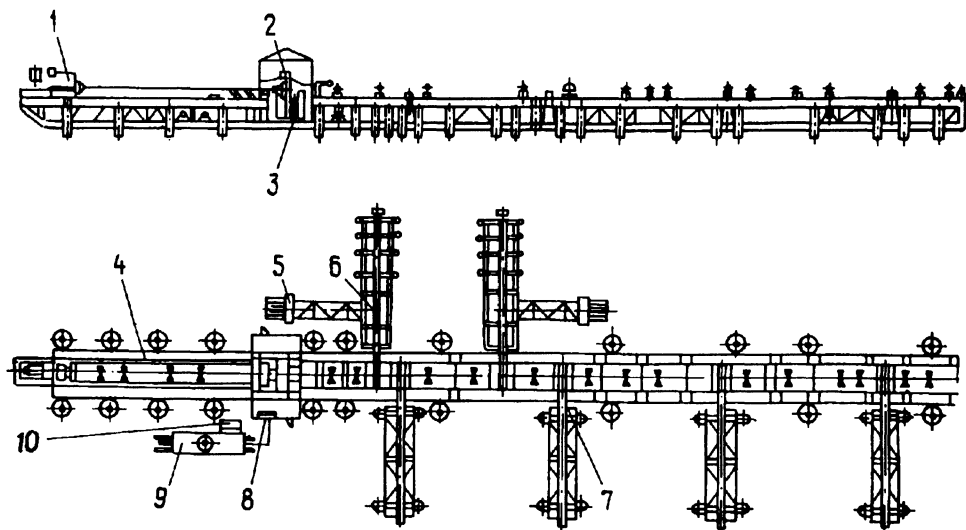


Рис. 2.6. Схема трубоконтактной стационарной установки ТКУС-1А:

1 — внутренние гратосниматели; 2 — сварочные головки; 3 — наружный гратосниматель; 4 — секции рольганга; 5 — зачистная машина; 6 — приемная часть рольганга; 7 — сбрасыватель; 8 — аппаратный шкаф; 9 — электростанция; 10 — гидropневмостанция

дована двумя подвесными рельсосварочными машинами K155, K255, K255A или K355.

Установки ТКУС-1А для сварки труб диаметром 114...219 мм или 273...377 мм в стационарных условиях укомплектованы сварочными головками 2 СГ-1 или СГ-2, внутренними 1 и наружными 3 гратоснимателями, электростанцией 9, гидropневмоприводом 10, механизированными стеллажами, зачистной машиной 5 (рис. 2.6).

Для механизированной сварки труб диаметром 114...325 мм в трехтрубные плиты длиной менее 40 м на полустационарных трубо-сварочных базах используют поточные линии типа ПЛТ321, аналогичные линии ТКУС-1А, но со стыковой машиной K584М. Передвижная установка ТКУП321 на базе машины K584М состоит из трубоукладчика ТО1224Г, подвесного рольганга со сварочной машиной, буксируемого укрытия, передвижной электро-

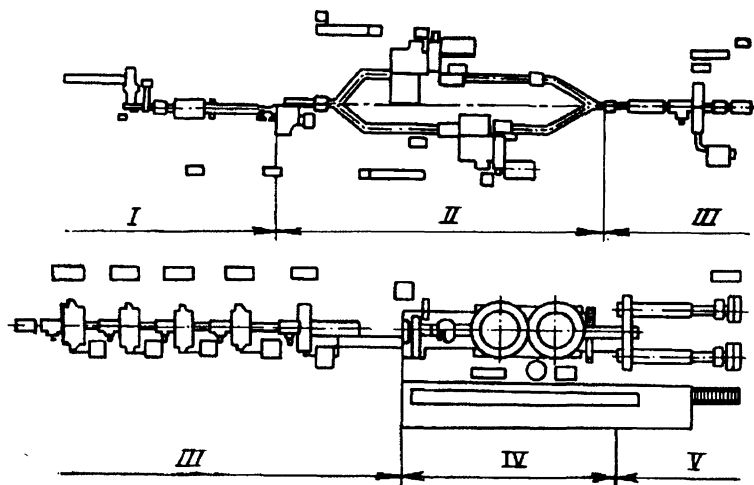


Рис. 2.7. Линия сварки колес легкового автомобиля с участками:

I — подготовки ленты; *II* — заправки и сварки обода; *III* — профилирования; *IV* — сборки и сварки диска с ободом; *V* — контроль на биеие

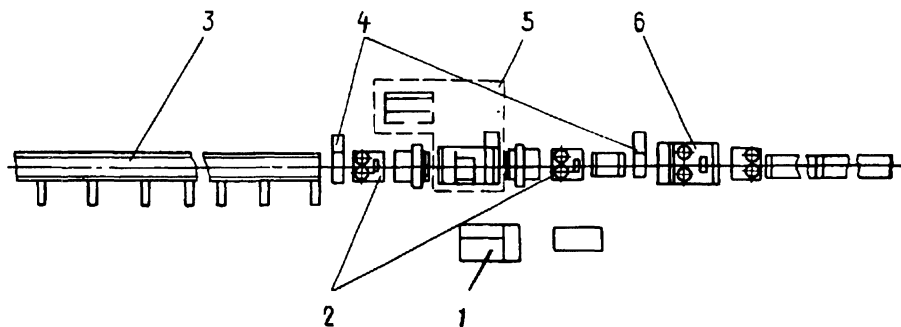


Рис. 2.8. Линия K819 для контактной стыковой сварки и мерной резки стержневой арматуры:

1 — пульт управления; *2* — транспортирующие механизмы; *3* — стеллаж механизма раскря; *4* — ножницы; *5* — сварочная машина; *6* — механизм извлечения стержней

станции, зачистного устройства, внутреннего гратоснимателя.

На линии сварки колес легковых автомобилей (рис. 2.7) производится: разметка рулона, правка, отрезка полосы, гибка полосы в кольцо, стыковая контактная сварка кольца, срезание грата, предварительная формовка, профилирование и калибровка обода, пробивка вентильного отверстия, запрессовка диска в обод, контактная сварка диска с ободом в восьми точках, контроль качества.

Линии K777 и K819 (рис. 2.8) для сварки стержневой арматуры железобетона отличаются только компоновкой механизмов, предназначены для работы на крупносерийных предприятиях строительной индустрии и позволяют механизировать вспомогательные операции, включая контроль текущих параметров

технологического режима сварки. Механизмы и узлы линии извлекают арматурный стержень из пачки, подготавливают торцы и боковые поверхности стержней для сварки, а также подают и устанавливают их в электроды машины, сваривают, удаляют грат, режут стержни на отрезки заданной длины, ведут счет и складирование готовых изделий. Не механизированы только операции по установке пачки арматуры в загрузочное устройство и удалению мерной арматуры из бункера, выполняемые краном арматурного цеха.

Сваривают арматуру классов А-I—А-IV и Ат-IVC диаметром 14...40 мм на стыковой машине K724A, входящей в состав линии. Технология и оборудование линии гарантируют изготовление качественных практически равнопрочных с основным металлом контактных

стыковых соединений. Ниже приведена техническая характеристика линии.

Номинальная потребляемая мощность, кВт · А	112,5
Число ступеней регулирования сварочного тока	16
Вторичное напряжение холостого хода, В	4...8
Номинальное усилие осадки, кН	160
Усилие захвата, кН	320
Максимальная скорость осадки, мм/с	50
Скорость оплавления, мм/с	0,2...5,0
Производительность линии при подаче стержневой арматуры длиной 9 м, диаметром 28 мм и длине готовой детали 10,9 м, деталей/ч	20
Длина стержней, подаваемых на линию, м	3...12
Скорость извлечения стержня из пакета и транспортировки сваренной плети, м/с	0,5
Диаметр арматуры, мм	14...40
Длина готовых деталей, м	6...18
Габаритные размеры линии, мм	38810×4200×2265
Масса линии, кг	16600

2.7. ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ

Развитие этого направления стыковой сварки предопределяется, в первую очередь, разработками технологии. Например, совершенствование процесса оплавления открыло целое направление в создании специализированного оборудования для контактной сварки непрерывным оплавлением различных деталей с большими развитыми сечениями.

— Использование микропроцессоров в системах управления позволило создать принципиально новые системы программирования и автоматического регулирования стыковой сварки оплавлением. С созданием мощных вентилях, рассчитанных на большие токи, появилась возможность создать гамму машин, работающих на постоянном токе с более высокими энергетическими показателями и лучшими технологическими возможностями.

— Оценивая перспективы развития оборудования контактной сварки, следует учитывать возрастающую конкуренцию со стороны других методов сварки давлением и плавлением. Например, развитие сварки трением и прессовой сварки дугой, вращающейся в магнитном поле, может сузить традиционные области применения контактной стыковой сварки. Значительные установленные мощности оборудования для контактной сварки в условиях все возрастающего ограничения энергопотребления, безусловно, являются сдерживающим фактором для широкого ее применения. Поэтому совершенствование оборудования с целью дальнейшего повышения его энергетических показателей, снижения потребляемой мощности остается одной из актуальных задач. Решение этой проблемы тесно связано с использованием вентилях и транзисторов большой единичной мощности.

Наряду с созданием нового поколения машин для точечной и стыковой сварки, работающих на постоянном токе, весьма перспективным представляется использование инверторных преобразователей большой мощности, которые позволяют нагрузку от обычных однофазных машин равномерно распределить на три фазы сети.

— Широкое использование компьютеризованных систем управления контактными машинами значительно расширит их технологические возможности, повысит стабильность качества сварных соединений, позволит эффективно использовать их в механизированных и роботизированных комплексах. На базе таких систем можно с высокой достоверностью прогнозировать качество получаемых сварных соединений, создать регуляторы, автоматически поддерживающие заданные режимы сварки при изменении условий эксплуатации, подготовки свариваемых изделий, точности их сборки перед сваркой.

— Современное сварочное оборудование должно отвечать высоким требованиям защиты окружающей среды и охраны труда. Это прежде всего относится к системам вентиляции, защиты от воздействия магнитных полей. Для охлаждения мощных машин, потребляющих большое количество охлаждающей жидкости, все чаще используют замкнутые системы охлаждения. С целью сокращения безвозвратных потерь металла при сварке оплавлением и вредных газообразных выделений разрабатываются технологии, отличающиеся минимальными припусками на оплавление.

— Специализированное оборудование для контактной сварки в наибольшей степени отвечает требованиям автоматизированного и механизированного поточного производства. При его создании удается получить высокие технико-экономические показатели. Однако создание единичных сложных машин, не имеющих массового применения, не всегда оправдано экономически. Компоновка специализированного оборудования на базе типовых отработанных модулей (сварочные трансформаторы, системы управления, регуляторы напряжения и тока, программирующие устройства) позволяет в сжатые сроки создавать необходимое специализированное оборудование при относительно небольших затратах. Такое направление, апробированное при создании сложных сборочно-сварочных линий для точечной сварки, все чаще используется при создании специализированного оборудования для других видов контактной сварки — стыковой, сопротивлением.

— Универсальное оборудование, как относительно простое и дешевое, тиражируется в больших количествах и является неотъемлемой частью мелкосерийного производства, строительства. Использование в таких машинах типовых контроллеров и новых систем управления преобразователей, выпрямителей значи-

тельно расширяет его технологические возможности и энергетические показатели.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Контактная** стыковая сварка трубопроводов / С. И. Кучук-Яценко, В. Г. Кривенко, В. А. Сахарнов и др. Киев: Наукова думка, 1986. 208 с.
2. **Рыськова З. А., Федоров П. Д., Жимерева В. И.** Трансформаторы для электрической контактной сварки. Л.: Энергоатомиздат, 1990. 424 с.
3. **Сварка** в машиностроении. Т. 3 / Под ред. В. А. Винокурова. М.: Машиностроение, 1978. 258 с.
4. **Сварка** в машиностроении. Т. 4 / Под ред. Ю. Н. Зорина. М.: Машиностроение, 1979. 512 с.
5. **Сварочное** оборудование. Т. 2—9 / Под ред. А. И. Четвертко. Киев: Наукова думка, 1968. 388 с.
6. **Технология** и оборудование контактной сварки / Б. Д. Орлов, А. Д. Чакалев, Ю. В. Дмитриев и др. М.: Машиностроение, 1986. 352 с.

Глава 3

РОБОТЫ ДЛЯ КОНТАКТНОЙ СВАРКИ

3.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Контактная сварка является одной из первых областей металлообработки, в которой начали применять промышленные роботы. Задачами, решаемыми при переходе к роботизированной контактной сварке, являются: минимизация затрат времени и средств, связанных с переходом на другое изделие или другую модель того же изделия; обеспечение возможности сварки различных вариантов изделия на одной и той же производственной системе; повышение уровня качества сварки; улучшение условий труда; сокращение длительности производственного цикла.

Роботы для контактной сварки используются в автомобилестроении в РТК, на участках, линиях сборки и точечной контактной сварки кузова, пола, дверей и др. Роботы для точечной контактной сварки применяют при изготовлении крыш, боковин и дверей автобусов, пассажирских железнодорожных вагонов и трамваев, при сварке кабин, бункеров и других тонколистовых сварных конструкций сельскохозяйственных машин, а также корпусов холодильников, стиральных машин, шкафов для электроаппаратуры, при производстве различных каркасных конструкций из стержневых элементов, начиная от сборок телевизионных видиконков и кончая каркасами железобетонных конструкций. Известны случаи применения роботов для роликовой контактной сварки тонколистовых сосудов небольших габаритных размеров, простых загрузочно-разгрузочных роботов для загрузки деталей в ма-

шины и выгрузки изделий из машин, выполняющие стыковую сварку.

При роботизации преимущественно точечной контактной сварки роботы могут применяться для выполнения следующих операций:

1) перемещения сварочного инструмента (клещей) по заданной программе с целью последовательного совмещения электродов со всеми точками, в которых должна быть выполнена сварка; 2) перемещения свариваемого изделия по заданной программе с целью поочередного совмещения всех точек, в которых должна быть выполнена сварка, с электродами; 3) загрузки заготовок, подлежащих сварке, в сборочно-сварочное приспособление и выгрузки готового изделия после сварки. В большинстве случаев применяется первый способ.

Выбор между традиционными, жесткими способами автоматизации и роботизацией (гибкой автоматизацией), а также рациональный уровень гибкости при автоматизации точечной контактной сварки в автомобилестроении зависит прежде всего от таких факторов, как время цикла и период времени, в течение которого предполагается выпуск изделия. В зависимости от времени (длительности), с, цикла применяют следующие технические решения:

Специальное оборудование.	Менее 10
Комбинация жестких и гибких средств автоматизации	10...20
Роботизированные системы	20...30
Роботы	30...60
Системы автоматической замены клещей.	Более 60

Роботизация точечной контактной сварки в автомобилестроении целесообразна при годовом выпуске порядка 50...100 тыс. кузовов одной модели, что примерно соответствует длительности цикла более 30 с при двухсменной работе и коэффициенте использования оборудования 0,8. Важным фактором, способствующим применению роботов для точечной контактной сварки с целью исключения ручного труда, является большая масса сварочного инструмента (клещей) и мощные электромагнитные поля, возникающие вокруг токоведущих элементов вторичной цепи, отрицательно влияющие на здоровье сварщиков. Одним из наиболее серьезных требований к роботам для точечной сварки является минимизация времени перемещения от точки к точке, а это, в свою очередь, требует высоких скоростей и ускорений при перемещениях. Поэтому современные роботы развивают скорость 3...5 м/с при массе перемещаемого инструмента 50...100 кг и повторяемости заданных положений в пределах 0,3...1,2 мм.

По области применения роботы для точечной контактной сварки занимают место после универсальных подвесных сварочных машин или перед узкоспециализированными многоточечными сварочными агрегатами, экономически выгодными только для массового

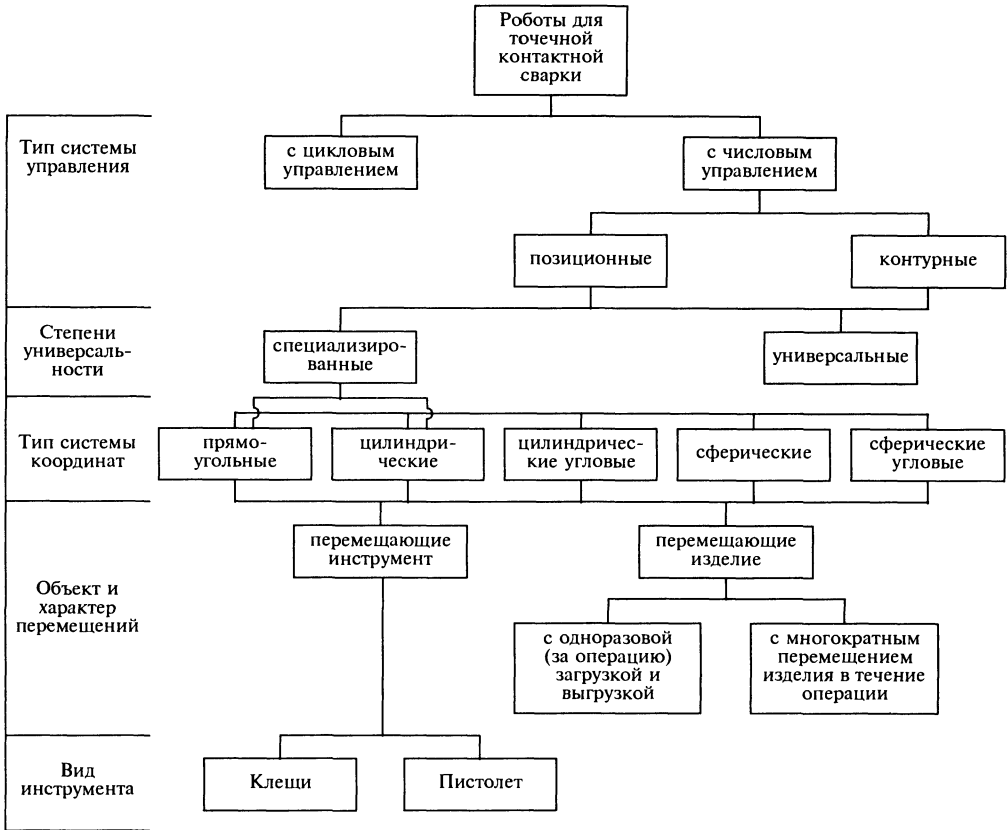


Рис. 3.1. Классификация роботов для точечной контактной сварки

производства одной модели изделия в течение многих лет.

В автомобилестроении раньше, чем в других областях машиностроения, начали применять роботизированные линии и гибкие (автоматически переналаживаемые) производственные системы на основе роботов для точечной контактной сварки. Такие системы позволяют автоматизировать не только сварочные, но и сборочные, транспортные, складские и другие операции, что обеспечивает комплексную автоматизацию и роботизацию производства и его автоматический переход на сварку различных моделей изделия в зависимости от порядка поступления заказов.

3.2. КЛАССИФИКАЦИЯ

Наряду с преимущественной роботизацией точечной контактной сварки известны единичные примеры роботизации операций шовной (роликовой) сварки с помощью головки для роликовой сварки, устанавливаемой на такие же роботы для точечной контактной сварки. Имеется возможность роботизации загрузки-

очно-разгрузочных работ на специализированных машинах с помощью простейших роботов. Ниже рассматриваются только роботы для точечной контактной сварки.

Робот состоит из многозвенного манипулятора, системы управления и рабочего инструмента, которым может быть сварочный инструмент (сварочные клещи, сварочный пистолет, головка для роликовой сварки) или захват для взятия и перемещения свариваемых деталей, а также собранного под сварку изделия или готовой сварной конструкции. Они имеют от двух до шести степеней подвижности и строятся в прямоугольной, цилиндрической, сферической и угловых системах координат. Роботы с двумя—четырьмя степенями подвижности применяют для сварки изделий простой формы, например плоскостных конструкций. Они являются специализированными, поскольку пригодны для ограниченного круга операций, в отличие от универсальных пяти-шестикоординатных, которые могут быть запрограммированы на выполнение практически любой задачи. Классификация рассматриваемых роботов приведена на рис. 3.1.

По способу осуществления относительно перемещения сварочного инструмента и изделия различают следующие роботы для контактной точечной сварки: перемещающие сварочный инструмент относительно изделия, не меняющего своей ориентации или меняющего ее периодически (подавляющее большинство); удерживающие изделия на протяжении всей операции и перемещающий его относительно электродов после сварки каждой точки или группы точек, выполняя последовательную подачу различных участков изделия под электроды; выполняющие загрузку заготовок (по отдельности или собранных под сварку) в сварочную машину и выгрузку изделия после сварки.

Рассматриваемые роботы оснащают цикловыми или числовыми системами программного управления. Числовое управление, в свою очередь, может быть позиционным или контурным. При точечной контактной сварке применяют преимущественно числовое позиционное управление, но при наличии контурного управления значительно упрощается программирование обхода препятствий. При шовной (роликовой) сварке швов сложной формы требуется контурное управление. При загрузке-разгрузке роботом сварочной машины применяют цикловые системы управления, которые в некоторых случаях используют и при роботизации процесса сварки при небольшом числе точек в случае расположения их на одной или нескольких параллельных прямых, либо по окружности.

В качестве сварочного инструмента в роботах чаще всего применяют сварочные клещи и пистолеты. Сварочные клещи обычно имеют одну пару электродов, но для сварки симметричных деталей используют сдвоенные клещи с двумя парами электродов, иногда даже с механизмом для автоматического изменения расстояния между этими парами. Для увеличения производительности робота иногда необходимы встроенные клещи — с тремя парами электродов. В клещах всех типов усилие сжатия электродов замыкается в этом механизме и на робот не передается. Поэтому полезные усилия, развиваемые роботом для контактной точечной сварки, 600...1000 Н.

Сварочные пистолеты бывают одноэлектродные — с двухсторонним подводом сварочного напряжения (к электроду и к медной подкладке) и двухэлектродные — с подводом сварочного напряжения к этим электродам. При применении сварочных пистолетов усилие сжатия воспринимается манипулятором робота. Роботы для сварки пистолетами рассчитывают на усилие менее 5000 Н, они имеют очень жесткую конструкцию.

3.3. ОПИСАНИЕ РОБОТОВ

Наиболее распространенными роботами для контактной точечной сварки являются роботы фирмы КУКА (Германия) и аналогичные им отечественные роботы типов ПР 601/60 и

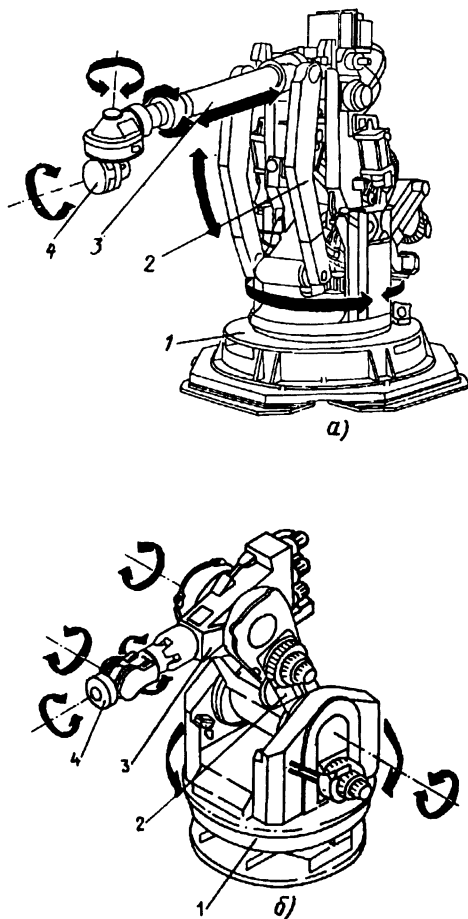


Рис. 3.2. Роботы типа ПР:

а — 601/60; б — 161/60; 1 — основание с поворотной частью; 2 — вертикальное плечо; 3 — горизонтальное плечо; 4 — фланец для крепления инструмента

ПР 161/60 (рис. 3.2), представляющие собой шарнирные манипуляторы с позиционным управлением. Роботы для точечной контактной сварки имеют грузоподъемность 600...1000 Н, скорость маршевых перемещений менее 3 м/с, рабочую зону 10 м³ и более, повторяемость 0,2...1,2 мм (табл. 3.1). Производительность роботов для точечной контактной сварки, как правило, может достигать 60 точек/мин, что обуславливает большие ускорения при разгоне и торможении, а следовательно, значительные динамические нагрузки на механизмы манипулятора.

В отличие от специализированных роботов для дуговой сварки, специализированные роботы для точечной контактной сварки могут иметь не только меньшее число степеней

3.1. Техническая характеристика роботов

Параметры	ПР 601/60	ПР 161/60	IR 250/500	ES 50	JK-P6
Грузоподъемность, Н	600	600	600	500	800
Число степеней подвижности	6	6	5	6	6
Повторяемость, мм	$\pm 1,2$	$\pm 0,5$	$\pm 1,0$	$+1,0$	$+0,3$
Максимальная потребляемая мощность при ПВ-70 %, кВт · А	25	13	14	7	8
Масса манипулятора, кг	2000	1700		—	
Диапазон перемещений по степеням подвижности:					
1, °	320	320	300	270	300
2, °		125	300	70	80
м	1,5				
3, °		270	180	85	1500
м	2,5				
4, °	350	450	350	360	480
5, °	360	240	150	180	480
6, °	360	540	—	360	480
Скорость движения по степеням подвижности:					
1, °/с	76	103	160	55	67
2, °/с		108	125	55	33
м/с	1,25				
3, °/с		139	125	55	550
м/с	1,45				
4, °/с	110	119	200	90	67
5, °/с	110	116	200	90	67
6, °/с	110	180	—	90	133

подвижности (обычно 2—4), соответствующее геометрии свариваемого изделия, но и технологическую специализацию, т. е. в конструкции предусмотрены функции, связанные с выполнением только процесса точечной контактной сварки. Прежде всего это касается роботов, предназначенных для сварки пистолетом с двухсторонним и односторонним подводом сварочного напряжения. В качестве примера можно привести робот IR 250/500 фирмы КУКА.

Робот позволяет отказаться от клещей с большим вылетом электродов при сварке деталей в средней части крупногабаритных листовых конструкций, например пола кузова автомобиля. Поскольку сварка пистолетом требует создания больших усилий прижатия электрода к поверхности детали, робот IR 250/500 рассчитан на усилие до 5000 Н (см. табл. 3.1). Он устанавливается на портале в потолочном положении, т. е. основанием вверх. Для придания конструкции большей жесткости используется симметричный двойной кулисный механизм с прямолинейной направляющей.

Для сварки пистолетом плоских конструкций над местом сварки на изделии можно расположить жесткий козырек-опору, в которую упирается при сварке задняя часть сварочного пистолета; пистолет закрепить на фланце робота так, чтобы он перемещался в вертикальном направлении в направляющих. Таким образом, усилие прижатия электрода при сварке не будет передаваться на руку робота. В этом случае можно использовать универсальный робот с грузоподъемностью, достаточной только для перемещения пистолета.

В отличие от рассмотренных роботов ES 50 фирмы Кавасаки (Япония) имеет кинематику, аналогичную кинематике робота ПР 161/60, но позволяет развивать силу прижатия до 5000 Н (см. табл. 3.1) благодаря жесткой конструкции манипулятора.

В специализированном роботе JK-P6 для точечной сварки фирмы Бизияк и Карру (Италия) сварочный трансформатор и вторичный сварочный контур встроены в руку робота. В этом роботе (рис. 3.3) кабели к клещам 4 проложены внутри полую руки 2. Для устранения их скручивания при повороте кисти одно-

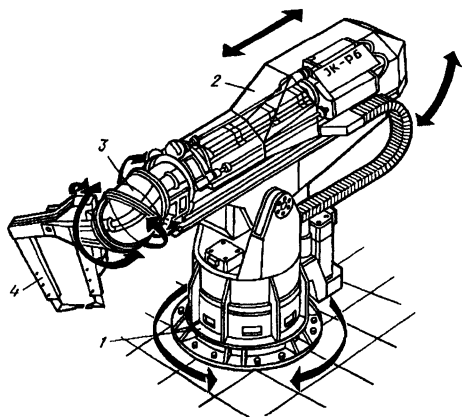


Рис. 3.3. Робот JK-P6:

1 — основание с поворотной частью; 2 — рука; 3 — механизм ориентирующих перемещений; 4 — сварочные клещи

временно поворачивается сварочный трансформатор, что практически исключает необходимость частой замены кабелей вторичного контура вследствие износа из-за скручивания при движении робота.

Для специализированных роботов IRB-60S и IRB-90S фирма ABB (Швеция) предложила новую конструкцию вторичного контура. Сварочный трансформатор установлен на руке как противовес, а в руке робота от трансформатора к шарнирам кисти проложен жесткий коаксиальный кабель. В шарнирах кисти робота размещены контактные устройства, через которые коаксиальные кабели подключаются к клещам. Во время движения руки робота контактные устройства разомкнуты. В момент остановки робота, когда необходимо выполнять сварку, контактные устройства замыкаются с помощью пневмоприжимов. Такой вторичный контур практически не требует обслуживания, и срок его службы оценивается в несколько лет.

3.4. ПЕРИФЕРИЙНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Для обеспечения автоматического функционирования робототехнологического комплекса, роботизированной линии, гибкой производственной системы необходимо с помощью периферийного оборудования выполнять следующие операции: доставку деталей и сборок, подготовленных под сварку, к месту сварки; установку базовых средних, мелких и крупных узлов и деталей в сборочно-сварочное приспособление; перемещение изделий с позиции на позицию на участке сборки, прихватки и сварки; кантовку изделия вокруг горизонтальной оси и поворот вокруг вертикальной оси; подъем изделия в зону действия сварочного инструмента; передачу изделия в накопитель; съем изделия со сборочно-сварочного приспособления; замену сборочно-

сварочного приспособления при переходе к сварке изделий другого наименования.

Для выполнения перечисленных операций служит транспортно-накопительное и грузочно-разгрузочное оборудование. К транспортно-накопительному оборудованию относятся: стационарные вертикальные подъемники разных типов и исполнений; подвесные перегрузчики с разным числом степеней подвижности; многопозиционные полноповоротные и неполноповоротные столы; стоечные кантователи разных типов; поворотные многопозиционные барабаны; шаговые напольные конвейеры с подъемом и без подъема грузонесущего элемента; шаговые подвесные конвейеры с подъемом грузонесущего элемента; транспортные системы с подвесными программируемыми тележками; грузонесущие напольные конвейеры для возврата спутников; электробокеры; пластинчатые стационарные накопительные конвейеры; стеллажные накопители (с краном штабелером); верхние цепные накопители.

К грузочно-разгрузочному оборудованию относятся: автоматические перегрузчики; устройства автоматической загрузки деталей с пластинчатым накопительным или вибробункерным конвейером; выкатные столы с подъемником.

Автоматизация загрузки деталей требует подачи их в ориентированном положении в заданные точки пространства, что обеспечивается одним из следующих способов.

1. Загрузка крупных деталей, подаваемых в ориентированном положении в специальной таре автоматическим перегрузчиком; укладка детали происходит непосредственно в сварочное приспособление с последующим креплением детали в приспособлении до начала сварки.

2. Ручная загрузка деталей на накопительный конвейер или магазин в ориентированном положении или навалом в загрузочный бункер; перегрузку детали из магазина, накопителя, бункера в зону действия сварочного инструмента осуществляет устройство автоматической загрузки деталей до сопряжения с другими свариваемыми деталями и удержания ее в процессе сварки.

3. Ручная загрузка деталей в приспособление; зажим детали и автоматическое перемещение оснастки на позицию сварки, например с подъемом ее в зону действия сварочного инструмента выкатным столом с подъемником.

Для обеспечения безопасности работы оператора, наладчика и предотвращения поломок применяются специальные устройства безопасности. Так, для исключения поломок сварочных клещей или предмета, с которым они могут столкнуться в процессе перемещения руки робота, применяют устройство защиты от поломок, встраиваемое между присоединительным фланцем руки робота и корпусом сварочного инструмента. Для безопасности оператора на позициях загрузки столов, барабанов или конвейеров предусмотрены площад-

ки или шторы безопасности, которые во время загрузки оператором деталей блокируют работу роботов и транспортного оборудования.

Для исключения доступа посторонних лиц зона действия робота или иного движущегося оборудования ограждается с входной калиткой, при открытии которой блокируется работа всех механизмов. Калитку может заменить световой барьер, установленный в проходе между секциями ограждения.

3.5. ОСОБЕННОСТИ СВАРОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ РОБОТИЗИРОВАННОЙ ТОЧЕЧНОЙ КОНТАКТНОЙ СВАРКИ

К особенностям сварочного оборудования для роботизированной точечной контактной сварки относятся: размещение сварочного трансформатора и его связь со сварочным инструментом, закрепленным на фланце робота; конструкция сварочного инструмента; программная система управления режимом сварки; средства технологической и геометрической адаптации.

Известны три варианта размещения сварочного трансформатора в оборудовании для роботизированной точечной контактной сварки (рис. 3.4): трансформатор подвешен над роботом (рис. 3.4, а); трансформатор установлен на одном из звеньев робота (рис. 3.4, б); трансформатор встроен в сварочные клещи (рис. 3.4, в).

При подвеске трансформатора над роботом используется компоновка оборудования, принятая в подвесных машинах для точечной контактной сварки. Клещи закрепляют на роботе. Для частичной разгрузки робота от массы кабелей, соединяющих клещи со сварочным трансформатором, применяют пружинные разгрузочные устройства. Подвеска трансформатора над роботом характерна для универсальных роботов, предназначенных для широкого круга технологических и транспортных работ. Чтобы трансформатор не ограничивал рабочую зону робота, кабели должны быть достаточной длины. Однако с их удлинением повышается сопротивление вторичного контура и его нагрев при работе. Для уменьшения сопротивления кабеля и его нагрева сечение кабеля увеличивают (иногда до площади 250 мм^2). Такие кабели плохо изгибаются и создают дополнительную нагрузку на механизм ориентирующих перемещений (кисть) робота. Рабочая зона при трансформаторе, подвешенном над роботом, загромождена кабелями и тросами уравнивающих механизмов, а манипуляционные возможности робота и доступ к внутренним полостям изделия ограничены. При выборе подвесной сварочной машины следует найти компромиссное сочетание длины кабеля, площади его сечения, нагрева, гибкости и фактической рабочей зоны.

При периодической подаче тока силой до 10 кА и более возникают значительные электродинамические нагрузки, которые разрушают кабель, а также передаются на кисть и, повторяясь при обычном для роботизированной

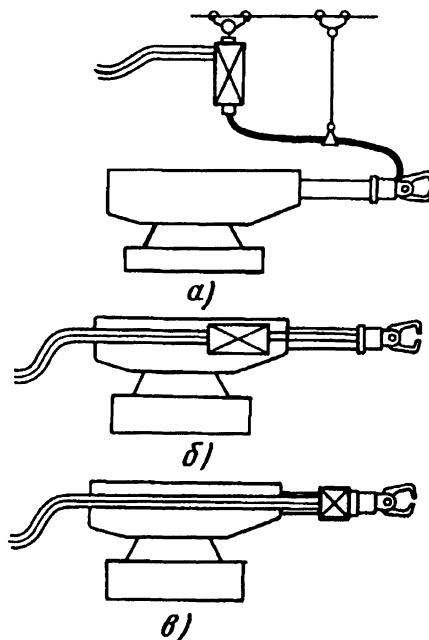


Рис. 3.4. Размещение сварочного трансформатора при роботизированной контактной точечной сварке

сварке в темпе 60 точек в минуту до 20 тыс. раз в смену, приводят к быстрому износу механизма кисти, увеличению затора и, следовательно, росту погрешности воспроизведения программы. Повторяющиеся изгибы и скручивания токоведущего кабеля также значительно уменьшают его долговечность. Известно, что срок службы кабеля при роботизированной сварке в две смены составляет от двух недель до двух месяцев. При этом шланги водяного охлаждения (или водоохлаждаемая оболочка коаксиального кабеля) выходят из строя еще быстрее.

При установке трансформатора на одном из звеньев робота длина токоведущих элементов вторичного контура значительно (в 2,5...3 раза) уменьшается, но возрастают нагрузки на робот. Поэтому трансформатор устанавливают вблизи места крепления руки к колонне (на роботах со сферической системой координат) или верхнего плеча к нижнему (на роботах со сферической угловой системой координат). Для уменьшения массы клещей со встроенным трансформатором их силовые элементы делают из легких прочных сплавов, а также разрабатывают сварочные трансформаторы с высоким отношением мощности к массе. В ряде случаев трансформатор используется и в качестве противовеса. На роботах, специально предназначенных для точечной контактной

сварки, токоведущие элементы вторичного контура размещают в верхнем плече робота.

При размещении трансформатора на одном из звеньев робота уменьшается длина вторичного контура и, следовательно, габаритные размеры трансформатора, снимаются ограничения на манипуляционные возможности робота, связанные с кабелями, соединяющими клещи с подвесным трансформатором, а при жестких встроенных элементах вторичного контура, кроме того, значительно увеличивается срок службы токоведущих элементов и исключается нерегулярное дестабилизирующее влияние кабелей вторичного контура на погрешность позиционирования.

При трансформаторе, встроенном в сварочные клещи, можно применять роботы широкого назначения без ограничения их манипуляционных возможностей, так как тяжелые и жесткие кабели вторичного контура заменены легкими и гибкими кабелями малого сечения первичного контура. Полное сопротивление первичного контура существенно снижается, что позволяет значительно уменьшить габаритные размеры и массу трансформатора. Клещи со встроенным трансформатором для роботизированной сварки должны быть достаточно компактны, а крепление к последнему звену робота должно быть таким, чтобы центр тяжести сварочного инструмента находился как можно ближе к осям вращения ориентирующих перемещений. Клещи со встроенным трансформатором для сварки тонколистовых конструкций автомобилестроения обычно имеют массу не более 50 кг, чем и определяется грузоподъемность роботов, пригодных для контактной сварки с применением рассматриваемого сварочного инструмента. При использовании клещей с встроенным трансформатором кисть робота должна обеспечивать вращающий момент не менее $120 \text{ Н} \cdot \text{м}$, что соответствует массе клещей 50 кг при нахождении их центра тяжести на расстоянии не более 240 мм от осей вращения ориентирующих подвижностей.

Увеличение ПВ клещей для роботизированной сварки до 50% требует улучшения теплоотвода, например посредством отдельных контуров охлаждения для трансформатора и электродов.

Клещи со встроенным трансформатором имеют ограниченный вылет клещей, меньшую маневренность сварочного инструмента. Ими удобно работать только на фронтальных и хорошо доступных сварных соединениях.

Из трансформаторов, выпускаемых Псковским заводом тяжелого сварочного оборудования, нашел применение в оснащении роботов благодаря своим габаритным, массовым и функциональным характеристикам трансформатор ТК401 УХЛ4 в случае раздельной установки сварочных клещей и трансформатора.

Перспективно оборудование для роботизированной сварки с инверторным источником сварочного тока, в котором напряжение питающей сети промышленной частоты вначале

преобразуется в напряжение повышенной частоты (до 750 Гц), а затем подается на первичную обмотку сварочного трансформатора; напряжение повышенной частоты, снимаемое со вторичной обмотки, выпрямляется и используется для сварки. Масса и габаритные размеры высокочастотного трансформатора при той же мощности меньше, чем низкочастотного, а питание сварочного контура выпрямленным током позволяет при необходимости увеличивать вылет и раствор электродов практически без изменения мощности. Инверторный источник сварочного тока может быть встроен в клещи или расположен на одном из звеньев робота.

При питании сварочного контура постоянным током кабели, соединяющие клещи с источником (в случае его размещения на одном из звеньев робота), не подвергаются электродинамическим нагрузкам и поэтому имеют больший срок службы, чем при питании клещей переменным током.

Конструкция сварочного инструмента для роботизированной контактной точечной сварки зависит от способа подвода тока и может быть с двухсторонним или односторонним подводом сварочного тока. К сварочному инструменту с двухсторонним подводом тока относятся все виды сварочных клещей. Сварочные клещи со сварочным трансформатором применяют в частности с роботом ПР 601/60 (161/60). К сварочному инструменту с односторонним подводом тока относятся полуклещи и сварочные пистолеты (цилиндры), которые применяют, например, с роботом ПР 250/500.

Основными типами клещей для роботизированной сварки являются клещи с радиальным ходом электродов (Х-образные) и клещи с осевым ходом электродов (С-образные), отличающиеся различными вариантами крепления к последнему звену робота. Сварочные клещи должны быть снабжены устройством защиты от поломок при случайных столкновениях с изделием, сборочно-сварочным приспособлением и другими частями робототехнологического комплекса. По конструкции и принципу работы такие устройства аналогичны устройствам, применяемым в составе оборудования для роботизированной дуговой сварки. Кроме того, изделие и сварочный робот должны быть защищены от повреждения в случае прихватывания электродов к металлу изделия. Даже при оптимальном выборе режима сварки такое прихватывание не исключено. По некоторым данным, возможно одно прихватывание на 150 тыс. точек. Для защиты клещей и робота от поломок при прихватывании электродов может использоваться устройство защиты от столкновений.

Для защиты от поломок при прихватывании электродов к свариваемому металлу в клещи встраивают датчики: исходного положения электродов; раскрытия (разведения электродов) на рабочий ход; сжатия электродов. При наличии таких датчиков контролируется весь цикл работы механизма клещей. Если

электроды не расходятся после сварки очередной точки, например в результате прихватывания электродов, операция сварки изделия прерывается и начинается работать подпрограмма вращения роботом клещей вокруг оси электродов.

В комплект роботизированного комплекса включают устройство для механической зачистки электродов, устанавливаемое у границы рабочей зоны. Робот по программе в определенные моменты цикла подводит клещи в положение зачистки и включает устройство. Для периодической зачистки электродов о металл изделия используется подпрограмма вращения роботом клещей вокруг оси электродов, особенно эффективная при сварке только что зачищенными механическим способом электродами, когда вероятность их прихватывания к изделию выше, чем после определенного числа сварок.

Программная система управления режимом сварки при роботизированной точечной контактной сварке обеспечивает заданные изменения параметров процесса сварки при выполнении каждой сварной точки. Система управления режимом роботизированной точечной контактной сварки может быть автономной однопрограммной (режим настраивается при наладке и по программе не меняется) или многопрограммной (несколько режимов настраиваются при наладке и по программе возможен переход на любой из них) либо интегрированной с системой управления роботом, когда в общей программе задаются как перемещения, так и параметры режима сварки.

Для управления процессом контактной точечной сварки (изменение силы тока, давления на электроде, импульса сварки) в отечественных роботизированных системах применены системы управления сварочным током СУСТ 101 и СУСТ 301.

Система СУСТ 101 управляет сваркой на переменном токе с применением сварочного трансформатора в подвесных сварочных машинах, установках многоэлектродной сварки и промышленных роботах. Преимущественное применение — управление сварочными клещами со встроенным трансформатором. Система СУСТ 301 работает на постоянном токе с применением сварочного трансформатора и выпрямителя. Преимущественное применение — управление процессом сварки с использованием порталных роботов, выполняющих сварку сварочным пистолетом на медной подкладке, что при сварке на переменном токе удлиняло бы вторичный контур, а следовательно, увеличивало потери энергии из-за значительного индуктивного сопротивления. Число программ сварки в системах типа СУСТ равно 16.

Задание сварочных программ осуществляется при помощи пульта или дисплея. Дисплей выполняет функции центрального пульта управления при объединении нескольких СУСТ. В системах этого типа имеется компенсация износа электродов, автоматическая ди-

агностика неисправностей, вывод информации на последовательный интерфейс.

Средства технологической адаптации при роботизированной точечной контактной сварке обеспечивают стабильность качества сварных швов независимо от возмущений, влияющих на качество сварки, таких как колебания напряжения в сети, износ электродов, изменения состояния поверхности свариваемых деталей и др. Так, контроллер, встраиваемый в систему СУСТ 101, позволяет стабилизировать размеры ядра точки сварки, регулируя время прохождения тока сварки. Сила тока и время протекания его устанавливаются при сварке образца. При сварке изделий время прохождения тока в зависимости от его фактической силы устанавливается автоматически таким, чтобы обеспечить нагрев в точке сварки, выбранный при настройке по образцу.

В ИЭС им. Е. О. Патона разработана универсальная система управления для контактных точечных машин, работающих на переменном и постоянном токах, а также на токе низкой частоты. Система, разработанная на базе однокристальной микроЭВМ Intel 8031, выполняет следующие функции: управление сварочной машиной по любой циклограмме процесса сварки; измерение и контроль сварочного тока, усилия сжатия, напряжения сети, напряжение между электродами, мощности и сопротивления между электродами (в зависимости от установленных датчиков); регулирование по цепи обратной связи по перечисленным параметрам; запись изменения параметров в процессе сварки для их проверки и настройки режима; учет износа электродов изменением силы тока и времени сварки через заданное число сваренных точек; запись, хранение и выбор до 16 режимов сварки; диагностирование состояния системы управления. Выполнение этих функций позволяет использовать систему для роботизированной сварки. Система обеспечена интерфейсом RS 232 для связи с персональным компьютером.

Наличие такой системы, а также алгоритмов регулирования параметров режима для обеспечения заданных пределов размера ядра точки, создают возможность автоматической корректировки параметров процесса при роботизированной точечной контактной сварке.

Средства геометрической адаптации роботов позволяют выполнять качественную точечную контактную сварку при определенных случайных отклонениях свариваемых деталей от программного положения. При роботизированной точечной контактной сварке кузовов автомобилей допускаются случайные отклонения поверхностей свариваемых элементов до 3 мм (в направлении, перпендикулярном к оси электрода и линии шва).

Свариваемые детали изготавливаются обычно методами холодной листовой штамповки, позволяющей при правильной эксплуатации штампов и стабильных свойствах штампуемого листового материала получать достаточную точность и повторяемость размеров за-

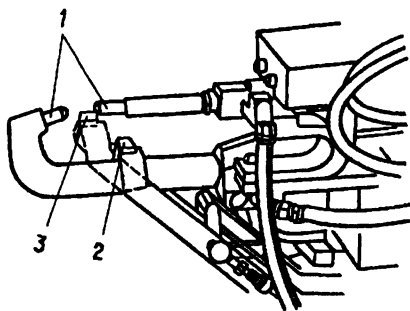


Рис. 3.5. Датчик поиска базовых точек при роботизированной точечной сварке:

1 — электроды; 2 — положение шупа датчика при сварке; 3 — положение шупа при поиске

готовок, а применяемые при сварке сборочно-сварочные приспособления позволяют придать свариваемой конструкции требуемую форму перед сваркой за счет некоторой упругой деформации заготовок. Поэтому при роботизированной сварке необходимость в геометрической адаптации возникает значительно реже, чем при дуговой сварке.

Отклонения положения кромок свариваемых листовых конструкций в направлении, перпендикулярном к усилию сжатия при сварке, компенсируются (в тех случаях, когда это необходимо) методом начальной адаптации, т. е. путем измерения положения кромок до начала сварки с помощью простейших, обычно электромеханических датчиков, встроенных в клещи (рис. 3.5) и плоскопараллельного переноса программных положений точек сварки.

Отклонения сварной конструкции от расчетного положения в направлении сжатия электродов при роботизированной сварке компенсируются за счет плавающей подвески клещей, позволяющей клещам самоустанавливаться в указанном направлении.

3.6. ПРИНЦИПЫ УПРАВЛЕНИЯ РТК, РОБОТИЗИРОВАННЫМИ ЛИНИЯМИ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ СИСТЕМАМИ

Основными функциями системы управления РТК, роботизированными линиями (РЛ) и производственными системами других типов, являются: управление и синхронизация работы оборудования; диагностика технологического процесса и индикация состояния оборудования; обмен информацией с системой управления более высокого уровня.

Как и любые системы управления на базе ЭВМ, системы управления рассматриваемого оборудования состоят из технических средств и прикладного программного обеспечения.

Технические средства. Ядром системы управления является программируемый контроллер, который обеспечивает выполнение главной задачи системы управления: получе-

ние и обработку информации о состоянии технологического оборудования, выдачу необходимых управляющих воздействий и формирование требуемых блокировок при работе оборудования. Программируемый контроллер располагается в шкафах управления, с которыми связано все технологическое оборудование, а также пультовая аппаратура.

В рассматриваемых системах управления используются два типа пультов: оператора и управления. Пульт оператора предназначен для выдачи оператором сообщений о фиксации собранных под сварку деталей и следующего за этим запуска оборудования. На пульте управления расположены органы управления и индикации для обеспечения выбора режима работы, пуска, останова, наладки и контроля состояния оборудования. Кроме того, на пульте управления обычно расположены цифровые индикаторы, предназначенные для вывода диагностических сообщений, формируемых системой управления, и индикации некоторых количественных характеристик работы системы, таких как число сваренных изделий, точек сварки, выполненных каждым роботом, и др.

На пульте управления, как правило, предусмотрены монитор и многофункциональная клавиатура, что позволяет увеличить количество вводимой и выводимой информации и упрощает дополнение производственной системы новыми видами технологического оборудования при ее модернизации. Для производственных систем с большим количеством оборудования, например для длинных роботизированных линий, предусматривают переносной наладочный пульт. Его необходимость обусловлена тем, что не всегда с пульта оператора видны исполнительные механизмы линии.

В отечественных системах управления РТК и РЛ применяют перечисленные ниже контроллеры (с указанием в скобках максимального количества дискретных входов/выходов):

ПК-32/32 (64/64, 128/128);
 Simatic S5-110S (512/512);
 Simatic S5-115U (256/256);
 TSX-47 (256/256);
 TSX-87 (2048/2048);
 P4C2-mini (120/120);
 P4C 2/30 (896/896);
 FPC 101 (202, 404, 606).

При разработке программного обеспечения систем управления за основу принят принцип создания алгоритмических модулей для каждого из типов используемого оборудования. При этом каждый программный блок выполняет функцию управления одним из элементов оборудования. Контроллер работает по принципу последовательного управления. Обработка программных блоков осуществляется в отдельном (организационном) блоке. Использование языка релейно-контактных символов обеспечивает простоту в работе с программным обеспечением системы управления.

Надежность системы управления в первую очередь связана с надежностью программируе-

мых контроллеров (ПК), которая обеспечивается прежде всего их модульной структурой. Кроме того, контроллеры имеют развитую систему самодиагностики, проводящую постоянное самотестирование различных узлов. Результаты автотестов выводятся на световые индикаторы передней панели модулей ПК. В некоторых случаях для повышения надежности имеются избыточные технологические средства. Так, в ПК Simatic S5-110F два канала параллельно обрабатывают информацию: процессоры обоих каналов одновременно обрабатывают программу пользователя, а сигналы, поступающие на выход ПК, сравниваются.

Для диагностирования управляемого процесса и вывода информации о его состоянии на экран дисплея или на печатающее устройство используется специально диагностирующая программа, которая по объему не уступает управляющей программе. Для контроллеров семейства "Simatic S5" фирмой Siemens разработана система диагностики и текущего контроля DIMOS с возможностью вывода данных, текстов и рисунков на отдельный дисплей.

Прикладное программное обеспечение (ППО). ППО систем управления робототехнологическими комплексами, роботизированными линиями и производственными системами контактной точечной сварки используется в сборочно-кузовном производстве автомобилей. Современные сборочно-кузовные производства включают автоматизированные и автоматические линии сборки—сварки, роботизированные технологические комплексы, автоматизированные межоперационные транспортно-складские системы, оснащенные современной вычислительной техникой.

ППО представляет собой программные модули и пакеты прикладных программ, сгруппированные в соответствии с иерархией и модульным построением аппаратной части системы управления и обеспечивающие управление технологическими и вспомогательными операциями. Чем совершеннее ППО, тем прочнее связь между пользователем и системой, выше надежность работы системы, шире функциональные возможности системы управления благодаря более высокому быстродействию при обработке и передаче данных, а также шире области применения систем управления на предприятиях как на нижнем уровне управления, соприкасающемся непосредственно с технологическим процессом, так и на верхних уровнях. Специфическими особенностями ППО являются многозадачность, работа программ в реальном масштабе времени, наличие интерфейсов и протоколов обмена между различными технологическими модулями, наличие специальных программ, обеспечивающих устойчивую работу систем управления при сбоях и отказах ее отдельных компонентов.

Наиболее разработаны и шире используются системы управления отдельными линиями сборки—сварки, системы управления межопе-

рационным транспортом и оборудованием межоперационных складов. Эти системы реализуются на базе локальных устройств программного управления оборудованием, программируемых контроллеров и систем локальной автоматики. Они не только управляют оборудованием, но и передают информацию на верхние уровни управления.

Система управления сборки и точечной контактной сварки в общем случае осуществляет: управление работой отдельных единиц оборудования; автоматическое регулирование ряда параметров (например, сварочного тока); блокировку оборудования при обнаружении неисправности или аварии с указанием вида неисправности; передачу сигнала неисправности или аварии на вышестоящий уровень управления; передачу (подетальную или с накоплением) данных о ходе производства на верхний уровень управления; прием и выдачу сигналов в межоперационную транспортную систему при передаче заготовки с целью синхронизации работы оборудования.

Система управления межоперационным транспортом обеспечивает: управление работой транспортного оборудования; контроль последовательности транспортировки перемещаемых заготовок; сообщение о неисправности или аварии и передачу сигнала неисправности на верхний уровень управления; передачу сигнала о результате транспортировки заготовки; прием и выдачу сигналов в системы управления линиями сборки—сварки и оборудованием межоперационных складов при передаче заготовок с целью синхронизации работы оборудования.

Система управления оборудованием межоперационных складов осуществляет: управление работой оборудования межоперационных складов (конвейеров, штабелеров и др.); контроль запасов и размещения заготовок (ведение модели склада); формирование и передачу на верхний уровень управления сообщения о неисправности или аварии; выдачу сигналов о приеме на склад и отпуск с него; прием и выдачу сигналов в межоперационную транспортную систему при приеме—отпуске заготовок с целью синхронизации работы оборудования.

Задачами второго и третьего уровней управления являются: ведение нормативно-справочной информации, учет, календарное планирование и управление. Программное обеспечение этих подсистем обычно располагается на управляющих машинах верхнего уровня, связанных с управляющей вычислительной техникой нижнего уровня. Подсистема ведения информации обеспечивает организацию и ведение следующих массивов: календарь; характеристики инструмента (оснастки); характеристики оборудования; характеристики изделий; плановое задание; план ремонта, технического обслуживания и др.

Подсистема управления состоит из программных модулей, обслуживающих следующие комплексы задач: ведение динамиче-

ской информационной модели производства и имитационной модели объекта управления; выполнение комплекса плановых расчетов; контроль и фиксацию состояния оборудования; синхронизацию работы оборудования; групповое управление оборудованием линий; управление транспортно-складскими операциями; реализацию диалоговых процедур и ввод информации о подаче деталей в систему; сигнализацию об отклонениях в техпроцессе; контроль качества работы; запуск оборудования, завершение работы в конце смены; диспетчерское управление вычислительным процессом. Подсистема учета решает следующие задачи учета: хода производства; использования оборудования; формирования заданий на подготовку ресурсов; качества выпущенной продукции; незавершенного производства.

Комплекс задач планирования формирует: производственные заказы на квартал, месяц (календарное планирование); сменно-суточные задания; очередность запуска партий, деталей на основе месячных планов производства с разбивкой по дням и сменам; план подготовки инструмента (электродов) и работы заготовительных производств.

При решении задач планирования должна быть обеспечена возможность терминального ввода исходных данных для планирования с их логическим контролем, а также возможность внесения дополнений и корректировок плановых заданий.

Задача ведения динамической информационной модели производства является одной из важнейших задач управления и обеспечивает динамическое отображение хода производственного процесса в информационной базе управления, а также выдачу необходимой информации из базы данных по запросам других задач системы. Она может рассматриваться как элемент системы управления базой данных (СУБД).

Основное требование к СУБД заключается в необходимости высокой реактивности системы, т. е. обеспечение в жестких временных интервалах приведения базы данных в актуальное состояние, отражающее последние изменения в системе и выдачи задачам—пользователям требуемой информации по запросам. Время актуализации базы данных и решения части задач, связанных с последним изменением состояния производственного процесса, должно укладываться во время одного рабочего цикла системы, а при асинхронной работе отдельных линий — в более жесткие рамки. Для обеспечения высокой реактивности СУБД требуется распределение базы данных по уровням управления, а также соблюдение ряда ограничений на структуры и организацию информационных файлов.

Имитационные модели объекта управления используются в подсистеме планирования для расчета вариантов производства с последующим отбором оптимального, а также в задачах диспетчеризации для определения по-

следовательности запуска отдельных программ системы управления.

Выделение организации диалоговых процедур как самостоятельной задачи связано с исключительно важной ролью диалога для функционирования и обеспечения живучести системы. С позиций программного обеспечения организация диалога представляется в виде комплекса программ, обеспечивающего интерфейс оперативного персонала как пользователей-непрограммистов с базой данных системы. Организация и ведение диалога в общем случае зависит от того, кто в каждом конкретном случае является его инициатором — человек или ЭВМ. Поэтому большое значение в программном обеспечении придается языку общения. Если очевидно, что диалог ЭВМ—человек будет вестись на естественном языке, то ведение диалога человек—ЭВМ требует создания полного лингвистического обеспечения с решением вопросов семантики, грамматики и синтаксиса.

Возможны три типа обращений человека к ЭВМ: передача сообщения, передача указания (императива), задание вопроса. Характерный пример сообщения — ввод информации о подаче деталей на линию. Пример императива — указание на запуск или остановку одной из линий. Вопросы являются наиболее многообразной формой. Очевидно, что при обращении к ЭВМ требуемая семантика сообщения должна быть обеспечена в рамках минимальных синтаксических форм и простой грамматики. Запуск оборудования, остановка участка, а также завершение смены являются особыми случаями, для обработки которых должно быть разработано индивидуальное программное обеспечение. Работа системы управления в этих режимах требует формирования промежуточных информационных массивов, закрытия файлов и подготовки их к выдаче учетных документов, а также выполнения другой, весьма объемной обработки информационной базы.

В функции задач контроля за ходом производства и работой оборудования входит сбор информации о состоянии линий и отдельных единиц оборудования, подготовка массивов к выводу учетных документов, контроль за ходом выполнения производственной программы с анализом возможности ее выполнения по объему и номенклатуре.

Особое место занимает задача контроля за качеством сварки. Организация решения этой задачи зависит от уровня автоматизации контроля качества. При высокой автоматизации возможен активный контроль за качеством сварки при помощи контрольно-измерительных машин с автоматическим вводом информации в систему. Однако в большинстве практических случаев контроль качества заключается в сборе и обработке результатов контроля, проводимого в отделе технического контроля и вводимых контроллерами в систему через терминалы. Контролироваться должна выработка ресурса элементами оборудования с выдачей на основании анализа выработки пред-

ложений по проведению профилактических ремонтов, замене электродов и др.

Задачи синхронизации работы оборудования при групповом управлении, сочетающемся с управлением транспортно-складскими операциями, решаются с помощью программного комплекса, непосредственно работающего с нижним технологическим уровнем управления. В таких задачах выполняется расчет моментов времени приема—выдачи сигналов в системы управления технологическим оборудованием для синхронизации его работы и обработка сигналов, упомянутых выше при описании функций системы управления технологическим оборудованием.

3.7. РОБОТОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ, РОБОТИЗИРОВАННЫЕ ЛИНИИ И ГИБКИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ СИСТЕМЫ

Основной частью рассматриваемых комплексов, линий и систем являются гибкие производственные модули.

В соответствии с ГОСТ 26228—90 РТК является совокупностью единицы технологического оборудования, промышленного робота и средств оснащения, автономно функционирующая и осуществляющая многократные циклы. Роботизированной линией является роботизированная производственная система, в которой технологическое оборудование расположено в принятой последовательности технологических операций с неизменной формой транспортного потока. Гибкой производственной системой (ГПС) называется совокупность в разных сочетаниях оборудования с ЧПУ, в том числе роботов, отдельных единиц технологического оборудования и систем обеспечения их функционирования в автоматическом режиме в течение заданного интервала времени, обладающая свойством автоматизированной переналадки при производстве изделий произвольной номенклатуры в установленных пределах значений их характеристик.

Гибкий производственный модуль (ГПМ) — это единица технологического оборудования для производства изделий произвольной номенклатуры в установленных пределах значений их характеристик с программным управлением, автономно функционирующая, автоматически осуществляющая все функции, связанные с изготовлением указанных изделий, имеющая возможность встраивания в комплексы, линии и системы. В данном случае рассматриваются ГПМ, предназначенные для автоматизации технологических процессов точечной контактной сварки кузовных изделий в автомобилестроении и в других отраслях, производящих аналогичную продукцию.

Гибкий производственный модуль точечной контактной сварки состоит из робота, сварочных клещей, источника сварочного тока, системы управления сварочным током, панели энергоснабжения и стойки с концевым переключателем, выдающим сигнал о том, что робот находится в исходном положении. Различные ГПМ отличаются между собой глав-

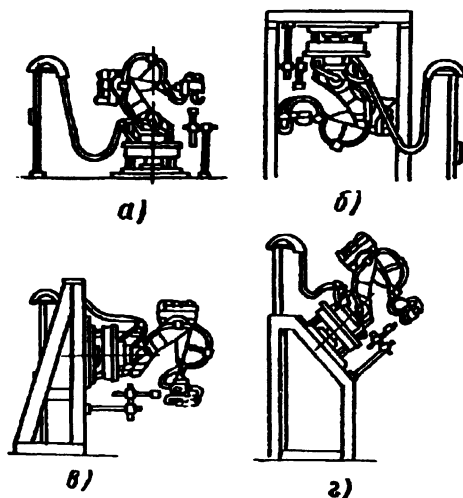


Рис. 3.6. Гибкие производственные модули для точечной сварки на базе робота ПР 161/60 с различными его положениями в пространстве: а — напольным; б — потолочным; в — настенным; г — наклонным

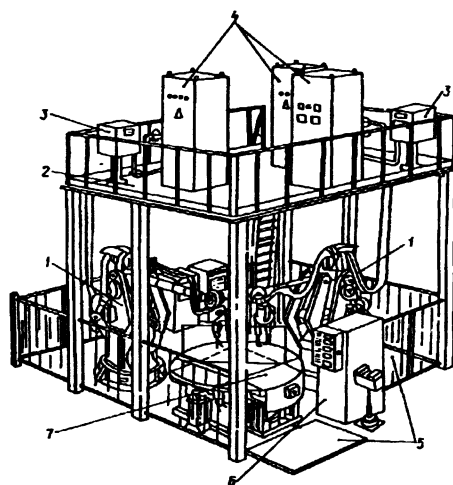


Рис. 3.7. Автономный комплекс с двумя роботами для точечной сварки:

1 — роботы; 2 — площадка электрооборудования РТК; 3 — системы управления сварочным током; 4 — силовые шкафы; 5 — средства безопасности; 6 — стойка управления; 7 — поворотный четырехпозиционный стол

ным образом типом робота, его пространственным положением, типом сварочного инструмента и источника сварочного тока (рис. 3.6). РТК для точечной контактной сварки — совокупность одного или нескольких ГПМ с поворотным многопозиционным столом (рис. 3.7) или выкатным столом. В большинстве случаев автономные комплексы обслуживаются ра-

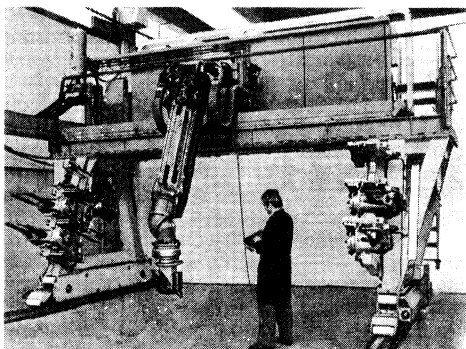


Рис. 3.8. ГПМ для комплекса с автоматической сменной клещей фирмы Бизиак и Карру (Италия)

бочим, выполняющим загрузочно-разгрузочные работы. В отдельных случаях в него встраиваются автоматические перегружатели на позиции загрузки и выгрузки.

Обычно РТК применяют для сварки листовых конструкций небольших габаритных размеров с небольшим числом сварных точек (20—50), если такт производства и конструкция изделия позволяют выполнить сварку всех точек на одном рабочем месте. Конфигурация комплекса существенно зависит от конструкции изделия и организационно-технических условий производства.

Комплекс с клещами одного типа позволяет выполнять сварные точки лишь в определенных местах данной сварной конструкции. Это ограничивает универсальность робота и комплекса в целом. Для обеспечения возможности сварки одним роботом точек в различных местах сложных сварных конструкций используют устройства автоматической смены клещей и магазин клещей. При наличии системы сменных клещей на одном рабочем месте можно выполнять сварку весьма сложных сварных конструкций (рис. 3.8), что особенно удобно при производстве таких изделий как кузова автобусов и рефрижераторов, изготавливаемых в количестве нескольких тысяч в год, когда создание роботизированных линий целесообразно.

Роботизированные линии могут быть одно- и многономенклатурными, что характерно для массового производства, например, легковых автомобилей. Обычно на таких линиях осуществляется как сборка, так и сварка изделий (рис. 3.9). Установка свариваемых деталей в кондуктор выполняется, как правило, рабочим, так как автоматизация загрузки и сборки нежестких тонколистовых конструкций представляет собой весьма сложную задачу. Затем следует позиция прихватки, после которой часть зажимов может быть отведена или изделие может быть извлечено из сборочного приспособления для обеспечения доступа клещам ко всем сварочным точкам. Выдача сваренного изделия автоматизируется легче, чем загрузка, так как, во-первых, на позицию вы-

дачи изделие приходит в строго ориентированном положении и, во-вторых, здесь отсутствуют приемы сборки, а жесткость сварной конструкции значительно выше, чем жесткость составляющих ее деталей.

Гибкая производственная система, в которой предусмотрена возможность изменения последовательности использования технологического оборудования, называют гибким автоматизированным участком. Наибольшей функциональной гибкостью обладают роботизированные системы, в которых вместо жесткой последовательности перемещения от позиции к позиции реализуется принцип гибкого адресования изделий (гибкого транспорта). Основой гибкого транспорта являются роботизированные транспортные тележки — робокары с электроприводом, управляемые ЭВМ. Питание привода тележек осуществляется от аккумуляторных батарей, а управление — через высокочастотное магнитное поле, возбуждаемое вокруг кабелей, вмонтированных в пол по линиям возможного движения центров робокаров.

Применительно к сварке тонколистовых конструкций рассматриваемые системы строятся с использованием устройств типа Робогейт (рис. 3.10), представляющего собой фиксирующие приспособления — кондукторы портальной или рамной компоновки, которые обжимают свариваемую конструкцию после прихода тележки с изделием в позицию сварки, придавая ему требуемую форму и фиксируя в требуемом положении. При этом не только обеспечивается возможность работы сварочных роботов без адаптации, но и увеличивается точность изготовления.

Гибкость системы обеспечивается тем, что по команде центральной ЭВМ на очередную тележку, подходящую к складу приспособлений, автоматическим устанавливается заданное приспособление, а затем со склада заготовок также автоматически подаются боковины, крыша и другие элементы кузова соответствующего исполнения. Затем элементы прихватываются на соответствующих позициях и подаются в зону окончательной сварки кузова. Во многих системах такого типа на одной сварочной позиции может быть несколько приспособлений, которые, смещаясь по горизонтали или вертикали, прихватают на позицию сварки в зависимости от исполнения очередного изделия. На каждой позиции обычно работает несколько роботов, предусматривается их взаимное резервирование (или позиции).

Гибкие производственные системы больших размеров с совокупностью роботизированных технологических линий, участков, комплексов для изготовления изделий заданной номенклатуры представляют собой гибкий автоматизированный цех.

На предприятиях автомобилестроения для производства кузовов различных моделей (многономенклатурное производство) предусмотрено как технологическое, так и транспортно-накопительное оборудование, предназначенное для выпуска двух и более модифи-

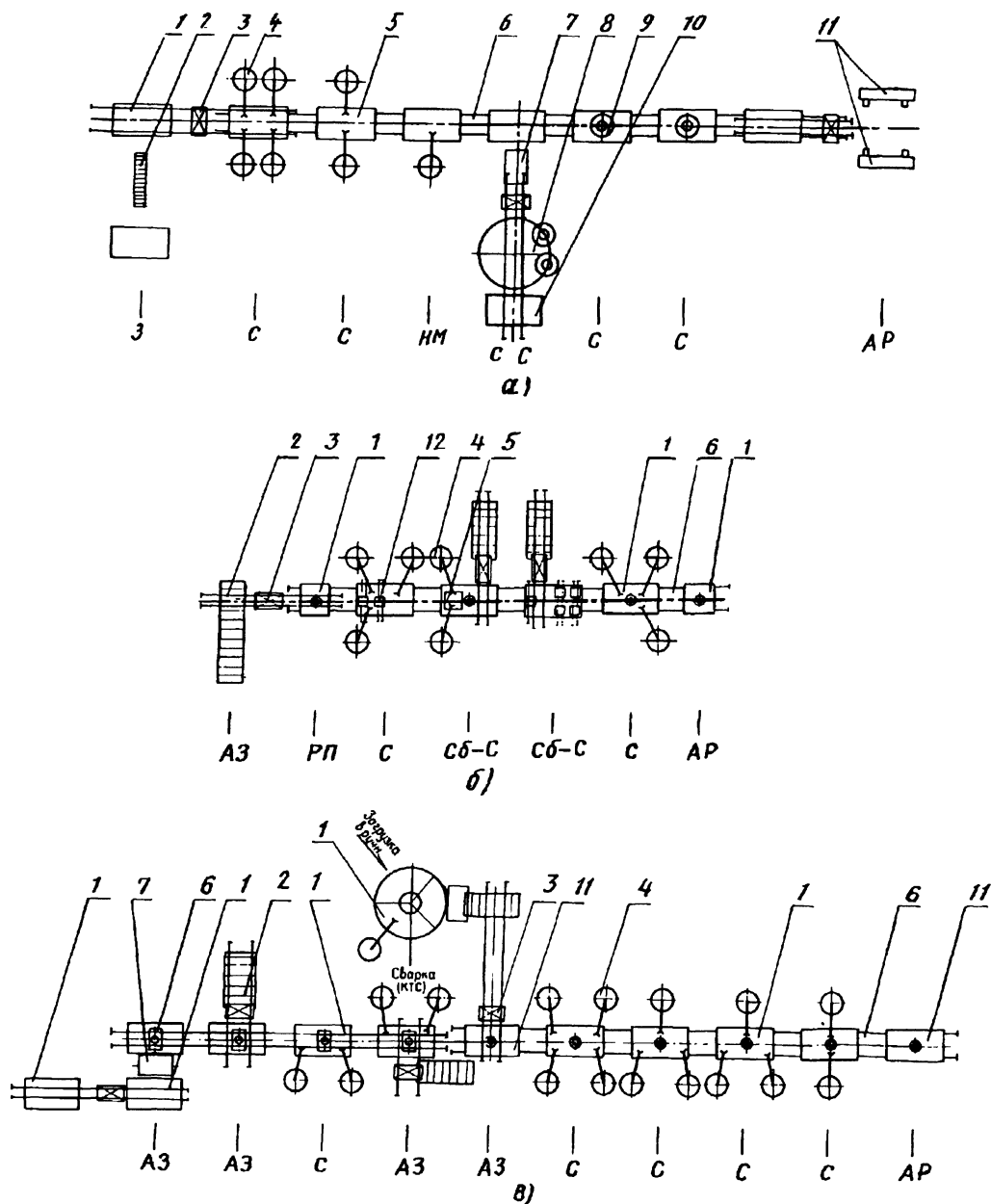


Рис. 3.9. Линия сборки-сварки автомобиля:

а — заднего моста АЗЛК-2141; б — передка ЗАЗ-1102; боковины ЗАЗ-1102; 3 — загрузочная ручная; С — сварка; НМ — нанесение мастики; Сб — сборка; АР — автоматическая разгрузка; АЗ — автоматическая загрузка; РП — резервный пост; 1 — стол; 2 — накопительный конвейер; 3 — перегрузчик; 4 — напольный робот; 5 — поворотный барабан; 6 — шаговый конвейер; 7 — кантователь; 8 — поворотный стол; 9 — подвесной робот; 10 — тара; 11 — подъемник; 12 — программируемые салазки

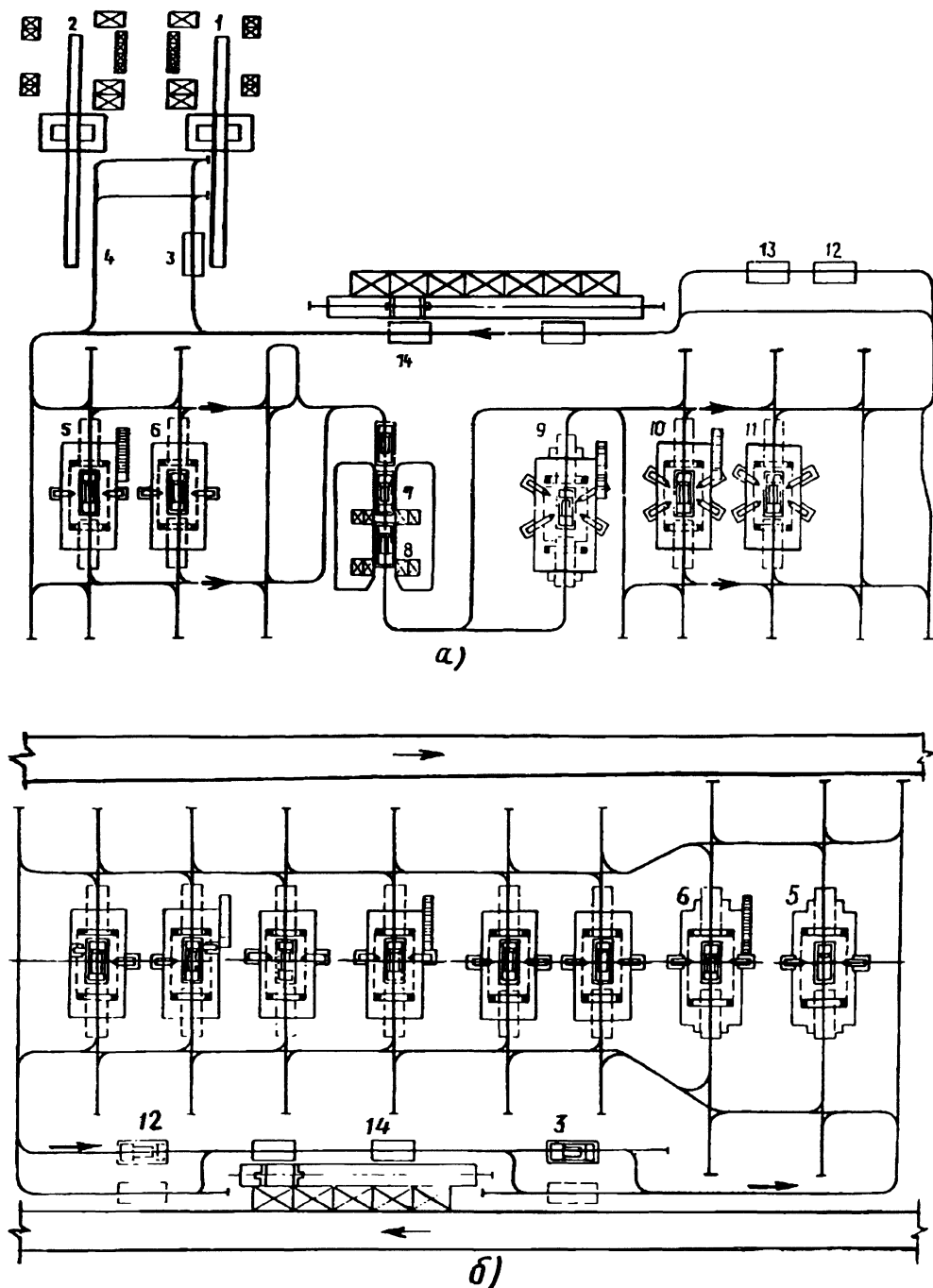


Рис. 3.10. Гибкая производственная система типа Робогейт для сварки тонколистовых конструкций — кузовов легковых автомобилей:

а — подсистема сварки боковин; *б* — подсистема сварки кузова; 1, 2 — сборка (с накопителями); 3, 4 — загрузка; 5, 6 — предварительная сварка роботами; 7, 8 — ручная досборка; 9 — сварка; 10, 11 — окончательная сварка; 12, 13 — разгрузка; 14 — автоматическая замена стапеля по команде ЭВМ

каций сварной конструкции, поступающих на сборку и сварку в произвольном, т. е. заранее неопределенном порядке. На предприятиях с гибкими производственными цехами и линиями только для одной модели можно сравнительно быстро перейти на выпуск другой модели без замены сварочного оборудования, но с заменой сборочно-сварочных приспособлений и части транспортно-складской оснастки. Гибкость систем в этом случае реализуется только в том случае, если продолжительность работы системы до полного износа в годах будет кратна числу лет, через которые в среднем происходит смена модели изделия. При такой смене достаточно сравнительно небольшой модернизации системы для выпуска следующей модели.

3.8. ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ

Применение роботов, комплексов линий, гибких производственных систем является одним из основных направлений автоматизации точечной контактной сварки в условиях серийного, крупносерийного и массового многоменклатурного производства тонколистовых конструкций, особенно в автомобилестроении и производстве бытовой техники. Анализ состояния робототехники для контактной сварки за последние годы позволяет отметить следующие тенденции развития этого направления.

— Благодаря быстрому развитию манипуляторов роботов и их систем управления пятикоординатные универсальные роботы почти полностью вытеснены шестикоординатными, которые обеспечивают большую мобильность сварочному инструменту, необходимую для сварки сложных тонколистовых конструкций автомобилестроения. Вместе с этим при сварке плоскостных конструкций бытовой техники находят применение специализированные роботы с двумя-тремя подвижностями, как правило, модульной конструкции, более простые, чем универсальные шестикоординатные, и потому менее дорогие.

— В связи с тем, что время сварки одной точки весьма мало, значительную роль в повышении производительности робота для точечной контактной сварки имеет скорость его маршевых перемещений, а также ускорение при разгоне и торможении. Поэтому сохраняется тенденция повышения скоростей и ускорений роботов для точечной контактной сварки, но для уменьшения ударов и колебаний при разгоне и торможении все шире применяется оптимизация закона разгона—торможения с учетом текущей конфигурации робота.

— Вследствие расширения применения в роботах для точечной контактной сварки вентильного привода с бесколлекторным двигателем и асинхронного глубокорегулируемого привода практически вытеснен гидропривод и постепенно вытесняется глубокорегулируемый транзисторный привод на базе высокомоментных двигателей постоянного тока с возбуждением от постоянных магнитов.

— Развитие систем управления роботами происходит в направлении упрощения программирования, диагностики и устранения сбоев и отказов. Развиваются системы внешнего программирования, позволяющие сократить время простоя роботов при переходе на новые изделия и повысить безопасность работы.

— Методы и средства геометрической адаптации роботов для точечной контактной сварки уступают методам и средствам роботов для дуговой сварки, так как точность подготовки и сборки тонколистовых конструкций может быть относительно высокой, а допустимые отклонения места сварки от запрограммированного положения при точечной контактной сварке значительно больше, чем при дуговой. Вместе с тем следует развивать методы и средства технологической адаптации, имеющие своей целью корректировку параметров режима точечной контактной сварки для получения стабильных параметров сварных точек независимо от состояния поверхности свариваемых элементов, колебаний толщины свариваемого металла и питающего напряжения, состояния электродов.

— Нуждаются в совершенствовании вспомогательные устройства, обеспечивающие работу роботов без обслуживания в течение длительного времени (одну-две смены): устройства автоматической смены инструмента, автоматической зачистки электродов и другие, повышающие степень автоматизации и гибкость технологического оборудования.

— В области практического применения роботов для контактной сварки следует ожидать:

дальнейшей концентрации роботов при сварке одного изделия на одной позиции, что увеличивает производительность рабочего места и сокращает потребность в производственных площадях;

повышения производственной гибкости робототехнологических комплексов, роботизированных линий и гибких производственных систем вплоть до обеспечения сварки различных модификаций сварных конструкций в произвольном порядке без вмешательства рабочих;

более комплексной автоматизации и роботизации производства сварных конструкций, включая сборочные, контрольные, транспортные, складские операции, нанесение покрытий и т. д.

Глава 4

АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРАМИ ПРОЦЕССОВ СВАРКИ (ТОЧЕЧНОЙ, ШОВНОЙ, РЕЛЬЕФНОЙ И СТЫКОВОЙ)

4.1. КОММУТАЦИЯ И РЕГУЛИРОВАНИЕ СВАРОЧНОГО ТОКА

Включение, выключение и регулирование силы тока в однофазных машинах для точечной,

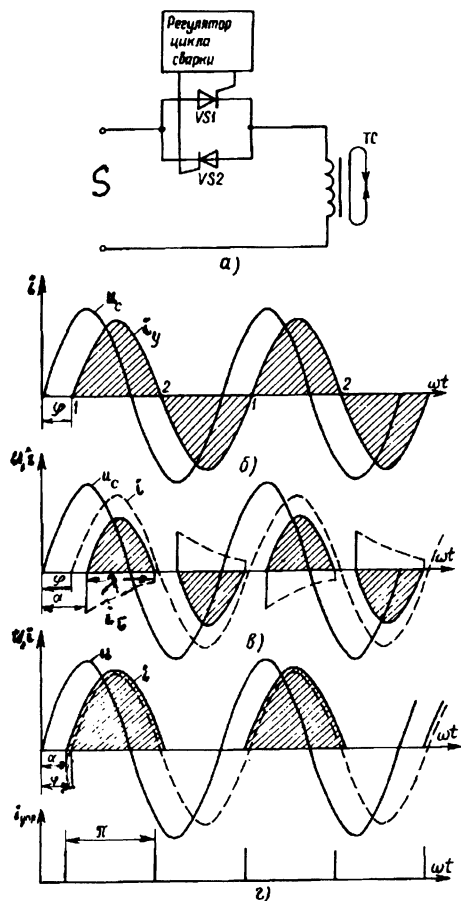


Рис. 4.1. Схема тиристорного прерывателя и диаграммы токов и напряжений при его включении на активно-индуктивную нагрузку в режиме фазового регулирования:

а — схема; б — $\alpha = \varphi$; в — $\alpha > \varphi$; г — $\alpha < \varphi$

шовной и рельефной сварки производится тиристорными прерывателями, которые состоят из двух встречно-параллельно соединенных тиристоров $VS1$ и $VS2$, управляемых внешним устройством и включенных последовательно между первичной обмоткой сварочного трансформатора $ТС$ и питающей сетью (рис. 4.1, а). Поскольку контактная машина эквивалентна индуктивно-активной нагрузке и установившееся значение силы тока I_y отстает от питающего напряжения U_c на угол φ (рис. 4.1, б), то импульсы управления должны подаваться на тиристоры, по крайней мере, с задержкой, равной φ . Угол φ является параметром нагрузки и определяется соотношением ее индуктивного и активного сопротивлений. В машинах с малым вылетом и небольшой площадью сече-

ния вторичного контура угол φ невелик, но он растет по мере увеличения вылета машины и ее раствора. Как правило, $\cos \varphi$ в контактных однофазных машинах меняется: $\cos \varphi = 0,2 \div 0,8$.

Если в точках 1 подавать импульсы на включение тиристора $VS1$, анод которого находится под положительным потенциалом, а в точках 2 включать тиристор $VS2$, который может проводить ток, так как произошла смена полярности, то через нагрузку потечет переменный ток синусоидальной формы. Длительность этого тока определяется числом импульсов управления. После прекращения подачи импульсов на управляющие электроды тиристоров ток через трансформатор прерывается с окончанием проводимости последнего включенного тиристора.

За счет фазового регулирования тиристорный прерыватель позволяет плавно изменять действующее значение пропускаемого тока. С увеличением угла α включения (рис. 4.1, в) угол λ проводимости включенного вентиля уменьшается, появляются разрывы между полуволнами, а соответственно уменьшается сила тока. Таким образом, общий случай включения тиристорного прерывателя соответствует условию $\alpha \geq \varphi$. Режим полнофазного включения выполняется при условии $\alpha = \varphi$. Возможен вариант аномального включения тиристорного прерывателя в случае $\alpha < \varphi$ (рис. 4.1, г) при автоматическом регулировании тока вблизи его полнофазного включения. Если импульс управления сильно сдвинут влево, то длительность включенной полуволны тока может превысить 180° . Импульс управления приходит на второй вентиль, когда он включиться не может. Когда возникает возможность включения другого вентиля, импульс управления уже исчезнет. Тиристорный прерыватель начинает работать как однополупериодный выпрямитель ("полуволновой эффект"). Не размагничиваясь в отрицательные полуволны, сердечник трансформатора быстро насыщается, первичный ток резко нарастает, возникает аварийная ситуация. Полуволновой эффект можно избежать, расширяя длительность управляющего импульса.

В общем случае ток через тиристор представляет собой ток переходного процесса

$$I = I_y + I_c,$$

где I_y — установившееся значение силы тока, определяемого формой питающего напряжения; I_c — свободная составляющая силы тока, обусловленная тем, что электромагнитная энергия, связанная с индуктивностью нагрузки, не может скачкообразно изменяться.

Если напряжение питания $u = U_m \sin(\omega t + \alpha)$, то установившаяся сила тока имеет ту же форму, но отстает на угол φ :

$$i_y = I_m \sin(\omega t + \alpha - \varphi),$$

где U_m и I_m — амплитудные значения соответственно напряжения и силы тока.

Свободная составляющая меняется по экспоненте

$$i_c = -I_m \sin(\alpha - \varphi) \exp[-t/\tau],$$

где τ — постоянная времени затухания, может быть определена через параметр φ ; $\tau = \operatorname{tg} \varphi / \omega = (\omega \operatorname{ctg} \varphi)^{-1}$.

Таким образом, мгновенное значение силы тока за время проводимости тиристора определяется выражением

$$i = I_m [\sin(\omega t + \alpha - \varphi) - \sin(\alpha - \varphi) e^{-\omega t \operatorname{ctg} \varphi}]. \quad (4.1)$$

Связь угла проводимости с углом включения описывается уравнением

$$\operatorname{tg}(\alpha - \varphi) = \frac{\sin \lambda}{\exp[-\lambda \operatorname{ctg} \varphi] - \cos \lambda}, \quad (4.2)$$

которое получено из (4.1) при условии, что $i = 0$, если $\omega t = \lambda$.

Действующее значение силы тока может быть найдено из формулы

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{\lambda}{\pi} - \frac{\sin \lambda \cos(2\alpha + \lambda + \varphi)}{\pi \cos \varphi}}. \quad (4.3)$$

Выражение (4.3) удобно представить в виде

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} I^* = I_y I^*, \quad (4.4)$$

где I_y — действующее значение установившегося однофазного тока; I^* — действующее значение регулируемого тока в относительных единицах ($I^* \leq 1$), определяемое только соотношением угловых параметров при фазовом регулировании.

В табл. 4.1 приведены значения I^* при различных углах регулирования и параметрах нагрузки, а также коэффициента формы

$K_\varphi = \frac{I_m(\alpha, \varphi)}{I^*(\alpha, \varphi)}$. Так как измерить максимальную силу тока проще, то значение коэффициента формы при заданном угле проводимости позволит определить действующее значение силы тока (при известном масштабе измерения и параметре нагрузки). Регулировочные характеристики нелинейны. Однако на рабочем участке в диапазоне $0,95 \geq I^* \geq 0,3$ кривые $I^*(\alpha, \varphi)$ могут быть с точностью до 2% аппроксимированы прямыми, подчиняющимися выражению,

$$I^* = B_1 \alpha + B_0, \quad (4.5)$$

где B_0 , B_1 — постоянные коэффициенты (табл. 4.2); α — угол регулирования, рад.

В качестве прерывателей в однофазных машинах переменного тока используются тиристорные контакторы КТ-07 (с воздушным охлаждением) и КТ-11, КТ-12 (с водяным охлаждением) на номинальную силу тока соответственно 480, 1000 и 1750 А при ПВ = 20% и длительности импульса 0,5 с. Контакторы могут работать только с устройствами, содержащими фазоимпульсный выходной блок; регуляторами времени или цикла сварки, которые наряду с регулированием величины и длительности прохождения тока задают также после-

довательность действия механизмов контактной машины по установленной программе.

Особенностью серии новых цифровых регуляторов РКС-801 и РКС-502 является наличие новых узлов [7]: автоматической настройки на коэффициент мощности машины со стабилизацией силы сварочного тока с точностью до $\pm 3\%$ при изменении напряжения сети от 10 до 5% номинального; внешнего дистанционного управления силой сварочного тока в диапазоне 100...50% полнофазного и длительностью его протекания. При одновременной работе большого числа однофазных машин с целью более равномерной загрузки фаз питающей сети в регуляторах РКС-801 и РКС-502 введен узел задержки включения сварочного тока на позиции "сжатие" до поступления разрешающего сигнала.

Регулятор РКС-502 обеспечивает работу сварочной машины по циклу: предварительное сжатие, сжатие, сварка, проковка и пауза. В режиме "серия сварок" позиция "предварительное сжатие" отрабатывается лишь в первом цикле. Длительность каждой позиции можно устанавливать дискретно в диапазоне 1...99 периода частоты питающей сети через один период. Предусмотрен множитель на четыре для всех позиций с дискретностью установок — четыре периода в диапазоне 4...396 периодов. Восемь-позиционный регулятор РКС-801 имеет восемь регулируемых и одну нерегулируемую (по длительности) позиции сварочного цикла: предварительное сжатие (нерегулируемая), сжатие, охлаждение, сварка 1, проковка 1, сварка 2, проковка 2, пауза и задержка включения повышенного усилия проковки относительно конца позиции "сварка Г".

Длительность позиции "предварительное сжатие" составляет 30 периодов частоты сети, позиций "охлаждение" и "задержка включения повышенного усилия проковки" — $1 \div 9$ периодов, остальных позиций — $1 \div 99$ периодов. Регулятор снабжен множителем на два для всех позиций цикла с дискретностью установок два периода. Предусмотрена возможность исключения из цикла термообработки (позиции "сварка 2" и "проковка 2"). Для позиции "сварка Г" предусмотрен пульсирующий режим с повторением $1 \div 9$ раз позиций "сварка Г" и "охлаждение". Имеется также блок модуляции переднего фронта первого импульса сварочного тока с максимальным ее временем $0,2 \pm 0,08$ с.

Контакты выходных разъемов регуляторов РКС-502 и РКС-801 взаимозаменяемы с ранее выпускавшимися регуляторами серии РЦС и РКС.

В машинах для контактной стыковой сварки оплавлением сила сварочного тока определяется установленной ступенью сварочного трансформатора при заданной скорости подачи деталей. Включение сварочного трансформатора в сеть и его отключение при осадке осуществляются чаще всего посредством электромеханического контактора с дугогасящими камерами. В стыковых машинах К355А,

4.1. Значения угла проводимости $\lambda(\alpha, \varphi)$, силы тока нагрузки $I^*(\alpha, \varphi)$ и коэффициента формы $K_\Phi(\alpha, \varphi)$ при различных $\cos \varphi$

$\alpha, ^\circ$	0,9			0,8			0,7			0,6			0,5		
	$\lambda, ^\circ$	I^*	K_Φ	$\lambda, ^\circ$	I^*	K_Φ	$\lambda, ^\circ$	I^*	K_Φ	$\lambda, ^\circ$	I^*	K_Φ	$\lambda, ^\circ$	I^*	K_Φ
30	175,83	0,990	1,423												
35	170,82	0,976	1,437												
40	165,81	0,958	1,453	176,82	0,987	1,423									
45	160,79	0,940	1,471	171,72	0,963	1,439									
50	155,76	0,914	1,492	166,60	0,935	1,457	175,35	0,972	1,429						
55	150,72	0,888	1,515	161,45	0,905	1,476	170,06	0,938	1,447	177,95	0,985	1,421			
60	145,67	0,858	1,540	156,28	0,871	1,498	164,72	0,901	1,466	172,41	0,943	1,439	180,00	1,000	1,414
65	140,61	0,825	1,567	151,07	0,834	1,521	159,32	0,860	1,488	166,80	0,898	1,460	174,14	0,950	1,434
70	135,54	0,790	1,597	145,82	0,795	1,547	153,87	0,817	1,511	161,11	0,851	1,482	168,17	0,897	1,455
75	130,45	0,752	1,628	140,53	0,753	1,574	148,35	0,771	1,537	155,34	0,801	1,507	162,10	0,842	1,480
80	125,33	0,712	1,662	135,19	0,709	1,604	142,76	0,724	1,565	149,47	0,749	1,533	155,93	0,785	1,505
85	120,20	0,669	1,698	129,79	0,664	1,636	137,08	0,674	1,595	143,50	0,696	1,562	149,63	0,727	1,533
90	115,03	0,625	1,737	124,33	0,616	1,671	131,33	0,623	1,628	137,43	0,641	1,594	143,22	0,607	1,565
95	109,82	0,579	1,778	118,80	0,568	1,708	125,48	0,571	1,664	131,25	0,586	1,630	136,68	0,608	1,599
100	104,57	0,532	1,822	113,20	0,518	1,749	119,53	0,519	1,703	124,96	0,530	1,668	130,01	0,548	1,637
105	99,27	0,485	1,870	107,51	0,469	1,794	113,48	0,467	1,747	118,54	0,475	1,710	123,21	0,489	1,679
110	93,91	0,437	1,922	101,72	0,419	1,843	107,30	0,416	1,794	111,98	0,420	1,757	116,27	0,431	1,726
115	88,48	0,389	1,980	95,83	0,370	1,898	101,00	0,365	1,848	105,29	0,367	1,810	109,18	0,375	1,779
120	82,97	0,341	2,043	89,82	0,322	1,959	94,56	0,316	1,908	98,45	0,316	1,870	101,94	0,321	1,838
125	77,36	0,295	2,115	83,67	0,276	2,028	87,97	0,268	1,976	91,45	0,267	1,938	94,54	0,270	1,906
130	71,36	0,250	2,196	77,38	0,231	2,107	81,21	0,223	2,055	84,28	0,221	2,016	86,97	0,222	1,985
135	65,78	0,207	2,289	70,91	0,190	2,198	74,28	0,182	2,146	76,93	0,178	2,108	79,23	0,178	2,077
140	59,76	0,167	2,398	64,26	0,151	2,307	67,15	0,143	2,255	69,39	0,140	2,217	71,31	0,139	2,187
145	53,56	0,130	2,530	57,40	0,115	2,438	59,80	0,109	2,387	61,64	0,105	2,350	63,20	0,104	2,321
150	47,14	0,096	2,693	50,29	0,084	2,602	52,22	0,078	2,552	53,68	0,075	2,516	54,90	0,074	2,532
155	40,43	0,067	2,904	42,91	0,051	2,813	44,38	0,051	2,767	45,47	0,050	2,731	46,36	0,049	2,704
160	33,42	0,042	3,187	35,21	0,035	3,103	36,25	0,031	3,060	37,00	0,030	3,028	37,61	0,029	3,003
165	25,99	0,023	3,615	27,15	0,018	3,549	27,87	0,017	3,502	28,25	0,015	3,492	28,62	0,015	3,448
170	18,05	0,009	4,363	18,65	0,007	4,228	18,97	0,006	4,318	19,19	0,006	4,330	19,37	0,005	4,448

Продолжение табл. 4.1

$\alpha, ^\circ$	0,4			0,3			0,2			0,1		
	$\lambda, ^\circ$	I^*	K_Φ	$\lambda, ^\circ$	I^*	K_Φ	$\lambda, ^\circ$	I^*	K_Φ	$\lambda, ^\circ$	I^*	K_Φ
30												
35												
40												
45												
50												
55												
60												
65												
70	175,48	0,957	1,429									
75	169,06	0,896	1,453	176,61	0,966	1,426						
80	162,52	0,832	1,478	169,61	0,895	1,451	177,65	0,975	1,422	178,72	0,986	1,418
85	155,84	0,768	1,506	162,47	0,823	1,479	169,90	0,893	1,450	170,00	0,891	1,450
90	149,04	0,703	1,537	155,19	0,750	1,509	162,02	0,811	1,481	161,19	0,798	1,484
95	142,10	0,638	1,571	147,77	0,678	1,543	154,00	0,730	1,515	152,28	0,708	1,523
100	135,02	0,573	1,608	140,21	0,607	1,581	145,85	0,650	1,553	143,27	0,621	1,565
105	127,80	0,509	1,650	132,51	0,537	1,623	137,58	0,573	1,595	134,19	0,537	1,613
110	120,43	0,447	1,697	124,68	0,469	1,670	129,19	0,499	1,642	125,03	0,458	1,667
115	112,93	0,387	1,750	116,70	0,405	1,723	120,68	0,428	1,696	115,79	0,385	1,729
120	105,27	0,330	1,810	108,59	0,343	1,783	112,05	0,361	1,756	106,48	0,317	1,799
125	97,46	0,276	1,878	100,34	0,286	1,851	103,31	0,299	1,826	97,10	0,255	1,880
130	89,49	0,226	1,957	91,95	0,233	1,931	94,46	0,242	1,907	87,66	0,200	1,976
135	81,36	0,181	2,050	83,42	0,185	2,024	85,50	0,191	2,001	78,16	0,152	2,089
140	73,07	0,140	2,160	74,75	0,142	2,137	76,43	0,146	2,113	68,59	0,111	2,224
145	64,61	0,104	2,296	65,94	0,105	2,272	67,25	0,107	2,250	58,97	0,077	2,394
150	55,97	0,073	2,464	56,98	0,073	2,441	57,97	0,075	2,417	49,28	0,050	2,612
155	47,15	0,048	2,681	47,88	0,048	2,661	48,58	0,048	2,642	39,54	0,028	2,941
160	38,14	0,028	2,982	38,63	0,028	2,961	39,09	0,028	2,943	29,74	0,014	3,477
165	28,93	0,014	3,411	29,22	0,014	3,392	29,48	0,014	3,380	19,88	0,005	4,350
170	19,51	0,005	4,695	19,65	0,006	3,827	19,77	0,005	4,127			

4.2. Коэффициенты B_0 и B_1 для различных $\cos\varphi$

$\cos\varphi$	B_0	B_1	$\cos\varphi$	B_0	B_1
0,2	2,15	-0,853	0,6	1,58	-0,603
0,3	2,01	-0,797	0,7	1,49	-0,556
0,4	1,84	-0,719	0,8	1,44	-0,534
0,5	1,72	-0,666			

К190П, К584М, СГ-1 и других, в которых сила сварочного тока первичной стороны не превышает нескольких сот ампер, а сила тока коммутации достигает 1000 А, используются электромеханические контакторы КТ6042, КТ6053. В более мощных машинах (К700-1, К800, К805 и др.) применяют электромеханические контакторы бездуговой коммутации типа КБК, в которых размыкание контактов происходит при переходе тока через нулевое значение, т. е. когда энергия дуги равна нулю. Такие контакторы выдерживают длительный ток силой 1200...1500 А, а ток коммутации силой менее 6000 А. При большей нагрузке по току контакторы включаются параллельно.

Тиристорные контакторы, получающие все более широкое применение в машинах для контактной стыковой сварки, в одних машинах (например, К724А) служат только для коммутации силовой сварочной цепи, а в других (К838, К839, К840) обеспечивают также фазовое регулирование сварочного напряжения. Тиристорный регулятор может изменять напряжение на сварочном трансформаторе по заданной программе в функции времени или перемещения плиты машины, корректировать программу изменения напряжения по сигналу обратной связи [6].

Особенность применения тиристорных контакторов в стыковых машинах состоит в том, что в процессе сварки коэффициент мощности изменяется от 0,98 (режим оплавления) до 0,4 (режим короткого замыкания), тогда как в контактных точечных машинах можно заранее настроить на требуемый $\cos\varphi$. Поэтому при переключении напряжения в ходе оплавления угол включения тириستоров может не соответствовать текущему значению коэффициента мощности. В сварочной цепи возникают переходные процессы и сила тока может быть больше, чем при коротком замыкании. Для исключения аварийных ситуаций схема тиристорного регулятора напряжения должна предусматривать, чтобы угол включения вентилей в первый полупериод питающего напряжения находился в пределах $88 \div 90^\circ$. При этом магнитный поток трансформатора должен быть близок к нулю и переходные процессы отсутствуют [1]. Ограничение области применения тиристорных контакторов в стыковых машинах обусловлено недостаточной мощностью серийных контакторов и трудностью охлаждения тириستоров в полевых условиях, особенно в зимний период.

4.2. РЕГИСТРАЦИЯ И КОНТРОЛЬ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА КОНТАКТНОЙ СВАРКИ

Значительная часть методов контроля сварных соединений основана на регистрации и измерении параметров сварочного процесса, определении степени отклонения основных параметров режима сварки от установленных значений и оценке качества получаемого сварного соединения.

Таковыми параметрами являются: сила сварочного тока $I_{св}$; длительность его включения $t_{св}$; сила сжатия $F_{св}$ электродов; диаметр (радиус заточки) d_3 (R_3) рабочей поверхности электродов при точечной сварке; время t_n паузы между импульсами сварочного тока для шовной сварки, скорость $v_{св}$ перемещения детали; ширина l_p рабочей поверхности ролика. В практике контроля используются также функционалы сварочного тока такими, как $\int i_{св} dt$ и $\int i_{св}^2 dt$. Первый соответствует количеству электричества за время сварки, второй пропорционален энерговыделению в свариваемое соединение. По существу только геометрические размеры электродов и роликов могут быть измерены стандартными приборами. Все остальные параметры режима требуют для измерения нестандартных средств, которые должны отвечать требованиям ГОСТ 8.326—89.

Измерители силы сварочного тока. Сварочный ток — основной измеряемый параметр. В качестве датчика тока при его регистрации часто используют датчик, основанный на эффекте Холла — возникновении ЭДС E_x на поперечных торцах полупроводниковой пластинки, вдоль которой протекает ток силой I и через которую проходят силовые линии магнитного поля H (рис. 4.2, а). Наиболее чувствительные датчики изготавливают из мышьяковистого индия. Чувствительность датчика зависит также от его толщины: чем датчик тоньше, тем чувствительность выше. ЭДС Холла пропорциональна напряженности магнитного поля, а следовательно, датчик может быть использован для записи и измерения силы сварочного тока. Выходное напряжение с датчика Холла достаточно для прямой записи на магнитоэлектрический осциллограф или другой вторичный прибор. Достоинством датчика является его универсализм, т. е. возможность работы при сварочном токе разных форм и частот. Главный недостаток датчика — зависимость выходной ЭДС от мес-

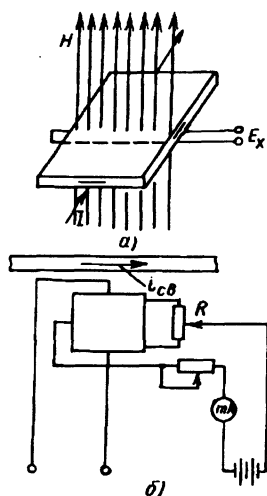


Рис. 4.2. Эффект Холла (а) и схема включения датчика (б)

та закрепления его во вторичном контуре. Это вызывает необходимость градуировки датчика всякий раз при его установке.

Рассмотрим регистрацию силы тока на примере использования прибора ДСТ-2. Датчик прибора выполнен в виде выносного зонда, защищенного немагнитной оболочкой. Зонд укрепляется на машине так, чтобы магнитные силовые линии пересекали плоскость датчика под прямым углом. Датчик имеет две системы электродов (рис. 4.2, б): токовые и "холловские". Питание прибора осуществляется от батареи или стабилизированного источника. Потенциометр R балансирует схему. Его движок выставляют таким образом, чтобы включение и выключение питания не смещало луч на экране осциллографа.

Максимальную силу искомого тока I_m легко получают умножением масштабного коэффициента m , который определяется при тех же условиях осциллографирования, на наибольшую ординату тока. Если ток чисто синусоидален, то его действующее значение $I = I_m / \sqrt{2}$. При фазовом регулировании нужно воспользоваться формулой

$$I = m \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i^2}, \quad (4.6)$$

где n — число участков, на которые делится период измерения; a_i — ордината i -го участка измеряемой полуволны.

Чем больше число n , тем точнее проводимый расчет. При $n \geq 50$ на полупериод погрешность расчета не превышает долей процента.

Действующее значение силы тока с точностью до 1...2% на рабочих участках регулирования может быть определено из формулы

$$I = m N_a \sqrt{\frac{\lambda}{2\pi}}, \quad (4.7)$$

где N_a — максимальная ордината силы тока за полупериод; λ , π — соответственно угол включения вентиля и длительность полупериода.

Справедливость выражения (4.7) легко проверяется с помощью табл. 4.1.

В измерителях сварочного тока широкое применение в качестве датчика тока получил воздушный трансформатор (пояс Роговского), который представляет собой замкнутую гибкую или жесткую немагнитную основу с однослойной или многослойной обмоткой. Для удобства установки на токоведущий элемент сварочного контура датчик часто делают разъемным. Каркас с обмоткой защищается внешней оболочкой из термоусаживаемой пластмассы, что придает датчику хороший вид. Отсутствие стального сердечника обеспечивает линейность его характеристики и не ограничивает применение при большой силе измеряемого тока. Разработан ряд датчиков различных геометрических размеров с внутренним отверстием 47...290 мм и чувствительностью 0,5 В на 1 кА.

Воздушный трансформатор охватывает полный ток, проходящий через него, и поэтому выходной сигнал практически не зависит от размеров датчика и его расположения на токоподводе. Это позволяет использовать датчик для машин разного типа без перестройки и градуировки. Выходной сигнал датчика пропорционален скорости изменения измеряемого тока:

$$e = \mu_0 S W_0 \frac{di_{cb}}{dt}, \quad (4.8)$$

где S — средняя площадь сечения витка катушки датчика с намоткой на каркас; W_0 — число витков катушки на единицу длины.

Для получения напряжения, пропорционального сварочному току, ЭДС датчика необходимо проинтегрировать. Интегрирование осуществляют либо аналоговым, либо цифровым методом. В первом случае используется операционный усилитель, как правило, в интегральном исполнении, охваченный обратной связью через интегрирующий конденсатор, во втором — аналого-цифровой преобразователь, включаемый через определенные промежутки, на которые разбит интегрируемый участок, и суммирующий реверсивный счетчик, содержание которого каждый момент будет соответствовать мгновенному значению проинтегрированной функции.

Одним из представителей нового поколения измерителей тока является переносный прибор ИТ-03, предназначенный для измерения максимальной силы сварочного тока конденсаторных, низкочастотных импульсных ма-

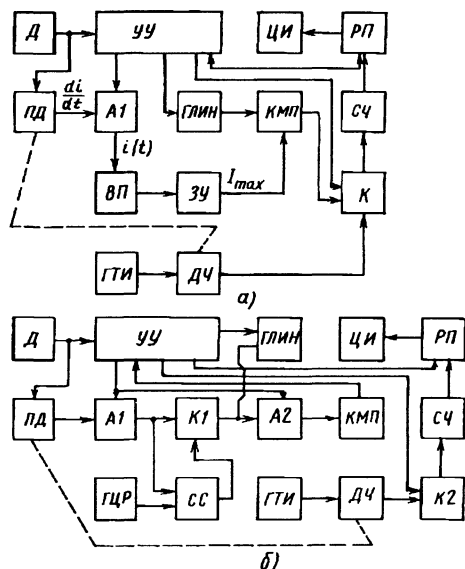


Рис. 4.3. Функциональные схемы измерителей:
а — ИТ-03 максимальной силы тока; б — ИТ-02
действующего значения силы тока

шин, машин с выпрямлением тока во вторичном контуре при длительности тока 1 мс...5 с и скорости его нарастания не менее 20 кА/с. Пределы измерения тока 2...200 кА при погрешности $\pm 2,5\%$. Прибор имеет несколько поддиапазонов измерения. Два сигнальных светодиода ("много" и "норма") облегчают выбор предела измерения.

Схема прибора выполнена на аналоговых элементах, а индикация — на цифровых, что позволяет сохранять полученные показания сколь угодно долго. Измеренная величина выводится в коде на внешний разъем для регистрации с помощью цифрпечати или передачи на следующий уровень управления.

Измеритель ИТ-03 работает по принципу сравнения известного сигнала с измеренным. Сигнал с обмотки датчика D (рис. 4.3, а) поступает на устройство управления $УУ$, которое подготавливает интегратор $A1$ к работе и обнуляет регистр памяти $РП$, сбрасывая тем самым с цифрового индикатора $ЦИ$ показания предыдущего измерения. Тот же сигнал с датчика, пропорциональный производной от тока, пройдя через переключатель поддиапазонов $ПД$, поступает на интегратор $A1$. Затем, сигнал, уже пропорциональный мгновенному значению силы тока, выпрямляется прецизионным выпрямителем $ВП$ и подается на запоминающее устройство $ЗУ$, где запоминается его наибольшее значение за импульс I_{max} . С окончанием сварочного импульса устройство управления $УУ$ включает генератор линейно изменяющегося напряжения $ГЛИН$, выходной

сигнал которого $U_{глин} = at$ (где a — величина постоянная), одновременно открывает ключ K , соединяющий генератор тактовых импульсов $ГТИ$ со счетчиком $СЧ$.

Момент равенства выходных напряжений $ЗУ$ и $ГЛИН$ фиксируется компаратором $КМП$, который закрывает ключ K и останавливает счетчик $СЧ$. В этот момент $I_{max} = at$, $t = I_{max}/a$, т. е. время сравнения пропорционально максимальной силе тока. Подсчетное $СЧ$ число, равное значению измеряемого тока, хранится в $РП$, а по окончании измерения отображается на $ЦИ$. Тарировка измерителя осуществляется путем изменения угла наклона напряжения $ГЛИН$. Чтобы показания прибора не менялись при измерениях на разных диапазонах, в схему прибора введен делитель частоты $ДЧ$, механически связанный с переключателем $ПД$.

Аналогично прибору ИТ-03 разработан прибор ИТ-02 для измерения действующего значения силы тока (рис. 4.3, б). По внешнему виду, пределам измерения и элементной базе эти приборы унифицированы. Действующее значение силы сварочного тока рассчитывается по формуле

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i_{св}^2(t) dt}, \quad (4.9)$$

где $i_{св}(t)$ — мгновенное значение сварочного тока; T — период измерения.

С началом сварочного тока сигнал с датчика D запускает устройство управления $УУ$, которое приводит в рабочее состояние интеграторы $A1$ и $A2$ и обнуляет содержимое регистра памяти $РП$. Этот же сигнал от датчика

$U_d(t) = M \frac{di_{св}}{dt}$ (где M — коэффициент пропорциональности), пройдя через переключатель $ПД$, попадает на первый интегратор $A1$. После интегрирования сигнал, пропорциональный силе тока, направляется на ключ $K1$ и схему сравнения $СС$. На другой вход $СС$ непрерывно поступает пилообразное напряжение от генератора циклической развертки $ГЦР$, частота которого существенно выше частоты интегрируемого сигнала.

Пока мгновенное значение напряжения сигнала $A1$ больше выходного сигнала $ГЦР$, сигнал с $A1$ поступает на вход второго интегратора $A2$. В остальные моменты времени на входе $A2$ сигнал отсутствует. Происходит интегрирование по времени циклического уравнивания входного сигнала. Напряжение на выходе после такого интегрирования пропорционально интегралу от квадрата интегрируемого напряжения. Таким образом, выходное напряжение с $A2$ изменяется в соответствии с выражением

$$u_2(t) = M^2 \frac{1}{T} \int_0^T i_{св}^2(t) dt, \quad (4.10)$$

где T — время измерения, равное одному полупериоду напряжения сети; U_p — напряжение ГЦР.

Операция извлечения квадратного корня заменена операцией сравнения. Для этого по окончании интегрирования на тот же вход А2 подается линейно изменяющееся напряжение с генератора ГЛИН: $U_{\text{глин}}(t) = kt$ (где k — коэффициент пропорциональности).

В результате напряжение на выходе интегратора уменьшается по параболе:

$$u_2(t) = 0,5kt^2 \quad (4.11)$$

и через некоторое время τ достигнет нуля, что фиксируется компаратором КМП. При равенстве значений (4.10) и (4.11)

$$\tau = \sqrt{\frac{2M^2}{kV_p}} \sqrt{\frac{1}{T} i_{\text{св}}^2} dt. \quad (4.12)$$

Таким образом, при замене операции извлечения корня сравнением время, за которое интегрируемый сигнал с ГЛИН станет равен интегралу от квадрата измеренной силы тока, пропорционально действующему значению силы тока. На выходе КМП формируется импульс, который через УУ отключает ГЛИН и закрывает ключ К2. До этого К2 был открыт в течение времени τ и пропускал на счетчик СЧ импульсы с генератора тактовых импульсов ГТИ. Число импульсов $N = f_{\text{ГТИ}} \tau$, записанное в СЧ, пропорционально действующему значению силы тока. Это число хранится в РП, а по окончании цикла измерения отображается на ЦИ.

Таким образом, в течение первого полупериода в приборе происходит вычисление интеграла от квадрата силы сварочного тока, а во время второго полупериода осуществляется операция, эквивалентная извлечению квадратного корня, и вывод результатов на индикацию. С началом следующего периода сбрасываются предыдущие показания и цикл измерения повторяется. По окончании импульса тока на измерителе ИТ-02 будет индизироваться действующее значение тока последнего периода.

По принципу работы ИТ-02 работает устройство УАК-03, которое также позволяет измерять функционал тока $C = \int i^2 dt$, на основе которого можно вести активный контроль качества сварного соединения. Этот переносный прибор имеет широкие технологические возможности. В одном из режимов он измеряет силу сварочного тока в пределах 1...100 кА, в другом — интеграл от квадрата силы тока в пределах $1 \cdot 10^3 \dots 20 \cdot 10^9 \text{ А}^2 \cdot \text{с}$. Оба параметра индизируются на пятиразрядном цифровом табло (в режиме измерения тока используется только три разряда) в левой части прибора. Одновременно в правой части прибора индизируется на трехразрядном табло время сварочного импульса 0,01...9,99 с. Переключатель диапазонов допускает выбор удобного предела измерения величин. Сигнальный светодиод

"норма" облегчает выбор этого предела измерения. Двумя группами переключателей обеспечивается возможность задания допускаемых изменений контролируемых параметров. Светодиоды "мало" и "много" указывают на то, что измеренный параметр находится вне установленного интервала изменения. На выходе устройства есть быстросрабатывающий гальванически развязанный контакт, который может быть включен в цепь управления временем сварки.

В режиме активного контроля время сварки на регуляторе цикла устанавливается несколько больше требуемого. При достижении параметром нижнего уровня задания, срабатывает контакт и отключается сварочный ток. Если ток заканчивается по циклу, то красный светодиод "мало" будет продолжать гореть, что свидетельствует о необходимости увеличения силы тока или времени его импульса. Опыт использования прибора УАК-03 показал, что в оптимально выбранном диапазоне сварочного тока система регулирования компенсирует $\pm 25\%$ изменения силы сварочного тока, вызванные колебаниями напряжения сети или отклонениями параметров сварочного контура без существенного изменения размеров сварного ядра.

Измерители усилия зажатия. Измерение силы на электродах также представляет собой трудную задачу. Показания манометра в пневмомосте машины не всегда хорошо коррелируются с силой сжатия электродов. Конечно, влияние усилия сжатия не столь заметно по сравнению с влиянием силы сварочного тока, тем не менее изменение силы сжатия на 10...15% может привести к образованию некачественного соединения. Поэтому для измерения силы применяют или разрабатывают специальные динамометры или другие силоизмерительные устройства, способные передать или запомнить информацию о значениях силы сжатия электродов во время сварки и проковки. Такие измерители усилия также относятся к нестандартным средствам, но их проверка и аттестация облегчены благодаря наличию динамометров высокой точности и силоизмерительных машин, которые могут быть использованы в качестве образцовых средств измерения усилия.

Наиболее известными устройствами для контроля силы сжатия электродов в установившемся режиме являются гидравлические или пружинные динамометры. Гидравлический динамометр представляет собой две жесткие мембраны, сваренные по контуру. Образовавшаяся полость заполняется маслом и соединяется с манометром, шкала которого градуирована в единицах силы. При сжатии мембран электродами повышается давление масла в полости и стрелка манометра показывает значение силы.

В пружинных динамометрах сила воспринимается упругими плоскими пластинами равного момента сопротивления изгибу. Вдоль осевой линии пластин имеется ряд отверстий,

куда вставляются подпятники, ориентирующие место приложения силы. Параметры пластин выбраны так, что их прогиб не выходит за пределы упругих деформаций. Изгиб пластин контролируется индикатором часового типа, показания которого заранее градуированы для всех точек приложения сил в реальных метрических единицах. Для контроля сил при сварке датчик должен находиться вне зоны касания электродов.

В последнее время нашли применение датчики силы, основанные на принципе магнитной анизотропии, т. е. изменения магнитных свойств материала при сжатии его в разных осевых направлениях. Такой датчик стационарно устанавливается в приводе, а его сигнал воспринимается вторичным измерительным устройством. Наиболее широкое применение в силовом измерительном аппаратуре получил тензометрический метод измерения на основе полупроводниковых или металлических тензорезисторов. Наклеенные на упругий элемент, они меняют омическое сопротивление при деформации поверхности этого элемента. Например, два датчика равного сопротивления наклеиваются на деталь, воспринимающую усилие сжатия. Такой деталью может быть электрододержатель, который играет роль упругого элемента сжатие—растяжение. Если датчики наклеиваются на нижнюю консоль, то последняя используется как упругий элемент деформации изгиба. Один из датчиков наклеивается вдоль направления усилия, второй — перпендикулярно к нему. Первый датчик реагирует на возможную деформацию, а второй датчик является термокомпенсирующим элементом, так как в процессе сварки упругий элемент нагревается (за счет сварочного тока), а изменение сопротивления за счет разогрева датчика не должно восприниматься как измерительное. Тензодатчики включаются в плечи измерительного моста. К одной диагонали моста подключается источник стабильного напряжения, с другой его диагонали сигнал через нормирующий усилитель подается на измерительный или записывающий прибор. Мост первоначально балансируется резисторами, включенными в другие плечи моста, поэтому выходной сигнал во время измерения будет пропорционален только силе сжатия или изгиба. Кривая выходного напряжения первоначально тарируется по стандартным динамометрам. На основе тензорезисторов строят выносные датчики, внутри которых обычно имеется упругий элемент изгиба. Такие датчики могут устанавливаться между электродами и вне их.

Рассмотренные измерители сварочного тока и силы сжатия электродов применяются для контроля процессов точечной, рельефной и шовной сварки. В последнем случае для обеспечения герметичности шва необходимо дополнительно контролировать шаг литых зон. На машинах с непрерывным вращением роликов шаг определяется временем $t_{св}$ и $t_{п}$ и скоростью $v_{св}$, которые обрабатываются с высо-

кой точностью регуляторами цикла сварки. Постоянство шага зависит в основном от стабильности $v_{св}$.

Скорость $v_{св}$ проверяют, измеряя время прохождения через ролики технологического образца фиксированной длины. При сварке заданная скорость $v_{св}$ поддерживается достаточно стабильной с помощью регулируемых приводов, например, типа ПМСМ с электромагнитной муфтой скольжения или тиристорного электропривода типа ЭТ1Е2. В этих приводах предусмотрена стабилизация частоты вращения вала двигателя за счет обратной связи с тахогенератора или тахомоста. Если отклонение шага литых зон не выходит за пределы $\pm 10\%$, то при соблюдении других параметров режима герметичность шва не нарушается.

Режим контактной стыковой сварки сопротивлением определяется напряжением на вторичной обмотке сварочного трансформатора, установочной длиной деталей, припусками на нагрев и осадку и усилиями сжатия деталей в осевом направлении. Команды на изменение усилия сжатия при переходе от нагрева к осадке и выключение тока подаются от конечных выключателей, устанавливаемых по ходу движения подвижного зажима машины, или реле времени. Перечисленные параметры легко поддаются контролю с использованием стандартных измерительных средств.

Для повышения механических свойств соединений применяют термообработку стыков в сварочной машине. В этом случае необходимы дополнительные устройства для измерения и регулирования температуры. Такими устройствами на базе оптических пирометров оборудованы серийные машины типа К802. Погрешность отработки заданного термического цикла не превышает $\pm 10^\circ\text{C}$.

При стыковой сварке оплавлением какие-либо оценки по усредненным значениям параметров режима оказываются неэффективными. Необходимо располагать временными зависимостями контролируемых параметров режима, например в виде записи на ленту самопишущего прибора. Очевидно, что чем больше контролируемых параметров, тем точнее можно прогнозировать качество сварного соединения. На практике число параметров контроля не превышает четырех.

В процессе контактной сварки непрерывным оплавлением контролируют силу сварочного тока, вторичное напряжение, перемещение подвижной плиты машины и скорость подачи деталей, припуск и скорость оплавления и осадки, общее время сварки, время осадки под током. Одновременный контроль этих параметров можно осуществить только применяя многоканальные самопишущие приборы с пишущим узлом малой инерционности и большой скоростью протяжки ленты. Этим требованиям отвечают серийно выпускаемые приборы Н-327, Н-328, Н-3031, Н-3038. Два последних работают в более удобной для восприятия прямоугольной системе координат.

Все приборы унифицированы, отличаются числом измерительных каналов, имеют электронную защиту от перегрузок по входу, отметчик времени, а также возможность дистанционного управления скоростью перемещения ленты и работой отметчика. Чувствительность приборов 0,02...5 В/см, скорость протяжки 1...250 мм/с.

Высокая разрешающая способность приборов позволяет выявить и такие нарушения режима сварки, как короткие замыкания или перемены тока перед осадкой, поскольку на этом этапе скорость протяжки ленты переключают с малой на большую. Запись параметров на диаграммной ленте во многих случаях является нормативным документом, подтверждающим соответствие фактических параметров режима сварки заданным значениям.

В качестве первичных датчиков тока и напряжения используют соответствующие измерительные трансформаторы. Вместо тока сварочной цепи можно производить запись первичного тока, поскольку его намагничивающая составляющая обычно невелика. Для измерения силы тока (до 750 А) перспективно использование датчиков типа МДТ на основе преобразователей Холла, поскольку они обладают широким диапазоном воспринимаемых частот (0...50 кГц).

Для записи перемещения подвижной плиты используют реостатные, индуктивные и емкостные датчики. Наибольшей разрешающей способностью (единицы, микрон) обладают индуктосины, однако они требуют сложного цифрового преобразователя и квалифицированного обслуживания. Достаточно высокую точность отсчета обеспечивают реостатные датчики, выполненные на многооборотных потенциометрах типа ПТП или ПЛП. Передаточное число механической передачи выбирают таким, чтобы один оборот датчика приходился на два-три миллиметра хода машины. За время сварки датчик совершит несколько оборотов. Для оценки величины перемещения необходимо учитывать число переходов через нуль. Емкостной бесконтактный датчик, разработанный в ИЭС им. Е. О. Патона, обеспечивает более высокую разрешающую способность. Его выходной сигнал синусоидальной формы с периодом один-два миллиметра. Здесь также необходимо считать число переходов через нуль.

Различные устройства и приборы для автоматического контроля отклонений параметров от нормы ориентированы, как правило, на работу с определенным типом сварочного оборудования. На автоматах АСГЦ-150 для сварки высокопрочных круглозвенных цепей предусмотрена диагностическая система ОНМ-12 контроля технического состояния отдельных узлов машины и соблюдения установленного режима сварки. Результаты измерений силы сварочного тока и скоростей оплавления и осадки фиксируются на световом табло с элементами индикации, свидетельствующими о том, что контролируемые параметры находятся

в норме или вышли за пределы допускаемых значений. На табло отображается номер диагностируемой машины. После сеанса контроля одной из машин коммутационное устройство подключает к системе контроля следующую. Одна система ОНМ-12 может обслуживать до 39 сварочных автоматов. Прибор оперативно контролирует параметры осадки применительно к широкополосным машинам типа 1700 А, установленным в непрерывных металлургических агрегатах [5] контролирует фактическую величину осадки с обеих сторон по ширине свариваемого листа, а также длительность протекания тока при осадке и термообработке.

Для обеспечения высокой точности измерения фактическое начало осадки определяется по результатам измерения скорости перемещения подвижной станины с фиксацией момента превышения определенной скорости оплавления для полос данного сортамента. Помимо цифровой индикации прибор содержит устройство, включающее световую сигнализацию при отклонении параметров осадки от заданного уровня. Техническая характеристика прибора приведена ниже.

Величина осадки, мм:

пределы измерения	0...8
дискретность показаний	0,01
максимальная погрешность измерений $\pm$	0,15

Фиксируемые отклонения осадки

от заданного значения, % ± 10 ; ± 20

Длительность осадки под током, с:

пределы измерения	0...9,99
дискретность показаний	0,01
максимальная погрешность измерений $\pm$	0,02

Для стыковых рельсосварочных машин К190П, К355А и других со следящим гидроприводом в ИЭС им. Е. О. Патона разработан прибор типа КОПР (контроля отклонений параметров режима). Он выполнен на интегральных микросхемах серии К511, К140 и контролирует: напряжение, питающее сварочный трансформатор; непрерывность оплавления перед осадкой с раздельной сигнализацией о длительности прерывания процесса при холостом ходе или коротком замыкании; линейную осадку и ее длительность под током; проскальзывание деталей в зажимах машины; общее и отбракованное число сварных стыков. В приборе предусмотрены световая индикация и звуковая сигнализация параметров, вышедших за пределы допуска, а также возможность блокировать цепи управления сварочной машины [1].

В приборе типа КОПР, так же как и в рассмотренных выше приборах аналогового назначения, информация о выходе контролируемых параметров за пределы допуска сохраняется до начала следующего цикла сварки. Вместе с тем при сварке особо ответственных конструкций, например трубопроводов, необходимо иметь документ на каждое сварное соединение, свидетельствующий о соблюдении заданного режима сварки.

С учетом этих требований Институтом электросварки им. Е. О. Патона разработан и

подготовлен к производству прибор контроля Э152 нового поколения, выполненный на базе серийного микропроцессорного контроллера "Электроника МС-2702". Компьютерная система осуществляет сбор, измерение, обработку, вычисление и сравнение технологических параметров с эталонными значениями для данного изделия, которые хранятся в постоянном запоминающем устройстве системы. Если в результате сравнения все контролируемые параметры укладываются в заданное поле допусков, на печатающее устройство после порядкового номера стыка выводится сообщение "параметры в норме". Если обнаружится недопустимое отклонение хотя бы одного параметра, система бракует стык и выдает на принтер сообщение, какой именно параметр вышел за пределы допуска и его фактическое значение. Область применения прибора Э152 может охватывать широкую гамму стыковых машин различного назначения. Для этого достаточно ввести в контроллер новую программу без изменения его аппаратной части.

4.3. ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ

— Повышение воспроизводимости качества сварных соединений в большой мере определяется надежностью и совершенством системы контроля и управления машинами контактной сварки. В этих системах в настоящее время четко просматривается тенденция к переходу от использования элементов "жесткой" логики к программной логике на основе микрокомпьютеров. Применение компьютеров позволяет значительно сократить сроки разработки новых систем управления, существенно расширить их функции, наряду со снижением стоимости аппаратуры повысить ее надежность, уменьшить габаритные размеры и потребляемую мощность. Наличие памяти в системе позволяет производить сбор, первичную обработку и накопление данных о процессе сварки, которые могут быть выданы на печать в виде паспорта на сварное соединение либо в форме отчета за рабочую смену. Становится возможной проверка исправности системы управления, контроль и прогнозирование состояния сварочного оборудования. Вычислительные возможности микроЭВМ и быстроедействие позволяют реализовать алгоритмы контроля и управления процессами контактной сварки по математическим моделям с записью в память нескольких режимов сварки [2].

— В настоящее время разработка нового поколения аппаратуры управления процессами контактной сварки сорентирована на применение однокристалльных микроЭВМ К1816 BE48, К1816 BE51 и др. Это, прежде всего, локальные системы управления сварочным оборудованием, которые при необходимости могут быть подключены к более мощным ЭВМ верхнего уровня, что позволит строить многоуровневые иерархические АСУ сварочного цеха [3].

Рассмотрим некоторые из них.

Так, разработанный контроллер ККС-01 на базе микроЭВМ К1816 BE48 для управления однофазными машинами переменного тока (точечными, шовными, рельефными) с автоматической настройкой на коэффициент мощности $0,2 \div 0,7$ обеспечивает точную отработку максимальной циклограммы из 19 временных интервалов, включая четыре токовых, с диапазоном задания длительности $0 \div 255$ периодов напряжения сети. В контроллере имеется канал для измерения действующей силы сварочного тока (3...50 кА). Этот же канал используется для управления сварочным током с целью выхода машины на заданную силу тока и последующей его стабилизации в течение всего импульса сварки. Предусмотрена возможность компенсации износа электродов по программе путем увеличения уставки на заданную величину через определенное число сварок. При отключении питания сохраняется в энергонезависимой памяти 16 режимов с шестипозиционной циклограммой или четыре режима с девятнадцатипозиционной циклограммой. Этот контроллер выгодно отличается от традиционных регуляторов цикла сварки.

Контроллер ККС-101 выполнен на однокристалльной микроЭВМ типа К1816 BE51, обладающей большими вычислительными возможностями и объемом памяти по сравнению с микроЭВМ К1816 BE48. Этот контроллер по сравнению с ККС-01 обладает большими функциональными возможностями (четыре аналоговых входа, восемь дискретных выходов), предназначен для контактных машин, входящих в состав автоматизированных сварочных линий и при их использовании вместе со сварочным роботом.

— Применительно к машинам для контактной стыковой сварки оплавлением в ИЭС им. Е. О. Патона разработана система управления СУ282 на основе однокристалльной микроЭВМ К1816 BE48. Система имеет 24 дискретных входа с гальванической развязкой и 16 (с возможностью расширения до 32) дискретных выходов. Предусмотрены две модификации выходных силовых ключей — на транзисторах и тиристорах, обеспечивающих включение исполнительных устройств как постоянного, так и переменного тока. В системе два аналоговых входа и столько же выходов (0...10 В) для управления сварочным напряжением и перемещением подвижной плиты машины.

— В стыковых машинах, оснащенных приводом с электрогидравлическим усилителем УЭГ. С-100, система СУ282 обеспечивает диапазон регулирования скорости оплавления 0,1...10 мм/с и разрешающую способность по перемещению 0,01 мм при движении подвижной плиты машины в пределах 0...50 мм [6]. Помимо высокой точности воспроизведения заданных значений параметров режима сварки компьютерная система управления обладает хорошей гибкостью. Ее программное обеспечение позволяет разбить припуск на оплавление на определенное число интервалов.

При этом с помощью клавиатуры и цифрового дисплея можно изменять протяженность любого интервала и соответствующие ему значения скорости и сварочного напряжения. С помощью этих же средств можно осуществить просмотр уставок параметров режима сварки и контроля, хранящихся в постоянной памяти системы управления. Систему СУ282 можно считать достаточно универсальной, так как она может работать со стыковыми машинами разных типов. Смена типа машины влечет за собой только изменение программы, отражающей циклограмму работы сварочного оборудования.

Микропроцессорная техника может широко использоваться не только в системах управления, но и при создании различных измерительных преобразователей. Замена аналоговых методов обработки сигналов цифровыми значительно повышает точность измерения и расширяет функциональные возможности измерительного средства. Действительно, замена самой неприятной с точки зрения точности обработки сигнала операции аналогового интегрирования на цифровое повышает точность измерения в несколько раз, так как определяется только точностью работы АЦП. Дальнейшая математическая обработка измеренных промежуточных величин вообще не вносит реальной погрешности в результат окончательного измерения.

— Наличие микроЭВМ позволяет сделать измерители тока универсальными (с широкими функциональными возможностями). По ординатам мгновенного значения измеряемого тока можно вычислить его действующее значение (для машин переменного тока) или максимальное (для импульсных машин). Причем в первом случае может быть измерено как действующее значение за определенный период тока, так и за весь импульс тока. Аналогично в импульсных машинах может быть определено среднее значение тока за импульс и т. д. Легко измеряются функционалы тока $\int idt$ (для импульсных машин) и $\int i^2 dt$ (для машин переменного тока), по которым можно вести активный контроль качества сварного соединения, регулируя время отключения сварочного тока. Такие приборы могут следить за изменением динамического сопротивления свариваемого контакта, если в них дополнительно ввести функцию измерения напряжения на электродах. Могут измеряться и другие параметры. Таким образом, некоторая сложность приборов со встроенной микроЭВМ компенсируется их универсальностью, широкой функциональными возможностями и повышением точности измерения.

— Ветвью развития измерителей тока могут стать миниатюрные ("карманные") специализированные приборы со стрелочной или цифровой индикацией. Расширение номенклатуры микросхем, их дальнейшая интеграция позволят создать простые измерители тока, построенные на аналоговых принципах обработки информации. При этом точность таких

приборов, конечно, не может быть высокой, но вполне достаточно для оперативного контроля режима сварки в производственных условиях. Удобство работы с такими приборами в том, что они легки, мобильны, не требуют внешнего питания, так как обходятся внутренней батареей.

— При проектировании оборудования нового поколения для контактной сварки необходимо предусмотреть встроенные датчики параметров оборудования и режимов сварки (датчики тока, напряжения, скорости и перемещения, давления, температуры подогрева деталей, расхода воды и др.). Следует отметить, что датчики должны быть встроенными в оборудование, а не приставными. Это необходимо не только для систем управления с микроЭВМ, а и для периодического контроля технических характеристик оборудования.

В качестве примера измерителя тока нового поколения можно привести прибор УДК-01, разработанный ИЭС им. Е. О. Патона. Прибор предназначен для измерения эффективного и амплитудного значений силы сварочного тока, сравнения его с предельными и сигнализации об отклонении силы тока и выдачи сигнала для отключения машины. Прибор УДК-01 измеряет время сварки, считает число сваренных точек и отклонений силы тока от заданной уставки (по признакам "больше", "меньше"). Прибор выполнен на однокристалльном компьютере и снабжен бесконтактным датчиком — тороидальной разъемной катушкой, устанавливаемой на токоведущей части сварочной машины переменного тока или конденсаторной.

Техническая характеристика прибора приведена ниже.

Диапазоны измерений сварочного тока, кА	0,3...10; 10...100
Погрешность измерения, %	$\pm 2,5$
Время сварки, период	0...99
Число сваренных точек	1...999
Количество выходов тока за уставку для отключения сварочной машины	1...9
Напряжение питания (сеть/батарея), В	220/6
Потребляемая мощность, Вт	20
Габаритные размеры, мм	240×140×55
Масса, кг, не более	2,5

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоматизация сварочных процессов / Под ред. В. К. Лебедева, В. П. Черныша. Киев: Вища школа, 1986. 296 с.
2. Математическая модель температурного поля при контактной стыковой сварке непрерывным оплавлением / В. К. Лебедев, Н. В. Подоло, И. Г. Ткаченко, В. П. Кривонос // Автомат, сварка. 1986. № 1. С. 1—5.
3. Микропроцессорные контроллеры для машин контактной сварки / Д. Ф. Аксельрод, Ю. Е. Иоффе, М. Н. Куперман и др. // Сварочное производство. 1990. № 8. С. 27—28.
4. Низкочастотная контактная машина ЦСТП-25-42 для стыковой сварки непрерыв-

ным оплавлением котельных труб / Н. В. Подола, В. П. Кривонос, А. А. Данико и др. // Сварочное производство. 1990. № 2. С. 22—24.

5. **Оснащение шарикополосных машин** для стыковой сварки, установленных в непрерывных металлургических агрегатах, приборами оперативного контроля параметров осадки / М. Ф. Кареев, В. Г. Мокеичев, С. Г. Молчадский и др. // Сварочное производство. 1986. № 4. С. 27—28.

6. **Подола Н. В., Кривонос В. П., Грабчев Б. Л.** Новая система управления машиной К-190П для контактной стыковой сварки рельсов // Автомат. сварка. 1983. № 8. С. 38—42.

7. **Пушкин В. Я., Лившиц А. Г., Саквич Ю. П.** Электронная аппаратура управления однофазными машинами контактной сварки // Сварочное производство. 1987. № 1. С. 28—30.

Глава 5

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ ВИДОВ СВАРКИ ДАВЛЕНИЕМ

5.1. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СВАРКИ ТРЕНИЕМ

Сварка трением — высокопроизводительный и экономичный процесс соединения деталей из разнообразных металлических и полимерных материалов. Благодаря относительной простоте осуществления стабильности качества и возможности автоматического контроля основных параметров, она находит все более широкое применение, позволяя экономить ма-

териал, энергию и создавать прогрессивные конструкции различных изделий.

Основные требования, предъявляемые к машинам для сварки трением, можно разделить на общие и специальные. К общим требованиям относятся: высокая производительность и степень механизации и автоматизации технологического процесса и вспомогательных операций; универсальность; простота обслуживания, малая энерго- и металлоемкость; унификация и типизация деталей и узлов; технологичность изготовления, обслуживания, ремонта и др. Специальные требования могут быть разделены на технологические и конструктивные: технологические — соответствие технических характеристик машин технологическому процессу сварки, регламентация процесса нагрева по времени или по величине проковки; конструктивные — обеспечение жесткости узлов машины, надежного закрепления свариваемых заготовок в условиях вибрации, передачи значительных крутящих и тормозных моментов, возможности установки сменных зажимов для сварки различных заготовок, необходимость в устройствах по удалению усиления и грат.

В зависимости от способа сварки трением машины можно разделить на конвенционные и инерционные. Конструктивно эти машины обычного исполнения (рис. 5.1) отличаются следующим: в конвенционных машинах сварка производится с торможением детали перед проковкой, а в машинах для инерционной сварки трением (ИСТ) в приводе вращения шпинделя задействован маховик. Накопленная в маховике энергия после его разгона передается в стык в виде теплоты. Машины для

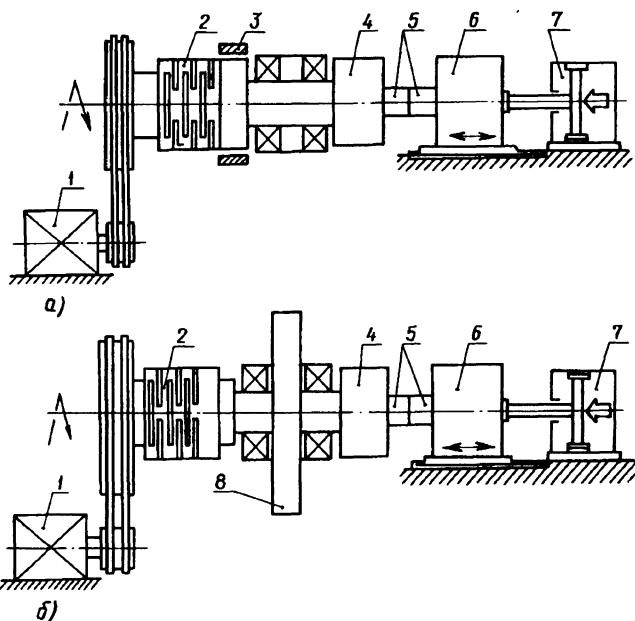


Рис. 5.1. Схемы машин для сварки трением:

а — конвенционной; б — инерционной; 1 — двигатель; 2 — муфта сцепления; 3 — тормоз; 4 — шпиндель; 5 — свариваемые заготовки; 6 — задняя бабка; 7 — привод усилия; 8 — маховое колесо

инерционной сварки характеризуются более высокой производительностью при малой энергоемкости.

В автоматах процесс сварки и вспомогательные операции (весь цикл сварки) осуществляются автоматически, в полуавтоматах автоматизирован только процесс сварки.

Машины для сварки трением делятся на машины общего применения и специализированные. Машины общего применения (как правило, полуавтоматы) обладают возможностью регулирования в широком диапазоне основных параметров режимов сварки, универсальностью зажимов деталей, большим установочным ходом суппорта. Специализированные машины предназначены для сварки заготовок деталей одного наименования, например, клапанов двигателей, карданных валов, задних мостов автомобиля, анодо- и катододержателей и др. Различают машины с горизонтальным и вертикальным расположением оси шпинделя в пространстве. В основном, применяются машины с горизонтальной осью. Малый объем нагреваемого металла при сварке предопределяет высокие энергетические характеристики процесса. Средняя удельная мощность (приходящаяся на единицу площади поверхности трения) составляет $7...15 \text{ МВт/м}^2$. Равномерная нагрузка трехфазной сети позволяет обеспечить высокий коэффициент мощности ($\cos \varphi = 0,8...0,85$).

К основным узлам и системам современных машин для сварки трением относятся: приводы осевой силы и вращения шпинделя; передняя бабка со шпинделем и зажимом для вращающейся заготовки; тормозная система шпинделя; станина машины; система управления процессом сварки и машиной. В машинах для инерционной сварки трением, кроме того, имеется маховик, основным назначением которого является аккумулирование кинетической энергии. Привод осевой силы предназначен для сближения заготовок и обеспечения изменений этой силы по заданной программе нагрев—проковка.

В машинах для сварки трением находят применение пневматические, гидравлические и электромагнитные приводы осевого усилия. Пневматические и пневмогидравлические приводы отличаются относительной простотой конструкции и применяются в машинах малой мощности. Пневматические приводы осевой силы используются в специализированных машинах серии МФ (МФ-327; МФ-362) для сварки трением заготовок концевой инструмента. Машины серии МФ обеспечивают двуступенчатую схему приложения усилия, частота вращения заготовки постоянная. Они снабжены регулируемым упором и "осадочной матрицей", ограничивающей деформацию заготовки из конструкционной стали. Машина МФ-362 имеет узел для снятия грата. Силы при нагреве и проковке контролируются манометрами, время нагрева и проковки — реле времени, диаметр свариваемых заготовок $10...22 \text{ мм}$.

Пневмогидравлические приводы осевой силы использованы в универсальных машинах первого поколения МСТ-23, МСТ-35, МСТ-41, МСТ-51 с максимальными усилиями при проковке соответственно 50, 100, 200, 400 кН и свариваемых заготовках из малоуглеродистых и низколегированных сталей диаметром $10...25$, $16...36$, $22...50$, $32...70 \text{ мм}$. Машины позволяют вести процесс сварки как с превышением давления при проковке, так и с давлением проковки, равным давлению нагрева. Регламентация нагрева осуществляется как по величине проковки, так и по времени.

В машинах средней (более 300 кН) и большой (до 3000 кН и более) мощности применяют гидропривод. Сложность и стоимость машин с гидроприводом выше, чем с пневматическим и пневмогидравлическим приводами, однако этот вид привода легко управлять, позволяет осуществлять активный контроль. Большинство современных машин оснащено гидроприводом. С таким приводом в ИЭС им. Е. О. Патона созданы универсальные машины (СТ-102, СТ-107, СТ-111, СТ-118) и специализированные (СТ-104, СТ-108, СТ-112, СТ-122) с максимальными силами при проковке $100...2200 \text{ Н}$ для сварки трением стальных заготовок, а также получения сталелюминиевых соединений при изготовлении переходников, анододержателей. Правильный выбор схемы и типа подшипникового узла передней бабки особенно важен при разработке машин с силой более 500 кН [18].

Типичным приводом вращения шпинделя, применяемым в большинстве машин для сварки трением, является электромеханический привод, в состав которого входят: трехфазный асинхронный электрический двигатель, клиноременная передача с зубчатым ремнем, муфта сцепления и тормозное устройство. Во многих машинах западных фирм применяют гидравлические двигатели, которые обеспечивают бесступенчатую регулировку частоты вращения шпинделя и несколько расширяют технологические возможности машины.

Следует отметить, что в машинах, рассчитанных на сварку крупных заготовок сплошного сечения в тормозном устройстве, как правило, нет необходимости. Момент трения в стыке достаточно велик для обеспечения быстрого торможения шпинделя — инерционного завершения процесса сварки. Поэтому практически все приведенные машины, разработанные ИЭС им. Е. О. Патона, работают с торможением шпинделя и без его торможения при завершении сварки.

Для надежного закрепления заготовки (без прокручивания при сварке) сумма радиальных усилий (активных и реактивных), действующих со стороны зажимных кулачков на боковую поверхность заготовки, должна быть четырехкратной максимального осевого усилия машины. Для закрепления трубчатых заготовок применяют многокулачковые зажимы с профильными кулачками и большой площадью зажатия. К оснастке машины относятся: загруз-

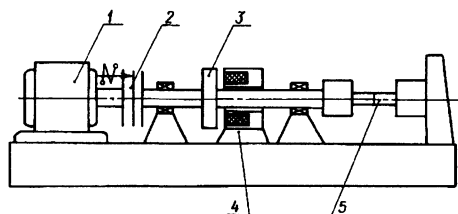


Рис. 5.2. Схема машины для инерционной сварки трением с электромагнитным силовым приводом:

1 — электродвигатель; 2 — муфта; 3 — разгоняющий маховик; 4 — цилиндрический магнитопровод; 5 — свариваемые торцы деталей

зочно-разгрузочные приспособления, обычно в виде манипуляторов; приспособления для удаления графа; различного рода упоры, воспринимающие осевые усилия; матрицы, применяемые преимущественно при сварке заготовок из материала с резко отличающимися пластическими свойствами. Технические характеристики машин для сварки трением имеются в справочной литературе [18].

В связи с требованиями производства в нашей стране выполняется разработка новых машин — автоматов для различных целей. Создается новая гамма универсальных машин общего применения третьего поколения из шести типоразмеров с унифицированной микропроцессорной системой управления и контроля для сварки трением заготовок сплошного сечения диаметром 8...180 мм, а трубчатых заготовок — менее 300 мм.

В последнее время в инерционных машинах с осевой силой до 250 кН находит применение силовой электромагнитный привод (рис. 5.2). Привод отличается высокими динамическими характеристиками и возможностью регулирования осевой силы в широких пределах. Зависимость силы от воздушного зазора сведена практически к нулю специальной системой стабилизации магнитного потока [11]. Применение электромагнитного привода для сварки трением позволило существенно упростить конструкцию инерционной машины за счет использования подвижной части его магнитопровода в качестве основной маховой массы и исключить узел восприятия осевой силы — упорный подшипник.

Схема с электромагнитным приводом реализована в машинах СТ-103, СТ-105, СТ-109, СТ-110, СТ-113 с силой, развиваемой электромагнитом 20...120 кН. Они предназначены для сварки биметаллических клапанов двигателей и концевое режущего инструмента. Техническая характеристика машин ИСТ приведена в табл. 5.1.

Машина СТ-105 предназначена для сварки клапанов тепловозных дизелей из сплава ЭИ69 и стали 40Х; автомат СТ-110 для сварки клапанов из сплава ЭП303 и стали 40Х9С2 легкового автомобиля ЗАЗ-1102, универсальная СТ-109 — преимущественно для инструментального производства.

Конструкции механизмов зажатия в машинах для сварки трением существенно влияют на качество сварных соединений, размеры, массу и стоимость оборудования. От принципа действия этих механизмов зависит производительность труда, припуски на механическую обработку после сварки, возможность механи-

5.1. Техническая характеристика машин инерционной сварки трением

Параметры	СТ-105	СТ-109	СТ-110
Номинальная мощность, кВт:			
общая	19,6	16,5	19,8
привода вращения	11	15	8
Максимальная осевая сила, кН	120	80	20
Частота вращения шпинделя, мин ⁻¹	2840	2200	5000
Площадь свариваемых сечений, мм ²	707	Менее 950	65
Диаметр заготовок, мм:			
минимальный	15	16	9,1
максимальный	30	35 (углеродистая сталь)	
Длина заготовки, мм:			
невращающейся	60... 120	60	53 ± 0,5
вращающейся	120... 300	60... 300	74 ± 0,5
Условная производительность, сварок/ч	50	Менее 70 (без удаления графа); менее 60 (с удалением графа)	280

зации и автоматизации загрузочных и транспортных операций, удаления графа непосредственно в сварочной машине. В машинах для сварки трением зажимные губки, как правило, изготавливают из стали. Для выбора оптимального отношения силы зажатия к силе проковки (осадки) $P_3/P_{пр}$ в зависимости от материала губок и вида его термообработки, формы насечки на зажимающих поверхностях, можно воспользоваться данными машин для контактной стыковой сварки. Зажимной механизм машин для сварки трением должен также рассчитываться и на восприятие максимального момента трения, который может в 2...2,5 раза превышать момент, рассчитанный по установившейся мощности двигателя привода вращения.

В машинах для сварки трением с ограниченной длиной невращающейся заготовки (примерно до 800 мм) осевое усилие при нагреве и проковке на практике часто воспринимается регулируемым торцовым упором (машины МСТ-2001, СТ-102 и др.), закрепляемым непосредственно на механизме зажатия. Функции механизма зажатия в этом случае сводятся к центрированию заготовок и восприятию крутящего момента, а осевое усилие воспринимается в упор элементами конструкции, участвующими в передаче этого усилия от привода проковки к изделию.

Универсальные и специализированные машины для сварки трением по способу загрузки заготовок бывают двух типов: проходного и консольного (консольные обладают возможностью загрузки и выгрузки свариваемых изделий не только в продольном направлении, но и перпендикулярно к усилию осадки). Ниже рассматриваются конструкции консольных (тисочных) зажимов, как наиболее универсальных среди разработанных в Институте электросварки им. Е. О. Патона. Для точного совмещения торцов свариваемых изделий применяют самоцентрирующиеся механизмы с механическими либо электрогидравлическими синхронизаторами, с помощью которых достигается одновременное перемещение зажимающих элементов под действием привода их перемещения.

На практике широко используются синхронизаторы шарнирно-рычажного типа с приводом от гидроцилиндра фирмы Катерпиллар (США), реечного типа с вращающейся шестерней фирмы Кука (Германия), рычажно-клинового типа. На рис. 5.3 представлен механизм зажатия машины СТ-102, являющейся модернизацией машин МСТ-2001. В базовой модели синхронизатор в виде ползуна перемещался по вертикальному валу, закрепленному консольно. В машине СТ-102 ползун 6 перемещается от гидроцилиндров 1 по валу 5 в горизонтальной плоскости, синхронизируя по-

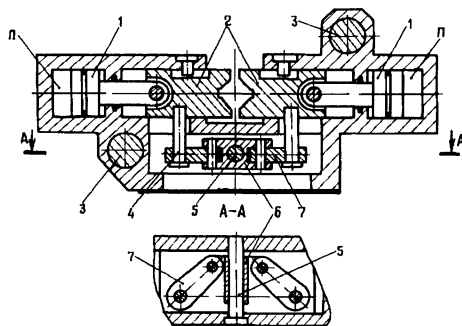


Рис. 5.3. Зажимной механизм машины СТ-102

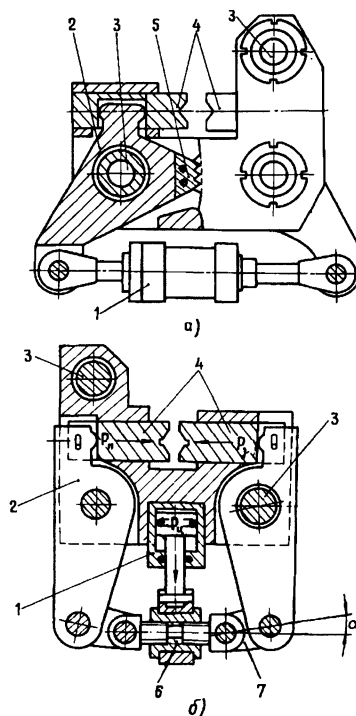


Рис. 5.4. Зажимные механизмы машин:
а — СТ-104; б — СТ-105, СТ-109

средством серег 7, шарниров и пальцев 4 встречное перемещение ползунов 2. Надежность механизма возросла, габарит его уменьшился.

На рис. 5.4, а представлен зажимной механизм машины СТ-104. Ползуны 4 гидроцилиндром 1 перемещаются через рычаги 2. Синхронизация их перемещения осуществляется съемными зубчатыми секторами 5, жестко

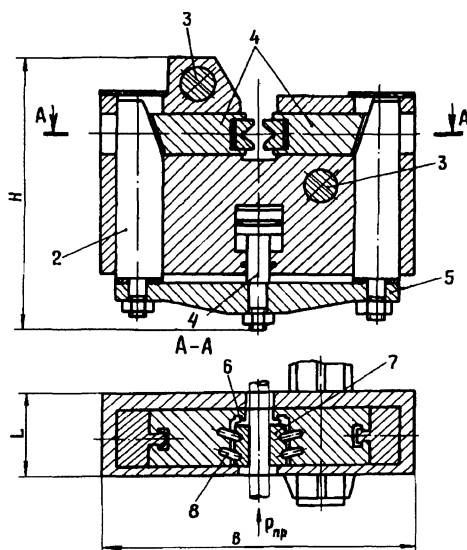


Рис. 5.5. Зажимной механизм машины СТ-107

фиксируемыми относительно рычагов 2 после регулировки зубчатого зацепления.

Зажимной механизм машин СТ-105 и СТ-109 создан на базе зажимов с ломающимся рычагом серийных машин К355 для контактной стыковой сварки рельсов. Модернизация зажима заключалась в обеспечении прямолинейного перемещения ползунов 4 (вместо перемещения по дуге) под действием рычагов 2, осуществляющих поворот при движении штока цилиндра 1. В механизм введена резьбовая втулка 6 для регулирования значения угла α наклона серег 7 (примерно $10...11^\circ$) в зависимости от изменения припуска на зажимаемые заготовки.

Возможность регулировки угла α существенно повысила эксплуатационные характеристики механизмов зажатия с ломающимся рычагом, способствуя рациональному нагружению конструкции при сохранении силы на ползуне P_3 в заданном оптимальном диапазоне. В зоне серег 7 установлен лимб для визуального контроля угла α .

На рис. 5.5 представлен зажим машины СТ-107, работающий с использованием принципа самозаклинивания. Шток 1 гидроцилиндра через коромысло 5 синхронно перемещает ползуны 2, которые клиновыми поверхностями взаимодействуют с ползунами 4, перемещая их навстречу друг другу. Таким образом осуществляется предварительное зажатие заготовки рифлеными башмаками 7 с максимальным усилием 500 кН, достаточным в машинах для сварки трением для центровки заготовок и восприятия максимального крутящего момента. При возрастании силы $P_{пр}$ автоматически возрастает сила зажатия, так как башмаки 7, поворачиваясь на шарнирных опорах 8, врезаются рифлением в тело заготовки, препятствуя ее осевому перемещению. После сварки пружины 6 возвращают башмаки 7 в исходное положение. Чтобы башмаки 7 не проскальзывали, приведенный коэффициент трения f_n в парах башмаки 7—опоры 8, должен быть меньше коэффициента трения в парах башмаки 7—поверхность изделия. Приведенный коэффициент трения определяется в данном случае геометрией опор:

$$f_n = 2f_1 r / l,$$

где r — радиус трения опоры; l — расстояние между радиусами трения; f_1 — коэффициент трения в паре башмак 7 — опора 8.

Техническая характеристика зажимов приведена в табл. 5.2. Максимальная длина зажимаемых заготовок не ограничена. Наиболее компактными и технически совершенными по силовой напряженности K_y (отношение

5.2. Техническая характеристика зажимов машин ИСТ

Параметры	СТ-102	СТ-104	СТ-105	СТ-109	СТ-107
Размеры зажимаемых заготовок цилиндрической формы, мм:					
сплошное сечение	16... 50	10... 30	15... 30	16... 35	25... 70
труба	100	70	—	—	—
минимальная длина	100	100	60	60	70
Ход зажимных башмаков (суммарный), мм	82	76	80	52	74
Сила на ползуне P_n , кН	300	220	250	250	1250
K_y , кг/кН	1,76	1,38	1,27	1,36	1,5
Масса, кг	527	160	317	340	1875
Габаритные размеры, мм	610×1055× ×610	765×925× ×498	720×610× ×462	720×674× ×450	1400×1044× ×800

массы механизма к силе зажатия P_3) являются механизмы с "ломающимися" рычагами (см. рис. 5.4, б). Следует учитывать, что масса механизма зажатия оказывает существенное влияние на прогиб направляющих 3 (рис. 5.3, 5.5), по которым он перемещается. При этом размер прогиба должен быть таким, чтобы гарантировалось отсутствие интенсивного изнашивания либо заклинивания при оптимальных зазорах в направляющих втулках. На практике для направляющих диаметром 70...120 мм зазоры должны быть в интервале 30...150 мкм.

В зажимных механизмах машин СТ-102 (см. рис. 5.3) и СТ-107 (см. рис. 5.5) деформация С-образного корпуса от воздействия силы на ползуне вызывает дополнительное нагружение и прогиб на направляющих 3. Этот недостаток отсутствует в механизмах, схемы которых приведены на рис. 5.4; силы, возникающие при зажатии заготовок, замыкаются на корпус с таким расчетом, чтобы они передавались в зоны расположения направляющих 3 в меньшей степени.

Синхронизаторы механизмов зажатия должны быть рассчитаны на компенсацию усилий, которые возникают из-за неодинаковых потерь на трение в ползунах и звеньях, передающих силу зажатия P_3 . Кроме того, они должны воспринимать боковые силы, возникающие при зажиме длинномерных заготовок, а также составляющую осевой силы, обусловленную неравномерным разогревом стыка и отклонением от перпендикулярности свариваемых торцов направлению действия усилия проковки. В машинах для сварки трением синхронизатор противодействует также смещению зажима при воздействии крутящего момента. Практически синхронизатор должен быть рассчитан на восприятие не менее 30% осевой силы.

В этой связи наиболее предпочтителен синхронизатор механизма машин СТ-105, СТ-109 (см. рис. 5.4, б), поскольку его кинематические звенья одновременно являются силовыми, передающими на ползуну 4 силу зажатия P_3 . Синхронизатор механизма зажатия машины СТ-102 (см. рис. 5.3) для облегчения конструкции выполняется из несилевых элементов, осуществляющих в основном кинематические функции. Для исключения смещения ползунов при сварке после зажатия полости II гидроцилиндров 1, подключенные параллельно в систему нагнетания, запираются гидрозамками. В случае утечки жидкости производится подпитка через гидрозамки, гарантирующая стабильность усилия P_3 , и исключается отвод штоков цилиндров от заготовки. Схема с синхронизатором из несилевых звеньев, управляющих встречноперемещающимися штоками гидроцилиндров, которые после зажатия блокируются гидрозамками, особенно целесообразна в случаях, когда $P_3 > 1500$ кН. В этом случае механизм зажатия расчленяется на несколько пар цилиндров, работающих параллельно. Одна из пар снабжена несилевым

синхронизатором и служит для предварительного центрирования заготовки, после выполнения которого включаются в работу остальные пары цилиндров, окончательно зажимая отцентрированную заготовку. При больших силах P_3 такая система в ряде случаев обладает существенно лучшими технико-экономическими показателями.

Для восприятия боковых составляющих в механизме машины СТ-104 (см. рис. 5.4, а) модуль зубчатых секторов $m = 8$ при $P_3 = 220$ кН. Недостатком синхронизаторов с зубчатым зацеплением является наличие зазора, увеличивающегося в процессе эксплуатации по мере износа, а преимуществами — относительная простота и надежность в работе. Коромысло 5 и ползуну 2 синхронизатора механизма, приведенного на рис. 5.5, рассчитаны на зажатие заготовок с силой предварительного зажатия до 500 кН, что обеспечивает восприятие возникающих боковых составляющих; наибольшее значение $P_3 = 1250$ кН.

Кроме перечисленного выше универсального и специализированного оборудования для сварки трением, осуществляющего одностыковые соединения, имеется необходимость в одновременной сварке двух стыков. Оборудование для сварки трением двустыковых соединений весьма разнообразно: с промежуточной вращающейся либо неподвижной деталью, которая закреплена в осевом направлении неподвижно, либо является "плавающей"; с одним или двумя вращающимися шпинделями и др.

В ИЭС им. Е. О. Патона разработана оригинальная установка СТ-104* для сварки трением двухстыкового соединения деталей 3, 13 с усилием проковки 100 кН (рис. 5.6). Привариваемая промежуточная вставка 12 помещается внутрь приводной обоймы 8, установленной на опорах качения в двух полукорпусах 7, жестко закрепленных на штангах 10 и вращается вместе с последней. Штанги 10 в свою очередь жестко соединяют две неподвижные стойки 5, 11, закрепленные на станине 1. Со стороны левой стойки 5 в корпусе 6 смонтирован шпиндель 4 с цанговым зажимным патро-

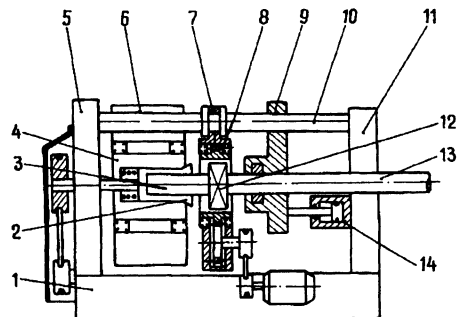


Рис. 5.6. Схема машины СТ-104

ном 2. Шпиндель 4 снабжен приводом вращения и механизмом осевого перемещения; относительно приводного шкива шпиндель установлен на шлицевом соединении. Правый суппорт 9 имеет механизм осевого перемещения в виде двух цилиндров проковки 14 без привода вращения. Правый суппорт выполнен в виде зажима с синхронизатором на зубчатом зацеплении (см. рис. 5.4, а) и перемещается по штангам 9 (см. рис. 5.6) на направляющих втулках.

Технологические параметры машины: силы при нагреве 60 кН, проковке 120 кН, зажима невращающейся заготовки в тисках суппорта 9 220 кН, предварительного зажатия вращающейся заготовки в цанговом патроне 30 кН; диаметры деталей сплошного сечения, свариваемых на машине, 10...30 мм, трубчатых деталей 70 мм; длина вращающейся детали 60...180 мм, а минимальная невращающейся детали, зажимаемой в тисках, 100 мм (максимальная не ограничена).

Привод вращения обоймы осуществляется от двухскоростного электродвигателя мощностью 33,5 (22,4) кВт при частоте вращения 750 (1500) мин⁻¹. Привод вращения шпинделя с цанговым патроном связан с электродвигателем мощностью 21 кВт (частота вращения 1500 мин⁻¹). Благодаря конструктивным особенностям машина СТ-104 обладает широкими технологическими возможностями. Вращая шпиндель в направлении вращения обоймы со вставкой или в противоположном направлении, можно в широком диапазоне варьировать линейные скорости на периферии образцов. При соединении различных по физическим свойствам материалов с промежуточной вставкой на машине СТ-104 можно получать различные линейные скорости со стороны вращающейся и невращающейся заготовок по отношению к вставке. Дополнительные технологические возможности появляются в случае выполнения вставки биметаллической. Вместе с тем, машина СТ-104 упрощена конструктивно: в ней при осуществлении конвенционного способа сварки трением отсутствуют тормозные устройства. Это возможно благодаря тому, что вставка, располагаемая внутри обоймы, имеет такую конфигурацию, что ей автоматически передается вращение от обоймы без дополнительных зажимов и устройств. В процессе нагрева вставке сообщается такое продольное перемещение внутри обоймы (припуск на нагрев), что в конце нагрева она должна выйти из контакта с обоймой. При этом происходит мгновенное торможение вставки и включается проковка. На машине СТ-104 можно сваривать стали всех марок в одноименном и разноименном сочетаниях: алюминий, медь, никель и сплавы на их основе, тугоплавкие материалы и их сплавы.

5.2. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ТЕРМОКОМПРЕССИОННОЙ СВАРКИ

Оборудование для термокомпрессионной сварки является в значительной мере специализированным и применяется главным образом при монтаже интегральных схем гибкими проводниками. Установки включают следующие основные элементы: предметный столик и рабочий инструмент с нагревательными устройствами; механизмы создания контактного усилия, подачи и обрезки проволоки, а также подачи корпусов; манипуляторы для совмещения соединяемых элементов; систему наблюдения; блоки питания и управления.

Предметный столик служит для крепления корпуса прибора. Обычно столик выполняют сменным, с тем чтобы можно было использовать установку для нескольких типов корпусов. Нагрев столика до температуры 250...450 °С осуществляется проволочными нагревателями с обязательным применением терморегуляторов. Для уменьшения длительности его нагрева до заданной температуры источник вначале работает в форсированном режиме. При достижении заданной температуры срабатывает терморегулятор, поддерживающий ее с точностью ($\pm 5...10$) °С. В качестве датчика температуры используют термосопротивление или термопару. Последняя обеспечивает более высокую точность регулирования температуры [12].

Рабочий инструмент выбирается в зависимости от схемы монтажа: внахлестку с боковой подачей проволоки под инструмент или встык с подачей проволоки с образцовым оплавлением на конце шариком перпендикулярно к контактной площадке.

В качестве рабочего инструмента служат (рис. 5.7): игла-пуансон с подачей проволоки под инструмент сбоку через специальную дюзу (рис. 5.7, а); разрезной капилляр ("птичий клюв") с зажиманием проволоки при ее обрыве (рис. 5.7, б); капилляр с боковым отверстием для подачи проволоки (рис. 5.7, в); капилляр с центральным осевым отверстием для сварки встык (рис. 5.7, г).

При использовании иглы-пуансона подача проволоки на контактную площадку и совмещение торца иглы с проволокой и контактной

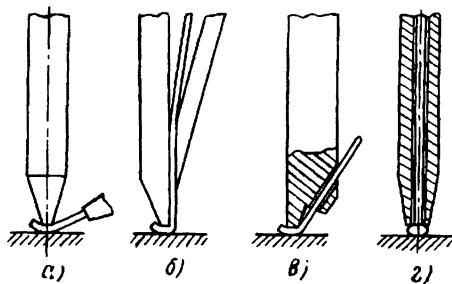


Рис. 5.7. Рабочий инструмент для термокомпрессионной сварки

площадкой производятся раздельно. Поэтому производительность процесса сварки невысокая. При сварке с помощью капилляров проволока совмещена с рабочим инструментом, что позволяет значительно повысить производительность процесса. Наиболее широко применяются капилляры с центральным осевым и боковым отверстиями. На торце рабочих инструментов для нахлесточного соединения обычно выполняют формирующие углубления и выступы, которые ограничивают пластическое течение материала проволоки и увеличивают его скорость в приконтактной зоне. Такой прием обеспечивает удовлетворительную прочность соединения при относительно небольших сварочных нагрузках [12].

Для нагрева рабочего инструмента используются специальные спиральные нагреватели, расположенные непосредственно на инструменте или в держателе. Регулирование температуры нагрева производится так же, как и предметного столика.

Материал, из которого изготавливают рабочий инструмент, должен обладать: низкой теплопроводностью, высокой износостойкостью при температуре менее 500 °С, высокой прочностью при периодическом нагреве, охлаждении и нагружении, отсутствием склонности к схватыванию со свариваемыми материалами. В качестве материала используют, например, молибден (особенно монокристаллический), твердые сплавы (ВК-6М, ВК-15), ферриты, корунд, керамику на основе Al_2O_3 , MgO , BeO . При приварке алюминиевой проволоки не рекомендуется применять рабочий инструмент из корунда и керамики на основе Al_2O_3 и MgO , так как эти материалы сильно схватываются с алюминием. Для исключения схватывания со свариваемыми деталями рекомендовано также снижать до минимума содер-

жание кобальта в материале рабочего инструмента.

Механизм создания контактной силы, обеспечивающий работу узлов почти в ударном режиме, должен регулировать силу в широком диапазоне и воспроизводить установленное ее значение в условиях скоростного нагружения. В установках для термокомпрессионной сварки наиболее широко применяют механизм грузового типа с диапазоном регулирования контактного усилия 0...8 Н [12]. Управление механизмом может быть ручным, ножным (педальным) или от двигателя. При работе в полуавтоматическом режиме длительность прижатия инструмента устанавливается и выдерживается автоматически.

Механизм подачи и обрезки проволоки зависит от назначения установки. Свободное смотывание проволоки с катушки используется при сварке капиллярным инструментом с образованием шарика путем оплавления или при сварке инструментом типа "птичий клюв". Механизм подачи с помощью роликов, вращаемых двигателем, применяется в установках для сварки внахлестку. Для облегчения подачи весьма тонкой проволоки (8...20 мкм) через капилляр механизма подачи продувают газ (обычно защитный). Обрезка проволоки производится ножницами. Механизм подачи и обрыва проволоки с помощью электромагнита и рычажной системы наиболее успешно используется при подаче проволоки через боковое отверстие рабочего инструмента.

Механизм подачи корпусов к месту сварки выполняется в виде простых зажимов для крепления каждого корпуса на предметном столике или в виде специальных кассет. Наибольшая производительность обеспечивается при использовании кассет с лентой, в которой

5.3. Характеристика установок для термокомпрессионной сварки

Параметры	ЭМ-442	ЭМ-446	МС-41ПЗ-3	ЭМ-490
Диаметр вывода, мкм	25... 60	25... 60	20... 50	25... 40
Способ соединения	Нахлесточное	Стыковое, нахлесточное		Стыковое
Температура нагрева, °С	100... 400	250... 400	100... 450	250... 400
Контактная сила, Н	0,1... 1,0	0,1... 1,0	0,2... 1,5	—
Производительность, сварок/ч	400	800	1000	1600

Продолжение табл. 5.3

Параметры	ЭМ-4060	ЭМ-410	Hitachi (Япония)	Esce (Швейцария)
Диаметр вывода, мкм	25... 40	20	20... 60	20... 60
Способ соединения		Стыковое		
Температура нагрева, °С	250... 450	250... 450	Менее 450	
Контактная сила, Н	—	0,4... 2,5	0,3... 2,5	0,3... 2,5
Производительность, сварок/ч	1700	2000	2000	3000

корпусы приборов предварительно ориентированы.

Манипуляторы двух типов — рычажные или пантографные — предназначены для точного совмещения соединяемых элементов и рабочего инструмента. В зависимости от размеров присоединяемых проводников и контактных площадок диапазон передаточных отношений манипуляторов 5:1...200:1. При выполнении соединений внахлестку с боковой подачи проволоки на манипуляторы обычно устанавливают рабочий инструмент и механизм подачи проволоки. При монтаже плоских схем большого размера манипулятор с установленным предметным столиком должен обеспечивать его поворот и перемещение в горизонтальной плоскости с различным передаточным отношением (например, 10:1 для грубого перемещения и 100:1 для точного).

Механизм подачи проволоки предусматривают на манипуляторе, обеспечивающем перемещение в горизонтальной и вертикальной плоскостях с передаточным отношением до 25:1.

Система наблюдения состоит из бинокля или стереомикроскопа с увеличением 8—80. Для обеспечения хорошего наблюдения и удобства работы используют микроскопы с большими рабочим расстоянием (не менее 100...150 мм) и полем зрения. Некоторые модели современных установок для термокомпрессионной сварки и их характеристика представлены в табл. 5.3.

5.3. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СВАРКИ

Установки для УЗС состоят из следующих основных частей и узлов: сварочной головки, представляющей собой ультразвуковой преобразователь с механической колебательной системой и ультразвуковым инструментом; источника питания, представляющего собой ультразвуковой генератор с дозатором энергии — реле времени; механизма создания сварочного усилия сжатия свариваемых деталей; устройства для фиксации и перемещения под сварку соединяемых элементов или материалов. Если установки предназначены для соединения миниатюрных элементов или деталей, то применяется специальное устройство-манипулятор, преобразующее перемещения рук оператора в малые перемещения ультразвуко-

вого инструмента либо самого изделия, а также системы оптического наблюдения за совмещением свариваемых элементов.

Ультразвуковой преобразователь с механической колебательной системой служит для преобразования электрической энергии источника тока ультразвуковой частоты (ультразвукового генератора) в механическую энергию ультразвукового инструмента, который предназначен для передачи упругих колебаний в зону сварки и создания рабочего сварочного усилия. Ультразвуковой преобразователь является активным элементом колебательной системы — двигателем. Пассивная часть — механическая колебательная система и инструмент (волноводы) — трансформирует и усиливает упругие колебания, согласовывая выходное сопротивление преобразователя с сопротивлением нагрузки в виде свариваемых деталей. К механической колебательной системе предъявляют следующие требования: стабильность рабочей (резонансной) частоты колебаний; возможность быстрой замены сварочного инструмента; высокие акустико-механические свойства системы — минимальные потери; высокое качество крепления всех элементов системы; надежное крепление системы к корпусу или к механизму давления сварочной головки; отсутствие потерь в креплениях.

В качестве источника упругих колебаний используются магнитоэлектрические преобразователи. Они могут быть либо металлическими, либо ферритовыми. Все более широкое применение находят пьезокерамические, как более эффективные, с меньшими потерями.

Резонансная частота (кГц) ультразвуковых преобразователей не должна выходить за следующие пределы: $18 \pm 1,35$; $22 \pm 1,65$; $44 \pm 4,4$; $66 \pm 6,6$; $88 \pm 8,8$; 440 ± 11 ; $880 \pm 8,8$; 1760 ± 44 . Она зависит от его геометрических размеров. Энергетические показатели преобразователя устанавливаются в зависимости от допустимой удельной излучаемой мощности на рабочем торце, который жестко связан с торцовой поверхностью колебательной (волноводной) системы. Максимально возможная удельная мощность, подводимая к преобразователю, зависит от следующих факторов: материала преобразователя, резонансной частоты, потерь мощности в нем, ус-

5.4. Максимальная удельная мощность (Вт/см²) преобразователя при различных рабочих частотах

Материал преобразователя	Частота, кГц				
	22	44	66	88	440
Пермендюр	70... 90	40... 50	30... 50	—	—
Альфер	30... 40	20... 25	10... 15	—	—
Феррит	20... 30	20... 25	15... 25	15... 20	—
Никель	50... 60	30... 40	20... 25	—	—
Пьезокерамика	15... 30	20... 30	25... 30	25... 30	20... 30

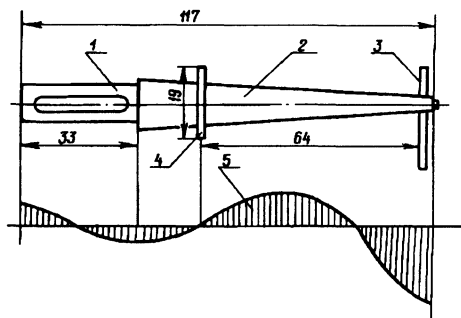


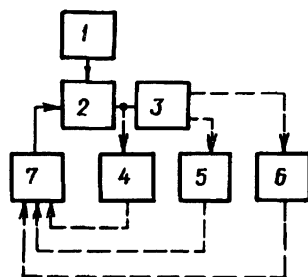
Рис. 5.8. Ультразвуковой магнитострикционный преобразователь микросварочных установок частотой 66 кГц

ловий теплоотвода при нагреве (наличие воздушного, естественного, принудительного или водяного охлаждения). Ориентировочные значения максимальной удельной мощности для преобразователей, изготовленных из различных материалов, приведены в табл. 5.4.

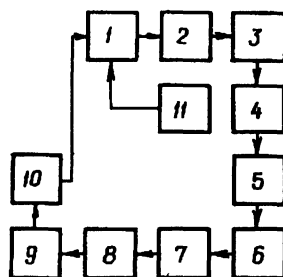
С повышением рабочей частоты преобразователя более эффективными становятся ферриты и пьезокерамика [24]. Простейший ультразвуковой преобразователь с механической колебательной системой установки для ультразвуковой микросварки показан на рис. 5.8. Магнитострикционный преобразователь 1 припаян к торцу колебательной системы в виде концентратора 2 и инструмента 3. Колебательная система крепится к механизму сварочного давления установки с помощью фланца 4, расположенного в узловой плоскости смещений, эпюра которых показана в поперечной плоскости вдоль оси. Рабочая (резонансная) частота преобразователя равна 63,4 кГц.

В качестве источников питания ультразвуковых преобразователей используются ультразвуковые генераторы универсального типа либо специализированные комплексы с системами стабилизации, программного регулирования и управления, сопряженными с блоком управления механизма сварочного давления. Универсальными генераторами являются: УЗГ1-0,04/22; УЗГ11-0,1/22; УЗГ5-0,63/22; УЗГ5-1,6/22 и др.

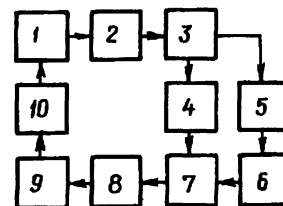
Специализированные генераторы могут выполняться с различными вариантами получения сигнала обратной связи для управления мощностью, подводимой к ультразвуковому преобразователю. На рис. 5.9 приведены три варианта организации системы стабилизации режима питания преобразователя. Для получения сигнала обратной связи применимы датчики механических колебаний 5, 6, обеспечивающие работу генератора в режиме самовозбуждения. Источник постоянного тока 1 питает усилитель 2 сигналов ультразвуковой частоты, нагруженный на ультразвуковой преобразователь 3. Сигнал обратной связи 4 воздействует вместе с сигналами датчиков на фа-



а)



б)



в)

Рис. 5.9. Структурные схемы источников питания ультразвукового преобразователя с вариантами обратной связи в системе стабилизации:

а — по схеме возбуждения автогенератора с датчиками механических колебаний; б — с подстройкой частоты задающего генератора под резонансную частоту механической колебательной системы преобразователя; в — с коррекцией разности фазы двух сигналов с помощью фазовращателя

зовращатель 7, который, в свою очередь, приводит в соответствие частоту ультразвуковых колебаний, подводимых к преобразователю.

Известны разработки экстремального регулирования для осуществления автоматической подстройки частоты ультразвукового генератора на частоту механического резонанса колебательной системы (рис. 5.9, б). При этом способе создается девиация частоты генератора, и амплитуда колебаний колебательной системы изменяется в соответствии с ее амплитуд-

5.5. Техническая характеристика установок для ультразвуковой микросварки (нахлесточное соединение)

Параметры	ЭМ-425-А	УЗП-02	НПВ-2
Диаметр проволоки, мкм	25... 60	25... 50	24... 40
Производительность, сварок/ч	800	2500	2400
Сила сжатия, Н	0,1... 1,2	0,05... 0,7	0,1... 0,2
Время сварки, с	0,08... 3,6	0,05... 0,5	0,04... 2
Частота, кГц	66	75	75
Мощность, Вт	6,3	Менее 8	Менее 8

5.6. Техническая характеристика машин для сварки металлической фольги

Параметры	МШУ-0,63	МШУ-1,6	МШУ-4
Мощность колебательной системы, кВт	0,63	1,6	4
Рабочая частота, кГц	22	22	18
Сила сжатия, Н	500	1500	2500
Толщина (по алюминию) свариваемого металла, мм	0,2	0,5	0,8

но-частотной характеристикой. В зависимости от характера этого изменения автоматически изменяется средняя частота генератора таким образом, чтобы амплитуда механических колебаний на этой частоте была максимальной.

Задающий генератор 1 и усилитель мощности 2 такого устройства питают преобразователь 3, снабженный пьезодатчиком 4, сигнал с которого усиливается в усилителе 5, проходит через детектор-фильтр 6, снова усиливается в усилителе 7 и подается на фазочувствительное устройство 8. С помощью усилителя-ограничителя 9 и интегратора 10 оказывается воздействие на задающий генератор 1, частота которого модулируется источником 11.

В генераторе с системой фазовой автоматической подстройки частоты (рис. 5.9, в) величина и знак фазового угла между напряжением, подводимым к преобразователю 3 от задающего генератора 1 через усилитель мощности 2, и амплитудой колебательной скорости включения преобразователя 3, усилителей 4, 5, и фазовращателя 6), на выходе фазового детектора 7 получают сигнал, который интегрируют в интеграторе 8, усиливают в усилителе 9 и подают на управляющий элемент 10, который корректирует задающую частоту генератора 1.

При сварке элементов интегральных микросхем требования к точности воспроизведения параметров режимов, а следовательно, к стабильности работы ультразвукового генератора очень высоки. Ниже приведена техническая характеристика микросварочной машины, осуществляющей сварку алюминиевой проволоки диаметром 0,03...0,05 мм к контактными площадкам на кристалле кремния.

Точность позиционирования кристалла кремния, мм, не более	0,5
Точность расположения базовых отверстий, мм	0,1
Смещение центров контактных площадок, мм	0,1
Время подачи микросхемы под сварку, с	2,0
Точность подачи микропроволоки (вылет), мм	0,10...0,25
Точность подачи микропроволоки (отклонение), мм	0,30

Техническая характеристика установок ультразвуковой микросварки приведена в табл. 5.5.

В электротехнической промышленности нашли применение шовные ультразвуковые машины, которые могут рассматриваться как специальные, хотя со временем, по мере увеличения объемов производства и расширения ассортимента свариваемых материалов они могут перейти в класс универсальных. Разработаны три типоразмера машин для сварки металлической фольги (табл. 5.6). На них можно сваривать фольгу из меди, никеля, алюминия, ниобия, титана и других металлов.

Ультразвуковая сварка металлов в настоящее время имеет тенденцию к развитию преимущественно в направлении повышения точности и прецизионности выполнения сварочных операций в микроэлектронике, а также при соединении материалов в виде фольги в тех случаях, когда другими методами они не соединяются.

5.4. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СВАРКИ ДУГОЙ, УПРАВЛЯЕМОЙ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ

Оборудование для прессовой сварки с нагревом дугой, управляемой магнитным полем (ПМДС), в зависимости от назначения делит-

5.7. Техническая характеристика машин для ПМДС

Параметры	ОБ-2398	ОБ-2651	МД-100
Номинальное напряжение питающей сети, В	380	380	380
Номинальная сила сварочного тока, А	500	500	1200
Наибольшее свариваемое сечение, мм ²	700	860	2000
Наибольший диаметр свариваемых деталей, мм	60	60	114
Наибольшая толщина стенки, мм	4	5	6
Номинальное усилие осадки, даН	4500	6000	16000
Машинное время сварки, с	11	15	30
Масса сварочной машины (головки), кг	200 (60)	400	800
Исполнение	Подвесное	Полустационарное	

Продолжение табл. 5.7

Параметры	УДК-0802	УДК-2701	УДК-6501	УДК-2001
Номинальное напряжение питающей сети, В	380	380	380	380
Номинальная сила сварочного тока, А	500	315	630	1200
Наибольшее свариваемое сечение, мм ²	100	270	2×1200	2700
Наибольший диаметр свариваемых деталей, мм	20	26,8	62	114
Наибольшая толщина стенки, мм	2	3,5	7	8
Номинальное усилие осадки, даН	800	1800	10000	20000
Машинное время сварки, с	1,2	3	7	10
Масса сварочной машины (головки), кг	900	900 (8,5)	2500	2500
Исполнение	Стационарное	Переносное	Стационарное	

ся на универсальное и специальное. Универсальное оборудование позволяет при быстром переналаживании осуществлять сварку деталей разных типоразмеров, например труб диаметром 20...60 мм и толщиной стенки 2...5 мм. Специальное оборудование предназначено для сварки деталей одного типа и размера. Как правило, такие установки с учетом их высокой производительности используются в крупносерийном производстве, например на автомобильных заводах.

По исполнению сварочное оборудование для ПМДС может быть разделено на группы: подвесное или переносное (ОБ-2398, УДК-2701), полустационарное (ОБ-2651, МД-100, МД-101) и стационарное (УДК-6501). Техническая характеристика машин для ПМДС приведена в табл. 5.7. Подвесное оборудование предназначено для сварки в полевых условиях при строительстве трубопроводов, а также на монтаже. Стационарные установки используются в основном в заводских условиях. Оборудование первой группы создается по модульному принципу, который заключается в том, что сварочная головка, шкаф управления, гидравлическая насосная станция с элементами гидроаппаратуры выполнены в виде

отдельных блоков. Тем самым обеспечивается рациональная компоновка оборудования на передвижной трубосварочной платформе или на строительной площадке. По такому же принципу может быть создано и полустационарное оборудование (ОБ-2651, МД-100, МД-101). В этом случае может быть обеспечена быстрая замена на новый вышедшего из строя блока с последующим ремонтом последнего.

Оборудование для ПМДС включает три основных составляющие: сварочную машину, аппаратуру управления и контроля, источник питания сварочной дуги. Сварочная машина имеет много общего с машиной для стыковой контактной сварки: механизмы зажатия свариваемых деталей, перемещения и осадки. Однако для нее характерны свои особенности. При нагреве дугой, движущейся в магнитном поле, свариваемые детали остаются неподвижными, поэтому значительно упрощается механизм перемещения и осадки. Однако особенности нагрева и формирования сварного соединения требуют высоких относительно контактной стыковой сварки скоростей осадки, не менее 0,15 м/с. В связи с малыми плотностями сварочного тока по сравнению с контактной сваркой, зажимные губки изготавливают не из

меди и ее сплавов, а из стали, что соответственно увеличивает срок их службы.

Повышенное внимание уделяется обеспечению соосности свариваемых деталей из небольшой толщины их стенки. Соосность достигается применением самоцентрирующего механизма зажатия или введением в конструкцию сварочной машины механизма коррекции взаимного расположения свариваемых деталей. Для получения необходимых усилий зажатия и осадки в сварочных машинах широко используется гидропривод, что снижает габаритные размеры машины, но увеличивает стоимость и усложняет обслуживание. Эти недостатки исключаются при применении пневмопривода, однако габаритные размеры сварочной машины при этом резко возрастают. Уменьшать размеры можно, используя многопоршневые цилиндры. Возможно применение и пневмогидравлического привода.

Выбор типа привода определяется условиями работы оборудования и предъявляемыми к нему требованиями.

Сварочные машины оборудуют устройствами создания управляющего магнитного поля. В этих устройствах могут быть использованы как постоянные магниты, так и электромагниты. Постоянные магниты значительно упрощают конструкцию механизма зажатия сварочной машины, не требуют дополнительного источника питания.

При эксплуатации сварочной машины постоянные магниты испытывают воздействие целого ряда возмущающих факторов: тепловое излучение дуги, магнитное поле сварочного тока, случайные механические удары, изменение магнитного сопротивления цепи и др. Постоянные магниты должны обладать высокой стабильностью параметров и иметь большую коэрцитивную силу. Перечисленным требованиям отвечают магнитотвердые ферриты. Опыт эксплуатации постоянных магнитов марки РА показал высокую стабильность их параметров. Для защиты магнитов от механического и теплового воздействия их помещают в специальные корпуса, изготовленные из неферромагнитных материалов.

Основным недостатком устройств с постоянными магнитами является крайне ограниченная возможность регулирования индукции управляющего магнитного поля в зазоре между свариваемыми деталями, поэтому такие устройства используют при сварке однотипных полых деталей с толщиной стенки менее 6 мм. Следует также учитывать налипание на постоянные магниты металлических частиц, что может вызвать короткое замыкание сварочного контура. В связи с этим необходима периодическая очистка магнитов.

Электромагниты являются более гибкими системами, позволяющими варьировать значением магнитной индукции и направлением магнитного потока, непосредственно в процессе сварки. При разработке и конструировании электромагнитов необходимо учитывать

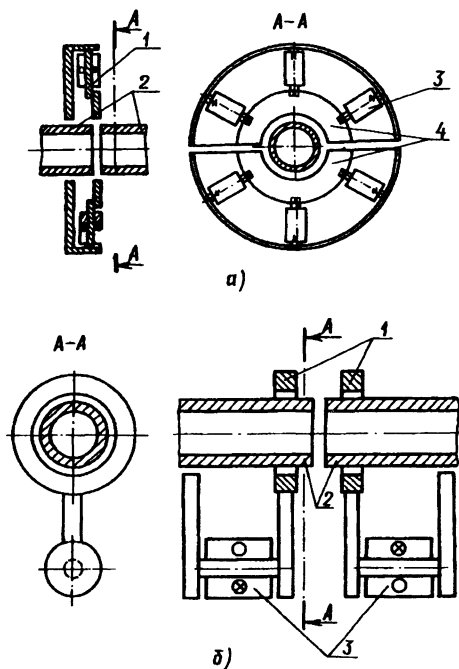


Рис. 5.10. Устройства создания управляющего магнитного поля

соотношения, которыми связаны между собой магнитное поле, сила тока, его плотность, мощность и при необходимости водяное охлаждение. Для их питания необходим дополнительный источник тока. Возможно параллельное включение катушек электромагнитов в сварочную цепь, позволяющее отказаться от дополнительного источника питания, но такая схема не получила широкого распространения.

В Германии получило промышленное применение устройство создания управляющего магнитного поля, представленное на рис. 5.10, а. Основное отличие устройства от устройства на базе постоянных магнитов состоит в том, что вместо двух магнитов, размещенных на свариваемых деталях и включенных встречно, применяется один электромагнит, установленный непосредственно над линией сварки. В разъемном устройстве катушки 3 наматываются на ферромагнитные сердечники 1 и подключаются таким образом, что имеют одноименно направленную полярность к линии сварки деталей 2. Путем намагничивания ферромагнитной вставки 4 непосредственно над линией сварки формируется требуемая магнитная индукция $\vec{B}$, радиальная $\vec{B}_r$, составляющая которой направлена перпендикулярно к направлению составляющей силы I_d сварочного тока. Преимущество представленной конструкции в том, что корпуса электромагнит-

тов разъемные. Это облегчает установку деталей в зажимные губки сварочной машины.

В Великобритании разработано устройство (рис. 5.10, б) [21], в котором катушки 3 двух электромагнитов установлены на ферромагнитные сердечники 1, охватывающие по контуру свариваемые детали 2. Магнитопроводы осуществляют ввод магнитного потока в тело деталей. При этом в зазоре создаются необходимые условия для сварки.

В качестве источников питания дуги используются серийно выпускаемые сварочные выпрямители с падающей внешней характеристикой. Крутизна внешней характеристики оказывает большое влияние на устойчивость горения дуги. Наибольшую устойчивость дуга имеет при крутопадающей внешней характеристике источника питания, т. е. при стабилизации силы сварочного тока.

В связи с быстротечностью процесса ПМДС исключено какое-либо вмешательство оператора в его ход, поэтому все установки для ПМДС имеют систему автоматического управления. Наиболее простой является система управления на базе реле времени, с помощью которых устанавливается очередность и длительность сварочных операций. Более сложными системами управления оборудуются установки для сварки ответственных изделий.

Такие системы позволяют программировать процесс сварки, контролировать и регистрировать его параметры, выдавать паспорт на каждый сваренный стык. С помощью паспорта может быть дана оценка качеству сварного соединения, поскольку особенности ПМДС таковы, что величина и характер изменения ос-

новных параметров (напряжение на дуге, сила тока дуги, длительность нагрева, путь и усилие осадки) с большой вероятностью определяют качество.

При автоматизации загрузки—выгрузки свариваемых деталей оборудование для ПМДС может встраиваться в автоматические сборочно-сварочные линии.

5.5. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ СВАРКИ

Оборудование для высокочастотной сварки по характеру производства является мелкосерийным и единичным. Оно состоит из источника питания, элементов для подвода тока к свариваемому изделию, механических устройств для формирования, фиксации, перемещения и обжатия изделий в процессе сварки [19, 25]. Для осуществления высокочастотной сварки используются частоты тока 8, 10, 66, 220, 440, 1760 кГц, что определяет применение различных источников питания. При частоте 8 и 10 кГц источниками питания являются электромашинные преобразователи, состоящие из двигателя, включаемого в сеть, с частотой тока 50 Гц и индукторного генератора, соединенных общим валом, и инверторы.

Преобразователи — однокорпусные, в вертикальном закрытом исполнении, с воздушнo-водяным охлаждением. Техническая характеристика преобразователей и инвертора приведена в табл. 5.8.

При использовании частот 66, 220, 440 и 1760 кГц в качестве источников питания применяют ламповые генераторы, в которых ток промышленной частоты с помощью выпрямителей, трехэлектродных вакуумных ламп и ре-

5.8. Техническая характеристика электромашинных преобразователей частоты и инвертора, используемых для сварки

Параметры	Преобразователь		Инвертор СЧГЗ-100/10
	ВПЧ100-8000	ППЧВ-250-10	
Частота тока, Гц	8000	10000	10000
Мощность, кВт:			
генератора	100	250	100
двигателя	138	304	—
Напряжение, В:			
генератора	800	800	400
двигателя (сети)	380 (220)	6000 (3000), 380*	380
Коэффициент мощности нагрузки (емкостной)	0,9	0,95	1
Масса, кг	2610	3620	870
Габаритные размеры, мм:			
высота	1686	1770	2000
диаметр	860	1154	1605

* В зависимости от заказа.

5.9. Техническая характеристика высокочастотных ламповых генераторов

Параметры	ВЧГ-10/0,44	ВВГ-25/0,44	ВЧГ3-100/0,44	ВЧГ3-160/0,66	ВЧГ7-160/0,44
Напряжение питающей сети, В	380	380	380	380	380
Мощность, кВт:					
колебательная	10	25	100	160	160
потребляемая от сети	15,5	32	141	235	235
Частота тока, кГц	440	440	440	66	440
Анодное напряжение, кВ	7	7,5	10	10,5–11,5	11
Масса, кг	940	1200	3000	3070	3500

Продолжение табл. 5.9

Параметры	ВЧС5-160/0,44	ВЧС3-250/0,44	ВЧС2-400/0,44	ВЧС2-600/0,44	ВЧС2-1000/0,44	ВЧС1-160/1,76
Напряжение питающей сети, В	380	380	380	6000	6000	380
Мощность, кВт:						
колебательная	160	250	400	600	1000	160
потребляемая от сети	222	357	580	860	1415	260
Частота тока, кГц	440	440	440	440	440	1760
Анодное напряжение, кВ	11	11	11,5	11,5	11,5	10,5
Масса, кг	4100	7050	10000	19600	24000	7500

зонансных колебательных контуров преобразуется в ток высокой частоты. Составными элементами ламповых генераторов являются следующие функциональные блоки: входное коммутающее устройство, повышающий анодный трансформатор, высоковольтный выпрямитель, блок генераторной лампы, анодный колебательный контур и нагрузочный контур. Техническая характеристика высокочастотных ламповых генераторов приведена в табл. 5.9. Оборудование высокочастотной сварки чаще всего используется при изготовлении изделий бесконечной длины (трубы, прокат, оболочки кабелей).

В комплекс оборудования для производства прямошовных и спиральных труб, кабелей, оребренных труб и других изделий, процесс изготовления которых непрерывный, входит следующее механическое оборудование: устройство для подачи и подготовки рулонов металла, машины для сварки рулонов в бесконечную ленту, клетки для формовки трубных и других заготовок, клетки для обжатия заготовки в процессе сварки, ножницы для резки сваренных изделий на мерные доли и др. Такие комплексы включают специальное высокочастотное электросварочное оборудование, со-

стоящее из источника питания, электромагнитного преобразователя или лампового генератора и устройств для подвода тока к подготовленной для сварки заготовке. Подвод тока осуществляется контактным или индукционным способом.

Устройство для контактного подвода тока (кондуктор), приведенное на рис. 5.11, состоит из двух неподвижных изолированных между собой шин, подвижных токоподводов и наколенников *I*, непосредственно контактирующих с поверхностью заготовки 2. Каждый из двух подвижных токоподводов имеет возможность независимо перемещаться за счет усилия, создаваемого пружинными элементами. Наколенники, изготовленные из вольфрама или специальных сплавов меди, упрочненной высокодисперсным алюминием, закрепляются на конце подвижных токоподводов. Надежный контакт наколенника с поверхностью заготовки обеспечивается пружинными элементами. Кондукторы для подвода тока могут использоваться при изготовлении всех видов прямошовных труб, кабелей, спиральношовных труб, тавровых профилей, оребренных труб и других изделий.

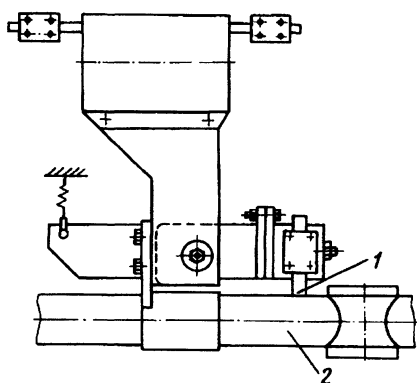


Рис. 5.11. Устройство для контактного подвода тока (кондуктор) при непрерывной высокочастотной сварке

При производстве прямошовных труб диаметром менее 200 мм предпочтительнее индукционный подвод тока с помощью охватывающего индуктора — несколько витков медной трубки, соединенных посредством неподвижных шин с выводами трансформатора на грузочного контура генератора. Во время работы индуктор охлаждается водой. Для повышения эффективности нагрева свариваемых кромок внутри трубной заготовки на специальной штанге устанавливается высокочастотный магнитопровод.

Прямошовные трубы диаметром 200...530 мм с толщиной стенки менее 10 мм свариваются чаще всего при частоте тока 10 кГц. Источником питания являются электромашинные преобразователи мощностью 250 кВт. При движении труб со скоростью до 60 м/мин требуются четыре преобразователя, работающие параллельно на одну выгрузку. Их устанавливают в отдельном помещении на расстоянии менее 100 м от сварочного узла трубоэлектросварочного стана.

Внутренний индуктор, используемый для нагрева кромок, представляет собой катушку из медной трубки с помещенным внутри разомкнутым магнитопроводом из электротехнической стали. Число витков катушки определяется расчетом. Катушка и магнитопровод закрыты кожухом, изготовленным с применением стеклоткани и эпоксидной смолы. С целью повышения эффективности нагрева в оставшуюся незаполненную полость трубной заготовки помещается медный конденсатор, а снаружи над кромками устанавливается магнитопровод из электротехнической стали. Все элементы индуктора в процессе работы интенсивно охлаждаются водой.

Для оснащения трубоэлектросварочных станков и других агрегатов выпускаются комплексные высокочастотные установки (табл. 5.10). Основой комплекса является сварочная клетка для обжатия кромок ленты при постоянной ве-

личине обжатия (жесткая клетка, применяемая чаще) или при постоянном усилии (подпружиненная клетка). Геометрические параметры сближения и осадки кромок определяются видом и размерами изделия, принятой схемой деформации, скоростью сварки, конструкцией оборудования, калибровкой инструмента и при наладке варьируются мало. В этой связи во многих случаях решающее значение имеет правильный выбор схемы деформации и конструкции оборудования.

При изготовлении спирально-шовных труб возможно стыковое и косостыковое соединение кромок. При стыковом соединении ленту предварительно формируют по расчетному профилю, а затем переформируют по профилю трубы, что резко усложняет конструкцию трубоэлектросварочного стана. При косостыковом соединении формирование простое. Станы могут быть трех видов: втулочными, валково-втулочными и валковыми. Два последних вида станов отличаются более высокой точностью сведения кромок. При безвтулочном формировании трубы (валковые станы) применяется автоматическое регулирование диаметра.

При изготовлении изделий с тавровым соединением профилей, оребренных труб механическое оборудование деформирует полку или ребро, чтобы обеспечить V-образное схождение кромок с поверхностью. Возможности осуществления такой деформации определяют и возможности применения высокочастотной сварки. Несимметричность нагрева компенсируют концентраторами тока, экранами, конструктивно объединенными с контактным токоподводом.

Высокочастотные установки с электромашинными преобразователями для сварки прямошовных стальных труб диаметром менее 530 мм и с толщиной стенки до 10 мм выполняют в индивидуальном порядке.

Высокочастотная стыковая сварка выполняется на оборудовании, подобном оборудованию для контактной стыковой сварки (КСС).

Стыковая сварка труб в котельном производстве выполняется машинами серии МВЧС. Машина содержит следующие основные элементы: механизм для захвата и осадки свариваемых труб; узел нагрева (индуктор, трансформатор и конденсаторы), установленный на подвижной каретке с электрическим приводом; механизм вращения труб в процессе нагрева. В комплект машины входят шкафы управления и электромашинный преобразователь или инвертор мощностью 100 кВт, частотой 8...10 кГц.

Техническая характеристика машины серии МВЧС приведена ниже.

Диаметр свариваемых труб, мм	22...42
Толщина стенок, мм	3...6
Материал труб	20
Мощность, кВт	100
Частота тока, кГц	8...10
Время сварки одного стыка, с	5...10
Усилие осадки, кН, менее	30

5.10. Техническая характеристика высокочастотных установок с ламповыми генераторами для непрерывной сварки металлов

Установка	Свариваемые изделия	Материал	Сварное соединение	Размеры, мм		Способ подвода тока	Скорость сварки, м/мин
				Диаметр	Толщина		
ВЧС-160/0,44	Трубы: прямошовные спирально-шовные Оболочки кабелей	Сталь, сплавы алюминия и меди	Стыковое	10... 50	0,8... 0,25	Индукционный	65... 160
		Сталь	Нахлесточное	100... 1120	1,5... 3,5	Контактный	15... 30
		Алюминий	Стыковое	10... 50	0,5... 1,2	Индукционный	40... 160
		Сталь	»	10... 30	0,3... 0,5	»	50... 150
ВЧС3-250/0,44	Трубы: прямошовные спирально-шовные Профили открытые	Сталь, сплавы алюминия и меди	»	10... 80	1,5... 3,5	»	60... 170
		Сталь	Нахлесточное	100... 1120	2... 5	»	30... 50
		»	Тавровое	Высота ребра 30... 100	1... 2,5	»	50... 80
		Сталь, сплавы алюминия	Стыковое	20... 220	1... 5	Индукционный	60... 200
ВЧС2-400/0,44	Трубы: прямошовные спирально-шовные Профили	Сталь	Нахлесточное	168... 426	2,5... 4,5	Контактный	15... 30
		»	Тавровое	100... 500 (высота ребра)	2... 6	»	60... 100
		»	Стыковое	80... 220 220... 530	2,5... 8 4... 10	Индукционный	40... 200
		»	»	28... 60 7... 20 (высота ребра)	5... 6 4... 10	Контактный	80... 200
ВЧС2-600/0,44	Трубы: прямошовные продольно-оробренные Профили	»	»	100... 1000 (высота ребра)	3... 8	»	10... 30
		»	Тавровое	220... 530	3... 8	»	25... 80
		»	Стыковое	»	4... 7	Индукционный	30... 80
		»	»	»	»	»	»
ВЧС2-1000/0,44	Трубы прямошовные	»	Стыковое	»	»	Индукционный	»

Производительность, стык/ч, менее	120
Габаритные размеры (в плане), мм	3000×1500
Масса, кг	7000

Последовательность операций следующая: загрузка свариваемых труб в приемное устройство, зажим труб; автоматическая установка зазора между торцами труб и индуктора относительно торцов; включение механизма вращения труб; продувка защитного газа между торцами; включение и автоматическое управление режимом нагрева по заданному циклу; включение осадки и выключение нагрева; разжатие зажимов и перемещение труб на длину свариваемых отрезков. Оборудование для высокочастотной сварки плавлением по отбортованным кромкам для обработки конкретного изделия выполняется индивидуально на основе унифицированных элементов.

Ниже приведены характеристики используемых машин и установок.

Установка типа УВЧС-1М для сварки труб с трубными досками радиаторов масляных трансформаторов.

Форма труб	Овальная
Число труб	7—20
Толщина, мм:	
стенки труб	1,75
досок	2,0
Материал труб	08кп
Производительность, сварок/ч	1200
Мощность, кВт	160
Частота, кГц	66

Все операции по установке, транспортировке и сварке выполняются автоматически.

Установка типа УВЧР-6301 для сварки между собой секций отопительного панельного радиатора.

Число секций, менее	15
Число отверстий в секции	2
Толщина кромок, мм	0,8
Материал труб	08кп
Производительность, секций/ч	300
Мощность, кВт	25
Частота тока, кГц	440

Все операции, кроме заполнения магазина и снятия готовых радиаторов, выполняются автоматически.

Установка УВЧС-3 для сварки экрана с фланцем экранированного электрического двигателя.

Толщина экрана, мм	0,25
Материал экрана	12Х18Н9Т
Толщина отбортовки фланца, мм	1,5
Материал фланца	СтЗсп
Производительность, сварок/ч	100
Мощность, кВт	160
Частота тока, кГц	440

Процесс сварки выполняется автоматически, установка и снятие готовых изделий вручную.

Машина МВЧК-2501 для сварки между собой половин катков противозероэрозийной сеялки.

Толщина свариваемых кромок, мм	3
Материал катка	СтЗсп
Диаметр катка, мм	560
Производительность, сварок/ч	180
Мощность, кВт	250
Частота тока, кГц	10

Все операции, кроме загрузки заготовок в магазин, выполняются автоматически.

Установка УВЧГ-2501 для сварки горловины с корпусом топливного бака.

Толщина кромок корпуса и горловины, мм	0,8+0,8
Материал горловины и бака	20 и 08кп
Диаметр горловины, мм	20...45
Производительность, сварок/ч	160
Мощность, кВт	60
Частота тока, кГц	66

Процесс сварки выполняется автоматически, загрузка заготовок и выгрузка сваренных изделий вручную.

Кроме рассмотренных успешно эксплуатируются установки и машины для сварки корпусов конденсаторов и аккумуляторов, корпусов компрессоров холодильных агрегатов, тройников глушителей автомобилей и др. Основным элементом всех машин, определяющим качество сварки изделий, является индуктор. Он выполняется, как правило, одновитковым, повторяющим форму сварного соединения. С целью увеличения службы индуктора, его рабочая часть заливается прочной электроизоляционной и теплоустойчивой массой. Индуктор совмещается с керамической насадкой, обеспечивающей равномерную подачу защитного газа в процессе сварки.

5.6. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ КОНТАКТНОЙ МИКРОСВАРКИ

Общие сведения и основные требования к оборудованию для контактной микросварки (КМСС) во многом аналогичны изложенным выше. Следует отметить, что принятая система обозначения контактных машин применяется только для серийных моделей, изготавливаемых предприятиями электротехнической промышленности. Машины для контактной микросварки изготавливаются предприятиями других отраслей промышленности и имеют принятые в них обозначения (табл. 5.11).

Энергоснабжение оборудования КМСС характеризуется небольшой потребляемой мощностью (как правило, не более 1...2 кВт·А) и обычно имеют однофазное питание от сети 50 Гц, причем многие точечные конденсаторные машины малой мощности могут питаться и от осветительных сетей напряжением 220 В.

Универсальное оборудование для конденсаторной микросварки. Это оборудование, и в первую очередь серийное, имеет следующие характерные особенности [13, 17].

Как правило, сварщики работают на нем в сидячем положении, опираясь локтями рук на рабочий стол, встроенный в машину.

5.11. Характеристика серийного универсального оборудования для точечной и рельефной контактной микросварки

Показатели	ТКМ-14, ССП-3	ССП-2А	МТК-1601	ТКМ-15, ТКМ-17	СС-7, УС.КТМ 6000-1	МТК-2001, МТК-2002	ССП-5	ССПИ-1, КО-102	МТК-2201
Толщина свариваемого металла, мм:									
минимальная	0,01	0,05	0,1	0,05	0,05	0,1	0,05	0,02	0,05
максимальная	0,2	0,5	0,8	0,7	0,6	1,0	0,5	0,3	0,8
Диаметр свариваемого металла, мм:									
минимальный	0,02	—	—	0,2	—	0,4	0,2	0,1	0,2
максимальный	1,0	—	—	1,5	—	2,0	1,5	1,2	1,5
Номинальная сила сварочного тока, кА	3,5	5,0	16,0	16,0	7,0	20,0	17,0	5,0	22,0
Номинальная сила тока подогрева, кА	2,0	—	—	8,0	3,2	6,0	—	2,0	10,0
Пределы регулирования усилия сжатия, даН	0,1... 7,0	0,8... 18,0	3... 63	1... 60	1... 16	8... 90	2... 50	0,1... 5,0	1... 100
Максимальная производительность, сварок/ч	7200	5600	7200	6000	7200	4200	6000	4800	6000
Вылет электродов, мм	90	—	200	150	—	200	150	—	150
Рабочий ход верхнего электрода, мм	15	—	5	15	—	20	25	—	15
Максимальная накопленная энергия, Дж	60	—	240	600	400	600	120	225	600
Механизм сжатия электродов	Пружинный	Пружинный	Пневматический	Пружинный	Пружинный	Пневматический	Пружинный	Пружинный	Пружинный
Привод механизма сжатия	Педальный	Педальный	—	Педальный и педально-пневматический	Педальный	—	Педально-электро-гидравлический	Ручной	Педально-пневматический
Напряжение питающей сети переменного тока частотой 50 Гц, В	380	380	220	220	220	220	380	380	220
Потребляемая мощность, кВт · А	0,3	5,0	2,0	0,8	4,0	3,0	1,0	0,8	0,8
Габаритные размеры, мм	1400×800× ×700	—	1300×1000× ×730	1385×800× ×685	—	800×700× ×1400	1600×1100× ×1180	1290×1025× ×800	1350×770× ×700
Масса, кг	190	—	200	200	250	390	300	195	220

Для изготовления многих изделий радиоэлектроники и средств связи в контактной машине имеется пылезащитная камера, в которой производится микросварка; степень очистки воздуха рабочей зоны — не более пяти пылинок размером 0,8 мкм на один литр подаваемого воздуха.

Механизмы сжатия электродов рассчитаны на сравнительно небольшие силы сжатия (в среднем 2...5 даН), а в ряде случаев, например в области микроэлектроники, еще меньшие. Кроме того, точность задания их очень высокая (1...2% значений сил, заданных по режиму сварки), а гарантированное смещение осей сварочных электродов весьма небольшое (не более 0,01...0,025 мм), что требует очень высокой точности изготовления прецизионных механизмов.

В универсальном оборудовании для КМСС чаще всего применяется ножной (значительно реже ручной) привод электродов, что обусловлено трудностями механизации и автоматизации сборки и установок свариваемых деталей между электродами машины. При очень малых размерах свариваемых деталей (микроэлектроника, прецизионное приборостроение и др.) возникает необходимость в применении оптических устройств (лупы, микроскопа). Надежное функционирование типовых устройств автоматической подачи деталей в рабочую зону сдерживается несоответствием конструкций свариваемых деталей следующим основным требованиям автоматической сборки: симметричности по возможно большему числу размеров или полной асимметричности; стабильности базовых размеров и поверхностей деталей, посадке деталей с гарантированным натягом и зазором; соотношению основных размеров 1,5...20:1 [14].

Источники питания должны отличаться высокой стабильностью ($\pm 1...2\%$ заданного значения) сварочного тока. Такие параметры как время сварки, а также сила тока и время подогрева (если такой технологический процесс применяется) отвечают менее жестким требованиям [13, 17] и, как правило, они устанавливаются опытным путем.

В современном оборудовании для контактной микросварки высокая стабильность статических и динамических усилий сжатия электродов F_z обеспечивается [13]: включением тока подогрева (сварки) только после достижения заданного по технологии усилия F_z с помощью специальных датчиков, заблокированных с механизмом сжатия электродов; малой инерционностью подвижной системы механизма сжатия (минимальная масса штока со сварочным электродом, зажимом или роликом; передача усилия F_z от упругого или упругих элементов непосредственно на этот шток; минимальные и постоянные по величине силы трения в опорах перемещения указанного штока или валов сварочных роликов за счет опор качения на стандартных шариках и подшипниках и др.); практическим исключением действия электродинамических сил, сни-

жающих усилие F_z благодаря расположению гибкой токоподводящей шины к верхнему (нижнему) электрододержателю (зажиму) перпендикулярно к нижней (верхней) консоли с электрододержателем (зажимом) и др.

Для стабилизации и минимальных значений активной составляющей сопротивления вторичного контура и тормозного момента на валах в шовных и некоторых других контактных микросварочных машинах используются жидкие токоподводы к вращающимся или перемещающимся элементам вторичного контура.

На рис. 5.12 приведен типовой механизм сжатия электродов для двухточечной или односторонней точечной контактной микросварки. При нажатии на педаль перемещают (в том числе и с помощью, например, пневмопривода) приводную тягу 21 вниз, тем самым с помощью оси 11, втулок 19, пальцев 13, пружин 12 поворачивают оба рычага 17 на шарнирах 18. Эти рычаги концами плоских пружин 8 перемещают в шариковых направляющих штоки 6 с электрододержателями 4, сжимая пружины 7 до тех пор, пока электроды 3 не коснутся свариваемых деталей на рабочем столике электрода 2. После этого происходит изгиб плоских пружин 8 до тех пор, пока вертикальное плечо рычага 17 не упрется в регулировочный винт-упор 20. Если один из рычагов 17 упрется раньше, то в отверстии на горизонтальном верхнем плече этого рычага, сжимая пружину 12, будет проскальзывать палец 13 с буртом. Дальнейшее перемещение приводной тяги 21 при упоре вертикальных нижних плеч обоих рычагов 17 в винты-упоры 20 обуславливает сжатие обеих пружин 12 и более жесткой (чем пружина 12) пружины 16. При этом контактные кольца 15, изолированные от корпуса механизма втулками 14, замыкают цепь управления, и импульс сварочного тока проходит через вторичную обмотку сварочного трансформатора, шины 1, 5, электрододержатели 4, электроды 2 и 3, между которыми зажаты свариваемые детали. После выполнения сварки тяга 21 и весь механизм возвращаются в исходное положение.

Затем цикл может повторяться. Следует отметить, что при этом усилие F_z на каждом электроде регулируется и строго фиксируется упором 20. Контроль усилия сжатия F_z осуществляется с помощью индикатора 10 часового типа, установленного в отверстии кронштейна 9. Погрешность задания усилия F_z современными механизмами сжатия для контактной микросварки не более $\pm 1,5\%$.

Для привода механизма сжатия электродов в универсальных машинах контактной микросварки используются также электродвигательные, электрогидравлические, электромагнитные и другие системы.

В связи с затрудненным подводом электродов к месту сварки в ряде случаев используют [13] малогабаритные механизмы сжатия, вмонтированные в ручные инструменты (пистолет, карандаш, пинцет, клещи). Миниатюрные

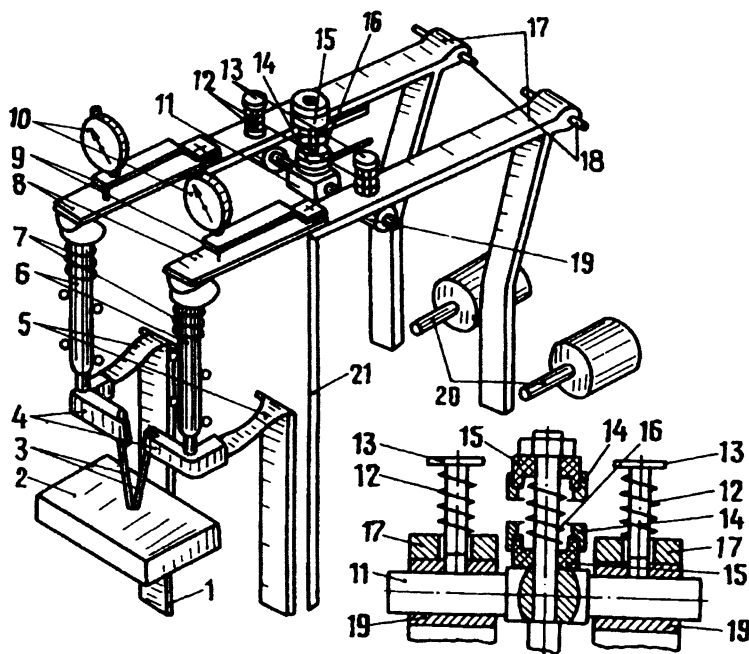


Рис. 5.12. Кинематическая схема механизма сжатия для двухточечной контактной микросварки

клеши (рис. 5.13) имеют закрепленную в корпусе (из оргстекла) 14 неподвижную губку 15 с электродом 16 и гибкой токоподводящей шиной 9. Над неподвижной губкой на оси-шарнире 3 установлена подвижная губка 2 с электродом 1, на которой консольно закреплены плоская рабочая пружина 5, возвратная пружина 4 и гибкая токоподводящая шина 8. На ось-шарнир 3 независимо от подвижной губки 2 посажен рычаг 13 с клавишей 12. В последней размещен регулировочный винт 11, позволяющий устанавливать необходимое усилие F_3 , и закреплена контактная пружина 10. Внутри корпуса 14 жестко установлены микропереключатель 7 и упор 6. Сварка деталей осуществляется следующим образом. Сжимаемая клавишу 12, с помощью пружины 5 и винта 11 поворачивают установленную на оси-

шарнире 3 подвижную губку 2 до соприкосновения электрода 1 со свариваемыми деталями, расположенными на электроде 16. После этого винт 11 прогибает рабочую пружину 5 до тех пор, пока клавиша 12 не достигнет упора 6. При этом с помощью контактной пружины 10 включается микропереключатель 7 и происходит сварка. При отпускании рукоятки с помощью возвратной пружины 4 механизм сжатия возвращается в исходное состояние. Отклонение усилия F_3 от установленного в ручном инструменте не превышает $\pm 2\%$.

Типовые электрические устройства (источники питания) для контактной микросварки переменным током промышленной частоты содержат тиристорный контактор, сварочный трансформатор и регулятор цикла сварки, обеспечивающий жесткое программирование временных и амплитудных значений токов подогрева, сварки и отжига или, в дополнении к указанным компонентам, блоки компенсации, обеспечивающие измерение и компенсацию влияния на режим сварки наиболее существенных возмущений за счет формирования дополнительных воздействий, которые подаются на вход фазовращателя и суммируются с воздействиями от блоков задания времени и тока, что и определяет угол включения α тиристорных контакторов. В современном оборудовании для контактной микросварки эта задача решается на основе микропроцессорной техники [1].

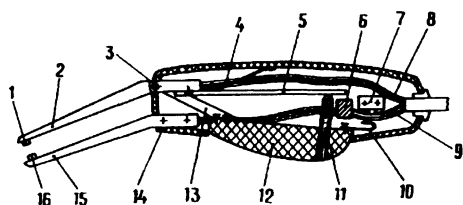


Рис. 5.13. Кинематическая схема механизма сжатия ручных клещей для точечной контактной микросварки

Для контактной конденсаторной микросварки преимущественное распространение получили электрические устройства [13], обеспечивающие заряд батареи рабочих конденсаторов емкостью C_p до выбранного уровня напряжения U_c с погрешностью стабилизации $\pm 1...2\%$ и поддержание этого уровня сколь угодно долго. Заряд конденсаторов осуществляют в основном выпрямительными устройствами с однофазной двухполупериодной мостовой схемой и емкостными токоограничивающими элементами. При равенстве напряжения, пропорционального напряжению U_c на C_p , и напряжения срабатывания порогового блока 2 (рис. 5.14, а) последний включает управляющий клапан выпрямительного блока 1, и зарядка прекращается. Если напряжение U_c понижается (за счет тока утечки), блок 2 включает выпрямительный блок 1 и происходит дозарядка C_p . При сжатии свариваемых деталей с требуемым по технологии усилием F_z датчик усилия 5 дает разрешение на включение управляемого клапана 3 и C_p разряжается на первичную обмотку сварочного трансформатора 4.

В электрических устройствах (рис. 5.14, б) зарядка конденсаторов C_p начинается только при достижении на свариваемых деталях заданного усилия F_z (разрешение на включение выпрямительного устройства 1 дает датчик усилия 5). Когда наступает равенство напряжения, пропорционального напряжению на C_p , и напряжения срабатывания порогового блока 2, последний включает управляемый клапан 3 и C_p разряжается на первичную обмотку сварочного трансформатора 4. Для того чтобы зарядный ток не протекал через трансформатор 4, его первичную обмотку шунтируют неуправляемым клапаном 6. Погрешность стабилизации напряжения U_c здесь также не превышает $\pm 1\%$ [9].

Использование для контактной конденсаторной микросварки электрических устройств первого типа позволяет при всех прочих равных условиях (производительности, толщине свариваемого металла и др.) уменьшить установленную мощность зарядного устройства, так как возрастает время, в течение которого могут заряжаться конденсаторы C_p . Устройства второго типа отличаются простотой. Их следует использовать в тех случаях, когда не требуется высокая производительность, а также при невысокой квалификации обслуживающего персонала (наладчиков).

Широкие технологические возможности имеют электрические устройства для контактной микросварки деталей разрядным током конденсатора [13] при подогреве и отжиге переменным током (например, серийные машины МТК-2001, МТК-2002).

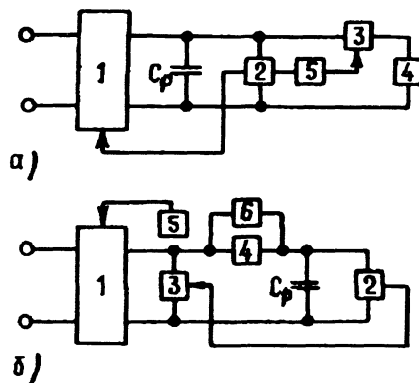


Рис. 5.14. Функциональная схема электрических устройств для контактной конденсаторной микросварки

Электрические устройства для контактной микросварки импульсами тока повышенной частоты выполняются в основном на базе последовательного инвертора (в его диагональ включена батарея рабочих конденсаторов C_p), который обычно питается от буферной батареи конденсаторов C_6 [10], работающей в режиме частичного разряда. Резонансный контур образован батареей конденсаторов C_p , перезаряжаемых при каждом импульсе сварочного тока, и индуктивностями первичной и вторичной обмоток сварочного трансформатора (резонансно-импульсные конденсаторные источники питания для контактной микросварки). В многобатарейных (число батарей рабочих конденсаторов C_p обычно не более 15) конденсаторных источниках питания каждая батарея может заряжаться до разного напряжения, а затем последовательно с заданной частотой разряжаться на первичную обмотку сварочного трансформатора.

Наиболее широко применяемые серийно универсальные машины для точечной и рельефной микросварки представлены в табл. 5.11. На рис. 5.15 показана машина МТК-2201.

Для стыковой контактной микросварки проволок диаметром до 1 мм в промышленности используются в основном конденсаторные машины МСК-0,1-2 (сила осадки проволок 0,2...4,0 даН, сила зажатия проволоки 14,0 даН, расстояние между зажимами 6 мм, производительность до 300 сварок/ч), приведенные в табл. 5.11, в которые встроены устройства (по типу МСК-0,1-2) для крепления, центровки, регулировки установочной длины и усилия осадки проволок. Шовную контактную микросварку металла толщиной 0,05...0,45 мм с двусторонним подводом тока в различных отраслях промышленности выполняют [16] с помощью серийных конденсаторных машин МШК-1602 (К-421М) и МШК-2002 (сила сварочного тока менее 16 кА, усилие сжатия свариваемых деталей 10...150 даН, ход верхнего электрода ме-

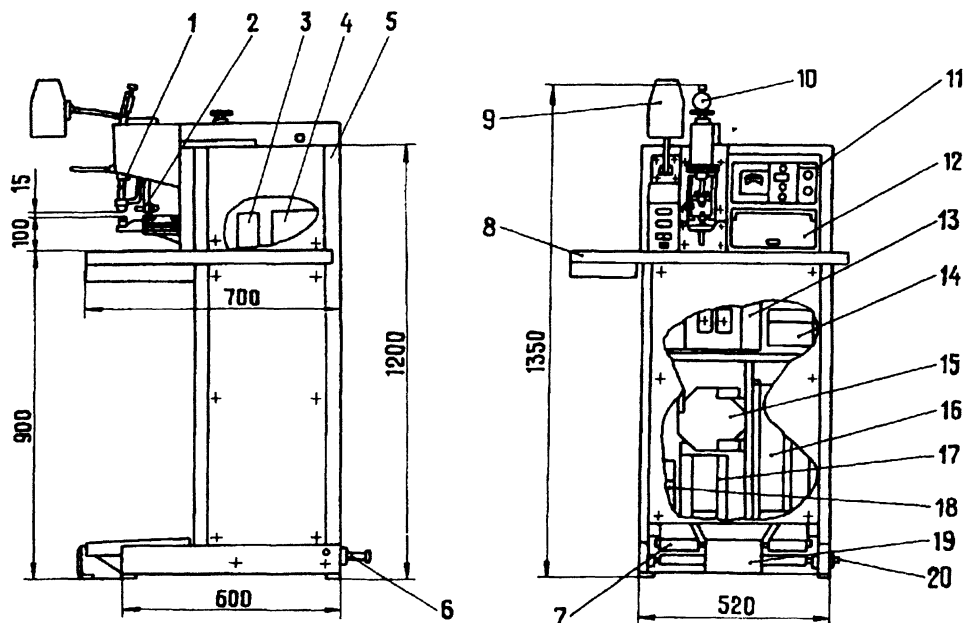


Рис. 5.15. Машина МТК-2201 для точечной и рельефной контактной конденсаторной микросварки:

1 — механизм сжатия электродов; 2 — штатив с лампой; 3 — тиристор разрядный; 4 — выпрямительный мост зарядного устройства; 5 — корпус; 6 — штуцер для подключения пневмосети; 7 — педаль; 8 — стол; 9 — светильник; 10 — индикатор часового типа; 11 — блок управления; 12 — блок штекерных переключателей; 13 — сварочный трансформатор; 14 — блок токоограничивающих конденсаторов; 15 — дроссель; 16 — блок рабочих конденсаторов; 17 — зарядный трансформатор; 18 — панель ввода; 19 — подставка для ног; 20 — болт заземления

нее 80 мм, вылет роликов 200 мм, скорость сварки 2,2...80 мм/с).

Специализированные установки для контактной микросварки. Опыт внедрения контактной микросварки показывает, что применительно к конкретным микросварным узлам универсальные машины легко модернизируются в специализированные (небольшая доработка привода механизма сжатия, создание специальной оснастки для совмещения деталей при сборке, использование типовых устройств для поштучной или групповой выборки деталей из неупорядоченной массы, ориентации их в пространстве относительно заданной системы координат, подачи их без потери ориентации в рабочую зону с заданным ритмом, удаление готового сварного узла из рабочей зоны и др.).

В ряде случаев (например, в специализированных серийных установках Контакт-3А, ЭМ-425А, Я2М2.332.021-01) высокая точность совмещения при односторонней точечной контактной микросварке проволоочных выводов диаметров 25...60 мкм из золота, серебра и контактных площадок из этих материалов, алюминия и тантала, напыленных на диэлектрические подложки полупроводниковых приборов и гибридных интегральных схем достигается пропусканием привариваемой проволо-

ки через боковое отверстие в электроде и установкой контактной площадки корпуса прибора (схемы) под электроды с помощью манипулятора пантографного типа (ход не менее 25×25 мм) и микроскопа типа МБС. Сила сжатия свариваемых деталей регулируется в пределах 0,2...1,2 Н с погрешностью $\pm 10\%$, а производительность составляет 160...250 сварок/ч.

Специальный манипулятор, на который устанавливается корпус прибора (схемы), и микроскоп обеспечивают высокую точность совмещения в установках КО-115М для точечной односторонней контактной конденсаторной микросварки выводов (толщиной 10...150 и диаметром 20...300 мкм) и контактных площадок из различных металлов (толщиной 0,6...50 мкм), нанесенных на диэлектрические подложки. В установках этого типа регулируются следующие основные параметры: сила сжатия на каждом электроде 0,2...40 Н с погрешностью $\pm 5\%$; зазор между электродами 0,01...1,0 мм; сила сварочного тока 50...2000 А с погрешностью $\pm 1\%$; длительность импульса сварочного тока 0,6...20 мс, производительность до 250...300 сварок/ч.

Из специализированных установок для шовной контактной микросварки следует отметить установки с односторонним подводом

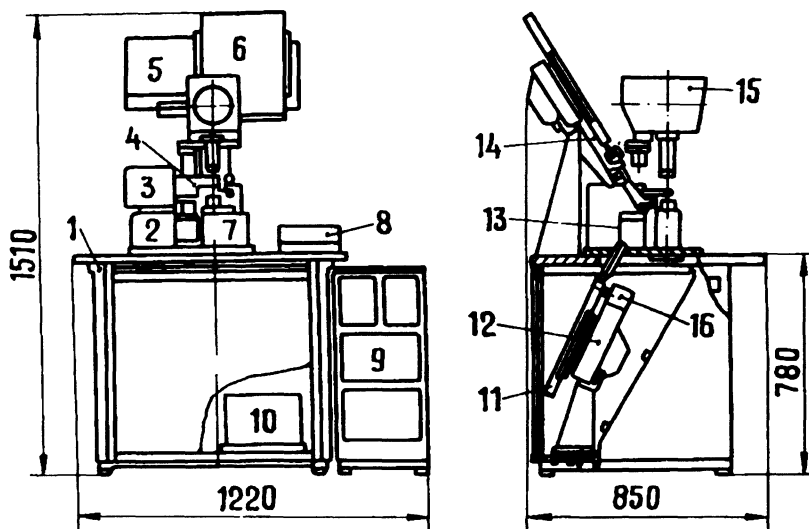


Рис. 5.16. Установка ЭМ-440 для односторонней контактной микросварки:

1 — рабочий стол; 2 — координатный стол; 3 — сварочная головка; 4 — механизм подачи и обрыва проволоки; 5 — загрузочно-разгрузочная система; 6 — сменные кассеты; 7 — поворотная стойка; 8 — пульт управления; 9 — шкаф с электрооборудованием; 10 — блок питания; 11 — подающая кассета; 12 — механизм перемещений; 13 — механизм разгрузки; 14 — питатель разгрузки; 15 — проектор; 16 — верхний осветитель

тока ПТПС-1М [12] и ОЗКС-700 для герметичного соединения крышки из кобальта толщиной 0,1...0,2 мм покрытой золотом толщиной 9 мкм с корпусом интегральной схемы. Основные параметры установки: сила сварочного тока до 400 А; сила сжатия 2...10 Н; скорость сварки 2...10 мм/с. Сварка выполняется в контролируемой атмосфере любого газа.

Высокопроизводительная специализированная установка для контактной микросварки ЭМ-440, приведенная на рис. 5.16, предназначена для автоматического присоединения проволочных выводов из золота и серебра (диаметром 30...40 мкм) к тонким пленкам из золота, никеля и серебра, напыленных на диэлектрические подложки (при производительности до 2500 сварок/ч). Процесс односторонней контактной микросварки на этой установке осуществляется двоярным (расщепленным) электродом при усилиях сжатия 0,1...1,2 Н.

Для односторонней контактной микросварки выводов радиокомпонентов с токоведущими дорожками печатных плат разработан автоматический комплекс АТК-1 планарного монтажа, обеспечивающий производительность до 4 сварок/с. Контактная микросварка сопротивлением успешно применяется в поточных и автоматических сборочно-сварочных комплексах и линиях, на которых, например, изготавливаются электровакуумные и полупроводниковые приборы, резисторы, микросхемы, микрореле, датчики и многие другие изделия.

5.7. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ГАЗОПРЕССОВОЙ СВАРКИ

Оборудование, на котором осуществляется газопрепессовая сварка, должно обеспечивать: нагрев соединяемых поверхностей до заданной температуры с минимальным градиентом температур края и центра изделия к моменту сдвливания заготовок; защиту свариваемых поверхностей от окисления при нагреве; осадку изделия на заданный размер. Естественно, эти задачи могут быть выполнены с применением соответствующих устройств.

Специализированное оборудование для газопрепессовой сварки в основном деталей железнодорожного транспорта включает следующие элементы: устройства для крепления свариваемых деталей; каретку, на которой перемещается горелка; гидравлическое, пневматическое или механическое устройство для сжатия деталей; прибор для контроля режима сварки. Типичным представителем такого оборудования является станок СПГ-1.

При сварке, например, вагонных деталей применяют горелки с расходом ацетилена 1700...4500 л/ч. Кислород подается от баллона через редуктор, а ацетилен, в зависимости от мощности горелки, — от одного или двух ацетиленовых генераторов типа МГ (или другого типа соответствующей мощности) производительностью 2500 л/ч. Устройства с расходом более 2500 л/ч состоят из двух половин, каждая из которых представляет собой отдельную горелку. Для сварки вагонных деталей применяют горелки различных типов (табл. 5.12).

5.12. Техническая характеристика горелок типа МГ для сварки вагонных деталей

Параметры	52	75	40	Р
Число стволов	2	2	1	1
Форма головки	Круглая			Плоская
Расход ацетилена, л/ч	3500	4500	1700	1900

Примечание. 52, 75, 40 и Р — соответственно диаметры свариваемых деталей, мм, и рессорная деталь.

Многопламенные горелки интенсивно нагреваются сварочным пламенем. Нагрев сопловой части выше определенной температуры нарушает нормальную работу. Для предупреждения этого явления многопламенные горелки должны охлаждаться (обычно водой). Нормальная скорость истечения смеси ацетилена и кислорода из сопла зависит от мощности применяемых многопламенных горелок и должна составлять 120...150 м/с. В процессе сварки при снижении давления газовой смеси перед входом в сопла скорость истечения не должна быть меньше скорости горения, чтобы пламя смеси не распространилось внутрь горелки и не повлекло за собой обратного удара.

Комплекс оборудования включает портативную автоматическую машину для сварки и контролирующие устройства выполнения сварочной программы и обратного контроля, базирующегося на изменении осадки. Сварочная машина состоит из нагревательного устройства, включающего газовую горелку и ее регулирующий механизм, приспособления для сдавливания и контролирующей системы для управления операциями.

Основу приспособления для нагрева составляет кольцевая горелка с 18-ю наконечниками для ацетилено-кислородной смеси и четырьмя наконечниками для инъекции ацетилена, которая используется для того, чтобы воспрепятствовать окислению концевых поверхностей соединяемых стержней. Специальными устройствами по заданной программе обеспечивается возвратно-поступательное движение горелки вдоль свариваемых стержней и перпендикулярно к ним. Узел перемещения горелки съемный и прикрепляется к удерживающему стержню приспособлению как сборка, так что может быть использован независимо от положения соединения.

Приспособление для сжатия состоит из электрического масляного насоса, ползуна и держателя стальных стержней. Насос управляется от контролирующей системы так, что создает заданное давление масла ко времени, обусловленному в программе. Держатель имеет две зажимные головки, которые фиксируют положение стержней с помощью болтов. Одна из головок неподвижная, а другая перемещается с помощью ползуна и соединена с измерительным стержнем, определяющим осадку, значение которой направляется в контролируемую систему.

Оборудование легко транспортируется в разобранном на несколько частей виде. Машина позволяет сваривать стержни размером 35...51 мм и может быть модернизирована для других размеров. Регулировка давления газа, скорости его течения, давления масла и осадки в каждой сварке не обязательна, если они предварительно установлены.

5.8. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ КУЗНЕЧНОЙ СВАРКИ

Технологический процесс кузнечной сварки металлов включает нагрев и обжатие. Для нагрева заготовок под сварку применяются нагревательные устройства различных типов, работающие на твердом, жидком, газообразном топливе (пламенные печи и горны) и на электроэнергии [8, 22].

Пламенные печи вследствие универсальности находят широкое применение и до настоящего времени. Существенным недостатком пламенных печей является низкий термический КПД, составляющий обычно 5...6% (10...12% для механизированных полуметаллических печей). Для повышения эффективности использования топлива в пламенных печах применяют подогрев подаваемого воздуха за счет теплоты уходящих дымовых газов в специальных устройствах (рекуператорах или регенераторах) [22]. В табл. 5.13 приведены основные типы пламенных печей и их назначение [8].

Электрические нагревательные устройства (печи сопротивления, установки индукционного и электродоугольного нагрева) менее экономичны по удельному расходу энергии, но позволяют повысить культуру производства и производительность труда, произвести полную автоматизацию и обеспечить высокую стабильность процесса [8].

Камерные печи по размерам условно подразделяют на малые (площадь пода менее 1 м²), средние (1...4 м²) и большие (более 4 м²). Выбор размеров пода обусловлен размерами нагревательных заготовок и производительностью печи. Камерные печи являются агрегатами периодического действия. Заготовки загружаются в них партиями, нагреваются одновременно до заданной температуры, а затем постепенно выдаются для обработки до полной выработки партии. Максимальная температура в рабочем пространстве камерной печи, ра-

5.13. Основные типы пламенных печей

Типы печей	Нагрев заготовок	Устройства подогрева
Щелевые (очковые) одно-, двух- и трехкамерные	Мелких и средних	Двух- и трехкамерные рекуператоры и регенераторы (подогрев заготовок)
Одно-, двух- и трехкамерные с закрывающимися окнами	Разных размеров и небольших слитков при единичном и мелкосерийном производстве	Рекуператоры или регенераторы (или подогрев заготовок)
Шахтные, нагревательные колодцы	Крупных заготовок при единичном производстве	Рекуператоры или регенераторы
Методические	При крупносерийном производстве	Рекуператоры
Открытые или закрытые горны	Мелких и средних при единичном (ремонтные работы) и серийном производстве	—

ботающей на жидком или газообразном топливе, составляет 1300 °С.

Камерные электрические печи сопротивления имеют разные размеры и мощность. Печи серии Н обеспечивают нагрев до 950 °С, а серии Г и СН — более высокую температуру. Техническая характеристика этих печей приведена в табл. 5.14 [8].

Разработка принципиально новых нагревательных элементов (карборундовых, дисилицидмолибденовых) позволила создать камерные печи с рабочей температурой до 1600 °С.

Одним из основных недостатков однокамерных печей является периодичность их работы, в результате чего теряется значительная часть времени на нагрев заготовок последующих партий. Этот недостаток в значительной степени может быть нивелирован применением двухкамерных и трехкамерных печей. При этом за время выработки нагретой партии заготовок в другой (других) камере происходит нагрев следующей партии.

Методические и полуметодические печи имеют отношение полезной ширины пода к

длине соответственно 1:6 и 1:4. При массовом производстве, когда необходимо нагревать много одинаковых заготовок, целесообразно соотношение 1:7—1:10. Преимущество методической печи с удлиненным рабочим пространством — более высокая производительность, равномерный нагрев и высокий термический КПД. Температура отходящих газов в таких печах 600...800 °С, благодаря чему расход топлива в удлиненных печах почти в 2 раза меньше, чем в коротких. Условия нагрева металла в них более благоприятные, чем в камерных, так как заготовки загружаются в зону с минимальной температурой. Перемещение заготовок по поду печи в зоны возрастающей температуры от окна загрузки до окна выдачи осуществляется специальным толкателем.

Муфельные печи могут быть использованы для нагрева небольших заготовок. Они могут работать на жидком или газообразном топливе, а также на электроэнергии. Рабочее пространство образуют керамические (шамот или карборунд) или металлические литые или сварные (жаропрочные сплавы) муфели.

5.14. Техническая характеристика камерных электрических печей сопротивления

Параметры	Серия		
	Н	Г	СН
Номинальная мощность, кВт	15... 75	30... 50	14,6... 235
Размеры рабочего пространства, мм:			
ширина	300... 900	300... 450	300... 850
длина	650... 1800	400... 700	400... 1600
высота	250... 600	250... 350	250... 1000
Максимальная рабочая температура, °С	950	1300	600... 1500
Производительность, кг/ч	50... 350	50... 130	—

Шахтные печи применяют для нагрева заготовок большой длины. Источником теплоты в таких печах могут служить горючий газ или электроэнергия. Шахтные электропечи выпускают двух типов: Ш-35 и Ш-55 с максимальной рабочей температурой 950 °С; Г-65 и Г-95 — до 1300 °С. Обычно шахтные печи серии Г устанавливают в паре с печами серии Ш. Последние в этом случае используются для предварительного подогрева.

Шахтные печи устанавливают или на полу цеха, или при большой их высоте, в специально подготовленных котлованах.

Горны могут быть использованы в ряде случаев для нагрева мелких заготовок. Обычный открытый горн представляет собой корытообразный стол, в углублении которого помещается уголь, а снизу или сбоку подается воздух. Нагреваемая заготовка или ее конец погружается в горящий уголь. Открытые горны малопроизводительны и отличаются повышенным расходом топлива. Поэтому их применяют только в небольших мастерских при ручной ковке для ремонтных работ.

Для нагрева заготовок в серийном производстве используют горны закрытого типа. Обычно их выполняют поворотными. Закрытые горны гораздо экономичнее открытых и позволяют обеспечить рабочую температуру 1300 °С. В качестве топлива в закрытых горнах может использоваться каменный уголь или газ.

Установки индукционного нагрева с автоматизацией подачи заготовок в индуктор, нагревом их в индукторе по заданному режиму и выдачей их для дальнейшей обработки изготовляют двух видов — периодического и методического нагрева. К ним относятся установки для нагрева цветных металлов и сплавов с малым удельным электрическим сопротивлением. Выпускаются установки серий ОКБ, ИК, ИН [8].

Установки электроконтактного нагрева включают: силовой понижающий трансформатор, контактные зажимы, аппаратуру управления, механические устройства перемещения и фиксации нагреваемых заготовок [8]. Сило-

вые трансформаторы для установок электроконтактного нагрева имеют высокий коэффициент трансформации и весьма значительные токи во вторичной обмотке. Для возможности изменения напряжения, подаваемого к заготовке, первичная обмотка трансформатора выполняется секционной. Известны одно- и многопозиционные установки электроконтактного нагрева серий К, Н и др. [8].

Для осуществления процесса кузнечной сварки используют ручные и механические молоты и ковочные прессы.

Ковочные паровоздушные молоты двойного действия предназначены дляковки заготовок средней массы. По типу станины их разделяют на одно- и двухстоечные (арочного и мостового типов).

Ковочные пневматические молоты производят свободную ковку заготовок небольшой массы. Они имеют одностоечное исполнение с параллельно расположенными рабочим и компрессорным цилиндрами. Управление осуществляется двумя совместно вращаемыми кранами (золотниками) с отдельным (средним) для холостого хода.

Ковочные гидравлические прессы предназначены преимущественно для свободнойковки полуфабрикатов из слитков. Они могут быть колонной и рамной конструкции с верхним и нижним приводом. Прессы с нижним приводом могут быть использованы в составе автоматизированного комплекса. Основные параметры и размеры ковочных гидравлических прессов регламентированы ГОСТ 7284—88Е [8].

5.9. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СВАРКИ ПРОКАТКОЙ

Сварку металлов прокаткой производят на тех же станах, что и обычную прокатку. Для нагрева заготовок у прокатных станов устанавливают нагревательные колодцы или методические печи. Существуют следующие типы нагревательных колодцев: односторонние с верхним отоплением одной или двумя горелками, двусторонние с верхним или нижним отоплением, с отоплением из центра пода,

5.15. Техническая характеристика нагревательных колодцев

Параметры	Односторонние с горелками		Двусторонние	Отопление из центра пода	Круглого сечения
	одной	двумя			
Число камер	1—3	1—3	2—3	1—4	1
Размеры рабочего пространства, м:					
ширина	2,0...3,3	2,7...5,5	3,0...4,0	3,0...4,0	3,5...5,0
длина	3,8...8,5	4,5...9,0	3,2...6,5	3,5...5,6	—
высота	3,5...5,3	4,0...5,3	3,8...5,3	1,9...2,6	2,0...2,5
Рабочая температура, °С	600...800	600...800	600...900	600...800	500...600
Масса посадки в камеру, т	40...90	40...160	40...160	50...140	30...100

5.16. Характеристика толстолистовых станов некоторых заводов

Параметры	Ильденбург, Германия	Мариуполь, Украина	Маннесманн, Германия	Оита, Япония	Дилдинген, Германия	Карлсрой, Бельгия	Мицусима, Япония
Размеры заготовки, мм:							
ширина	620... 1600	1100... 1900	2100	1600... 2200	2100	1000... 1800	2200
толщина	150... 450	130... 350	180... 300	200... 300	180... 300	100... 400	150... 500
длина	2500	3400	4000	3600	4000	4100	5250
Размеры листа:							
длина, м	38	31	28	20	50	30	45
ширина, мм	1000... 3000	2000... 3400	Менее 4800	1200... 3550	Менее 4100	Менее 4100	Менее 5100
толщина, мм	6... 63	5... 200	8	6... 50	8... 40	4... 200	4,5... 200
Размеры клетки четырёхвалковой, мм:							
диаметр опорных валков	2200	2100	1950	2000	2150	2100	2400
диаметр рабочих валков	1100	1000	1120	1200	1120	1065	1200
длина бочки	3200	3600	5000	3800	4300	4250	5400
Усилие прокатки, МН	70,0	68,9	72	—	88,3	57,5	100
Мощность двигателя, кВт	2×6400	2×8800	2×8800	2×6000	2×8600	2×4400	2×8000
Момент, МН · м	5,88	6,50	7,70	—	6,00	5,75	—

5.17. Характеристика широкополосовых станов горячей прокатки

Параметры	2500 МКМ	1700 КарМК	2000 НЛМК	2800/1700 ЧерМК	2300/1700 ЧМЗ
Габаритные размеры слябов, мм	172×1740× ×5500	240×1550× ×9500	250×1850× ×10500	250×1530× ×5500	190×4000× ×9060
Масса слябов, т	10	23	36	7, 8	4
Число клетей в чистой группе	6	7	7	6	6
Скорость про- катки, м/с:					
в последней клетки черно- вой группы	1,7	3,14	3,2	—	—
максимальная	12	18	20	9	10
Диаметр валков, мм:					
рабочих	700	700	800	665	800
опорных	1500	1400	1600	1250	1400
Размеры полос, мм	(2... 10)× ×(1250... 2300)	(1,2... 12)× ×(700... 1550)	(1,2... 16)× ×(900... 1850)	(2... 8)× ×(900... 1500)	(2... 8)× ×(700... 1550)
Производитель- ность, млн. т/год	3	4	5,85	1,7	—

круглые с тангенциальным обогревом, секционные. В табл. 5.15 приведена техническая характеристика нагревательных колодцев.

В зависимости от размеров заготовок сварка может производиться на блюмингах, толстолистовых и широкополосовых станах горячей прокатки.

Одноклетевые двухвалковые реверсивные блюминги получили наибольшее распространение. В зависимости от диаметра валков их условно можно разделить на три группы: большие (1200...1500 мм), средние (1050...1150 мм) и малые (850...1000 мм). Широко применяются блюминги с валками диаметром 1150...1300 мм [22]. На многих блюмингах прокатывают также слябы.

Толстолистовые станы для прокатки листов большой толщины могут содержать двух-, трех- и четырехвалковые клетки. Двухвалковые клетки (с рабочим валком диаметром 900...1250 мм и длиной 3000...3500 мм) на современных толстолистовых станах не применяют, так как вследствие большого прогиба валков лист имеет значительную разнотолщинность. Увеличение диаметра валков ограничено необходимой степенью обжатия.

Трехвалковые клетки Лаута имеют средний валок диаметром 500...755 мм, опорные — 800...1100 мм. При прокатке листов большой толщины чаще всего применяют четырехвалковые клетки с рабочими валками диаметром 900...1200 мм и опорными — 1800...2400 мм. Сравнительно небольшие диаметры рабочих валков трех- и четырехвалковых клетей обеспечивают значительные степени обжатия ме-

талла. В то же время их прогиб благодаря большим диаметрам опорных валков несущественен. Характеристика некоторых толстолистовых станов приведена в табл. 5.16.

Широкополосовые станы горячей прокатки обеспечивают получение 80...90% горячекатаного листового металла непрерывным или полунепрерывным способом (НШПС или ПНШПС). Можно выделить три поколения станов НШПС и ПНШПС [2, 22]. На станах первого поколения прокатывают слябы массой менее 12 т с максимальной скоростью 14 м/с. Такой стан состоит из 10—12 клетей (четыре-пять черновой группы и пять-шесть чистой). Так, стан НШПС 2500 Магнитогорского металлургического комбината предназначен для прокатки полос толщиной 2...10 мм и шириной 1250...2300 мм. Особенностью черновой группы клетей этого стана является четырехвалковая уширительная клеть.

У станов второго поколения масса прокатываемых слябов достигает 45 т, а скорость прокатки в последней клетке 20...22 м/с. Черновая группа стана имеет пять-шесть, а непрерывная чистовая — шесть-семь четырехвалковых клетей. Представителями станов второго поколения могут служить НШПС 1700 Карагандинского и 2000 Новолипецкого металлургических комбинатов, предназначенные для горячей прокатки полос толщиной 1,2...16 мм и шириной 700...1850 мм. В табл. 5.17 приведена техническая характеристика некоторых широкополосовых станов.

Для станов третьего поколения характерна высокая скорость прокатки (менее 30 м/с),

большая масса слябов (менее 60 т), объединение двух-трех черновых клетей в непрерывную подгруппу, увеличение числа клетей в чистовой группе до восьми-девяти.

Наряду с непрерывными широко распространенные получили полунепрерывные обычные и комбинированные станы. Черновая группа обычного ПНШПС состоит из клетей с вертикальными валками и из реверсивной — с горизонтальными. После прокатки в черновой группе весь металл поступает в чистовую группу клетей. Примером такого стана является ПНШПС 810 Новосибирского металлургического завода. У комбинированных ПНШПС черновая группа фактически представляет собой толстолистовой стан, а чистовая — аналогична чистовой группе НШПС. Металл, прокатанный в черновой группе, может быть направлен в чистовую или на отделку и термообработку. Представителями ПНШПС являются станы 2800/1700 Череповецкого металлургического комбината и 2300/1700 Челябинского металлургического завода [22].

Вакуумные прокатные станы позволяют сваривать прокаткой легкоокисляющиеся металлы. Такой стан включает в себя переднюю и заднюю форкамеры, вакуумные камеры с нагревательной печью и рабочей клетью и вакуумную систему. Однако мощность вакуумных станов и габаритные размеры прокатываемых листов небольшие. Примером вакуумного прокатного стана является стан МИСиС-210.

5.10. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ХОЛОДНОЙ СВАРКИ

Оборудование для холодной сварки предназначено, как правило, для стационарных условий. Оно имеет гидропривод, реже пневматический или пневмогидравлический. Ручной инструмент применяется только для стыковой сварки проводов небольших сечений. К особенностям оборудования относятся:

минимальная энергоемкость (энергетические затраты оборудования для холодной свар-

ки определяются главным образом приводным двигателем гидронасосной станции; в самой мощной машине для стыковой сварки МСХС-12003 силой 1200 кН мощность составляет 30 кВт·А);

высокая производительность, определяемая только приводом, так как скорость осадки на качество сварного соединения не влияет;

возможность полной автоматизации, определяемая тем, что все основные параметры легко программируются;

стабильность качества сварных соединений, обеспечиваемая путем автоматизации процесса.

Машины для точечной сварки содержат силовой привод, сварочный штамп (или сварочную головку), элементы схемы и аппаратуру управления. Автоматы и полуавтоматы имеют узлы подготовки (зачистки) поверхностей деталей под сварку. В машинах для точечной сварки при усилении, не превышающем 500 кН, можно применять пневмогидропривод. При больших сварочных усилиях применяют гидропривод. Давление масла создается насосной станцией, состоящей из насоса с приводным электродвигателем, распределительного и разгрузочного клапанов. Как правило, применяют ротационные (лопастные) насосы, создающие рабочее давление до 10 МПа при подаче 0,3...1,1 л/с. Силовой привод давления должен обеспечивать требуемые усилия и производительность машины, а также возможность контроля давления в момент окончания сварки.

Одним из наиболее важных узлов машины для точечной сварки является сварочный штамп (рис. 5.17). Штамп имеет сменные пуансоны. Число их соответствует требуемому числу сварных точек в соединении. Сварка всех точек производится одновременно. Машины для шовной сварки пуансоном с рабочим выступом кольцевой формы во многом подобны машинам для точечной сварки,

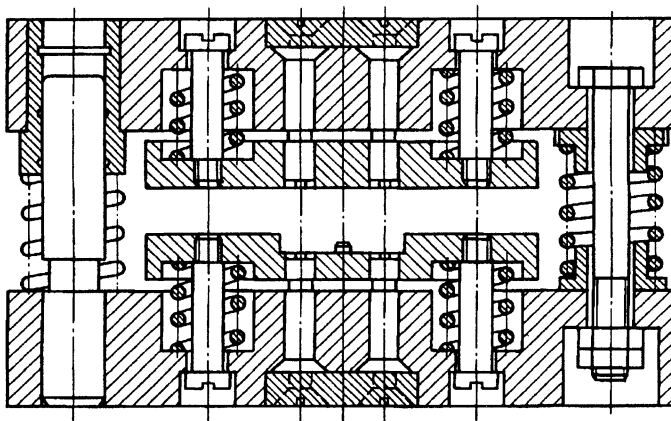


Рис. 5.17. Типовой штамп для точечной холодной сварки

логичный штампу машины для точечной сварки. Отверстие губок, закрепленных в сварочной головке, должно быть соосно пуансону, расположенному в центральной части штампа. Машина имеет зачистное устройство, с помощью которого производится подготовка поверхностей деталей к холодной сварке.

Электрическая схема позволяет осуществлять работу в полуавтоматическом или наладожном режиме. В исходном положении подвижная плита пресса находится в верхнем положении, зачистное устройство — за рабочей зоной, зажимные губки сварочной головки и штамп раскрыты. После установки пластины в гнезде штампа нажатием кнопки на пульте осуществляют зажатие пластины в штампе. Вторая деталь (пруток) устанавливается в губках с требуемым для сварки вылетом и также зажимается после нажатия второй кнопки пульта. При нажатии на третью кнопку на пульте последовательно осуществляются следующие операции:

быстрый подвод зачистного устройства из исходного положения в зону сварки; по достижении заданного положения — включение вращения шеток;

медленное перемещение зачистного устройства по направлению к оператору, зачистка детали, закрепленной в штампе, остановка зачистного устройства;

включение реверса — вращение шеток в противоположном направлении, зачистка детали, зажатой в губках сварочной головки;

быстрый отвод зачистного устройства в исходное положение;

быстрое перемещение вниз сварочной головки (холостой ход при низком давлении масла в рабочем цилиндре пресса);

медленное перемещение вниз сварочной головки (рабочий ход при высоком давлении масла в цилиндре пресса) — сварка;

раскрытие штампа и освобождение нижней (плоской) детали;

подъем сварочной головки на небольшую высоту (например, 20 мм), извлечение сваренного изделия из гнезда штампа;

раскрытие губок сварочной головки; пруток, приваренный к пластине, освобождается;

быстрый подъем сварочной головки в исходное положение (сваренное изделие удаляется из рабочей зоны машины).

В наладожном режиме каждая из указанных операций может быть выполнена независимо от других.

Оборудование для холодной сварки можно разделить на два основных типа: общего назначения — для сварки одностипных деталей в определенном диапазоне сечений; специальное — для сварки единственной пары деталей или двух-трех пар, близких по форме и размерам сечения.

Оборудование для точечной сварки. Точечная холодная сварка осуществляется в основном в стационарных условиях. При необходимости ее проведения в монтажных условиях могут быть использованы малогабарит-

ные ручные прессы ПГР-20 и гидропрессы с электроприводом ПГЭП-2 и ПГЭ-20. Они развивают усилие до 100 кН. При использовании такого гидропресса для холодной сварки на нем устанавливают специальную стальную скобу, кондуктор, с помощью которого зажимают свариваемые шины, и сменные пуансоны. Техническая характеристика оборудования общего назначения для точечной холодной сварки приведена в табл. 5.19. Наиболее широкое применение в промышленности нашла машина МХСА-50-3.

Назначение и основные данные по специальным машинам и установкам для точечной холодной сварки сведены в табл. 5.20.

Оборудование для шовной сварки. Техническая характеристика машин для шовной сварки (холодной) представлена в табл. 5.21.

В отдельную группу шовных сварочных машин выделены полуавтоматы для герметизации таблеточных силовых полупроводниковых приборов (СПП), техническая характеристика которых приведена в табл. 5.22.

Эти машины объединяет наличие вакуумируемой камеры штампа (К609М.02 и Х104) или стакана (Х106) и системы газообмена для создания во внутренней полости СПП заданной среды. В автоматический цикл работы этих машин введены операции откачки воздуха из внутренней полости камеры, а вместе с ней прибора с последующим заполнением их газом заданного состава. Цикл газообмена может быть повторен необходимое число раз.

Оборудование для стыковой сварки. Стыковая холодная сварка проводов небольших сечений может производиться на клещах и приспособлениях с ручным приводом и на машинах с пневмоприводом (табл. 5.23). Наиболее широкое применение в промышленности получила машина МХСХ-5-3. Техническая характеристика машин-полуавтоматов для стыковой сварки общего назначения приведена в табл. 5.24, а специальных машин с гидроприводом — в табл. 5.25. Наиболее распространены машины МХСХ-2005 и МХСХ-12003.

Оборудование для сварки тавровых соединений. Такие машины (табл. 5.26) позволяют получать соединения деталей, расположенных перпендикулярно одна по отношению к другой. Машины МХС-40001 и МХС-250.01 разработаны на базе стандартного гидравлического пресса, а машина МХС-120.01 специальная, состоит из сварочной части и связанной с ней трубопроводом насосной станции. Машины имеют полуавтоматический сварочный цикл. Вручную производится только установка заготовок и съем готового изделия. Все остальные операции автоматизированы.

5.11. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ДИФфуЗИОННОЙ СВАРКИ

Сварочные диффузионные установки могут быть предназначены для единичного, серийного и поточного-массового производства. Разработано несколько десятков типов установок, конструкции которых определяются раз-

5.19. Техническая характеристика оборудования для точечной сварки

Показатели	УГХС-5-2	УГХС-10	МХСА-50-3	ПП-1	МХСА-120
Назначение	Сварка деталей внахлестку		Армирование алюминиевых деталей медными накладками	Прихватка перед армированием	Армирование алюминиевых деталей медными накладками
Толщина алюминиевой детали, мм, не более	5	8	—	20	—
Размеры армируемых участков, мм, не более	—	—	60×60	120×120	120×120
Сила прижатия, кН	50	100	500	10	1200
Привод	Пневмогидравлический			Пневматический	Гидравлический
Давление сжатого воздуха, МПа	0,4	0,4	0,5	0,5	—
Напряжение питающей сети, В	—	—	—	—	380
Потребляемая электрическая мощность, кВт	—	—	—	—	10
Производительность, сварок/ч	400	300	300	1200	120
Габаритные размеры, мм	640×550××650	890×570××1090	680×400×1430	300×200×600	1200×680×1730
Масса машины, кг	120	150	250	40	1400

5.20. Техническая характеристика машин и установок для точечной сварки

Показатели	МТХС-901	МТХС-1201	МТХС-1001	МТХС-120.01	Установка для сварки охладителей
Сварка элементов	Бобышки с корпусом молочной фляги	Ручки с корпусом кастрюли	Ручек с корпусом молочной фляги	Алюминиевой фольги	Ребер с основанием охладителей
Сила сжатия, кН	90	120	150	1200	4000
Привод	Пневматический			Гидравлический	
Напряжение питающей сети, В	—	380	—	380	380
Потребляемая электрическая мощность, кВт	—	210	—	5,5	10
Давление сжатого воздуха, МПа	0,4	0,4	0,4	—	—
Давление масла, МПа	—	—	—	10	30
Производительность, сварок/ч	300	200	240	100	60
Габаритные размеры, мм	900×680××1960	2030×885××1140	1600×1330××1900	1680×1000××650	1250×1250××4260
Масса, кг	1400	1700	2400	2500	10500

5.21. Техническая характеристика машин с гидроприводом для шовной сварки алюминиевых деталей

Показатели	МХС-801	МХС-1201	МХС-2501	МХС-5001
Сварка элементов	Трубчатого контейнера с дном и крышкой	Обечайки с дном и крышкой источника тока	Банки с коробчатой крышкой	Крышки с корпусом конденсатора
Размеры сечения изделия, мм	Ø 34	145×80	Ø 100	Ø 125
Сила зажатия, кН	80	120	250	500
Напряжение питающей сети, В	380	380	380	380
Потребляемая электрическая мощность, кВт	4,0	4,0	5,5	6,0
Давление масла, МПа	10	10	10	10
Производительность, сварок/ч	200	100	350	100
Габаритные размеры, мм:				
машины	1470×1000×1200	1120×860×700	1230×540×1730	1040×1040×1880
насосной станции	—	1600×1200×1480	1080×800×1120	1520×1100×2300
Масса, кг:				
машины	500	2000	1350	1600
насосной станции	—	1500	400	1400

5.22. Техническая характеристика машин для герметизации таблеточных СПП холодной сваркой толщиной 0,5 мм

Показатели	K609M.02	X104	X106
Сварка элементов	Крышки с корпусом		
Свариваемые материалы:	Медь МОб		
крышки	Медь МОб, 42Н, 47НД		
манжеты корпуса			
Диаметр шва, мм	35... 90	35... 150	35... 76
Сила прижатия, кН	800	1250	250
Привод	Гидравлический:		
	с мультипликатором		прямого действия
Напряжение питающей сети, В	380	380	380
Мощность двигателя, кВт	7,5	11	11
Давление масла в системе, МПа	7	7,5	10,5
Рабочее давление масла в цилиндре, МПа	60	67,5	10,5
Число позиций	1 или 2	1	1
Ход подвижного элемента машины	Рама, сверху вниз		Шток, снизу вверх
Величина хода, мм	140	125	80
Производительность, сварок/ч	180	200	до 300
Габаритные размеры, мм:			
машины	1300×1040×1870	1300×1660×2330	180×970×1470
насосной станции	1850×990×1470	900×960×1470	900×960×1700
Масса, кг:			
машины	1500		820
насосной станции	930		610

5.23. Техническая характеристика оборудования для стыковой холодной сварки

Показатели	Клещи КС-6	Станок СНС-3	Машина МСХС-0,8-2	Машина МСХС-5-3
Площадь сечения свариваемых проводов, мм ² :				
алюминиевых	2,0... 10	2,5... 10	0,5... 7,0	2... 30
медных	2,5... 10	2,5... 10	0,5... 4,0	2... 20
алюминиевых с медными	2,5... 10	2,5... 10	0,5... 4,0	2... 20
Сила сжатия, кН	12	30	8	50
Привод	Ручной		Пневматический	
Давление сжатого воздуха, МПа	—	—	0,4	0,4
Производительность, сварок/ч	—	—	150	200
Габаритные размеры, мм	—	—	420×320×320	485×320×300
Масса, кг	1,4	12	35	62

5.24. Техническая характеристика машин-полуавтоматов с гидроприводом

Показатели	МСХС-802	МСХС-2005	МСХС-12003
Сечение подлежащих сварке проводов (шин), мм ² :			
алюминиевых	6... 100	30... 200	100... 1500
медных	6... 50	30... 125	100... 1000
алюминиевых с медными	6... 80	30... 125	100... 1000
Сила сжатия, кН	80	200	1200
Потребляемая электрическая мощность, кВт · А	10	10	30
Производительность, сварок/ч	240	205	80
Габаритные размеры, мм	1240×915×1430	1240×1000×1530	1700×1450×1700
Масса, кг	800	900	3200

5.25. Техническая характеристика специальных машин для стыковой холодной сварки

Показатели	МСХС-4001	МСХС-8002	К-610	МСХС-2004
Сварка элементов	Опорных колец	Контактных колец	Транспонированных проводов	Контактных (троллейных) проводов
Свариваемый материал	Алюминий	Медь	Медь	Медь
Максимальный диаметр кольца, мм	360	145	—	—
Сила сжатия, кН	400	800	150	200
Сечение свариваемого материала, мм ²	400	600	70	100
Потребляемая электрическая мощность, кВт	5,5	10	7	5,5
Давление масла, МПа	10	5	5	10
Производительность, сварок/ч	180	120	60	60
Габаритные размеры, мм	1020×670×1560	1560×1170×1700	2030×980×1140	1020×720×1180
Масса, кг	1200	2700	1325	650

5.26. Техническая характеристика специальных машин для сварки тавровых соединений

Показатели	МХС-40001	МХС-250.01	МХС-120.01
Сварка элементов	Медного цилиндрического вывода с алюминиевой шиной ком-плектно-распределительного устройства	Латунного вы-вода с алюми-ниевой обмоткой трансформатора	Тавровых и угловых соединений плоских шин
Сила сжатия, кН	4000	2500	1200
Напряжение питающей сети, В	380	380	380
Потребляемая электрическая мощность, кВт	45	45	12
Давление масла, МПа	36	32	10
Производительность, сварок/ч	50	60	60
Габаритные размеры, мм	2700×800×4000	3700×2100×4150	3300×1000×2000
Масса, кг	14000	14000	4500

мерами и конфигурацией свариваемых деталей, характеристикой соединяемых материалов, заданной производительностью и требованиями, предъявляемыми к сварному соединению.

Диффузионная сварка может быть осуществлена в вакууме, на воздухе, в среде инертного или углекислого газа, в водороде или в расплаве солей. Наиболее широко применяют сварочные диффузионные вакуумные установки (СДВУ). Основными частями СДВУ являются: вакуумная сварочная камера; системы нагрева, сжатия, создания вакуума и охлаждения; система управления процессом диффузионной сварки, содержащая датчики первичной информации, блоки преобразования и усиления сигналов; микропроцессорная управляющая машина и исполнительные механизмы.

Конструкции установок диффузионной сварки можно классифицировать по отдельным узлам, системам, а также по характеру работы [6]. По способу управления различают установки с ручным, полуавтоматическим и автоматическим управлением. Установки могут иметь механический, гидравлический или пневматический способы передачи давления. По конструктивному исполнению СДВУ различают однокамерные, двухкамерные, многокамерные, роторные, шлюзованные, одностенные, многостенные, с высоким вакуумом, с местным вакуумом, с низким вакуумом.

Принцип работы установки следующий: подготовленные к сварке детали устанавливают в вакуумной камере, после чего к ним прикладывается сжимающее усилие при помощи соответствующего привода сжатия. Камера герметизируется и в вакуумной системой в ней создается разрежение, по достижении которого нагреватель соответствующего типа, подключенный к источнику питания, осуществляет нагрев свариваемых деталей до необходимой температуры. Детали выдерживаются

при этой температуре и заданном сжимающем усилии определенное время и затем охлаждаются. По достижении нужной температуры в камеру подается атмосферный воздух и сваренные детали извлекаются из вакуумной камеры. После этого цикл повторяется.

Основные требования, предъявляемые к вакуумным камерам, — их герметичность, прочность, термостойкость и обеспечение отвода мощных тепловых потоков (особенно при сварке крупногабаритных изделий). Обычно вакуумные камеры для диффузионной сварки изготовляют сварными из коррозионно-стойкой стали или сборными из алюминиевых сплавов с водоохлаждаемыми стенками. Изготовлены и работают в основном однокамерные установки.

Для нагрева свариваемых деталей используют различные способы, среди которых наибольшее распространение получили индукционный, электроконтактный, радиационный, электронно-лучевой, тлеющим разрядом. Выбор того или иного способа нагрева определяется технической или экономической целесообразностью при решении конкретных задач. В зависимости от способа нагрева выбирают источники питания: генераторы, трансформаторы, выпрямители и т. д.

Системы давления, используемые в установках диффузионной сварки, обеспечивают регулировку нагрузок от нескольких десятков единиц до нескольких десятков тысяч ньютонов. Разработаны нагружающие устройства, позволяющие проводить осадку с заданной скоростью деформации, а также сжимать соединяемые детали по определенной программе или вести процесс сварки в циклическом режиме. Получает развитие аппаратура с ударным нагружением. При изготовлении микроизделий электронной техники применяют механизм сжатия с автоматической корректировкой сварочного давления с учетом разности

5.27. Техническая характеристика установок диффузионной сварки в вакууме

Тип установки	Нагрев		Максимальная сила сжатия, кН	Размеры рабочей камеры, мм
	Способ	Максимальная температура, °С		
П-114	Радиационный	1300	500	800×800×1800
П-115*	“	1200	400	400×400×400
П-133	“	1350	100	500×500×1000
ДФ-101**	“	1200	60	Диаметр 700, высота 700
МДВ-301	Индукционный	1500	30	420×432×480
УСДВ-630	“	1000	6300	1050×1100×1000
УДВМ-201	Радиационный	1100	18	850×800×700
МВТ-63	Электроконтактный	1000	160	825×280×275
МДВМ-301*	“	700	150	710×740×225
ДСВ-901	Радиационный	1000	20	Зона нагрева 200×200×200
УДС-4	Индукционный	1500	100	500×550×500
УДС-3М*	“	1500	10	280×280×280
СДВ-50/006	Индукционный или радиационный	1200	50	400×420×420

* Двухкамерная установка.

** Многокамерная карусельного типа.

атмосферного и рабочего давления в вакуумной камере.

Система управления и измерительная аппаратура позволяют проводить автоматическую запись всех параметров процесса и обеспечивают контроль и стабильное поддержание режимов сварки.

В табл. 5.27 представлена техническая характеристика некоторых установок. Следует отметить, что в настоящее время универсальные установки серийно не выпускаются и поэтому представлены данные на установки специального назначения, которые предназначены для сварки определенных изделий.

Перспективными направлениями развития установок диффузионной сварки являются создание отдельных блоков (вакуум, нагрузка, нагрев), к которым стыкуется рабочая камера необходимых размеров, и дальнейшая автоматизация цикла сварки.

5.12. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СВАРКИ И РЕЗКИ ВЗРЫВОМ

При сварке и резке металлов взрывом обычно применяют заряды взрывчатого вещества массой от нескольких граммов до нескольких тонн. При этом лишь незначительная часть выделяющейся при взрыве энергии расходуется полезно. Результатом взрыва является распространение в окружающую среду ударных волн, сейсмических возмущений, раз-

лет осколков, загрязнение атмосферы токсичными продуктами детонации (главным образом оксидами углерода и азота, хлором, сероводородом, сернистым ангидритом) и др. [5]. Наиболее опасный поражающий фактор открытого взрыва — воздушная ударная волна. Например, при взрыве заряда массой в 1 т радиус опасной зоны по воздействию воздушной ударной волны на здания и сооружения составляет 1600 м, а на человека — 150 м. Сейсмическое действие взрыва сильно локализовано и его радиус растет очень незначительно при увеличении массы заряда. Наличие вредных побочных факторов взрыва вынуждает использовать при сварке и резке взрывом взрывные камеры, или осуществлять ее на открытых полигонах, удаленных, как правило, на значительное расстояние от жилых зданий и промышленных сооружений.

Полигоны занимают значительные площади. Например, для зарядов ВВ массой порядка 500 кг необходима площадь около 100 га. При выборе участка для полигона следует учитывать специфику операций, для которых он предназначен, номенклатуру и габаритные размеры изделий, максимальную массу зарядов, транспортную обеспеченность, отсутствие жилых строений, линий электропередач и др. [9]. Основное преимущество сварки взрывом на полигонах — возможность изготовления заготовок и изделий практически неограниченных размеров. Площадкой на поли-

гоне служит обычно земляной грунт, на который насыпается слой песка. Если грунт мягкий (чернозем, глина и пр.), то под слой песка укладывают гравий или щебень. Толщина слоя песка не превышает 2 м, гравия или щебня менее 1 м. При сварке заготовок зарядами массой более 200 кг слой песка необходимо располагать на скальном основании или искусственном фундаменте (бетон, стальные слэбы, шпалы и др.). Если требования к остаточным деформациям крупногабаритных изделий достаточно жестки, то применяют многоэлементные опоры сложной конструкции [3, 9]. В последнее время материалом опор служит стальная или чугунная дробь [3, 9, 15]. Такие опоры при их относительно низкой стоимости обладают рядом преимуществ: несжимаемы, имеют высокую насыпную плотность ($5,5...5,8 \text{ г/см}^3$), транспортабельны, способны повторять сложную пространственную конфигурацию заготовок, неразрушаемы при взрыве.

Помимо опор при сварке взрывом в качестве специальной оснастки используют подкладные элементы, предотвращающие недопустимые макродеформации свариваемых изделий. Взрывчатое вещество обычно размещается в контейнерах, повторяющих конфигурацию поверхности метаемого тела и задающих размеры заряда. Начальные сварочные размеры — зазор и угол (при угловой схеме сварки) фиксируются либо с помощью установочных элементов, либо путем придания подлежащим сварке поверхностям нужной геометрии. Эта сварочная сборка обычно нарушается при взрыве. На рис. 5.19 показаны типичные схемы сборки для сварки взрывом цилиндрических и плоских заготовок.

Ритмичность работ на открытых полигонах существенно зависит от климатических и природных условий; их удаленность от перерабатывающих производств и обусловленные этим транспортные расходы существенно удорожают продукцию. Потребность отчуждения под полигоны больших площадей, химическое физическое загрязнение окружающей среды делают весьма проблематичным строительство достаточно мощных полигонов.

Наиболее перспективны для локализации побочного поражающего действия взрыва взрывные камеры, которые по существу являются основным специальным оборудованием при металлообработке взрывом. Они позволяют выполнять технологические операции либо непосредственно в цехе, либо на территории металлургических или машиностроительных предприятий при практически полном исключении экологических загрязнений [9]. Взрывные камеры различной мощности (определяемой предельной массой заряда) используют главным образом при сварке, упрочнении заготовок и изделий, прессовании порошков, синтезе новых материалов взрывом. Что касается резки взрывом, то во взрывных камерах она выполняется почти исключительно в исследовательских целях. Как правило, резке взрывом подвергают стационарные или мо-

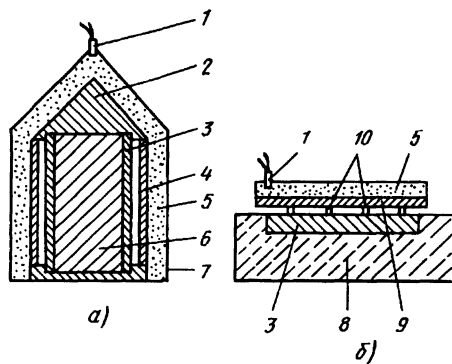


Рис. 5.19. Схемы сборки для сварки взрывом заготовок:

а — цилиндрических; б — плоских; 1 — электродетонатор; 2 — конус из инертного материала, формирующий кольцевой фронт детонации; 3 — плакируемая заготовка; 4 — плакирующая труба; 5 — заряд взрывчатого вещества; 6 — металлический стержень (подкладной элемент); 7 — контейнер; 8 — опора; 9 — плакирующий лист; 10 — подкладки, устанавливающие начальный зазор

бильные металлоконструкции в местах их нахождения (например, элементы ракетно-космической техники, нефтепродукто- и водопроводы, крупногабаритные пространственные конструкции, основания морских стационарных платформ) или в условиях полигонов (ракеты средней дальности, бронетанковая техника и др.).

Традиционно взрывные камеры представляют собой гладкие цилиндрические или сферические тонкостенные герметичные оболочки, снабженные загрузочными люками с крышками и предметным столом (опорой). Они оснащены системами вакуумирования, вентиляции, загрузки заготовок и изделий с зарядами взрывчатого вещества, системами их инициирования, цепями управления и блокировки. Установлено, что вакуумируемые (обычно до давлений в несколько мм водяного столба) взрывные камеры не обладают более высокой несущей способностью по сравнению с невакуумируемыми, поэтому их применяют довольно редко.

Конструкция взрывной камеры зависит от вида и размеров свариваемых объектов, типа и массы предельных зарядов и серийности производства. Последним определяется также рациональная степень их механизации или автоматизации. На рис. 5.20, а приведена эксплуатируемая в ИЭС им. Е. О. Патона в лабораторных условиях технологическая взрывная камера, рассчитанная на заряд массой менее 1 кг. Предметный стол связан с крышкой, подвешенной на траверсе и имеющей возможность перемещаться по ней на катках. В выдвинутом положении крышки на стол с подложкой опорой устанавливаются свариваемые

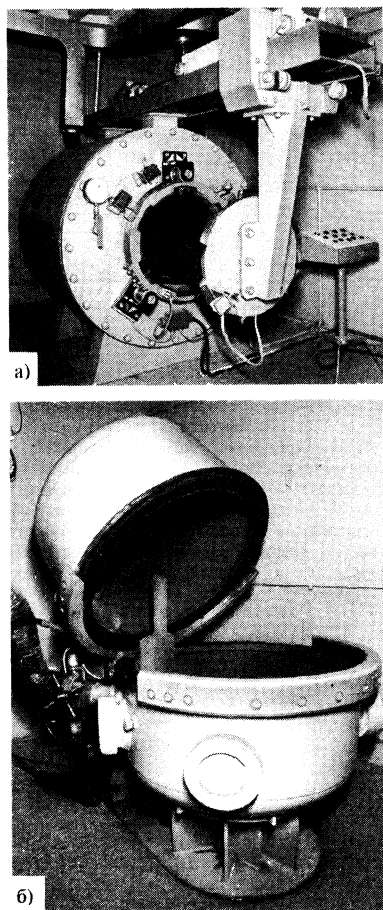


Рис. 5.20. Взрывная камера с выдвижным столом с зарядом взрывчатого вещества:
а — 1 кг; б — 0,2 кг

заготовки с зарядом взрывчатого вещества и стол вдвигается в камеру. В крайнем внутреннем положении стол автоматически укладывается на специальные опоры. Крышка с помощью электромеханического привода запирается байонетным замком. Корпус камеры снабжен пористым звукопоглощающим покрытием. Цепь инициирования заряда тщательно заблокирована. После взрыва камера продувается сжатым воздухом, а затем вентилируется в течение 5...10 мин.

Одна из камер многоцелевого назначения представляет собой горизонтально расположенную цилиндрическую оболочку толщиной 60...80 мм, длиной 7 м и диаметром 1,8 м. Масса заряда 5 кг. Габаритные размеры обрабатываемых изделий 350 x 180 x 3600 мм. Рабочий цикл камеры 12...18 мин.

На рис. 5.20, б показана исследовательская камера типа "улитка" для заряда менее

0,2 кг. Камера снабжена гидроприводом, проста в обслуживании и, имея неподвижный стол, весьма удобна для проведения прецизионных экспериментов. Сферическая взрывная камера изготовлена из стали 09Г2С диаметром 10,5 м с толщиной стенки 20 мм. В камере допустимо подрывать смесевые заряды взрывчатых веществ (теплота превращения около 2 МДж/кг) массой до 50 кг на опоре специальной конструкции с наполнителем из металлической дроби.

Расчеты на прочность оболочки (корпуса) и других элементов гладких взрывных камер производятся исходя из однократного воздействия на них импульсной нагрузки. Параметром, определяющим характер взаимодействия нагрузки с конструкцией, является отношение времени действия давления к периоду ее собственных колебаний. Обычно это отношение составляет 0,12—0,30. Нагружение конструктивных элементов невакуумируемых взрывных камер осуществляется воздушной ударной волной, а вакуумируемых — потоком разлетающихся продуктов детонации. Задача решается в два этапа: 1) определяются нагрузки, действующие на элементы камеры; 2) рассчитываются их деформации и возникающие напряжения, которые не должны превышать допускаемые. Так, расчет основного несущего элемента камеры-оболочки сводится к решению уравнения, описывающего вынужденные колебания системы с одной степенью свободы:

$$\ddot{u} + \omega^2 \dot{u} = p(t)/(\rho_1 \delta_1), \quad (5.1)$$

где u — радиальное перемещение оболочки радиуса R ; $\omega = c_0/R$ — частота ее собственных колебаний (осевая симметрия); $p(t)$ — функция давления, возникающего при взрыве; ρ_1 и δ_1 — соответственно плотность материала и толщины стенки оболочки.

Энергия взрыва передается оболочке в виде импульса, удельная величина которого (на единицу площади поверхности)

$$I_0 = \alpha \rho_0 \delta_0 \sqrt{2 Q_0},$$

где $1 < \alpha < 2$ — коэффициент отражения; ρ_0 и δ_0 — соответственно плотность и диаметр соосного с камерой заряда; Q_0 — удельная теплота взрыва.

Решение уравнения (5.1) при начальных условиях дает условие прочности

$$I_0 R / \delta_1 < [\sigma],$$

где $[\sigma]$ — допускаемое напряжение.

Это условие при проектировании камеры позволяет выбирать материал и назначать величины R и δ_1 при заданном предельном значении I_0 , а следовательно, массу взрывчатого вещества. Аналогично рассчитывают другие элементы камеры: крышку, предметный стол, затвор, крепежные детали и др. [15].

В последнее время выявлена "раскачка" оболочек взрывных камер, связанная с несимметричным действием нагрузок [9]. Иногда

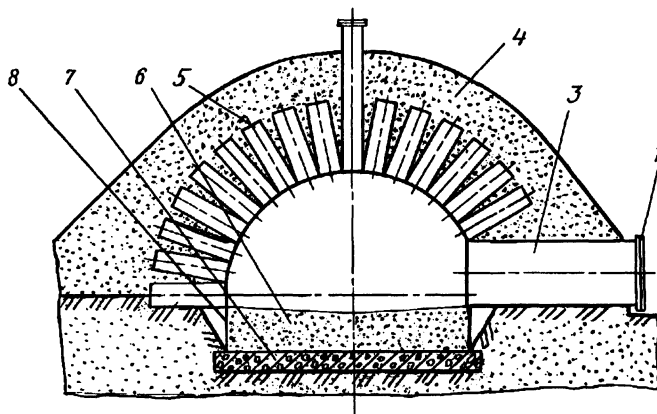


Рис. 5.21. Схема трубчатой взрывной камеры с зарядом 200 кг

производят оценку живучести камер и возможности преждевременного выхода их из строя вследствие накопления повреждений усталостного характера, для предотвращения которого принимают меры по демпфированию колебаний корпуса. Для приближенных оценок предельной несущей способности гладких взрывных камер полезна практически как рекомендация, согласно которой отношение масс камеры и заряда взрывчатого вещества должно составлять примерно 1/1000.

В ИЭС им. Е. О. Патона создана трубчатая камера принципиально новой конструкции (рис. 5.21). Ее полусферический (цилиндрический) корпус образован отрезками радиально расположенных стандартных тонкостенных труб 5, которые соприкасаются внутренними торцами, образуя поверхность внутреннего рабочего пространства камеры. Внешние концы труб заглушены, а пространство между открытыми внутренними торцами труб герметично закрыто фигурными элементами. Оси труб ориентированы радиально вдоль направления преимущественного разлета продуктов детонации взрывчатых веществ. Трубчатый корпус камеры, снабженный загрузочным проемом 2 с крышкой 1 и вентиляционным каналом 4, связан с контейнером для опоры 6 — металлическим коробом 8 цилиндрической формы, заполненным песком или другой подходящей средой. Под коробом имеется железобетонный фундамент 7. Для уменьшения звукового эффекта, повышения несущей способности камеры и демпфирования колебаний корпуса последний снаружи покрыт слоем 3 смеси песка и грунта.

Выбор конструктивных решений элементов камеры и оценка ее несущей способности производились на основании испытаний при предельных взрывных нагрузках макетов камеры в масштабах 1:30 и 1:10. Результаты испытаний и опыт эксплуатации натурного образца трубчатой камеры позволили установить, что она обладает рядом существенных преимуществ,

основными из которых являются: расщепление воздушной ударной волны на перфорированной внутренней поверхности; быстрое охлаждение продуктов детонации; большая упругая деформативность корпуса; возможность качественной сварки тонкостенного металла; высокая ремонтоспособность многоэлементного корпуса; возможность блочного монтажа камеры и дополнительного повышения ее несущей способности за счет покрытия грунтом, песком или другой средой. Техническая характеристика камеры приведена ниже.

Масса заряда (в тротиловом эквиваленте), кг, не более	200
Радиус рабочего пространства полусферы, м	4,2
Диаметр труб, мм	720 x 12
Число труб в камере	200
Радиус наружной полусферы, м	13
Масса металлоконструкции камеры, т	200

Камеры такого типа могут иметь заряд 20...500 кг и более.

Для подавления вредного побочного действия взрыва при ведении технологических работ в особых условиях (цех, объект в черте жилых зданий или промышленных сооружений, взрыво- и пожароопасные условия, под водой и др.) перспективно применение мобильных средств защиты на основе двухфазных газосодержащих сред. К ним относятся: газожидкостная и полимерная пена; пузырьковые образования в жидкости; снег, распыливание жидкости, песок, керамоперлит и др.

Эффективность снижения параметров ударных волн зависит от термодинамических свойств среды, объемного содержания конденсированной фазы и размеров защитной оболочки. На рис. 5.22 показан характер эволюции (точка 0) ударной волны от взрыва 1 кг тротила в воздухе и в пене. Волна в пене II затухает значительно быстрее, причем на-

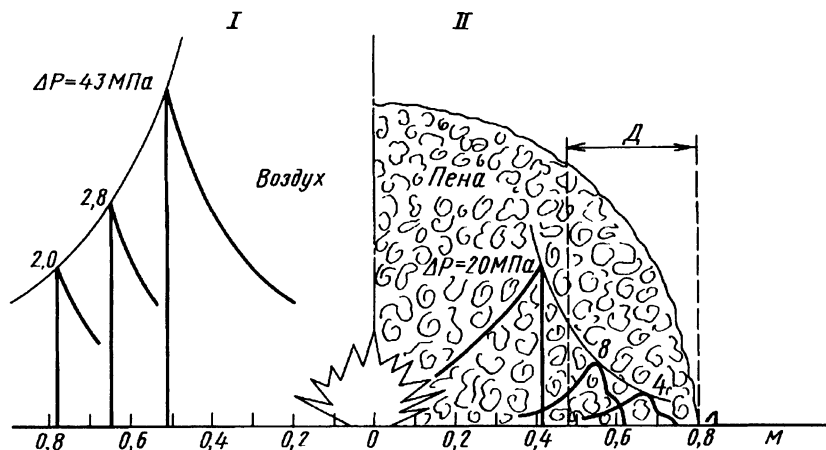


Рис. 5.22. Характер эволюции (точка 0) ударной волны от взрыва 1 кг тротила: I — в воздухе; II — в газозвушной пене; D — область диссипации волны

блюдается снижение в десятки раз эквивалентной энергии взрыва.

На рис. 5.23 приведена обобщенная для различных газосодержащих сред зависимость перепада давления Δp на ударном фронте от объемной доли ϵ_0 конденсированной фазы. На фиксированном расстоянии от заряда (30°) максимальное затухание ударных волн происходит в газожидкостных пенах II. Наличие минимума на кривой I характерно для взрывов зарядов, занимающих конечный объем. Наряду со снижением примерно на порядок давления на ударном фронте, газосодержащие среды позволяют существенно уменьшить концентрацию оксидов углерода, азота и других токсичных продуктов детонации взрывчатых веществ, выбрасываемых в атмосферу.

При ведении работ в пожаро- или взрывоопасной атмосфере для обеспечения безопасности достаточно $2...3 \text{ м}^3$ газозвушной пены с концентрацией воды $10...15 \text{ кг/м}^3$. Двухфазные среды весьма эффективны для защиты ихтиофауны от поражающего действия ударных волн, например, при подводной резке взрывом трубчатых оснований морских стационарных платформ на континентальном шельфе. В этом случае на морское дно вокруг подлежащей резке трубы основания укладываются по окружности перфорированные трубы, в которые нагнетается сжатый воздух под давлением, соответствующим глубине их залегания. Восходящий поток пузырьков воздуха уменьшает объем опасного для ихтиофауны пространства на $85...98\%$, ограничивая радиус опасной зоны до $3...5 \text{ м}$ по сравнению с $50...60 \text{ м}$ при отсутствии защиты. Газожидкостные пены являются также эффективным средством снижения нагрузок на стенки гладких взрывных камер. Например, при взрыве заряда массой до 60 кг в заполненной пеной сферической камере диаметром $10,5 \text{ м}$ напряжения в стенке обо-

лочка оказываются в $5-7$ раз меньше. Это открывает возможность производить во взрывных камерах разовые подрывы зарядов массой, существенно превышающей ее предельное проектное значение.

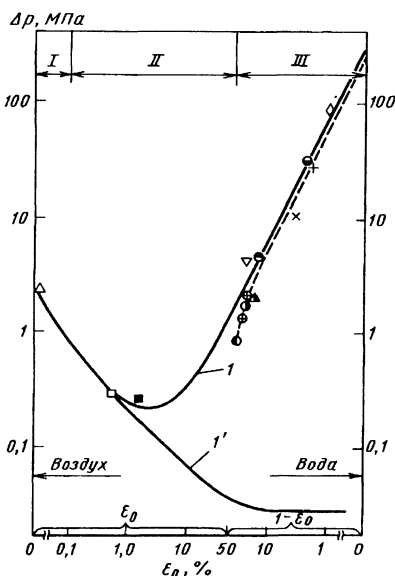


Рис. 5.23. Расчетные зависимости перепада давления Δp на фронте ударной волны в различных средах на расстоянии 30° заряда взрывчатого вещества от объемной доли конденсированной фазы ϵ_0 :

I' — точечный взрыв в пене; I и 2 — взрыв заряда конечного объема соответственно в пене и песчаном грунте; I — водяное распыливание; II — газожидкостная пена; III — пузырьковая среда, песок, грунт

5.13. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ СВАРКИ

Перспективность использования новых технологических процессов магнитно-импульсной обработки и сварки как однородных, так и разнородных металлов и их сплавов обусловила необходимость в установках такого рода.

В странах СНГ разработкой конструкций магнитно-импульсных установок занимаются многие организации. Ведущее место в области обработки металлов с помощью магнитно-импульсной энергии в США занимает фирма Максвелл, выпускающая установки типа "магнеформ" с большим диапазоном энергоемкости.

Все типы оборудования имеют узкую направленность (штамповка, опрессовка и др.), т. е. не являются универсальными. Такое оборудование не обладает способностью коммутировать токи до одного миллиона ампер при длительном сроке службы рабочих электродов коммутирующего устройства, не имеет собственной частоты колебаний около 100 кГц, у него отсутствует простой надежно работающий рабочий орган — индуктор с большим ресурсом работы, что необходимо для магнитно-импульсной сварочной установки.

В ИЭС им. Е. О. Патона создана универсальная магнитно-импульсная сварочная установка типа Н-126, принципиальная схема которой мало чем отличается от схем существующих магнитно-импульсных установок (рис. 5.24), но отвечает требованиям сварочных установок. Установка Н-126 может быть широко использована и при обработке металлов давлением и, главное, при сварке разнородных труб.

Напряжение питающей сети 380 или 220 В с частотой 50 или 60 Гц подается на первичную обмотку высоковольтного трансформатора T , вторичная обмотка которого соединена с высоковольтным выпрямителем, преобразующим переменный ток высокого напряжения в постоянный. Выпрямленный ток подается на высоковольтные конденсаторы C типа ИК-25-12 или ИКМ-25-12, обладающие минимальным индуктивным сопротивлением.

Конденсаторная батарея, накопив определенную потенциальную энергию $0,5 cu^2$, определяемую технологическим режимом сварки или обработки металлов и их сплавов, с помощью коммутирующего элемента-разрядника F — триггера передает ее на рабочий орган — индуктор I , в котором импульсное магнитное поле наводит вихревые токи в свариваемых трубках 2, создавая тем самым пондеромоторную силу.

Перед сваркой детали необходимо собрать телескопически: одну трубку ввести внутрь другой с определенным технологическим зазором, который определяется частотой разрядного контура установки и массой μεταемой подвижной части трубки.

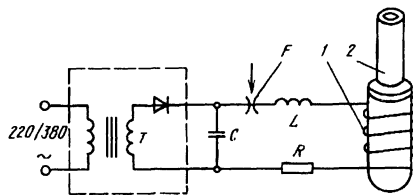


Рис. 5.24. Принципиальная электрическая схема установки для магнитно-импульсной сварки

Для повышения КПД магнитно-импульсных установок необходимо до минимума снизить индуктивное L и активное R сопротивление внутренних узлов установки, определяемые по формулам:

$$L_y = L_{\text{кон}} + L_{\text{ш}} + L_{\text{ком}};$$

$$R_y = R_{\text{кон}} + R_{\text{ш}} + R_{\text{ком}},$$

где L — индуктивность установки; R — активное сопротивление; индексы y и $ш$ — соответственно установка и шина, а $ком$ — коммутатор-триггер.

Необходимо учитывать, что величины L_y и R_y влияют на запасаемую энергию в конденсаторной батарее и являются определяющими факторами КПД процесса. В магнитно-импульсных установках конденсаторы должны обладать минимальной собственной индуктивностью и высокой относительной диэлектрической проницаемостью.

Собственные сопротивления и индуктивности установки можно приближенно рассматривать как постоянные, а эквивалентные параметры индуктора (сопротивление $R_{\text{и}}$ и индуктивность $L_{\text{и}}$) с учетом процессов в свариваемых деталях являются переменными (особенно индуктивность $L_{\text{и}}$), так как работа, затраченная на сварку и нагрев детали, принципиально связана с изменением эквивалентной индуктивности индуктора $L_{\text{и}}$ в процессе разряда конденсаторной батареи.

Контур разряда конденсаторов является нелинейным и уравнение силы тока следует рассматривать как приближенное.

Максимальная амплитуда силы тока в первом полупериоде определяется по формуле

$$i_m = \frac{U}{\sqrt{\frac{L}{C}}} \exp\left(-\frac{R}{2\omega L} \arctg \frac{2\omega L}{R}\right).$$

Колебательный характер разряда будет в том случае, если потери в контуре разряда малы, т. е.

$$R < 2\sqrt{L/C}.$$

Выбор конструкции плоской или коаксиальной ошиновки конденсаторной батареи и

способа их подключения к коммутатору-тригatronу зависит от размеров и расположения батареи. В установках энергоемкостью до 200 кДж целесообразно использовать наиболее компактные и наименее индуктивные плоские шины, непосредственно соединенные с конденсаторами и коммутирующим устройством. Применение ошиновки кабельного типа позволяет получать магнитно-импульсные установки с весьма малой собственной индуктивностью цепи разряда, однако это приводит к удорожанию системы ошиновки и усложнению технологии монтажных работ, т. е. возникает вопрос рентабельности ошиновки.

Опыт эксплуатации магнитно-импульсных сварочных установок с увеличенным числом конденсаторов в батарее показывает, что преимущества плоской ошиновки теряются, если конденсаторы расположены далеко от коммутирующего устройства — тригatronа. Преимущества кабельной ошиновки становятся очевидными при постепенном наращивании числа конденсаторов в установке, а также при применении защиты конденсаторов предохранителями, особенно в схемах с параллельным подсоединением коммутирующих разрядных устройств.

Известно, что основная индуктивность разрядного контура сосредоточена в коммутирующем разрядном устройстве — тригatronе, поэтому стремление снизить его индуктивность приводит к увеличению рабочей частоты установки. Для выбора типа коммутирующего устройства должны быть известны: ожидаемая амплитуда силы тока, общее количество электричества, протекающее при разряде, и напряжение заряда конденсаторов.

Коммутирующими устройствами могут служить различного типа разрядники (воздушно-искровые, вакуумные, газонаполненные и механические), обладающие минимальной собственной индуктивностью до 20 нГн. Увеличение амплитуды разрядного тока за счет снижения в магнитно-импульсных установках

индуктивности позволяет снизить рабочее напряжение на конденсаторной батарее, что обуславливает увеличение ресурса работы индуктора и конденсаторной батареи. Анализ современного состояния коммутирующих устройств показал, что их собственная индуктивность составляет 35...40 нГн. Поэтому для снижения индуктивности коммутирующего устройства и осуществления коммутации токов силой 600 кА приходилось включать параллельно несколько разрядников, что усложняло конструкцию установки и уменьшало ее надежность. Однако положительным фактором при параллельном включении разрядников является то, что каждый разрядник испытывает меньшую нагрузку и имеет больший ресурс работы.

В существующих конструкциях искровых разрядников используется коаксиальная схема, где обратным проводом служит корпус разрядной камеры. Использование коаксиальной схемы разрядника приводит к тому, что в процессе коммутации тока происходит частичное шунтирование тока разряда на корпус разрядника за счет расширения канала разряда, а также изменение индуктивности разрядника за счет нестабильности работы третьего поджигающего электрода.

В связи с отсутствием в промышленности коммутирующих устройств с собственной индуктивностью до 15 нГн при силе тока коммутации 600 кА и выше в ИЭС им. Е. О. Патона разработан коммутирующий элемент, который позволяет устранить указанные недостатки при собственной индуктивности 12...15 нГн, силе тока коммутации $(6...8) \cdot 10^5$ А и сроке службы электродов свыше 100 тыс. разрядов.

Конструкция разрядника-тригatronа показана на рис. 5.25. К корпусу 9 разрядника крепится оплетка коаксиального кабеля 10, а внутренняя жила кабеля располагается параллельно корпусу и крепится на сборном электроде 8, который имеет надежный электрический и механический контакты с разрядной камерой 7 и изолирован от корпуса диэлектриком 11. Разрядная камера является только газовой и не служит в качестве цепи обратного тока. К корпусу разрядной камеры крепится рабочий электрод 6, выполненный в виде кольца с выступом, защищающим изолирующую втулку 17 от температурного воздействия плазмы.

Камера 7 закрыта металлической крышкой 4, на которой через изолирующие втулки 2 крепится электрод поджига 1, выполненный из стали или меди в виде кольца с окнами, уменьшающими тепловое воздействие плазмы на рабочие электроды. В крышке 4 имеется также штуцер 3 для подачи и выхода сжатого воздуха, охлаждающего и дегазирующего разрядную камеру. В цилиндре 12 корпуса 9 разрядника через изолирующую втулку 17 введен второй рабочий электрод 5, который состоит

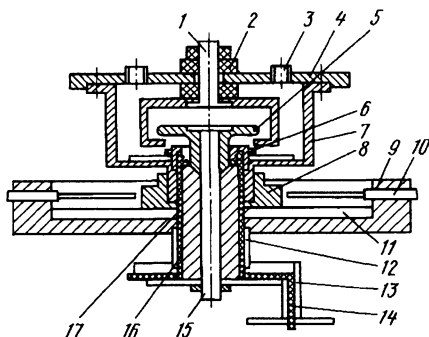


Рис. 5.25. Разрядник-тригatron

из медной рабочей части Т-образной формы, соединенный с токоведущей частью 16 коническим переходником, обеспечивающим надежный электрический и механический контакты.

Для снижения собственной индуктивности разрядника токоведущая часть 16 располагается как можно ближе к цилиндру 12. Толщина изолирующей втулки 17 выбирается в зависимости от рабочего напряжения конденсаторной батареи. Для устранения воздействия плазмы на втулку и улучшения изоляции разрядника используется конический переход втулки 17. Изолирующая втулка может выдерживать до 1 млн разрядов. Изоляция остальных частей разрядника имеет практически неограниченный срок службы.

Для быстрой и удобной замены рабочей части второго электрода он выполнен из двух частей 5 и 16, которые соединяют с помощью стального болта 15. Коническое соединение этих частей при воздействии на них 10 тыс. разрядов оказалось надежным, искрения и подгара в переходной зоне контакта не наблюдалось. Надежная неполяризуемая изоляция, выполненная из фторопласта, позволила близко расположить прямой и обратный провод разрядного устройства, обеспечив этим минимальную индуктивность разрядника (12...15 нГн).

В существующих конструкциях изоляция разрядника находится рядом с зоной разряда и поэтому подвержена быстрому износу. В рассматриваемой конструкции разрядника изоляция отодвинута от зоны разряда и ей придана коническая форма, что привело к увеличению ресурса работы изоляции и всего разрядника.

Разрядное устройство работает следующим образом. Через шины или коаксиальные кабели конденсаторная батарея электрически связана с разрядником, отрицательным полюсом с корпусом 9, а положительным — с камерой 7 и рабочим электродом 6. После заряда конденсаторной батареи до определенного рабочего напряжения подается импульс обратной полярности на электрод 1, который ионизирует воздушный промежуток между рабочими электродами 5 и 6. Ток коммутации, протекая по электродам 6 и 5, а также по корпусу 9 и цилиндру 12, подается на токосъемные пластины 13, изолированные друг от друга диэлектриком 14, к которым крепится индуктор.

Плоская система электродов и кольцевой поджиг обеспечивают равномерную и минимальную эрозию электродов, что обуславливает возможность их эксплуатировать при воздействии до 50 тыс. разрядов. Большой срок службы электродов при силе тока коммутации 450...550 А объясняется также тем, что плазменный дуговой разряд распределен по всей рабочей площади электрода и сила разрядного тока меняет полярность в соответствии с частотой разрядного контура установки.

Индуктивность разрядника рассчитывается аналитически или измеряется по осциллограммам тока разряда. Расчетные и измерен-

ные значения индуктивности разрядника отличаются на 2...3%. Для расчета индуктивности разрядника его условно разделяют на пять частей: кабельный ввод или плоский, сборный электрод, коаксиальный вывод, плоскопараллельный вывод, разрядный промежуток.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Автоматизация** сварочных процессов / Под ред. В. К. Лебедева и В. П. Черныша. Киев: Вища школа, 1986. 296 с.
2. **Автоматизированные** широкополосные станы, управляемые УВМ / М. А. Беляковский, М. Т. Ананьевский, Ю. В. Коновалов и др. М.: Металлургия, 1984. 240 с.
3. **Деформация** металлов взрывом / А. В. Крупин, В. Я. Соловьев, Н. И. Шефтель, А. Г. Кобелев. М.: Металлургия, 1975. 416 с.
4. **Диффузионная** сварка материалов: Справочник / Под ред. П. Ф. Казакова. М.: Машиностроение, 1981. 271 с.
5. **Дубнов Л. Б., Бахаревиц Н. С., Романов Ф. И.** Промышленные взрывчатые вещества. М.: Недра, 1988. 417 с.
6. **Дуболозов В. А., Синекон Ю. С., Томашпольский Л. В.** Технология сборки интегральных микросхем. Киев: Вища школа, 1987. 120 с.
7. **Единые** правила безопасности при взрывных работах. М.: Недра, 1976. 280 с.
8. **Ковка** и штамповка. Т.1 / Под ред. Е. И. Семенова. М.: Машиностроение, 1985. 568 с.
9. **Конон Ю. А., Первухин Л. Б., Чудновский А. Д.** Сварка взрывом / Под ред. В. М. Кудинова. М.: Машиностроение, 1987. 216 с.
10. **Кузнечно-штамповочное** оборудование. Молоты. Винтовые прессы. Ротационные и электрофизические машины / Л. И. Живов, А. Г. Овчинников, Е. И. Семенов и др. Киев: Вища школа, 1985. 279 с.
11. **Лебедев В. К., Продан С. К.** Моделирование силовых электромагнитов // Автомат. сварка. 1983. № 5. С. 74—75.
12. **Мазур А. И., Алехин В. П., Шоршоров М. Х.** Процессы сварки и пайки в производстве полупроводниковых приборов. М.: Радио и связь, 1981. 224 с.
13. **Моравский В. Э., Ворона Д. С.** Технология и оборудование для точечной и рельефной конденсаторной сварки. Киев: Наукова думка, 1985. 272 с.
14. **Пентегов И. В.** Основы теории зарядных цепей емкостных накопителей энергии. Киев: Наукова думка, 1982. 424 с.
15. **Плакирование** стали взрывом / А. С. Гельман, А. Д. Чудновский, Б. Д. Цемахович, И. Л. Харина. М.: Металлургия, 1978. 191 с.
16. **Сахацкий Г. П.** Технология сварки металлов в холодном состоянии. Киев: Наукова думка, 1979. 269 с.
17. **Сварка** в СССР. Т. 2 / Под ред. В. А. Винокурова. М.: Наука, 1981. 493 с.

18. **Сварка** трением: Справочник / Под общ. ред. В. К. Лебедева, А. И. Черненко, В. И. Вилля. Л.: Машиностроение, 1987. 236 с.

19. **Скачко Ю. Н.** Установки для изготовления тонкостенных спиральношовных труб // Автомат. сварка. 1984. № 12. С. 10—12.

20. **Стройман И. М.** Холодная сварка металлов. Л.: Машиностроение, 1985. 224 с.

21. **Технология** и оборудование контактной сварки / Б. Д. Орлов, А. Д. Чакалев, Ю. В. Дмитриев и др. М.: Машиностроение, 1986. 352 с.

22. **Технология** процессов обработки металлов давлением / П. И. Полухин, А. Хензель, В. П. Полухин и др. М.: Металлургия, 1988. 408 с.

23. **Холопов Ю. В.** Оборудование для ультразвуковой сварки. Л.: Энергоатомиздат, 1985. 168 с.

24. **Холопов Ю. В.** Ультразвуковая сварка пластмасс и металлов. Л.: Машиностроение, 1988. 224 с.

25. **Червинский В. И., Лунин И. В.** Контактная система для передачи тока до 3,5 кА на частоте 440 кГц // Сварочное производство. 1985. № 10. С. 12—15.

26. **Edson O. A., King S. B.** Rotating arc butt welding of thin walled tube // Wl Research Bulletin. 1981. № 1. P. 17—22.

27. **Walchak W.** Zgrzewanie wybuchowe metali i jego zastosowania. Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 1989. 224 p.

РАЗДЕЛ 4

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ГАЗОВОЙ СВАРКИ, НАПЛАВКИ И РЕЗКИ

Глава 1

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОБОРУДОВАНИЮ

Процессы газовой сварки, наплавки и резки характеризуются сильным световым и тепловым излучением, высоким уровнем шума и значительным выбросом искр, брызг расплавленного металла, шлаков, дыма и пыли.

Оборудование для газовой сварки, наплавки и резки должно обеспечить соблюдение трех основных условий: получение заданных технологических параметров по производительности и качеству обработки; снижение выбросов вредных веществ, сопутствующих процессу, до допустимых пределов; соблюдение требований безопасности к оборудованию и аппаратуре для газопламенной обработки, предусмотренных ГОСТ 12.2.008—75, ГОСТ 12.2.003—91 и действующими правилами.

При выборе технологических процессов и оборудования необходимо стремиться исключить все вредные и опасные производственные факторы. Если безвредное производство избежать невозможно, то необходимо принять меры по снижению уровня этих факторов до предельно допустимых.

Оборудование и аппаратура для газовой сварки, наплавки и резки должны отвечать следующим основным общим требованиям безопасности (ГОСТ 21694—94).

— Предохранительные устройства должны срабатывать в случае аварийной ситуации. Устройства блокировки должны исключать несовместимое одновременное движение механизмов, отключать оборудование в случае внезапного падения давления в пневмо-, газо-, гидросистемах.

— Положение оборудования должно быть устойчивым, исключено самопроизвольное опрокидывание или сходжение каретки со станины, а также соприкосновение мундштуков с поверхностью металла.

— Движущиеся части оборудования, если они представляют опасность, должны быть ограждены или иметь другие средства защиты.

— Напряжение на выводах электродвигателей переносных машин должно быть не более 36 В.

— Столы и площадки сварщика должны быть оборудованы вентиляционными устрой-

ствами, удаляющими вредные вещества из зоны их образования до обеспечения допустимой концентрации. Приемники должны иметь патрубки для присоединения к вытяжной системе вентиляции.

— Конструкции каналов наконечника и узла смешения горелок-резаков должны обеспечивать устойчивое горение пламени и препятствовать распространению обратного удара пламени в любом положении. Должны быть предусмотрены устройства для пуска, регулирования и перекрытия подачи газов в наконечники или мундштуки. В машинных резаках эти устройства могут быть вынесены на пульт управления.

— Оборудование должно быть рассчитано на давление горючих газов перед аппаратурой согласно ГОСТ 8856—72. Аппаратура или ее части должны иметь опознавательную окраску в зависимости от газа: ацетилен — белую; горючий газ — красную; жидкое горючее — серую; кислород — голубую. Накладные гайки и штуцера для подключения горючих газов должны отвечать ГОСТ 2904—91.

— Мундштуки горелок и резаков могут быть изготовлены из меди; другие детали, соприкасающиеся с ацетиленом, должны быть изготовлены из материалов, не содержащих ртути, магний, цинк (за исключением защитных покрытий от коррозии), медь и сплавы, содержащие более 65% меди.

— Для газовых коммуникаций оборудования должны применяться рукава по ГОСТ 9356—75, стальные сварные трубы по ГОСТ 10704—91 для кислородных коммуникаций и газов-заменителей ацетилена при рабочем давлении менее 2,5 МПа, стальные бесшовные трубы по ГОСТ 8732—78 и ГОСТ 8734—75 для кислородных коммуникаций при рабочем давлении свыше 6,28 МПа. Для подачи ацетилена должны применяться стальные бесшовные трубы по ГОСТ 8732—78.

Конструкция оборудования и аппаратуры должна обеспечивать возможность обезжиривания элементов, соприкасающихся с кислородом.

— Уровень шума на рабочем месте не должен превышать допустимых значений, предусмотренных ГОСТ 12.1.003—83.

— Уровень вибрации на рабочем месте не должен превышать норм, установленных ГОСТ 12.1.012—90. Измерения должны проводиться в соответствии с ГОСТ 16519—78.

— Запрещается производить газовую сварку, наплавку и резку металлов без оснащения рабочего соответствующими средствами индивидуальной защиты, обеспечивающими безопасность его труда, если уровень опасных и вредных факторов превышает предельно допустимые значения.

— Оборудование и аппаратура для газовой сварки, наплавки и резки должны соответствовать дополнительным требованиям, предусмотренными стандартами на соответствующий тип или марку изделия.

1.2. КЛАССИФИКАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ

Оборудование для газовой сварки, наплавки и резки относится к трем подгруппам класса 360000: 364510 — механизированное для термической резки; 364520 — для ручной газовой резки; 364530 — для газопламенной сварки, пайки, наплавки, термообработки и очистки поверхности.

Оборудование механизированное для термической резки. Машины для термической резки осуществляют разделительную и поверхностную резку (рис. 1.1).

Машины общего назначения наиболее эффективны на участках резки с небольшим или средним объемом повторяющихся деталей. Применение специализированных машин и установок экономически оправдано при большом объеме однотипных операций резки. К машинам общего назначения принято относить машины для резки листового металла. Согласно ГОСТ 5614—74 классификационными признаками стационарных машин служат: конструктивная схема несущей части — порталная, портально-консольная или шарнирная; способ резки — кислородный, плазменно-дуговой или газолазерный; система контурного управления — линейная, цифровая, программная, фотокопировальная, магнитная.

Машины специального назначения для разделительной резки не стандартизированы. Они могут быть самых различных видов и

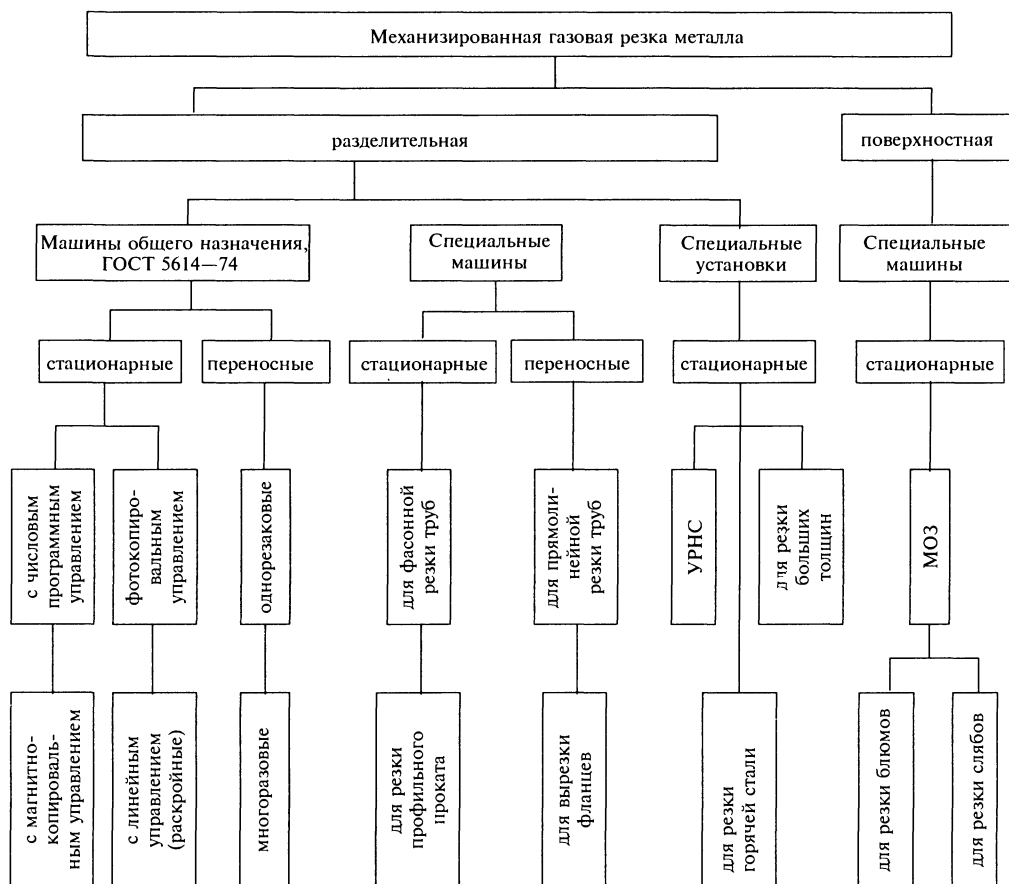


Рис. 1.1. Классификация оборудования для механизированной газовой резки металлов

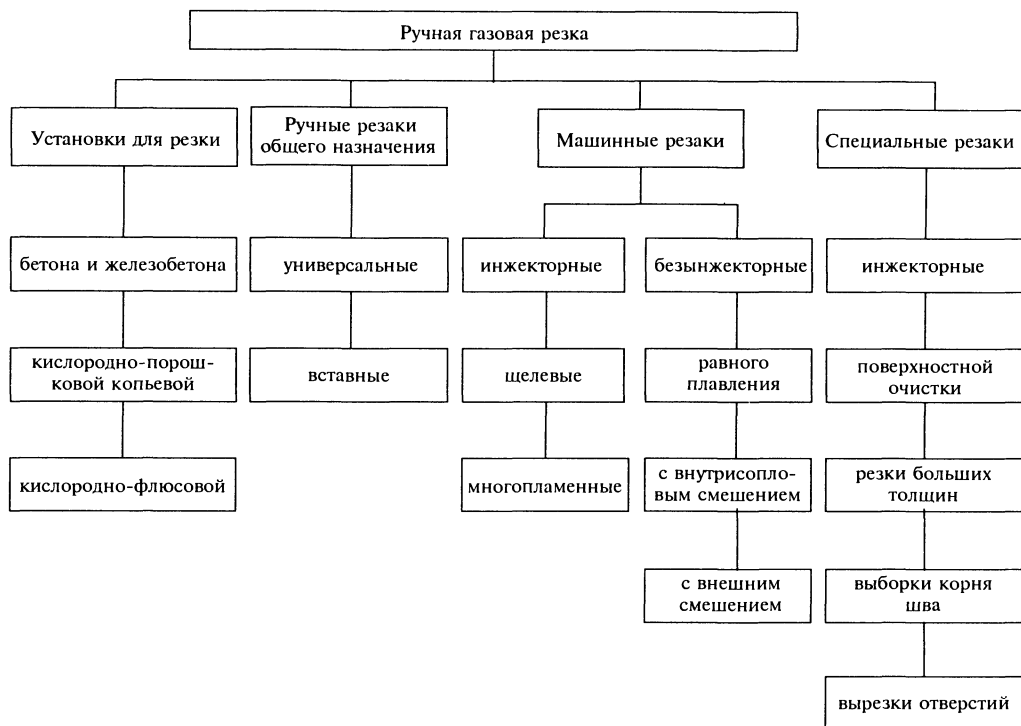


Рис. 1.2. Классификация оборудования для ручной газовой резки

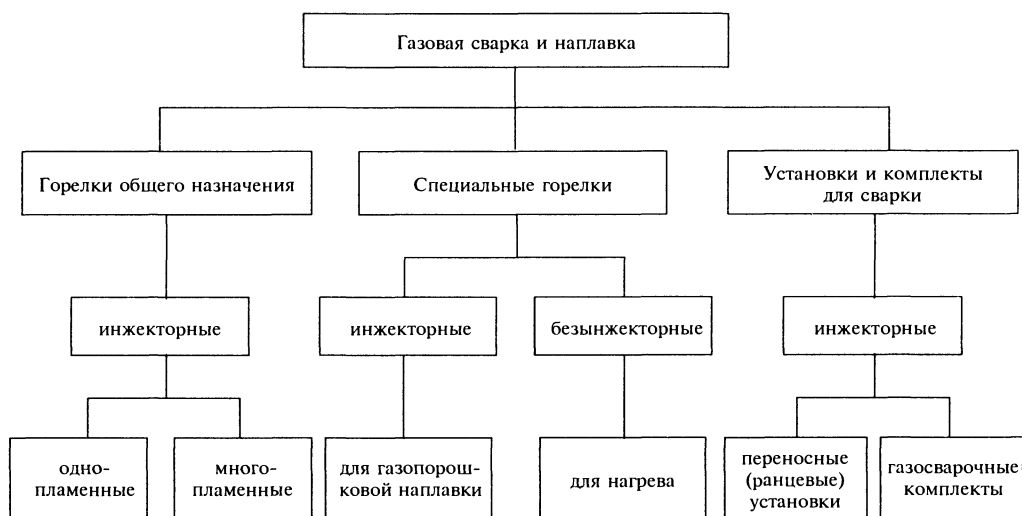


Рис. 1.3. Классификация оборудования для газовой сварки и наплавки

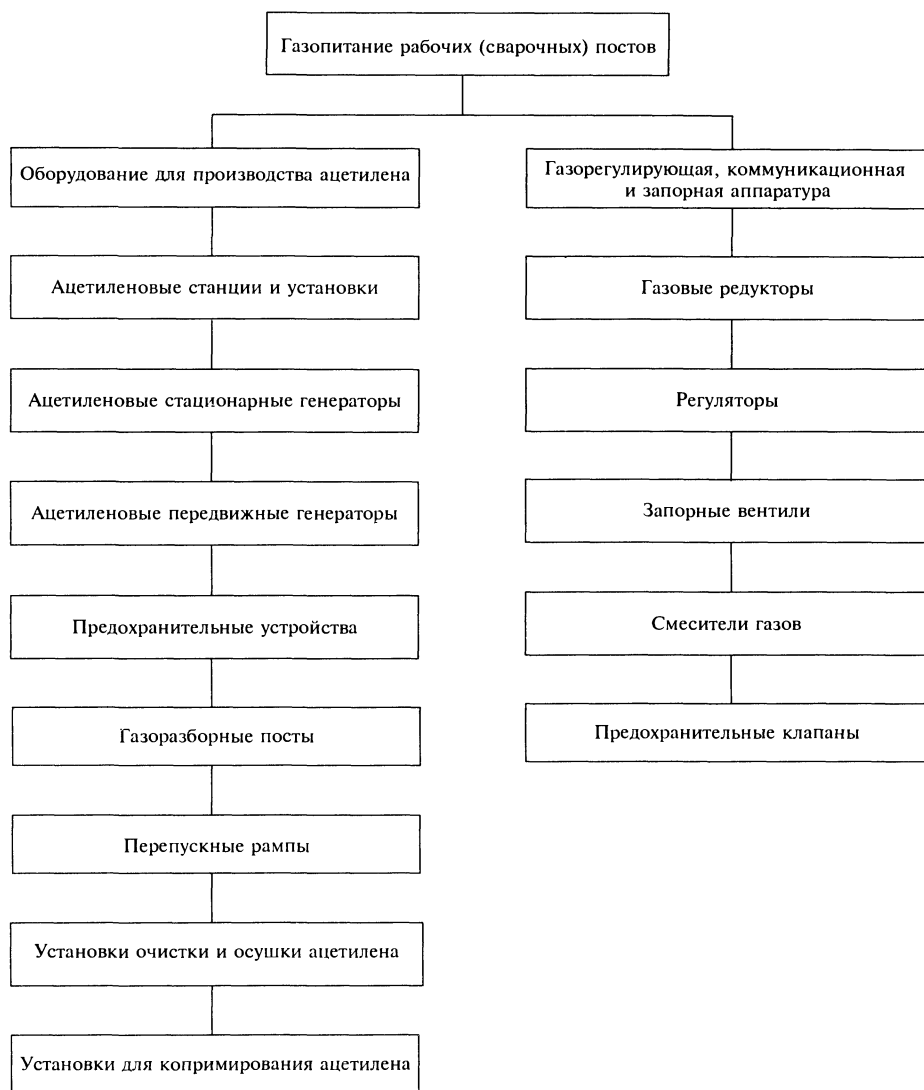


Рис. 1.4. Классификация оборудования для газопитания рабочих (сварочных) постов

конструкций как стационарного, так и переносного типа. К стационарным машинам относятся: установки для резки при непрерывной разливке стали (УРНС); машины для резки заготовок и слитков большой толщины и др. Переносные установки (машины) специального назначения используются для кислородно-флюсовой резки, резки бетона и железобетона, профильного проката и др.

Самостоятельную группу составляют машины для резки труб. Стационарные машины такого типа предназначены для резки труб большого диаметра (до 1500 мм) на мерные заготовки или для получения сопряжения раз-

личных элементов труб и цилиндрических поверхностей. Переносные машины перемещаются на поверхности трубы и производят за один оборот вокруг нее обрезку торца. Для поверхностной кислородной резки используются специальные машины огневой зачистки (МОЗ), обеспечивающие сложную зачистку поверхности блюмов и слябов в потоке проката.

Оборудование для ручной газовой резки. Данная подгруппа объединяет четыре вида оборудования (рис. 1.2). Ручные резаки общего назначения, как правило инжекторного типа, могут работать с использованием как ацетиле-

на, так и газов—заменителей ацетилена; используются преимущественно резак с шелевыми мундштуками.

Специальные резак предназначены для поверхностной резки с удалением местных дефектов на поверхности проката или слитков, а также для выполнения различных технологических операций: резка больших толщин (свыше 300 мм), выборка корня сварного шва, вырезка отверстий, удаление местных поверхностных дефектов на поверхности проката или слитков и т. д. К этому виду резаков относят также ручные резак, работающие на жидком горючем (керосинорезы).

Оборудование для газовой сварки и наплавки (рис. 1.3). По назначению горелки подразделяют на универсальные для сварки, наплавки, пайки, нагрева и специализированные для газопорошковой наплавки, поверхностной закалики или очистки. В отличие от инжекторных горелок в безынекторных смешение газов может быть внутрисопловым или внешним. Горелки могут иметь одно- и многопламенные мундштуки.

Дополнительные подгруппы оборудования предназначены для газопитания рабочих (сварочных) постов, на которых выполняются процессы газовой сварки, наплавки и резки (рис. 1.4). К ним относятся: 364500 — для производства ацетилена; 364570 — для газорегулирования (коммуникационная и запорная).

1.3. БАЛЛОНЫ И ВЕНТИЛИ

Баллоны. Преимущественное применение получили баллоны для индивидуального газоснабжения рабочих (сварочных) постов. Целесообразность использования баллонов для централизованного питания участков и цехов от разрядных рам требует технико-экономического обоснования. Баллоны, применяемые для газопламенной обработки, должны окрашиваться в различные цвета в зависимости от вида газа (табл. 1.1).

Ацетиленовые баллоны в отличие от баллонов для других сжатых газов (цельнотянутые типа 100 объемом 40 л) заполнены пористой массой, пропитанной ацетоном. В качестве пористой массы применяют активный уголь БАУ (ГОСТ 6217—74) или литую массу, получаемую по специальной технологии. Среднее количество растворенного ацетилена в одном баллоне 5,5 м³ (или 6 кг). Максимальный отбор газа из баллона с пористой массой 1 м³/ч, а с литой 1,5 м³/ч. Остаточное давление в баллоне, поступающем от потребителя для наполнения, не должно превышать 0,1 МПа и опускаться ниже 0,05 МПа.

Кислородные баллоны для сжатого газообразного кислорода являются пустотелыми цельнотянутыми (ГОСТ 949—73) объемом 40 л. Максимальное количество кислорода в баллоне такого типа при наибольшем давлении 8 кг (или

1.1. Данные о баллонах для газов, используемых при газопламенной обработке

Наименование газа	Состояние газа в баллоне	Предельное рабочее давление, МПа	Цвет окраски баллона	Резьба присоединительного штуцера
Ацетилен	Растворенный	2,5	Белый	Присоединяется хомутом
Водород	Сжатый	15	Темно-зеленый	Ø 21,8 мм, 14 ниток на 1", левая (ГОСТ 6357–81)
Горючий газ		15	Красный	
Кислород		15	Голубой	
Коксовый газ		15	Красный	
Метан		15		
Пропан	Сжиженный	1,6	Красный	Ø 21,5 мм, 14 ниток на 1", левая (ГОСТ 6357–81)
Природный газ	Сжатый	15		
Сланцевый газ		15		
Аргон чистый		15	Черный с белым верхом	
Аргон технический		15		
Азот		15	Черный с поперечной коричневой полосой	
Гелий		15		Коричневый
Углекислый газ	Сжиженный	7,5	Черный	3/4" трубная правая

1.2. Данные о баллонных вентилях для газопитания газопламенных работ

Род газа	Тип	Наибольшее давление на входе, МПа	Конструктивные особенности	Способ присоединения
Кислород	БК-74	20	Уплотнитель клапана и сальника изготавливается из фторопласта	Накидной гайкой — резьба труб 3/4" кл. В правая
Водород	ВВ-73	20	То же	Накидной гайкой — резьба диаметром 21,8; 14 ниток на 1", левая (ГОСТ 6357—81)
Ацетилен	ВА-1	2,5	Уплотнитель клапана — эбонитовый	Хомутом с винтом
Ацетилен	ВАБ	2,5	Уплотнитель клапана мембранный	То же
Ацетилен	ВБА-1	2,5	Уплотнитель клапана мембранный	"
Пропан-бутан	РДГ-6М	1,6	С герметизирующим чулком-ниппелем	Накидной гайкой — резьба диаметром 21,8; 14 ниток на 1", левая (ГОСТ 6357—81)

6 м³). Кислородные баллоны должны быть обезжирены. Остаточное давление в баллоне не должно превышать 0,05 МПа.

Баллоны для пропан-бутана изготавливают сварными по ГОСТ 15860—84 трех типов. Для газопламенной обработки применяют главным образом баллоны третьего типа. Предельное рабочее давление в баллонах для сжиженных газов различное. Так, для пропана предельное рабочее давление не должно превышать 1,6 МПа, а для бутана 0,45 МПа.

Сжиженные газы обладают высоким коэффициентом объемного расширения, поэтому наполнение баллонов производится с таким расчетом, чтобы в них была паровая подушка, достаточная для поглощения жидкости, расширяющейся при нагреве.

Баллоны для других сжимаемых газов (водорода, азота, аргона, природного и др.) изготавливают цельнотянутыми в соответствии с ГОСТ 949—73. Эти баллоны имеют объем 150 л, а используемые для метана и сжатого воздуха — 250 л.

Баллонные вентили (табл. 1.2). *Вентили ацетиленовых баллонов* изготавливают из стали, он имеет резьбу, отличную от резьбы вентиля остальных типов. Присоединение баллонного редуктора к вентилю производится хомутом, а открытие и закрытие — специальным торцовым ключом. Серийно выпускаются три типа ацетиленовых вентилях: два (ВБА и ВАБ) с мембранным уплотнением и один (ВА) с сальниковым уплотнением.

Вентиль кислородных баллонов изготавливают из латуни. Серийно выпускаемый вентиль ВК-74 отличается наличием фторопластового уплотнителя в клапане, благодаря чему вращение маховичка производится вручную. Все детали кислородных вентилях должны быть тщатель-

но обезжирены и защищены от загрязнения, особенно маслами и жирами. Вентили для кислородных баллонов могут быть использованы также для азота, гелия, аргона, углекислоты и сжатого воздуха.

Вентиль водородных баллонов конструктивно аналогичен вентилю кислородного баллона и отличается от него наличием левой резьбы на присоединительном штуцере вместо правой на вентилю типа ВК. Серийно выпускается вентиль ВВ-73.

Вентили пропан-бутановых баллонов отличаются способом обеспечения герметичности внутри газовой полости. Для этих целей используют мембраны, резиновые чулки, прокладки и др. Все вентили имеют присоединительные штуцеры с такой же резьбой, как и вентиль типа ВВ-73.

1.4. СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ ГАЗОМ

Принципиальная схема газопитания рабочих (сварочных) постов ацетиленом для газопламенной обработки включает следующие основные элементы: источник питания (станция, генератор, баллоны, рампа и др.); предохранительное устройство на входе в междоуховой газопровод; междоуховой газопровод; центральное (групповое) предохранительное устройство на входе в цех; входную задвижку; цеховой газопровод; газоразборный пост; резиноканевый рукав. При использовании сжатых (кроме водорода) горючих и сжиженных газов на вводе газопровода в цех предохранительные устройства можно не устанавливать. Вместо постового затвора разрешается применять обратный клапан. Выбранные схема и средства газопитания должны обеспечить

безопасное поступление газов с заданными параметрами к автогенному оборудованию. Регулирование и подача газов по машинам, в резаках, горелках и аппаратах для газопламенной обработки металлов определяются газовой схемой используемого оборудования, а также применяемой коммуникационно-распределительной и защитной аппаратурой.

Различают три способа газопитания: индивидуальный, централизованный и комбинированный. Индивидуальное газопитание осуществляется по рукавам от кислородного баллона, баллона с горючим газом, а также от передвижного ацетиленового генератора или бачка с жидким горючим. Этот способ целесообразно использовать для передвижных рабочих постов. Централизованное газопитание осуществляется по трубопроводам от заводских ацетиленовых и кислородных станций, от газификационных и распределительных установок для кислорода и пропан-бутановой смеси и от перепускных рамповых установок для кислорода и горючего газа. Такой способ газопитания приемлем для стационарных рабочих постов. Возможно питание одного поста от одиночных баллонов для кислорода и горючего газа. При десяти рабочих постах и выше централизованное газопитание является обязательным.

При комбинированном газопитании один из газов (кислород или горючий газ) поступает по трубопроводу, а другой газ — от баллона или передвижного ацетиленового генератора или бачка с жидким горючим. Этот способ используется для снабжения газами только небольшого числа стационарных рабочих постов (менее десяти). Все способы газопитания требуют применения соответствующих запорных, газорегулирующих и предохранительных устройств.

Выбор способа газопитания определяется: видом используемого газа (ацетилен, пропан-бутан, природный и другие горючие газы); программой, условиями и возможностями производства; планировкой и территориальным расположением проектируемого участка газопламенной обработки металлов по отношению к имеющимся цеховым (заводским) газопроводам горючего газа и кислорода. Этот вопрос решается на основании экономических расчетов. Исходными данными служат расходы и давление используемых газов на каждом рабочем месте и суммарный их расход для всех рабочих постов.

Технико-экономическая оценка стоимости получения газообразного и баллонного (растворенного) ацетилена и его транспортировки свидетельствует о следующем:

— наиболее рентабельным является трубопроводный транспорт газов к рабочим постам от централизованных источников питания (станций, газификаторов, реципиентов и др.), при которых стоимость газов и удельных капитальных вложений на их производство значительно меньше;

— централизованное газопитание рабочих постов ацетиленом в баллонах эконо-

мически выгоднее и технически целесообразнее получения ацетилена в передвижных генераторах;

— строительство ацетиленовых станций производительностью менее $40 \text{ м}^3/\text{ч}$ для газопитания ацетиленом рабочих постов по трубопроводу оправдано только при необходимости перевозки ацетилена в баллонах на значительные расстояния (свыше 100 км);

— перепускные (разрядные) рампы с баллонами для кислорода и горючих газов следует использовать вместо индивидуальных баллонов при необходимости питания более трех постов или при непрерывной длительной работе одного рабочего поста.

Стационарный рабочий (сварочный) пост. Он предназначен для выполнения ручных и механизированных работ по газопламенной обработке металлов на постоянном рабочем месте в условиях цеха, участка или мастерской. В состав стационарного рабочего поста для ручных работ входят: газоразборный пост для питания горелок или резаков газами; стол с приспособлениями для крепления обрабатываемых деталей; система местной вытяжной вентиляции для удаления вредных выделений, образующихся при проведении газопламенных работ; грузоподъемное приспособление для перемещения обрабатываемых изделий в случае газовой сварки или резки тяжелых и громоздких деталей; противопожарный инвентарь и оборудование. Газоразборные посты, входящие в состав рабочего поста, могут быть встроены в стол или располагаться на трубопроводах потребления газов.

В состав оборудования стационарного поста для механизированных работ входит также механизм, осуществляющий перемещение инструмента и изделия или одного из них. Так, стационарный рабочий пост для машинной кислородной резки включает: машину, раскроечный стол (неподвижный или перемещаемый) с системой вентиляции и газоразборные посты, расположенные на трубопроводах, от которых газы подаются к резакам.

При устройстве вентиляции рекомендуется обеспечивать удаление местными отсосами от стационарных постов следующего количества воздуха: $1700...2500 \text{ м}^3/\text{ч}$ для ручных постов; $3000 \text{ м}^3/\text{ч}$ для механизированной резки с секционными столами на 1 м^2 площади секции. При выполнении газопламенных работ рекомендуется применять общеобменную вентиляцию из расчета $2500...3000 \text{ м}^3$ воздуха на 1 м^3 сжигаемого ацетилена.

Стационарные рабочие посты для ручных работ должны размещаться на площади не менее 4 м^2 , при этом необходимо соблюдать минимальные расстояния от источников повышенной опасности, приведенные ниже (м).

Трубопроводы для кислорода	1,5
Трубопроводы для горючих газов	3
Предохранительный жидкостной затвор	5
Баллон с кислородом	5

Баллон с горючим газом.....	5
Бачок с жидким горючим.....	5
Передвижной ацетиленовый генератор.....	10
Ацетиленовая станция и иловый отстойник.....	25

Централизованное снабжение рабочих (сварочных) постов. Снабжение рабочих постов ацетиленом производится (рис. 1.5): по газопроводу, от ацетиленовой установки АС, от отдельно стоящего стационарного генератора СГ, от разрядной рампы РР, от индивидуального баллона В или передвижного генератора ПГ. По схеме, показанной на рис. 1.5, а, на выходе из ацетиленовой станции и на вводе в межцеховой ацетиленопровод 5 устанавливается предохранительное устройство — огнепреградительная башня 1 или центральный (групповой) затвор 2. Огнепреградительные башни используются на крупных ацетиленовых станциях с раздельно стоящими зданиями генераторного и компрессорного отделений и устанавливаются на входе и выходе из них. В остальных случаях допускается использование центральных затворов соответствующей пропускной способности.

На вводе ацетиленопровода в цех промышленного предприятия устанавливается еще один центральный (групповой) затвор 6 для защиты коммуникаций от проникновения в них со стороны потребления воздуха или взрывной волны при обратных ударах и при

воспламенении горючего газа. Групповые затворы должны устанавливаться также на ответвлениях, при их наличии, цехового ацетиленопровода, от которых питаются несколько рабочих (сварочных) постов. На входе в цех монтируется шкаф ввода ацетилена 7 с запорным вентилем (затворикой), соответствующей пропускной способности.

Для централизованного питания одновременно несколько постов используются, как правило, ацетиленопроводы среднего давления (20...150 кПа). Ацетиленопроводы низкого давления (менее 20 кПа) практически непригодны для этих целей, так как сопротивление одного только жидкостного затвора не менее 6 кПа. При использовании генераторов низкого давления следует предусматривать газодувку для повышения давления газа перед подачей его в сеть.

В местах отбора газа ацетиленопровод 8 заводится в газоразборный пост 13, в котором смонтированы постовой запорный вентиль 9 и постовое предохранительное устройство 10 (сухой или жидкостной затвор). От газоразборного поста ацетилен подается к аппаратуре или газопотребляющему агрегату по рукаву 1.

Питание цеха ацетиленом от отдельно стоящего стационарного генератора производится при производительности его, как правило, не более 20 м³/ч (рис. 1.5, б). В этом

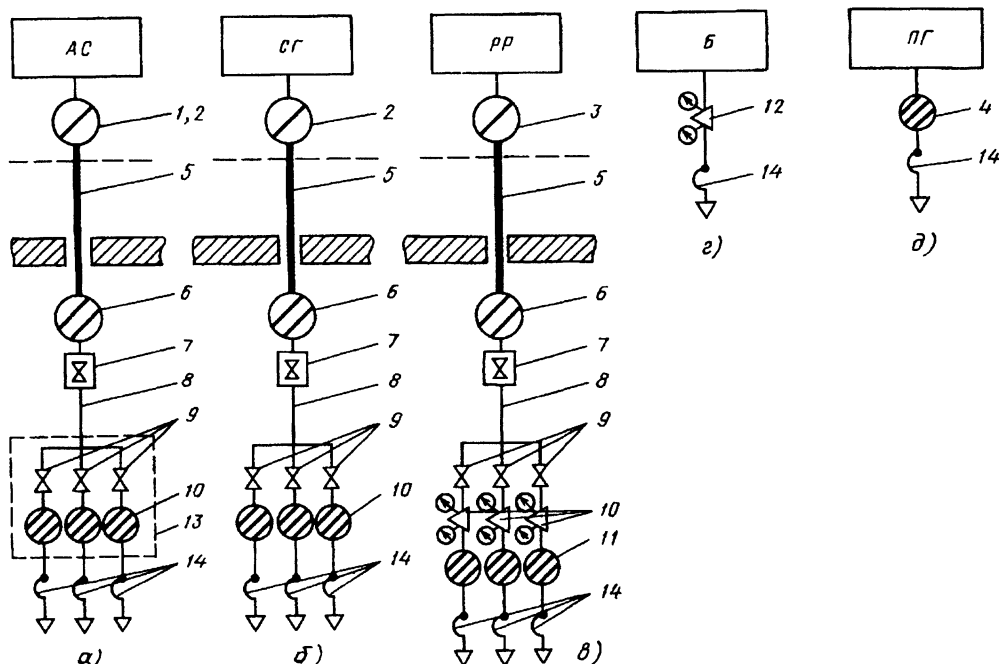


Рис. 1.5. Схема централизованного снабжения рабочих (сварочных) постов ацетиленом от различных источников питания

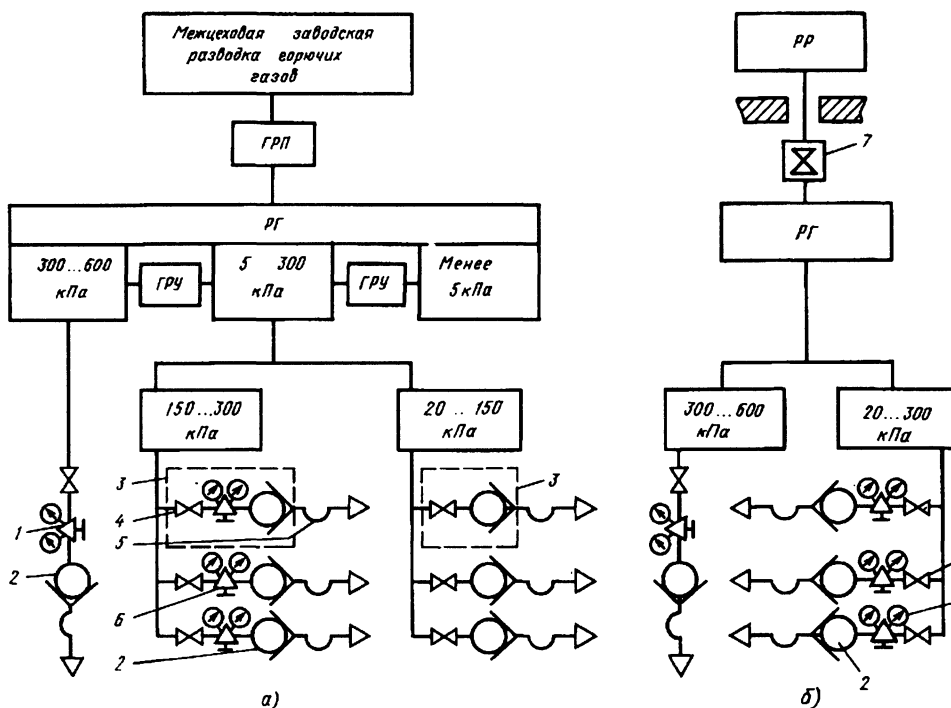


Рис. 1.6. Схема централизованного снабжения рабочих (сварочных) постов газами—заменителями ацетилена от различных источников питания

случае огнепреградительная башня не ставится, а в качестве центрального затвора 2 используется затвор на генераторе.

Снабжение рабочих (сварочных) постов ацетиленом от разрядной ramпы (рис. 1.5, в) производится по аналогичной схеме с установкой на выходе из нее центрального затвора 3 сухого типа, который служит предохранительным устройством для самой ramпы и межцеховой коммуникации 5. При отсутствии последней (рамповое помещение примыкает к цеху и цеховая разводка не имеет разветвлений) центральный затвор 6 на вводе в цех не устанавливается. В других случаях использование его обязательно. Поскольку при рамповом питании давление ацетилена в газопроводе может достигать 150 кПа, в качестве постовых предохранительных устройств необходимо использовать сухие затворы, как групповые 6, так и постовые 10, соответствующей пропускной способности. Перед постовым предохранительным устройством рекомендуется устанавливать сетевой редуктор 11, если по технологическому режиму газопламенной обработки требуется изменять давление ацетилена или поддерживать его постоянным.

При снабжении рабочих постов ацетиленом через рукав 14 от индивидуального баллона с редуктором 12 (рис. 1.5, г) дополнительные

средства защиты не требуются, а при снабжении от передвижного генератора (рис. 1.5, д) постовым затвором служит предохранительное устройство 4 на генераторе.

При централизованном снабжении рабочих (сварочных) постов газами—заменителями ацетилена в помещениях цехов промышленных предприятий разрешается прокладка газопроводов горючего газа—заменителя ацетилена с давлением не выше 0,6 МПа. Газопроводы с более высоким давлением (ниже 1,2 МПа) допускается прокладывать только в тех случаях, когда это необходимо по условиям производства. Снабжение рабочих постов горючими газами производится: по цеховым распределительным газопроводам РГ, от разрядной (перепускной) ramпы или от индивидуальных баллонов. В первом случае горючие газы поступают из магистрального газопровода (рис. 1.6, а) в цеховые распределительные газопроводы высокого (300...600 кПа) и среднего давления (5...300 кПа) через газорегуляторный пункт ГРУ или установку ГРУ. Снабжение рабочих постов газом по газопроводам низкого давления (менее 5 кПа) практически неосуществимо. Для цеховой разводки используют преимущественно газопроводы среднего давления (20...150 кПа).

В местах отбора газа газопровод заводится в газоразборный пост 3, в котором смонтированы запорный вентиль 4, обратный клапан 2 и, в случае необходимости, сетевой редуктор 6 или баллонный 1.

Давление сжиженного газа, подаваемого к рабочим (сварочным) постам, не должно превышать 150 кПа. При давлении газа в газопроводе 150...300 кПа в местах отбора газа должен быть установлен сетевой редуктор для снижения давления газа. Если давление горючего газа в газопроводе превышает 300 кПа, его необходимо снизить в ГРУ или ГРУ до этого уровня перед сетевым редуктором 6. Вместо обратных клапанов 2 допускается использовать предохранительные затворы, рассчитанные на наибольшее рабочее давление газа перед автономной аппаратурой и соответствующую пропускную способность.

По условиям производства иногда необходимо питать рабочие посты газами—заменителями высокого давления (300...600 кПа), например при плазменном напылении покрытий. В этом случае отбор газа должен производиться через баллонный редуктор 1 с установкой обратного клапана 2, рассчитанного на соответствующую пропускную способность и рабочее давление газа. Вместо обратного клапана допускается использование сухого затвора.

Снабжение рабочих (сварочных) постов газами—заменителями ацетилена от разрядной ramпы (рис. 1.6, б) предусматривает использование ramпы РР и шкафа 7 ввода газа в цех. Допускается замена его ГРУ соответствующей пропускной способности. При ramповом питании рабочих постов давление газа в газопроводе целесообразно поддерживать 50...300 кПа с использованием сетевых редукторов для соответствующего газа—заменителя ацетилена. В местах отбора газа устанавливаются газоразборные посты.

Источниками питания рабочих (сварочных) постов сжиженным газом служат групповые баллонные и резервуарные установки. Групповая баллонная установка состоит из баллонов (более двух) и разрядной ramпы для отбора и подачи газа потребителю. Устройство газобаллонных установок разрешается при наличии проекта, согласованного с местной организацией по эксплуатации газового хозяйства. Резервуары сжиженных газов могут быть подземными или надземными сферической или цилиндрической формы. В зависимости от состава газа их рассчитывают на давление 60...1600 кПа. Данные о максимально допустимом объеме (м^3) групповой резервуарной установки и одного резервуара приведены ниже в зависимости от назначения установки (в числителе при надземном расположении, в знаменателе при подземном).

Для газоснабжения общественных жилых и коммунально-бытовых зданий, менее . . . 5/300

Для газоснабжения промышленных и сельскохозяйственных предприятий, менее . . . 20/300

Максимальный объем (м^3) одного резервуара приведен ниже для надземного и подземного расположения (соответственно в числителе и в знаменателе).

Съемные резервуары (до 5 м^3)	1,6/—
Несъемные резервуары до 20 м^3	5/5
20...50 м^3	—/10
50...100 м^3	—/25
100...300 м^3	—/50

Отбор сжиженного газа из резервуарной установки может осуществляться как из жидкостного, так и парового пространства баллона. При небольшом потреблении газа проще осуществлять отбор его из парового пространства, а при большом расходе газа его отбор из резервуара производят из жидкой фазы с последующей подачей жидкости в испарители. В последнем случае состав, температура и давление газа сохраняются практически постоянными. Для испарения необходимого количества жидкой фазы испарители следует эксплуатировать в комплексе с резервуарными установками. Испарители производительностью не более 200 кг/ч могут размещаться как непосредственно на резервуарах, так и в пределах ограждения резервуарной установки, а более 200 кг/ч — на безопасном расстоянии от резервуаров, зданий и сооружений.

Для перевозки сжиженных газов от газораздаточных станций и кустовых баз к месту потребления обычно используют автомобильные цистерны объемом 2...10 м^3 , рассчитанные на давление 1,2...2 МПа.

Питание рабочих (сварочных) постов от индивидуальных баллонов осуществляется так же, как при использовании ацетилена и других горючих газов.

Следует отметить, что снабжение рабочих постов от РР и индивидуальных баллонов применяется преимущественно для сжиженных газов.

Централизованное снабжение рабочих (сварочных) постов кислородом производится по трубопроводу, от индивидуальных баллонов Б (рис. 1.7, з), от кислородной станции КС (рис. 1.7, а) предприятия, от газификатора ГК (рис. 1.7, б), от разрядной ramпы РР (рис. 1.7, в). Из указанных источников питания кислород поступает в кислородопровод, который в местах отбора газа заводится в газоразборные посты. В последних смонтированы запорный вентиль 1 и, при необходимости, соответствующий редуктор 2—5, снижающий давление кислорода и поддерживающий его на заданном уровне.

Если давление кислорода в газопроводе не превышает 1,6 МПа, редуктор можно не устанавливать и питание установки или аппаратуры для газопламенной обработки осуществляется непосредственно от запорного устройства. При необходимости регулирования давления кислорода или поддержания его постоянным и отсутствии регулятора давления на газопотребляющем агрегате рекомендуется устанавли-

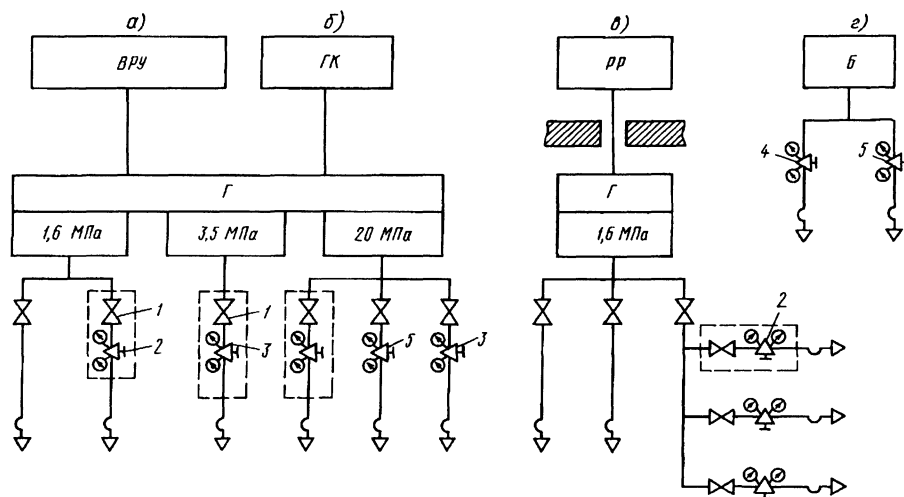


Рис. 1.7. Схема централизованного снабжения рабочих (сварочных) постов кислородом от различных источников питания

вать сетевой редуктор 2. При давлении кислорода в газопроводе свыше 1,6 МПа необходимо устанавливать баллонный 4 или рамповый 3 редуктор в зависимости от пропускной способности поста. От газоразборного поста кислород подается к аппаратуре или газопотребляющему агрегату по рукаву.

При питании постов от индивидуального баллона кислород поступает в аппаратуру через баллонный редуктор 4. В некоторых случаях используется редуктор 5 высокого давления, рассчитанный на рабочее давление газа менее 4 МПа.

Для газопламенной обработки используют кислород, получаемый в установках разделения воздуха (УРВ). Его можно транспортировать в газообразном состоянии и в жидком виде с газификацией у потребителей. Наиболее эффективной является транспортировка газообразного кислорода при его потреблении до 300 м³/ч авторецепментом (на автомобильных прицепах). При потреблении свыше 300 м³/ч газообразного кислорода доставку его потребителям целесообразно осуществлять по трубопроводу или в авторецепентах в зависимости от расстояния. Доставку и газификацию жидкого кислорода в зависимости от размера потребления и расстояния целесообразно осуществлять автомобильно-газификационными установками или в стационарных безнасосных газификаторах, находящихся у потребителя.

Производительность источника питания техническим кислородом для газопламенной обработки следует определять, исходя из единовременной работы суммарного количества рабочих (сварочных) постов для газовой резки и сварки с учетом параметров питаемого оборудования (аппаратуры). Наибольший расход

(м³/ч) кислорода различными видами автогенного оборудования приведен ниже.

Многорезакные порталные машины типа ПК (ГОСТ 5614—74) для кислородной резки с разделкой кромок листов под Х-образный шов	120
Четырехрезакные портално-консольные машины типа ПКк (ГОСТ 5614—74) для фигурной кислородной резки и раскроя листов	50
Трехрезакные шарнирные машины типа ШК (ГОСТ 5614—74) для точной вырезки деталей и заготовок	40
Двухрезакные передвижные машины типа П-2 (ГОСТ 5614—74) для резки листов	25
Металлизационные аппараты типа ГИМ-4 и установки типа УГПТ для газопламенного напыления покрытий	6
Газоразборный пост кислорода типа ПГК-10	10
Газоразборный пост кислорода типа ПГК-40	40

Газоснабжение цехов (участков). Типовая схема газопитания ацетиленом и кислородом стационарных рабочих (сварочных) постов цехов, участков или мастерских, где выполняются газопламенные работы, показана на рис. 1.8. Кислород (К) поступает к стационарным рабочим постам, расположенным в цехе (помещении) по газопроводу от кислородной установки, газификатора или перепускной ramпы. Ацетилен (А) подается по газопроводу от ацетиленовой установки, стационарного генератора или перепускной ramпы (непосредственно в цеховой газопровод). При применении других источников питания ацетиленом на входе ацетиленопровода в цех, а также на всех ответвлениях газопровода, от которых питаются несколько постов, устанавливается центральный (групповой) предохранительный

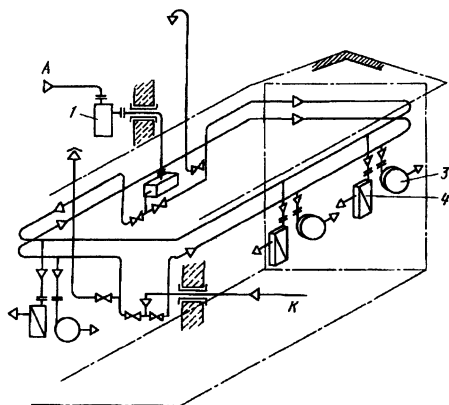


Рис. 1.8. Типовая схема газопитания ацетиленом стационарных рабочих (сварочных) постов цехов, участков или мастерских

жидкостной или сухой затвор 1. Тип затвора выбирают в зависимости от давления и расхода ацетилена. Непосредственно за затвором (по ходу газа) на вводе газа в цех устанавливается шкаф 2 ввода ацетилена с запорным вентилем и манометром, которые должны располагаться в доступном и удобном месте. Запорные вентили должны устанавливаться также на цеховых ответвлениях ацетиленопроводов, предназначенных для подачи ацетилена на отдельные участки цеха.

К ацетиленопроводу должен быть присоединен через сбросной вентиль трубопровод для сброса продувочных газов в атмосферу. Сбросной трубопровод должен быть не менее чем на 1 м выше конька перекрытия. Аналогично к кислородопроводу присоединяется сбросной трубопровод через сбросной вентиль. На входе кислородопровода в цех также должна устанавливаться запорная арматура на каждом ответвлении внутрицеховой разводки газопроводов. Высота прокладки ацетиленопровода над полом должна быть не менее 2,2 м, а кислородопровода — не менее 1,6...1,8 м. Кислородопровод должен прокладываться не менее чем на 250 мм ниже ацетиленопровода (при параллельном их расположении). Расстояние между газопроводами при их пересечении должно быть не менее 100 мм.

В местах потребления газов на газопроводах ацетилена и кислорода должны быть установлены газоразборные посты 3 и 4, в состав которых входят соответствующие запорные, регулирующие и предохранительные устройства, обеспечивающие нормальную работу огневой аппаратуры.

Питание ее кислородом производится от баллонного редуктора газоразборного поста, если давление кислорода в газопроводе превышает 1,6 МПа. В случае, когда давление кислорода в газопроводе не выше 1,6 МПа, а его расход не превышает $10 \text{ м}^3/\text{ч}$, следует использовать газоразборный пост с сетевым редукто-

ром. Если давление в кислородном газопроводе меньше 1,6 МПа, то присоединение к нему можно осуществлять непосредственно (без редуктора) через запорный вентиль. В этом случае газоразборный пост не имеет регулирующего устройства.

К ацетиленовому газопроводу присоединение инструмента (горелки или резака) во всех случаях должно осуществляться через предохранительное устройство: жидкостной или сухой затвор. При питании цеховых газопроводов для ацетилена от перепускных рампы, когда давление в сети может достигать 120 кПа, необходимо использовать газоразборный пост с сухим затвором. Если давление в ацетиленопроводе не превышает 70 кПа, можно применять газоразборные посты с жидкостным или сухим затвором. Предохранительные постовые затворы должны соответствовать максимально возможному давлению в ацетиленопроводе.

Для присоединения огневой аппаратуры (горелок, резаков) газоразборные посты должны иметь рукава, соответствующие ГОСТ 9356—75: для ацетилена типа I, а для кислорода типа III.

Типовая схема централизованного газопитания рабочих постов сжатыми газами—заменителями ацетилена и кислородом отличается от типовой схемы для ацетилена и кислорода только составом оборудования и отсутствием предохранительного устройства на входе в цех (помещение). При давлении газа—заменителя менее 150 кПа для защиты от перетекания в него кислорода в каждом газоразборном посту допускается установка обратного клапана вместо постового предохранительного жидкостного или сухого затвора.

Типовая схема газопитания стационарных рабочих постов пропан-бутаном и кислородом отличается от типовых схем для других газов—заменителей ацетилена только составом оборудования и прокладкой газопровода для кислорода над газопроводом для горючего газа на расстоянии 250 мм. Питание аппаратуры пропан-бутаном от газопровода без установки обратного клапана недопустимо. Выбор источников питания, запорной и редуцирующей аппаратуры, а также предохранительных устройств зависит от расхода и давления газа.

Типовая схема комбинированного газопитания рабочих (сварочных) постов с подачей кислорода к ним по цеховому газопроводу предусматривает поступление кислорода по газопроводу под давлением более 1,6 МПа. Питание аппаратуры должно производиться от газоразборного поста, состоящего из запорного вентиля и баллонного редуктора. При давлении кислорода менее 1,6 МПа редуктор можно не устанавливать. Подача горючего газа производится либо от баллона с установленным на нем редуктором для соответствующего газа, либо от передвижного ацетиленового генератора с предохранительным устройством. При использовании жидкого горючего вместо генератора или баллона предусматривается бак с жидким горючим. Последняя схема может применяться в цеховых условиях только

для аварийных работ или с расположением передвижного генератора за пределами цеха.

Типовая схема комбинированного газопитания рабочих сварочных постов с подачей горючего газа по цеховому газопроводу предусматривает питание рабочих постов кислородом от баллона с установленным на нем редукторе. Отбор горючего газа должен производиться через газоразборный пост, в состав которого входит запорный вентиль и соответствующее предохранительное устройство: жидкостной затвор, сухой затвор или обратный клапан. Предохранительные устройства для ацетилена могут быть применены при использовании любого газа, а обратный клапан — только для газов—заменителей ацетилена, исключая водород.

Если давление газа—заменителя более 150 кПа, а давление ацетилена в газопроводе выше давления, на которое рассчитано предохранительное устройство (жидкостной затвор), то на газопроводе до газоразборного поста должен быть установлен сетевой редуктор для горючего газа, который необходим также в случае регулировки давления и поддержания его на заданном уровне. В других случаях установка сетевого редуктора необязательна.

Газопроводы. Для газопламенной обработки используют коммуникационные (межагрегатные), распределительные и магистральные газопроводы. Коммуникационные газопроводы связывают в единое целое оборудование станции или установки для производства ацетилена и кислорода. К ним же можно отнести газопроводы внутри газорегуляторной стан-

ции (ГРС) для газов—заменителей ацетилена. Распределительные (межцеховые и цеховые) газопроводы транспортируют газ от источника питания к цехам и местам потребления. Они могут быть внутренними и наружными. Магистральные (линейные) газопроводы предназначены для подачи газа от источника питания или ГРС к предприятиям-потребителям, где он поступает в распределительную сеть через головной газорегуляторный пункт (ГРП) или другое устройство. Магистральные газопроводы относятся к наружным и по протяженности могут быть значительными.

Характеристика газопроводов для горючих газов и кислорода, применяемых при газопламенной обработке, приведена в табл. 1.3.

Для коммуникационных (внутристанционных) и распределительных газопроводов расчет обычно сводится к определению внутреннего диаметра и толщины стенки трубы для принятого расхода газа с проверкой заданных перепадов давлений по длине газопровода. При расчете магистральных газопроводов важно определить пропускную способность (расчетный расход) газопровода и толщину стенки трубы в зависимости от его длины и конечного давления газа по заданному начальному давлению. Расчетные параметры коммуникационных газопроводов, связывающих оборудование внутри станции (установки), для производства ацетилена или кислорода определяются по ограничительным нормам. Расчетные внутренние диаметры распределительных и магистральных газопроводов, а также вводов должны определяться гидравличе-

1.3. Характеристика газопроводов для газопламенной обработки металлов

Газопровод	Группа (по давлению, категории)	Рабочее давление, кПа	Материал
Ацетилена	Давление:		
	низкое	Менее 20	Сталь (ГОСТ 8732—78, ГОСТ 8734—75, электросварная по ГОСТ 10704—91)
	среднее высокое	20... 150 Выше 150	Сталь (ГОСТ 8732—78, ГОСТ 8734—75)
Кислорода	Категория:		
	I	25000... 42000	Углеродистая или низколегированная сталь
	II	6400... 25000	
	III	4000... 6400	
	IV	2500... 4000	
	V	1600... 2500	
	VI	Менее 1600	
Природного и сжиженного газа	Давление:		
	низкое	Менее 5	
	среднее высокое	5... 300 Выше 300	

1.4. Рекомендуемые предельные скорости движения ацетилена в газопроводах

Газопровод	Давление, кПа	w, м/с
Магистральный (линейный)	150... 2500	1,5
	Менее 150	6... 8
Коммуникационный (внутри станции, агрегата или установки)	100... 150	4
	Менее 100	2
Распределительный (межцеховой, цеховой)	100... 150	8
	Менее 100	4

ским расчетом из условия обеспечения газоснабжения всех потребителей в часы максимального газопотребления.

Приближенный (без учета потерь давления) внутренний диаметр газопровода d (мм) при расчетном расходе газа V (м³/ч) и скорости движения его w (м/с) определяется по формуле

$$d \geq 18,8 \sqrt{\frac{V}{w}}. \quad (1.1)$$

Расход газа V обычно приводят к нормальным условиям (температуре 20 °С и абсолютному давлению, равному 0,1 МПа). Расчетный расход газа определяется на основании данных проекта и технических характеристик газопотребляющих агрегатов или аппаратуры с учетом одновременности их использования. Скорость движения газа w следует выбирать с учетом рекомендуемых предельных значений этого параметра для различных газов и сортамента применяемых труб. С экономической

точки зрения выгодно транспортировать газ по газопроводу со скоростью, близкой к предельно допустимой, с целью сокращения расхода металла на систему газопитания.

Рекомендуемые предельные скорости ацетилена приведены в табл. 1.4. Уменьшение в 2 раза допускаемых скоростей в межагрегатных (коммуникационных) газопроводах по сравнению с распределительными связано с технологическими особенностями производства ацетилена в генераторах. При более высоких скоростях протекания ацетилена возможен значительный унос пены и ила из газообразователей (генераторов), а также воды из аппаратов. В магистральных (линейных) газопроводах большой протяженности скорость ацетилена ограничивается 1,5 м/с для обеспечения безопасности транспортировки газа при среднем и высоком давлении.

Предельные скорости движения газов-заменителей не регламентированы. Рекомендуемые скорости кислорода приведены ниже.

Рабочее давление

кислорода, МПа.....	Менее 0,1	0,1... 0,3	0,3... 0,6	0,6... 1,6	1,6... 3,5	3,5... 10	10... 20
Скорость w, м/с.....	20	15	12	10	6	4	3

Внутренний диаметр ацетиленопроводов среднего давления (20...150 кПа) не должен превышать значений, указанных ниже, а для ацети-

ленопроводов высокого давления (более 150 кПа) не должен превышать 25 мм.

Рабочее давление, кПа	20... 60	70	80	90	110	150
Внутренний диаметр ацетиленопровода, мм.....	100	90	80	70	60	50

Если при определении внутреннего диаметра газопровода по формуле (1.1) получаются более высокие значения d и расход газа не может быть снижен, газопровод должен быть составлен из нескольких параллельных ветвей.

Для ацетиленопроводов низкого давления (менее 20 кПа), а также газопроводов других горючих газов и кислорода внутренний диаметр газопровода не ограничен.

Для распределительных газопроводов толщина стенки труб рассчитывается согласно указаниям по расчету стальных трубопроводов различного назначения. При этом толщины стенок труб подземных газопроводов должны быть не менее 3 мм, а надземных — не менее 2

мм. Толщина стенки труб магистральных (линейных) газопроводов определяется по нормам на эти трубы.

Гидравлический расчет распределительных газопроводов низкого давления производится по соответствующим нормам, а определение потерь давления газа в распределительных и магистральных газопроводах среднего и высокого давления (5...120 кПа) рекомендуется проводить по формуле

$$\frac{p_H^2 - p_K^2}{l} = 1,45 \cdot 10^{-4} \left(\frac{K_2}{d} + 1922 \frac{v d}{V} \right)^{0,25} \frac{V^2}{d^5} \rho, \quad (1.2)$$

1.5. Эквивалентные длины l_3 газопроводов для различной арматуры

Вид арматуры	Расчетная формула	Экспериментальная длина l_3 , м при диаметре трубы d , мм (средние значения)				
		10	25	50	75	100
Вентиль	$l_b = 0,1d(1,2 + 0,1\sqrt{d})$	1,5	4,3	9,5	15,5	22,0
Задвижка	$0,07l_b$	0,1	0,3	0,7	1,1	1,5
Нормальное колено с радиусом закругления $2d \dots 8d$	$0,05l_b$	0,1	0,2	0,5	0,8	1,1
Тройник	$0,5l_b$	0,8	2,2	4,8	7,8	11,0
Лирообразный компенсатор:						
гладкий	$0,45l_b$	0,7	1,9	4,3	7,0	9,9
складчатый	$0,55l_b$	0,8	2,4	5,2	8,5	12,1

где p_n и p_k — абсолютное давление газа соответственно в начале и в конце газопровода, МПа; l — расчетная длина газопровода, м; K_3 — эквивалентная абсолютная высота неровностей внутренней поверхности стенки трубы (для стальных труб $K_3 = 0,01$ см); v — коэффициент кинематической вязкости газа, $\text{м}^2/\text{с}$ при нормальных условиях; d — внутренний диаметр газопровода, см; V — расчетный расход газа, $\text{м}^3/\text{ч}$; ρ — плотность газа при нормальных условиях, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Для внутренних распределительных газопроводов и участков наружных газопроводов небольшой протяженности сложной конфигурации расчетная длина l газопровода определяется по формуле

$$l = l_1 + \sum \xi l_3, \quad (1.3)$$

где l_1 — действительная длина газопровода, м; $\sum \xi$ — сумма коэффициентов местных сопротивлений участка газопровода длиной l_1 ; l_3 — основная эквивалентная длина прямолинейного участка газопровода, потери давления на котором равны потерям давления в местном сопротивлении с коэффициентом $\xi = 1$, м.

Полученные опытным путем данные от эквивалентной длины газопроводов l_3 для различной арматуры приведены в табл. 1.5.

Глава 2

ОПИСАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ

2.1. АЦЕТИЛЕНОВЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ

Ацетиленовые установки и генераторы являются источниками получения ацетилена из карбида кальция для газоснабжения сварочных постов горючим газом.

Ацетиленовые установки классифицируют по производительности и виду вырабатываемой

продукции. Различают установки малой (до $20 \text{ м}^3/\text{ч}$), средней ($20 \dots 80 \text{ м}^3/\text{ч}$) и большой (свыше $80 \text{ м}^3/\text{ч}$) производительности. По вырабатываемой продукции установки делятся на установки, производящие газообразный или растворенный ацетилен, а также установки смешанного типа.

Станции малой производительности вырабатывают только газообразный ацетилен; они комплектуются генераторами среднего давления, обеспечивающими подачу ацетилена потребителям по трубопроводу. Станции средней и большой производительности могут вырабатывать газообразный ацетилен, растворенный, а также тот и другой вместе. Станции средней производительности могут комплектоваться генераторами среднего или низкого давления. Станции большой производительности комплектуются генераторами низкого давления.

Ацетиленовые установки включают технологическое и вспомогательное оборудование, необходимое для производства ацетилена из карбида кальция. Различают установки для получения газообразного или растворенного ацетилена. Установки для производства ацетилена построены на базе унифицированных технологических узлов низкого, среднего и высокого давления. Узел низкого давления служит для получения газообразного ацетилена, очищенного от примесей, и подачи его в газопровод низкого давления до 10 кПа и далее к сварочным постам. Узел среднего давления предназначен для подачи газообразного ацетилена водокольцевым насосом под давлением до 120 кПа в газопровод на потребление. Узел высокого давления служит для получения растворенного ацетилена за счет компримирования его до давления $2,3 \text{ МПа}$. Унифицированные узлы имеют производительность 20 , 40 и $80 \text{ м}^3/\text{ч}$. На их основе комплектуются ацетиленовые установки производительностью $20 \dots 160 \text{ м}^3/\text{ч}$. Ус-

2.1. Варианты применения генераторов в зависимости от номинальной производительности, наибольшего допустимого давления и способа взаимодействия карбида кальция с водой

Параметры	Передвижные генераторы				Стационарные генераторы							
Номинальная производительность, м ³ /ч	0,6	1,25	1,5	3	5	10	20	40	50	120	320	640
Давление, кПа:												
система КВ:												
менее 20	—	—	—	—	—	—	+	+	+	+	+	+
20... 150	—	—	—	—	—	—	+	+	+	+	—	—
система ВК:												
тип М:												
менее 20	+	+	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—
20... 150	+	+	+	+	+	+	—	—	—	—	—	—
тип С:												
20... 150	—	—	—	—	—	—	+	+	+	(+)	(+)	(+)
система К:												
тип ВВ:												
менее 20	+	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—
20... 150	+	+	+	+	±	±	—	—	—	—	—	—
тип ПК:												
20... 150	±	±	±	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Примечание. Знаки обозначают: "+" — применение данного типа; "—" — недопустимость применения; (+) — нерекомендуемое применение; "±" — применение в сочетании с другим вариантом процесса.

тановки производительностью менее 20 м³/ч комплектуются специализированными узлами.

Ацетиленовые генераторы классифицируют: по давлению вырабатываемого ацетилена — низкого (менее 2 кПа) и среднего (20...150 кПа); по способу установки и условиям эксплуатации — стационарные и передвижные; по способу взаимодействия карбида кальция с водой — системы карбид в воду (КВ), вода на карбид (ВК) и контактный (К). Генераторы системы ВК основаны на процессах мокрого (М) и сухого (С) разложения карбида кальция. Генераторы системы К могут работать по принципу "вытеснения воды" (ВВ) или "погружения карбида" (ПК). Допускается в одном генераторе сочетать различные системы разложения карбида (комбинированные генераторы).

Рекомендуемые системы ацетиленовых генераторов для различных давлений и производительности, применяемые для питания ацетиленовой аппаратуры газопламенной обработки металлов, приведены в табл. 2.1. В химической промышленности используют стационарные генераторы большой производительности (750...1000 м³/ч), изготавливаемые по индивидуальным заказам.

Наиболее высокий коэффициент полезного использования карбида кальция обеспечивают генераторы системы КВ ("карбид в воду"), в них осуществляется достаточный теплоотвод и промывка газа. (Коэффициент полезного использования карбида кальция — отношение фактически полученного объема ацетилена к объему, который можно получить согласно паспортной характеристике карбида кальция, исходя из одновременной загрузки генератора.)

Значительный расход воды обуславливает большие размеры генераторов и увеличенное, по сравнению с генераторами других систем, количество отходов в виде жидкого ила.

Стационарные генераторы, как правило, входят в состав ацетиленовых установок, однако возможно их использование в качестве отдельных агрегатов для централизованного снабжения нескольких рабочих (сварочных) постов ацетиленом. К таким генераторам относятся генераторы среднего давления типа АСК комбинированной системы, производительностью 5...10 м³/ч. Их применяют преимущественно в небольших производствах (менее десяти сварочных постов). Генераторы типа АСК устанавливают в отдельном помещении.

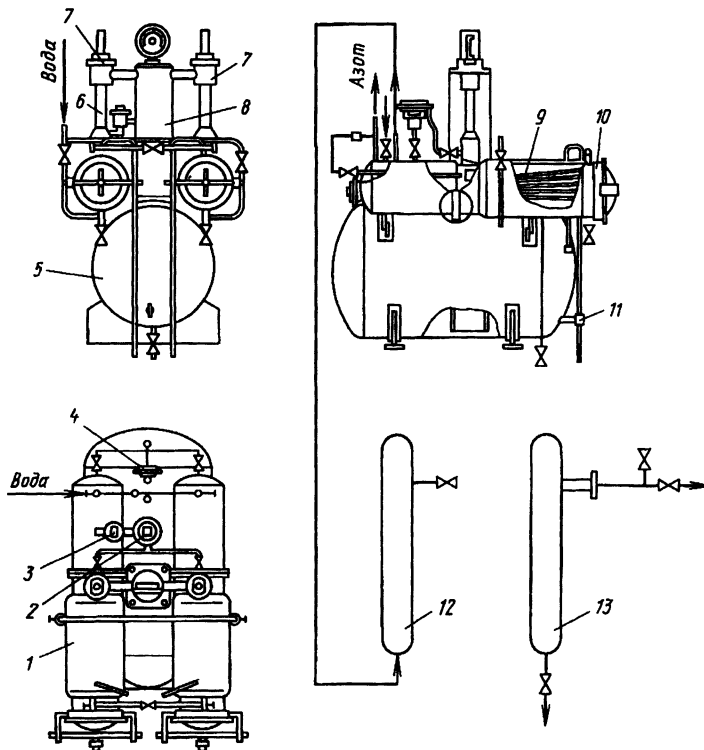


Рис. 2.1. Стационарный ацетиленовый генератор АСК-1-67:

1 — реторта; 2 — регулятор подачи воды; 3 — обратный водяной клапан; 4 — предохранительный клапан; 5 — газосборник; 6 — трубопровод; 7 — обратный газовый клапан; 8 — труба; 9 — загрузочная корзина; 10 — крышка реторты; 11 — контрольный кран; 12 — водяной затвор; 13 — влагосборник

Генератор АСК-1-67 (рис. 2.1) является аппаратом среднего давления, работающим по комбинированной системе "вода на карбид" и "вытеснение воды".

При большом объеме газопламенных работ используют генераторы низкого и среднего давления системы "карбид в воду" производительностью 20 м³/ч и более. В этих генераторах газообразование регулируется количеством подаваемого в воду карбида кальция. Разложение карбида производится в наилучших условиях при избытке воды с хорошим охлаждением и промывкой ацетилена. Генераторы производительностью более 10 м³/ч, как правило, размещаются на ацетиленовой станции.

Основными генераторами низкого давления производительности (20...160 м³/ч), используемыми в установках для получения газообразования или растворенного ацетилена, являются генераторы типа ГНД. На рис. 2.2 показана принципиальная схема газообразователя генератора ГНД-80. Карбид кальция из бункера 1 подается в газообразователь питателем 2. Питатель 2 и мешалка 6 приводятся в движение электродвигателем во взрывозащи-

щенном исполнении. Для автоматического поддержания уровня воды в газообразователе применен командоаппарат 3, с помощью которого в зависимости от положения поплавка регулируются подача воды и клапан слива жидкого ила. В ловушке 7 собирается густой ил и ферросилиций, которые удаляются из газообразователя при отключении реактора от ловушки ферросилиция верхним шибером 12. Густой ил удаляется через нижний шибер 13.

Техническая характеристика наиболее широко применяемых стационарных ацетиленовых генераторов приведена в табл. 2.2.

Передвижные генераторы имеют широкое использование для газовой сварки и резки. Наиболее распространенный тип передвижного генератора — генератор среднего давления АСП-1,25 с наибольшим давлением в корпусе 150 кПа. Производительность генератора 1,25 м³/ч, масса одновременно загружаемого карбида кальция 3,5 кг. Генератор работает по контактной системе в сочетании с вариантом процесса "вытеснение воды".

Для выполнения различных видов газопламенной работы по сварке, резке, пайке, на-

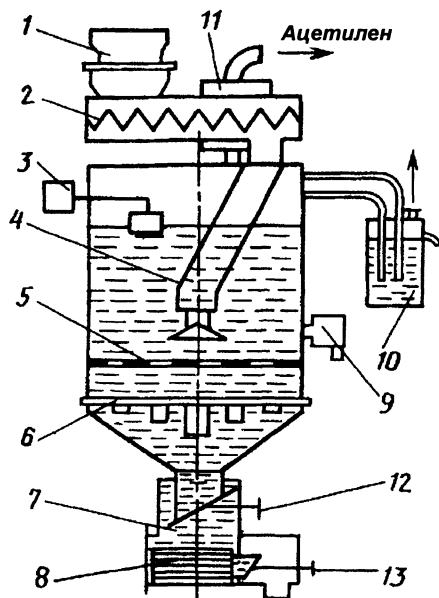


Рис. 2.2. Газообразователь генератора ГНД-80:
1 — бункер; 2 — питатель; 3 — командоаппарат; 4 — шахта; 5 — поворотная решетка; 6 — мешалка; 7 — ловушка ферросилиция; 8 — корзина для ферросилиция; 9 — клапан слива ила; 10 — гидравлический затвор; 11 — промыватель; 12 — верхний шибер; 13 — нижний шибер

плавке и напылению, требующих расход ацетилена до 1750 л/ч, применяют передвижной комплект оборудования КГ-1 (рис. 2.3). Номинальная производительность генератора АПК-3, входящего в состав комплекта, 3 м³/ч, а рабочее давление 20...150 кПа.

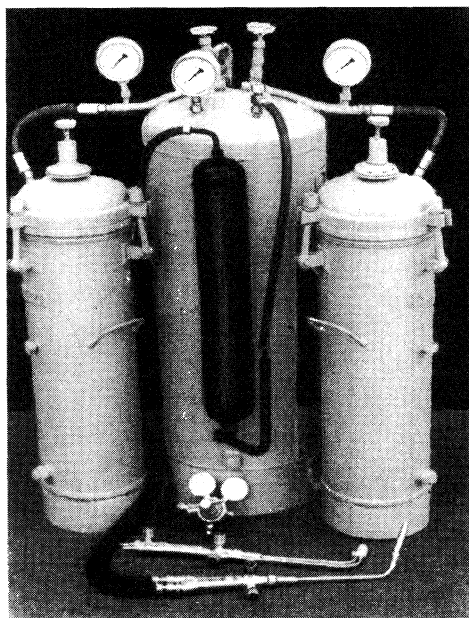


Рис. 2.3. Передвижной генератор КГ-1

2.2. ЭЛЕКТРОЛИЗНО-ВОДНЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ

Электролизно-водный генератор — это аппарат для получения водородокислородной смеси электролитическим разложением воды [1]. Первоначальная разработка конструкций электролизеров на принципах раздельного получения из воды водорода и кислорода под давлением выше 10 МПа, высокого напряжения электролизера (более 220 В), стационарности исполнения настолько усложнили условия их эксплуатации, что ограничились возмож-

2.2. Техническая характеристика стационарных ацетиленовых генераторов

Показатели	АСК-1	АСК-3	АСК-4	ГНД-20	ГНД-40	ГНД-80	ГНД-160
Номинальная производительность, м ³ /ч	5	10	10	20	40	80	160
Давление ацетилена, кПа:							
рабочее	15... 40	70	15... 40	4	5	8	8
наибольшее	70	150	70	50	60	10	10
Единовременная загрузка карбида кальция, кг:							
в бункер	—	—	—	250	500	1000	1300
в реторты	22	50	50	—	—	—	—
Расход воды на охлаждение, л/ч	150	370	370	500	1000	2000	4000
Масса, кг	170	485	505		1199	2873	—

2.3. Техническая характеристика электролизно-водных генераторов

Параметры	П-105	A-1803	МЭГ-04	A-1799	НСХ-300	НСХ-5000
Производительность, м ³ /ч	0,34	1,6	0,35	4,0	0,3	5,0
Потребляемая мощность, кВт	2,6	7	1,4	16	1,6	18
Напряжение питающей сети, В	220	380	220	380	—	—
Габаритные размеры, м	0,6×0,3× ×0,5	1,0×0,45× ×0,65	0,5×0,2× ×0,4	1,01×0,5× ×1,05	—	—
Масса, кг	51	110	205	320	78,5	765,6

ность их использования только специализированными предприятиями [7]. Новая концепция в разработке электролизеров — получение из воды водородокислородной смеси стехиометрического состава, проведение электролиза при давлении до 0,1 МПа, исключение накопления опасных объемов смеси — позволила создать малогабаритные безопасные простые в обслуживании электролизно-водные генераторы — основу для разработки газопламенной технологии на перспективном типе горючей смеси.

Опыт использования водородокислородного пламени для сварки показал, что оптимальная производительность горючей смеси генератора должна быть примерно 1 м³/ч, а для резки металла 1,5...2,0 м³/ч. Для питания одного поста газовой сварки и резки генератор должен обеспечивать стабильную регулировку производительности в диапазоне 0,1...2 м³/ч горючей смеси. При питании от сети 220 В генераторы обеспечивают максимальную производительность 0,3...0,4 м³/ч горючей смеси, что достаточно для сварки стальных деталей толщиной около 1 мм.

Современные типы электролизно-водных генераторов, используемых для газовой сварки, выполнены по следующей схеме: источник питания — электролизер — устройство для регулирования состава газовой смеси — предохранительное устройство — горелка. Отличие различных конструкций заключается в выборе типов электролизера и источника питания, набора вспомогательной и защитной аппаратуры, обеспечивающей проведение технологических работ [1]. Известны два основных типа электролизеров: монополярные и биполярные.

Монополярные электролизеры выполнены в виде герметичной металлической конструкции объемом 3...5 л, в которой находится электродная система, полностью погруженная в электролит (10...30%-ный раствор щелочи). Электродная система рассчитана, как правило, на рабочий ток силой менее 300 А при напряжении на двух парах электродов 1,8...2,4 В. Монополярный тип электролизера заложен в основу генераторов типов П-105 и А-1803, техническая характеристика которых приведена в табл. 2.3. Эти генераторы имеют жесткий

герметичный металлический корпус, который предотвращает течь электролита при продолжительной работе и разрушение ячейки электролизера при обратном ударе. Выходное напряжение трансформатора, питающего электролизер, составляет 3...30 В, что повышает электробезопасность работы генератора. Однако необходимость для этих генераторов в специальных трансформаторных или сварочных источниках питания увеличивает массу, размеры, а следовательно, стоимость комплекта оборудования по сравнению с генераторами биполярного типа той же производительности. Повышение эффективности использования комплекса электролизно-водного генератора монополярного типа со сварочным источником питания достигается на рабочих местах, на которых помимо газовой сварки применяют электродугую.

Биполярные электролизеры состоят из набора пластинчатых электродов, изолированных между собой резиновыми прокладками, образующими внутренний объем для электролита и газа. При падении напряжения на одной ячейке 1,8...3 В можно рассчитать конструкцию электролизера на напряжение 220 или 380 В без использования трансформаторного источника питания. Электролизно-водные генераторы с электролизерами производительностью 0,04...4 м³/ч горючей смеси разработаны различными организациями (см. табл. 2.3).

В генераторах с биполярными электролизерами отсутствуют громоздкий трансформаторный источник питания, медные шины для коммутации тока между ячейками, а в выпрямителе применяются диоды малой и средней мощности. Поэтому они имеют лучшие массогабаритные характеристики, чем генераторы с монополярным электролизером той же мощности. Существенным недостатком электролизно-водных генераторов с биполярным электролизером является возможность разрушения межэлектродных прокладок и высокое напряжение на электролизере.

Анализ удельных массогабаритных характеристик — отношения производительности к массе генераторов и массы генератора к его объему — показывают, что лучшие образцы отечественных электролизно-водных генераторов не уступают по этим показателям последним зарубежным моделям. Так, на получение

1,5 м³ смеси, состоящей из двух объемов водорода и одного объема кислорода, расходуется около 0,8 л дистиллированной или деионизированной воды. Смесь обогащается парами углеводородных жидких соединений методом барботирования. Это дает возможность визуального контроля за характером горения пламени. Расход углеводородной жидкости (бензина, спирта, ацетона и др.) не превышает 0,2 л на 1,5 м³ водородокислородной смеси. Учитывая, что для замены 1 м³ ацетилено-кислородной смеси требуется 1,15 м³ водородокислородной, для производства этого эквивалентного объема требуется меньше в 1,5 раза электроэнергии и в 1,3 раза технологической воды. Кроме того, достигается также экономия материальных ресурсов в сопряженных производствах (кокса и антрацита, извести, электродной массы и пр.). Внедрение одного электролизно-водного генератора производительностью 1,5 м³/ч горючей смеси экономит около 12 т карбида кальция в год.

2.3. ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

Предохранительные устройства предназначены для защиты ацетиленовых установок генераторов трубопроводов и резиноканевых рукавов от проникновения в них ацетилено-кислородного, ацетилено-воздушного пламени и распада ацетилена, а также от проникновения кислорода и воздуха со стороны потребителя. К предохранительным средствам относятся: огнепреградители, предохранительные затворы и обратные клапаны и пламегасители.

Огнепреградители предназначены для предотвращения проникновения пламени и детонационной волны взрывного распада ацетилена из защищаемого аппарата или участка газопровода по коммуникациям. В линиях низкого и среднего давления используют, как правило, огнепреградительные башни, устанавливаемые на выходе из генераторного отделения перед газгольдером и на входе в отдельно стоящий газопотребляющий цех или наполнительное отделение.

В линиях высокого давления для локализации возможного очага взрывного распада ацетилена применяют огнепреградители высокого давления трех типов: сетевые, баллонные и манометровые (табл. 2.4).

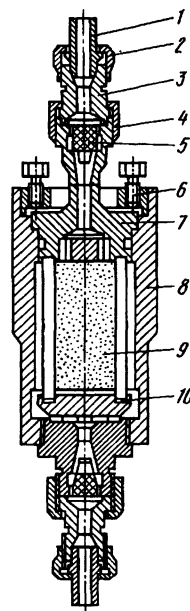


Рис. 2.4. Сетевой огнепреградитель ЗСО-1:

1 — присоединительный ниппель; 2, 4 — насадные гайки; 3 — штуцер; 5 — корпус клапана; 6 — болт; 7 — нажимная гайка; 8 — корпус; 9 — пламегасящий элемент; 10 — прокладка

Сетевой огнепреградитель типа ЗСО-1 (рис. 2.4) многоразового действия, работает в комплексе с отсечными клапанами. При возникновении взрывного распада (с любой стороны) под давлением взрывного давления конус 5 клапана мембранного типа срезается, клапан перекрывает шток газа и пламя локализуется в пламегасящем элементе 9. Сетевые огнепреградители устанавливают на выходе после компрессора, на входе и выходе осушительных батарей, на входе и выходе щитов управления наполнительными рампами, на входе в рампы.

Баллонный огнепреградитель типа ЗВП-2 располагают между коллектором наполнительной рампы и наполняемым баллоном. Манометровый огнепреградитель типа ЗВМ-2, уста-

2.4. Техническая характеристика огнепреградителей высокого давления

Параметры	ЗСО-1	ЗВП-2	ЗВМ-2
Максимальная пропускная способность, м ³ /ч	60	3	—
Максимальное рабочее давление, МПа	2,5	2,5	2,5
Максимальное сопротивление потоку газа, кПа	15... 20	35	90
Габаритные размеры, мм	114×530	57×135	36×110
Масса, кг	18	1,3	0,5

2.5. Техническая характеристика центральных (групповых) затворов

Затвор	Тип	Максимальная пропускная способность, м ³ /ч	Максимальное рабочее давление, МПа	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
Жидкостный среднего давления	ЗСБ-1	10	0,07	450×150	35
	—	20	0,15	1250×870×230	102
Сухой среднего давления	ЗСП-20	20	0,15	70×250	3
Жидкостный среднего давления	—	40	0,07	1710×745×670	196
Жидкостный низкого давления	—	160	0,01	2235×1175×1100	610
Сухой среднего давления с пламе- гасящей вставкой	ЗСУ-1	5,0	0,15	85×80×180	1,9
Сухой среднего давления с пламе- отсекающим устройством	ЗС-3,2	3,2	0,15	Ø 80×120	1,1

2.6. Техническая характеристика постовых затворов

Параметры	ЗСП-8	ЗСУ-1	ЗС-3,2
Максимальная пропускная способность, м ³ /ч	3,2	5	3,2
Максимальное давление, кПа	70	150	150
Максимальное сопротивление потоку, кПа	6	20	10
Габаритные размеры, мм	210×165×690	85×80×160	80×120
Масса, кг	5,7	1,9	1,1

навливаемый перед манометром, предохраняет его от разрушения в случае взрывного разложения ацетилена в системе трубопроводов или отдельных аппаратов. Во всех типах огнепреградителей используются вставки (элементы) из порошкового материала, в узких каналах которых локализуется пламя взрывного распада ацетилена.

Предохранительные затворы предназначены для предотвращения проникновения пламени, а также воздуха или кислорода в защищаемое оборудование и коммуникации со стороны потребителя. Их устанавливают на ацетиленопроводах низкого и среднего давления ниже 0,15 МПа, а также на ацетиленовых передвижных и стационарных генераторах производительностью менее 10 м³/ч. В зависимости от вида пламегасящего элемента предохранительные затворы подразделяют на жидкостные и сухие, а в зависимости от назначения и места установки — центральные (групповые) и постовые.

Центральные (групповые) затворы являются устройствами, через которые осуществляется газопитание группы инструментов (резанов, горелок) для газопламенной обработки, каждый из которых обеспечен индивидуальным средством защиты (постовым затвором).

Их устанавливают на ацетиленовых станциях и распределительных ацетиленопроводах. Техническая характеристика центральных затворов приведена в табл. 2.5.

В качестве центрального (группового) затвора для распределительных ацетиленопроводов среднего давления рекомендуется сухой затвор типа ЗПС-20. Центральные (групповые) жидкостные затворы рекомендуется устанавливать в запираемых вентилируемых шкафах, а сухие — на открытых панелях.

Постовые затворы являются индивидуальными защитными устройствами, через которые осуществляется газопитание одного инструмента для газопламенной обработки. Серийно выпускаются три типа постовых затворов среднего давления производительностью менее 5 м³/ч (табл. 2.6): жидкостный ЗСП-8, сухой ЗСУ-1 с пламегасящей вставкой из порошкового материала и ЗС-3,2, работающий по принципу пламезадержания. Предохранительные устройства такого типа задерживают распространение пламени в течение времени, достаточного для срабатывания отсечного устройства.

Наиболее компактным и надежным является затвор типа ЗСУ-1. Постовые затворы устанавливаются в газоразборных постах на газо-

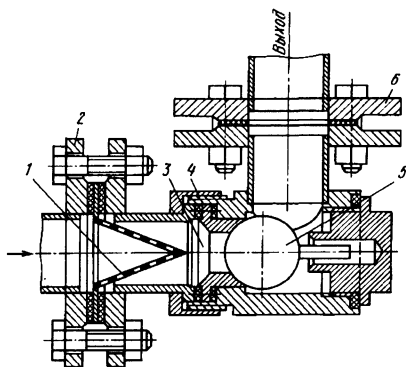


Рис. 2.5. Постовой обратный клапан типа ЛЗС:
1 — фильтрующая сетка; 2 — входная часть; 3 — коническое седло; 4 — корпус; 5 — шарик; 6 — выходная часть

проводах в местах отбора газа, а также на передвижных ацетиленовых генераторах. Допускается использовать для работы на всех газах — заменителях ацетилена, включая водород, постовые затворы, предназначенные для ацетилена. Использовать для этих целей затворы или обратные клапаны, предназначенные для работы на газах — заменителях ацетилена, запрещается.

Обратные клапаны предназначены для предотвращения поступления газа со стороны потребителя в защищаемое оборудование и коммуникации (газопроводы). Их используют только при работе аппаратуры (оборудования) на газах — заменителях ацетилена (за исключением водорода). Различают обратные

клапаны для газов — заменителей ацетилена (кроме водорода) и жидкостей. Обратные клапаны типа ЛЗС (рис. 2.5) устанавливают на газопроводах для газов — заменителей ацетилена в местах отбора газа для потребления (газоразборных постах). Обратные клапаны типа ЛКО-1 применяют при работе на жидком горючем, они защищают кислородные рукава от проникновения в него жидкого горючего и обратного удара пламени.

Обратные клапаны типа ЛЗС, а также жидкостные предохранительные затворы являются защитными устройствами гравитационного действия и должны устанавливаться строго вертикально. Обратный клапан типа ЛКО приеоединяют к рукоятке керосинореза. Техническая характеристика обратных клапанов приведена в табл. 2.7.

Пламегасители предназначены для предотвращения проникновения обратного удара пламени в рукав, соединяющий огневую аппаратуру с предохранительным устройством (постовым затвором) или газовым коллектором газопотребляющего агрегата (машины или установки). Пламегасители устанавливают на входных штуцерах резаков, горелок, напылительных устройств, стационарных машин и установок для газопламенной обработки. Допускается использование пламегасителей на ручной аппаратуре, если давление горючего газа не ниже 30 кПа. При условии установки пламегасителей на машинах и установках для газопламенной обработки металлов разрешается использование центральных затворов вместо постовых на газоразборных постах.

Различают пламегасители двух типов: для ацетилена типа ПГа и кислорода типа ПГк (табл. 2.8). В пламегасителях типов ПГа и ПГк используются пламегасящие элементы из порошкового материала, обладающие повы-

2.7. Техническая характеристика обратных клапанов

Параметры	ЛЗС-3	ЛЗС-1	ЛКО-1
Максимальная пропускная способность, м ³ /ч	40	10	36
Максимальное рабочее давление, кПа	300	150	1000
Максимальное сопротивление потоку, кПа	25	25	100
Габаритные размеры, мм	160×180	45×160	28×63
Масса, кг	7,9	0,755	0,14

2.8. Техническая характеристика пламегасителей

Параметры	ПГа	ПГк
Максимальное давление на входе, кПа	135	1000
Пропускная способность, м ³ /ч	2	2
Сопротивление потоку газа, кПа	10	30
Масса, кг	0,2	0,2
Габаритные размеры, мм	25×90	25×90

шенным сопротивлением потоку газа, поэтому для надежной работы огневой аппаратуры, на которой установлены пламегасители, давление ацетилена на входе в резак или горелку должно быть не ниже 30 кПа. Пламегасители типа ПГа могут быть использованы для работы на горючих газах—заменителях ацетилена.

2.4. ПЕРЕПУСКНЫЕ РАМПЫ

Перепускные ramпы применяются, как правило, при отсутствии на предприятии ацетиленовой или кислородной станции, резервуарных установок сжиженных газов и других источников централизованного питания рабочих постов. Возможно использование пере-пускных ramп также для питания одного рабочего поста, требующего значительного расхода горючего газа и кислорода. В зависимо-

сти от потребления газа они могут содержать различное число баллонов. Технические данные пере-пускных ramп для различных газов приведены в табл. 2.9.

Ацетиленовая пере-пускная ramпа (рис. 2.6) рассчитана на присоединение одновременно 12 баллонов. На выходе из ramпового редуктора установлен центральный затвор типа ЗПС-20 для предотвращения проникновения обратного удара пламени газовой смеси или воздуха в коллектор ramпы со стороны потребления. Рабочее давление ацетилена после редуктора 20...100 кПа, допустимый отбор ацетилена из одного баллона с насыпной пористой массой не более 1,5 м³/ч, а пропускная способность ramпы менее 15 м³/ч.

Пропан-бутановая пере-пускная ramпа 2 × 5 комплектуется ramповым редуктором ти-

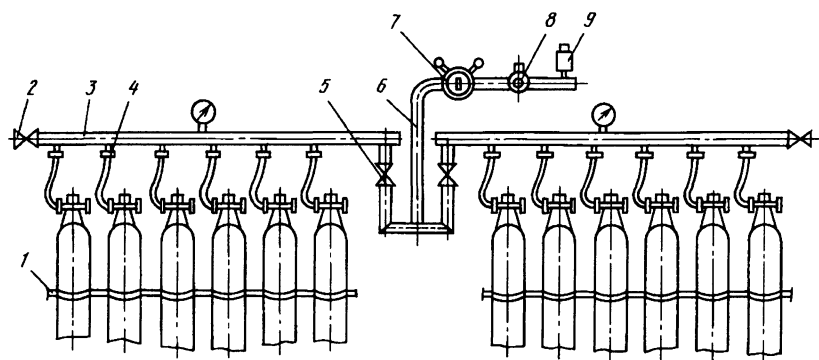


Рис. 2.6. Ramпа ацетиленовая разрядная типа RAP-15:

1 — гол крепления; 2 — продувочный вентиль; 3 — коллектор; 4 — присоединительный рукав; 5 — пере-пускной вентиль; 6 — центральный коллектор; 7 — редуктор; 8 — предохранительный клапан; 9 — предохранительный затвор

2.9. Техническая характеристика пере-пускных (разрядных) ramп

Параметры	Ацетиленовая 2×6 RAP-15	Пропан-бутановая 2×5	Кислородная 2×10
Число присоединяемых баллонов в ветвях:			
одной	6	5	10
двух	12	10	20
Максимальная пропускная способность ветвей, м ³ /ч:			
одной	7,5	12,5	125
двух	15	25	250
Максимальное рабочее давление газа, кПа:			
до редуктора	2500	2500	20000
после редуктора	20... 100	20... 300	300... 1600
Масса, кг	80	—	—

па РПД для сжиженных газов, рассчитанным на расход газа менее $25 \text{ м}^3/\text{ч}$. Пропускная способность ramпы определяется числом присоединенных баллонов и максимально возможным отбором пропана из них в зависимости от количества газа в баллоне, его размеров, температуры и влажности окружающего воздуха. Максимально возможный отбор пропана или газа, близкого к нему по составу, из полного баллона вместимостью 45 кг в сухом спокойном воздухе при температуре $+21^\circ\text{C}$ составляет 6,35 кг/ч, при температуре -21°C — 1,86 кг/ч, а во влажном воздухе при температуре $+21^\circ\text{C}$ — 2,09 кг/ч.

Кислородная перепускная ramпа рассчитана на присоединение одновременно 10 или 20 баллонов. На ramпе установлен ramповый редуктор типа КЗ-250.

Перепускные ramпы для аргона, азота, гелия и других газов могут быть такими же, как кислородные, но с окраской в соответствующий цвет: черный для аргона и азота, коричневый для гелия. Кислородная ramпа может быть также использована для водорода с окраской ее в темно-зеленый цвет, при условии замены кислородных вентилях водородными (типа ВВ) и установкой на накидных гайках рукавов переходников с левой резьбой диаметров 21,8 мм 14 ниток на 1" (профиль резьбы по ГОСТ 6357—81).

Перепускные ramпы крайне редко используются для газопитания стационарных рабочих постов природным или городским газом. Блсе экономично подавать эти газы по газопроводу. Однако при необходимости организации ramпового питания сжатыми горючими газами—заменителями ацетилена (давлением ниже 15 МПа) допускается применять кислородную ramпу с окраской ее и редуктора в красный цвет и аналогичной переделкой накидных гаек. В этом случае наименьшее рабочее давление газа в сети в соответствии с технической характеристикой ramпового редуктора РКВ-250 составляет 0,3 МПа. После переделки ramпы необходимо оформить соответствующий документ о проверке и пригодности ее к эксплуатации.

2.5. ГАЗОРАЗБОРНЫЕ ПОСТЫ И РУКАВА

Газоразборные (газораздаточные) посты предназначены для отбора и подачи газов от газопроводов к аппаратуре для газопламенной

обработки металлов. Газоразборные посты должны устанавливаться на ответвлениях газопроводов в местах потребления газов.

Газоразборные посты ацетилена содержат: запорный вентиль и предохранительное устройство (постовой затвор) жидкостного или сухого типа, характеристики которого должны соответствовать наибольшему рабочему давлению и расходу газа питаемой аппаратуры. Серийно выпускаются два типа газоразборных постов ацетилена (табл. 2.10).

Газоразборный пост ПГА-3,2-70 комплектован жидкостным постовым затвором типа ЗСП-8 с малым сопротивлением протоку газа и рассчитан на газопровод с наибольшим давлением газа. Пост ПГУ-5 имеет сухой затвор типа ЗСУ-1 с повышенным сопротивлением потоку газа, но зато может быть использован в газопроводах с повышенным давлением газа. Газоразборные посты ацетилена разрешается использовать для газов-заменителей (пропан-бутана, природного газа, водорода и др.). Общий вид газоразборного поста ацетилена типа ПГУ-5 представлен на рис. 2.7.

Газоразборные посты газов-заменителей устанавливаются так же, как газоразборные посты ацетилена. В отличие от последних, они комплектуются не постовым затвором, а обратным клапаном. Газоразборные посты газов—заменителей ацетилена серийно не выпускаются (табл. 2.11).

Газоразборные посты ПГЗ-10 комплектуются запорным вентилем и обратным клапаном типа ЛЗС-1, а газоразборные посты ПГП-6 и ПГМ-10 также и сетевыми редукторами, соответственно ДПС и ДМС. Обратные клапаны служат для предохранения газопровода горючего газа от перетекания в него кислорода со стороны потребления.

При давлении газа в газопроводе свыше 0,3 МПа вместо сетевого редуктора необходимо баллонный редуктор для соответствующего газа. Газоразборные посты газов-заменителей запрещается использовать для ацетилена и водорода.

Газоразборные посты кислорода в отличие от постов для горючих газов не имеют предохранительного устройства. В зависимости от давления и пропускной способности поста он комплектуется запорным устройством и сетевым или баллонным редуктором. Техническая

2.10. Техническая характеристика газоразборных постов ацетилена

Параметры	ПГА-3,2-70	ПГУ-5
Пропускная способность, $\text{м}^3/\text{ч}$	3,2	5
Давление газа на входе, кПа	70	30... 150
Сопротивление потоку газа (при номинальной пропускной способности), кПа, не более	6	25
Габаритные размеры, мм	300×270×165	150×182×425
Масса, кг	14,2	6,4

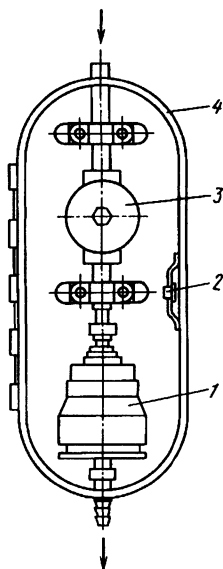


Рис. 2.7. Газоразборный пост ПГУ-5:

1 — затвор (сухой) ЗСУ-1; 2 — замок; 3 — вентиль;
4 — корпус

Выбор типа зависит от параметров (давления и расхода газа) питаемой кислородом аппаратуры. Разрешается в газоразборном посту кислорода редуктор не устанавливать, если давление кислорода в газопроводе не может превысить 1,6 МПа.

Рукава для газопламенной обработки изготавливают резиноканевыми (ГОСТ 9356—75) следующих классов: I) для подачи горючих газов под давлением ниже 0,63 МПа; II) для подачи жидкого топлива или его смеси под давлением 0,63 МПа; III) для подачи кислорода под давлением ниже 2 МПа. Допускается использовать рукава класса II вместо рукавов класса I при условии нанесения на них красных полос. Обычно применяют рукава следующих размеров.

Диаметр, мм:

внутренний $6 \pm 0,5$ $9 \pm 0,5$ $12 \pm 0,5$ $16 \pm 0,5$
наружный $15 \pm 0,5$ $18 \pm 1,0$ $22,5 \pm 1,0$ $26 \pm 1,0$

Длина рукавов для газопламенной обработки не должна превышать 30 м в цеховых условиях и 40 м на монтаже. При работе на жидком горючем длина рукавов должна быть меньше 10 м. К аппаратуре рукава присоединяют при помощи ниппелей. При соединении концов двух рукавов используют двусторонние ниппели. Пользоваться гладкими ниппелями запрещается. Минимальная длина отрезка стыкуемых рукавов должна быть не менее 3 м. Закреплять рукава на ниппелях следует мягкой отожженной проволокой не менее чем в двух местах по длине ниппеля. Для закрепле-

характеристика газоразборных постов кислорода приведена в табл. 2.12.

2.11. Техническая характеристика газоразборных постов газов — заменителей ацетилена

Параметры	Пропан-бутан		Природный газ ПГМ-10
	ПГЗ-10	ПГП-6	
Пропускная способность, м ³ /ч	10	6	10
Давление, кПа:			
на входе	150	300	300
на выходе	125	20... 150	20... 150
Сопротивление, кПа, менее	25	25	25
Тип редуктора	—	СПО	СМО
Габаритные размеры, мм	210×190×195	390×220×210	390×220×210

2.12. Техническая характеристика серийно выпускаемых газообразных постов кислорода

Параметры	ПГК-10	ПГК-40	ПГК-90
Пропускная способность, м ³ /ч	10	40	90
Давление, кПа:			
на входе	200... 1600	300... 15000	1000... 3500
на выходе	100... 500	100... 1500	300... 1600
Габаритные размеры, мм	335×400×220	330×380×220	670×390×272
Масса, кг	8	8,4	38

ния рукавов рекомендуется использовать хомутики. Присоединение резиновых рукавов (ГОСТ 9356—75) к резакам машин термической резки должно производиться при помощи ниппельно-муфтовых соединений.

2.6. ГАЗОВЫЕ РЕДУКТОРЫ

В схемах газоснабжения редукторы применяют для понижения давления газа, поступающего из баллона, газопровода или перепускной ramпы, и автоматического поддержания постоянным заданного рабочего давления. Имеются свыше 30 типов редукторов различного назначения. Основные типы серийно выпускаемых редукторов унифицированы. Редукторы классифицируют по следующим признакам: по назначению (месту установки в системе газоснабжения) — баллонные (Б), рамповые (Р), сетевые (С); по роду редуцируемого газа — ацетиленовые (А), кислородные (К), метановые (М), пропан-бутановые (П), воздушные (В), углекислотные (У); по конструктивной схеме — одноступенчатые (О), двухступенчатые (Д), с зататчиком (З), с непероточной пневмокамерой (Е).

Техническая характеристика серийно выпускаемых редукторов некоторых типов приведена в табл. 2.13.

Баллонные редукторы (рис. 2.8) используют при индивидуальном способе газоснабжения рабочего (сварочного) поста от баллона. Конструктивно они выполнены на одной базе, за исключением редуктора БКО-25-2, который имеет уменьшенный корпус. Редукторы присоединяются к баллону преимущественно с помощью накладной гайки, а также хомуты с винтом.

Сетевые редукторы применяют при централизованном газопитании одного рабочего (сварочного) поста от газопроводов, когда давление газа в газопроводе превышает допустимое перед аппаратурой или предохранительным устройством, а также, если давление в газопроводе для сжиженных и природных газов превышает 0,15 МПа. В отличие от баллонных редукторов, сетевые редукторы снабжены не двумя, а одним манометром, показывающим давление газа, выходящего из редуктора.

Рамповые редукторы устанавливают на перепускных ramпах с помощью фланцевого крепления в основном для централизованного снабжения рабочих постов от газопровода. При проектировании схем газоснабжения рабочих постов необходимо выбирать редукторы в соответствии с их назначением и параметрами.

Специальные баллонные редукторы предназначены для высокого давления и для инертных газов (аргона, гелия, азота и др.). Редукторы высокого давления служат для питания установок, машин кислородом или испытания оборудования воздухом. Так, редуктор РВ-90 предназначен для подачи сжатого воздуха из баллона под давлением 9 МПа, а редуктор РК-70 —

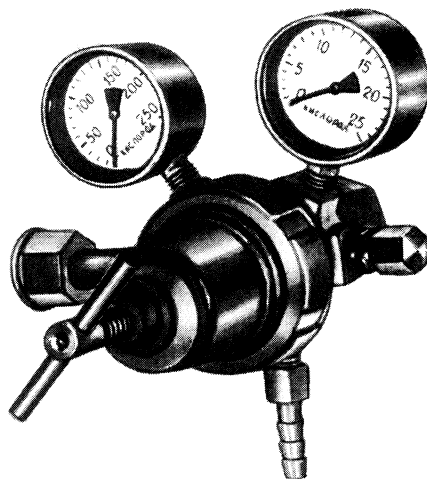


Рис. 2.8. Баллонный двухступенчатый редуктор ДКД-8-65

для подачи кислорода под давлением 7 МПа. Последний используется для оснащения шарнирных машин при резке кислородом высокого давления.

Редукторы для инертных газов применяют для индивидуального питания рабочих (сварочных) постов от баллонов при газопламенной обработке, например, при плазменно-дуговой резке, плазменном напылении покрытий и др. Кроме того, их используют для смежных процессов газодуговой сварки в среде инертных газов и сварки в углекислом газе. В этом случае предусматривают регуляторы расхода газа с указателем расхода. Так, редуктор У-30-2 с указателем расхода углекислого газа состоит из корпуса, крышки, редуцирующего узла, мембраны, нажимной пружины, входного штуцера и нажимного винта. Его модификация У-30П-2 комплектуется подогревателем для работы при температурах ниже 0 °С и больших расходах углекислого газа, работает при температуре окружающей среды -30...+50 °С.

К специальным баллонным редукторам для сжиженных газов относятся также редукторы для бытовых нужд типа РГД. Некоторые потребители используют эти редукторы для газопламенной обработки. Однако необходимо учитывать, что давление на выходе из этих редукторов меньше предусмотренного ГОСТ 8556—72 минимального давления 0,02 МПа, поэтому для повышения давления газа на выходе следует устанавливать более жесткую пружину.

Редукторы необходимо применять только для тех видов газов, для которых они предназначены. Следует иметь в виду, что редукторы не защищают от обратного удара пламени. При проникновении в них пламени возможно выгорание резиновой мембраны и уплотнительного клапана, так как взрывная волна мо-

2.13. Техническая характеристика редукторов

Тип редуктора	Максимальное давление на входе, МПа	Рабочее давление, МПа		Расход газа при рабочем давлении, м ³ /ч (л/мин)
Баллонные редукторы				
БКО-25-2	20	0,8... 0,1		25
БКО-50-2	20	1,2... 0,1		50... 2,5
ДКД-8*	20	0,8... 0,05		25... 3
ДАП-1, ДАД-1*	2,5	0,12... 0,01		5
ДПП-1	2,5	0,3... 0,01		5... 3
ДВП-1	20	1,5... 0,1		80
Сетевые редукторы				
ДКС	1,6	0,5	0,01	—
ДАС	0,12	0,10	0,01	—
ДПС, ДМС	0,3	0,15	0,02	—
Рамповые редукторы				
ДКР-250, ДКР-500	20	1,6	0,3	—
ДАР-1	2,5	0,1	0,02	—
ДПР-1	2,5	0,3	0,02	—
Специальные баллонные редукторы				
РК-70	20	7		100
РВ-90	25	9		155
РС-250	25	6,5		60
АР-10-2	20	0,1... 0,9		(0,5... 10)
АР-150-2	20	0,1... 0,7		(10... 150)
А-30-2	20	0,1... 1,5		(0,5... 30)
А-90-2	20	0,1... 0,39		(15... 90)
Г-70-2	20	0,1... 0,7		(5... 70)
В-50-2	20	0,1... 0,4		(5... 50)
У-30-2**	100	1... 4		(5... 30)

* Редуктор для сварки повышенной точности.

** С подогревателем.

2.7. ГОРЕЛКИ

Горелки являются основным рабочим инструментом для газовой сварки, пайки, наплавки и нагрева. Существует два основных класса горелок: инжекторные и безынжекторные (рис. 2.9.). В инжекторных горелках подача горючего газа низкого давления (ниже 1 кПа) в смесительную камеру осуществляется инжектированием

его струей кислорода, вытекающего из инжектора. В безынжекторных горелках горючий газ и кислород подаются примерно под одинаковым давлением (50...100 кПа).

Применяют преимущественно ручные инжекторные горелки универсального и специализированного назначения. Наиболее распространены универсальные горелки инжекторного типа, работающие на ацетилене: горелки малой мощности Г2-05 (рис. 2.10, а) и горелки средней мощности Г3-06. Они имеют аналогичную конструкцию и отличаются, главным образом, числом и номерами комплектующих наконечников. К универсальным горелкам, ра-

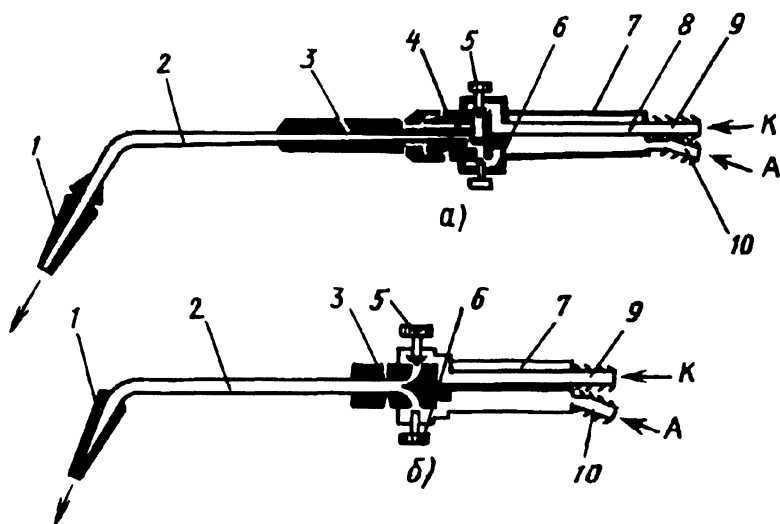


Рис. 2.9. Сварочные горелки:

a — инжекторная; *б* — безинжекторная; 1 — мундштук; 2 — трубка наконечника; 3 — смесительная камера; 4 — инжектор; 5, 6 — регулировочные вентили; 7 — ствол; 8 — трубка; 9, 10 — ниппели

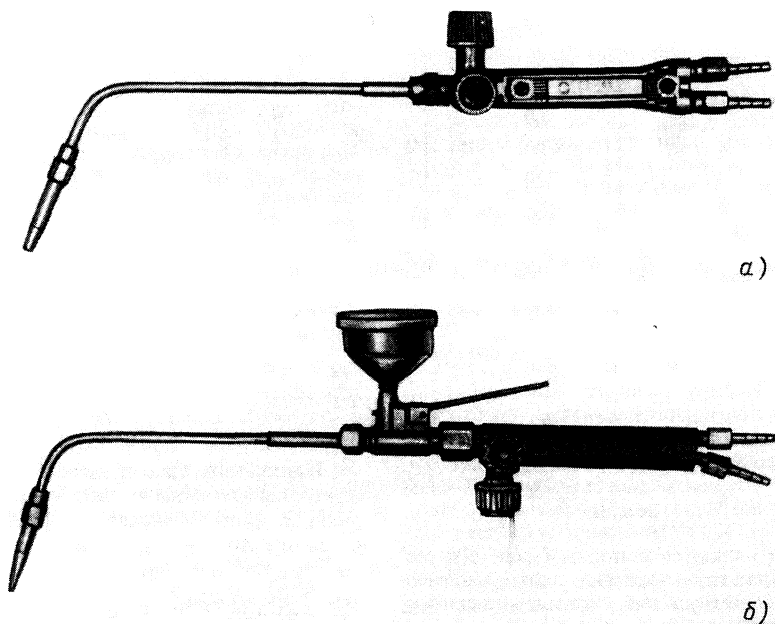


Рис. 2.10. Горелки:

a — Г2-05 малой мощности; *б* — ГН-2 для газопорошковой наплавки

ботающим на газах—заменителях ацетилена, относятся горелки ГЗУ-3-02 и ГЗУ-4.

В отличие от универсальных горелок специализированные горелки предназначены для выполнения одной технологической операции, например, наплавки, нагрева, пайки, поверхностной очистки, правки. Горелки служат для наплавки гранулированных самодфлюсующихся порошковых сплавов хром-бор-никелевой основы (ГН-1, 2, 3), никель-алюми-

ниевой основы с экзотермическими свойствами (ГН-4) или другой основы на поверхности новых или восстанавливаемых деталей машин и механизмов (табл. 2.14).

Серийно выпускаемые четыре типа горелок для газопорошковой наплавки отличаются от универсальных наличием дозатора порошка с бункером и рычажным механизмом или затвором подачи порошка с частицами размером 40...100 мкм.

2.14. Техническая характеристика горелок для газопорошковой наплавки

Параметры	ГН-1	ГН-2	ГН-3	ГН-4
Расход напыляемого порошка, кг/ч, менее	0,9	2	—	3,6
Давление ацетилена, МПа, не менее	0,01	0,01	0,02	0,03
Расход ацетилена, л/ч	140... 300	350... 600	150... 1750	800... 1100
Масса (без порошка), кг	0,75	0,77	1,1	1,3
Способ наплавки	Ручной, с подачей порошка через пламя с последующим оплавлением			Механизированный, с внешней подачей без оплавления
Назначение	Упрочнение и исправление дефектов отливок или механических повреждений деталей: мелких		Упрочнение и восстановление деталей: крупногабаритных	формы тел вращения
		средних		

2.15. Техническая характеристика специализированных горелок для пайки, нагрева и поверхностной очистки

Характеристика	ГВП-5	ГВ-1	ГАО-2
Рабочий газ	Пропан-бутан, природный газ, воздух	Пропан-бутан, воздух	Ацетилен, кислород
Давление горючего газа, МПа	0,001; 0,01; 0; 5	0,1... 0,15	0,01; 0,4
Расход горючего газа, л/ч	30... 600; 75... 1200; 850... 6000	670... 1700	2000; 2200
Номера наконечников (мундштуков) в комплекте	1—3	1—3	1
Назначение	Ручная пайка стальных деталей толщиной до 2 мм высокотемпературными припоями (ниже 600 °С); то же, толщиной 22 мм низкотемпературными припоями (ниже 400 °С); механизированная очистка однотипных деталей; нагрев пластмассовых труб и изделий; сушка литейных форм и др.	Нагрев до 300 °С материалов, элементов стыковых соединений при сварке, трубопроводов, тюбингов и других элементов при покрытии их битумом, рубероида при приклейке к бетонной поверхности, пластмассовых изделий при гибке, литейных форм при сушке	Очистка от коррозии, окалины и старой краски поверхностей металлоконструкций

В горелки ГН-1 и ГН-2 газ подается по резиноканевым рукавам с внутренним диаметром 6,3 мм, а в горелки ГН-3 и ГН-4 — по рукавам с диаметром 9 мм. Горелка для газопорошковой наплавки ГН-2 показана на рис. 2.10, б. Серийно выпускаются три типа специализированных горелок для газопламенной пайки, нагрева и поверхностной очистки (табл. 2.15).

Многопламенные горелки используют обычно в установках для механизированной газопламенной пайки или нагрева. Установки, как правило, специализированы применительно к конкретному типу изделия или обрабатываемой детали. Трудность создания универсальных средств нагрева сужает возможности механизации. Тем не менее в промышленности успешно применяют паяльные автоматы, многоступенчатые установки для нагрева стекла, волокон и других материалов, станки для поверхностной пламенной закалки и др. Эти установки комплектуются линейными многопламенными горелками, которые обеспечивают повышение производительности нагрева в несколько раз. Многопламенные безынжекторные горелки мощностью 10...20 м³/ч работают как на ацетилене, так и на газозаменителях (природном газе или пропан-бутане).

2.8. РЕЗАКИ И УСТАНОВКИ ДЛЯ РУЧНОЙ РЕЗКИ

Для ручной газовой (кислородной) резки используют резаки, а для кислородно-флюсовой — установки для ручной резки. В резаке для ручной кислородной резки происходит смешение горячего газа или жидкости с кислородом, он осуществляет подогрев металла по линии реза образующимся подогревающим пламенем и подает струю кислорода в зону резки. Наибольшее применение получили ручные резаки универсального назначения для разделительной резки металла толщиной

3...300 мм. Машинные резаки часто используют в безынжекторном исполнении.

Универсальные резаки инжекторного типа работают аналогично горелкам для сварки и нагрева (табл. 2.16). В отличие от горелок резаки имеют каналы для подвода режущего кислорода и специальную головку, к которой крепятся два сменных мундштука (внутренний и наружный). Резак Р2А-01 средней мощности (рис. 2.11) работает на ацетилене и предназначен для ручной резки низкоуглеродистой или низколегированной стали. Резак РЗП-01 большой мощности имеет такое же назначение, но работает на газе—заменителе ацетилена (пропан-бутане или природном газе).

К универсальным резакам относятся также вставные резаки, предназначенные для резки при выполнении монтажных, ремонтных и других работ в условиях индивидуального рабочего поста, когда сварку и резку выполняет один человек. Вставные резаки присоединяют к стволам универсальных горелок. Они имеют два исполнения: резак РВ-1А-02 присоединяется к стволу горелки ГЗ-04; предназначен для ручной кислородной резки низкоуглеродистых и низколегированных сталей; резак РВ-2А-02 присоединяется к стволу горелки ГЗ-03.

Специальные резаки предназначены для ручной разделительной резки металла толщиной более 300 мм, поверхностной резки и резки с использованием жидкого топлива. Резаками РПК-2-72 и РПА-2-72 выполняют ручную поверхностную резку низкоуглеродистой и низколегированной стали для удаления местных дефектов с поверхности отливки и черного проката. В резаке РПК-2-72 используют коксовый или природный газ давлением ниже 0,02 МПа, а в резаке РПА-2-72 — ацетилен давлением не менее 0,01 МПа.

2.16. Техническая характеристика резаков

Параметры	Универсальные		Вставные	
	Р2А-01	РЗП-01	РВ-1А-02	РВ-2А-02
Толщина разрезаемой стали, мм	3... 200	3... 300	3... 100	3... 200
Расход, м ³ /ч:				
кислорода	1,78... 21,75	2,5... 33,2	1,9... 8,5	1,9... 17
ацетилена	0,4... 1,25	—	0,35... 0,7	0,35... 1,1
пропан-бутана	—	0,33... 0,83	—	—
природного газа	—	0,6... 1,86	—	—
Давление на входе в резак, МПа:				
кислорода	0,25... 0,75	0,25... 0,75	0,25... 0,5	0,25... 0,75
ацетилена	0,001... 0,1	—	0,001... 0,1	0,001... 0,1
газа-заменителя	—	0,02... 0,15	—	—
Масса, кг	1,17	1,17	Не более 0,52	0,55

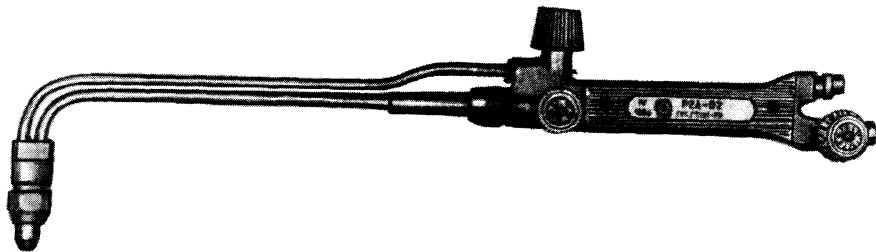


Рис. 2.11. Резак P2A-01

Резак РЗР-2 служит для ручной разделительной резки поковок, отливок и прибылей из низкоуглеродистой и низколегированной стали толщиной 300...800 мм, он имеет внутрисопловое смешение горючего газа и подогревающего кислорода. Резак РК-02 (керосинопорез) используется для ручной разделительной резки скрапа, металлургического лома, рельс и листового металла толщиной менее 200 мм. Резак РК-02 выпускается с бачком БГ-02 в виде комплекта КЖГ-1 для резки на жидком горючем (рис. 2.12).

Установка для кислородно-флюсовой резки (УГПР) предназначена для ручной резки коррозионно-стойких сталей и чугуна (рис. 2.13): вырезки деталей и заготовок. Установка УГПР состоит из бачка флюсопитателя, смонтированного вместе с редуктором ДКС-66 на специальной тележке и ручного универсального резака P2A-01 с узлом внешней подачи флюса.

В качестве флюса используется железный порошок по ГОСТ 9849—86, а флюсоносущим газом является кислород.

Следует учесть, что наиболее эффективно использование установки УГПР для резки стали толщиной более 80 мм. Резку стали меньшей толщины целесообразнее производить плазменно-дуговым способом.

Установка УФР-5 применяется для порошково-кислородной резки железобетона. Установка состоит из флюсоносителя, смонтированного на тележке, копьедержателя, ручного или машинного резаков кислородной рампой на пять—десять баллонов, воздушной рампой на три баллона. Копьедержатель служит для крепления стальной трубы, по которой подается кислород. Резаки (ручной и машинный) работают на пропан-бутане в смеси с кислородом и имеют устройство для внешней подачи флюса в струю режущего кислорода. В качестве

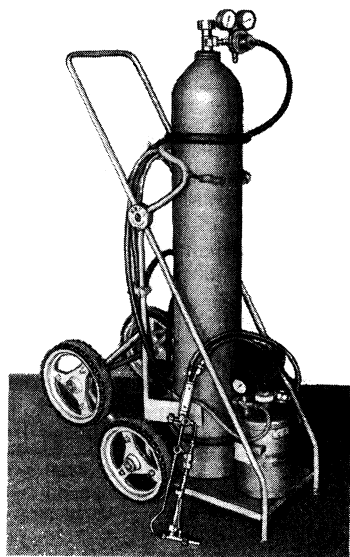


Рис. 2.12. Комплект оборудования КЖГ-1 с резаком РК-02



Рис. 2.13. Установка для кислородно-флюсовой резки

ве флюса используется смесь железного порошка (75...85%) и алюминия (25...15%). Флюсонесущим газом является воздух. Установка УФР-5 позволяет производить резку железобетона толщиной 90...300 мм и прожигать отверстия в нем диаметром 50...70 мм и глубиной менее 1500 мм.

2.9. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ РЕЗКИ

Для термической резки используется оборудование общего и специального назначения. Оборудование общего назначения наиболее эффективно на участках термической резки с небольшим или средним объемом повторяющихся деталей. Оно может быть использовано при комплексной автоматизации и механизации процессов резки в составе поточных и автоматизированных линий. Применение специализированных машин и установок экономически оправдано при большом объеме однотипных операций резки.

Оборудование общего назначения. Машины для термической резки (МТР) листового металла изготавливают в соответствии с ГОСТ 5614—74. Типы и исполнение машин приведены в табл. 2.17.

Конструктивные схемы стационарных машин для резки листов в зависимости от кинематики их несущих частей подразделяются на прямоугольно-координатные, полярно-координатные (рис. 2.14). Особенности кинематической схемы прямоугольно-координатных машин позволяют обрабатывать неограниченную длину листов, определяемую длиной направляющих рельсов. Число кислородных ре-

заков на этих машинах может быть 1—12, а плазменных 1—4. Прямоугольно-координатные машины по принципиальным схемам несущей части делятся на порталные и портално-консольные.

Ширина обработки зависит от схемы прямоугольно-координатной машины и способа копирования. Портально-консольные машины применяются с фотоэлектронным копированием в масштабе 1:1. Ширина обработки этих машин не превышает 2 м, а серийных порталных — 2...8 м. Машины этого типа занимают меньшую площадь цеха, чем портално-консольные при одинаковой ширине обрабатываемого листа.

Шарнирные машины с полярно-координатной схемой механизма применяют для точной вырезки деталей небольшой и средней величины (менее 1 м). Вследствие вращательного характера движения шарнирных рам и необходимости совпадения осей ведущего и режущего элементов на этих машинах можно производить только вертикальную резку. Дополнительное оснащение пантографным механизмом позволяет увеличить число резаков на шарнирных машинах до трех.

Удовлетворение многообразных требований производства (размеров, технико-эксплуатационных характеристик) при минимальных затратах обусловило создание типоразмерного ряда с широким использованием унифицированных систем узлов, позволяющих на одной конструктивной базе создавать несколько модификаций. В основе ряда положен блочно-модульный принцип конструирования, который позволил на основе ограниченного количества узлов разработать 18 типов машин

2.17. Типы и исполнение машин для термической резки листового металла

Тип машин	Исполнение		
	по конструктивной схеме	по способу резки	по системе контурного управления или способу движения
Стационарные	П — порталные	К — кислородные; Пл — плазменно-дуговые; Гл — газолазерные	Л — линейные, для прямолинейной резки; Ф — фотокопировальные по чертежу, для фигурной резки; Ц — цифровые программные, для фигурной резки
	Пк — портално-консольные		М — магнитные по стальному копиру, для фигурной резки; Ф — фотокопировальные по чертежу, для фигурной резки
	Ш — шарнирные		М — магнитные по стальному копиру, для фигурной резки
Переносные	—	К — кислородные; Пл — плазменно-дуговые	Р — по разметке; Ц — по циркулю; Н — по направляющим; Г — по гибкому копиру

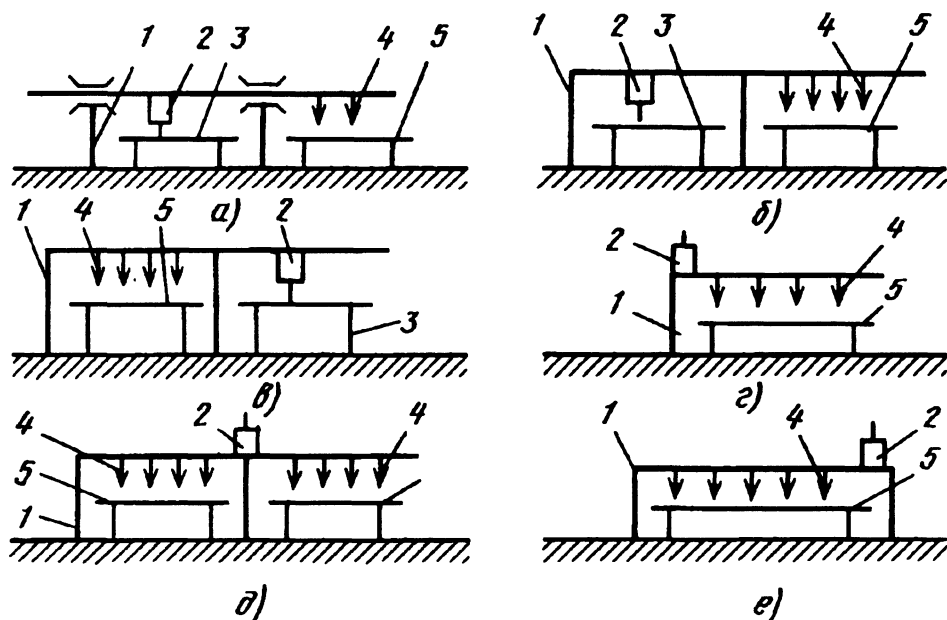


Рис. 2.14. Схемы стационарных машин термической резки:

а, б, в, г, д — портално-консольных; е — порталных; 1 — несущая часть; 2 — копировальное устройство; 3 — копировальный стол; 4 — резаки; 5 — обрабатываемый лист

различного исполнения [11]. В качестве обобщенного классификационного параметра принята ширина площади обработки. Этот параметр в наибольшей мере определяет конструктивные различия стационарных машин. Основные параметры стационарных машин по ГОСТ 5614—74 приведены в табл. 2.18.

Основные показатели качества стационарных машин для термической резки листов установлены ГОСТ 4.41—85. К ним относятся следующие.

1. Показатели назначения (точность воспроизведения заданного контура, скорость перемещения резака, резки, число суппортов и др.).

2. Показатели надежности (установленные сроки службы, безотказная наработка, время восстановления работоспособного состояния).

3. Показатели экономного использования сырья, топлива, энергии и трудовых ресурсов (потребляемая мощность, массы ходовой части, машины, расходы горючего газа, кислорода, электроэнергии).

Кроме основных показателей установлены показатели технологичности, транспортабельности, стандартизации и унификации, безопасности.

Точность вырезаемых деталей и заготовок и показатели качества поверхности реза определяются по ГОСТ 14792—80. Наименьшие предельные отклонения для номинального размера менее 500 мм составляют $\pm 1,0$ мм, а

наибольшие для заготовок свыше 2500 мм, толщиной 61...100 мм — $\pm 5,6$ мм.

Качество поверхности реза определяется сочетанием следующих показателей: отклонением поверхности реза от перпендикулярности, шероховатостью поверхности реза, зоной термического влияния. Отклонение от перпендикулярности в зависимости от классов резки и толщины металла составляет 0,2...4 мм, высота микронеровностей профиля поверхности $R_z = 0,05...1$ мм, а зона термического влияния ограничена 0,1...3,2 мм.

Важнейшим показателем машин является точность воспроизведения заданного контура. Точность машин проверяется сравнением размеров заданной окружности диаметром 500 мм с вычерченными машиной окружностями того же диаметра в двух крайних по ширине обработки положениях суппорта. Предельные отклонения вычерченного контура от номинального в соответствии с ГОСТ 5614—74 по размерам не должны превышать значений, приведенных ниже.

Класс точности машины	1	2	3
Предельное отклонение, мм	$\pm 0,5$	$\pm 1,0$	$\pm 1,5$

Значения погрешностей для машин термической резки, влияющих на точность резки, приведены в табл. 2.19. Наиболее заметно точность контуров деталей снижают погрешности кинематических узлов и направляющих устройств. Динамические погрешности разме-

2.18. Основные параметры стационарных машин (ГОСТ 5614–74)

Исполнение по конструктивной схеме	Наибольшие размеры обрабатываемых листов (сваренных полотнищ), мм		Ширина колеи рельсового пути, мм	Диапазон регулирования скорости перемещения резака, мм/мин, не менее		Потребляемая мощность*, Вт, не более	Масса* с рельсовым путем на длину обработки 8000 мм, кг, не более
	ширина	длина		от	до*3		
Ш	1000	1000	—	100	800;	120	200*2
Пк	1000	2000;	1600			1000	1200
	1500		2100			1500	1500
	2000		2600			1500	2000
П	1000	4000;	1500	70	1600;	1500	3500
	1500	6000;	2000		2000;	1500	4000
	2000	8000;	2500		4000;	2000	4150
	2500	12000*3;	3300		6000;	3500	4200
	3200*3	1600*3;	4000		8000;	3500	5000
	3500	20000*3;	4500		10000	4000	5100
	5000	24000	6500			5000	6000
	8000		9500			8000	7000
	10000		11500			1000	8000
	12000		13600			12000	9000

* Без источников питания технологической оснастки.

*2 Без рельсового пути.

*3 По заказу.

2.19. Значения погрешностей машин термической резки, мм/м [14]

Узлы	Кислородная типа ПКЦ		Лазерная “Луч”
	3,5	2,5	
Привод:			
механический	0,69/1,173	0,6/1,093	0,308/0,346
кинематический	0,45/0,93	0,45/0,911	0,218/0,255
продольного и поперечного хода	0,3	0,3	0,15
зазоры	—/0,15	—	—/0,1
упругий “мертвый” ход	—/0,8	—/0,8	—/0,1
опорных катков	0,1	0,1	0,05
Направляющие устройства:			
продольного хода	0,2/0,1	0,1	0,15
поперечного хода	0,4	0,15	0,1
отклонения от перпендикулярности	0,15	0,15	0,1
Портал:			
от неравномерности нагрева	0,1	0,1	—
от статической нагрузки	0,1	0,15	0,05
Динамические при скорости:			
постоянной	0,15/—	0,2/—	0,05/—
переменной	—/0,5	—/0,5	—/0,1
Электроприводы систем:			
управления	0,1	0,05	0,05
оптической	—	—	0,05
Машина	0,732/1,19	0,602/1,1	0,32/0,372
	0,367/0,597	0,301/0,55	0,16/0,186

Примечание. В дроби даны погрешности разные для вырезки контура и углов (в числителе для контура, а в знаменателе для угла).

ров деталей при вырезке углов в значительной мере определяются величиной кинематических зазоров в передачах, скоростью перемещения и массой движущихся элементов. При недостаточной жесткости узлов и связей между ними имеет место упругий "мертвый" ход механизмов, который в совокупности с динамическими погрешностями приводит к большим выбегам на углах деталей.

При проектировании необходимо учитывать следующее: датчики обратных связей электропривода должны быть установлены в конце кинематической цепи машины, например, на валу шестерни реечного зацепления; точность изготовления выходной передачи (шага зуба, рейки при реечной передаче или винтовой пары) должна быть предельно высокой, а зацепление в силовых передачах беззазорным.

При разработке кинематической схемы машины необходимо стремиться к более полному охвату замыкания передач, чтобы уменьшить влияние на точность резки упругого "мертвого" хода. Для порталных машин целесообразно применять двусторонний привод. Погрешности машины от деформации балки портала можно снизить рациональным выбором типа и параметров конструкции балки каретки поперечного хода резака. Необходимо устранить волнистость опорных и направляющих поверхностей продольного и поперечного ходов, их взаимное отклонение от перпендикулярности и плоскостности.

Динамические погрешности машин на участках с большим радиусом кривизны возникают при совпадении частоты свободных колебаний узла машины с частотой вынужденных колебаний. Резонансные явления приводят к многократному увеличению амплитуды колебаний резака. Частота собственных колебаний резака может быть повышена увеличением жесткости подвижных узлов (особенно суппорта и связей суппорта с порталом), а также снижением массы подвижных элементов. Увеличение частоты собственных колебаний машины от 8 до 40 Гц (по частоте колебаний наименее жесткого узла) с одновременным снижением на 30...40% массы движущихся элементов приводит к повышению в 2—3 раза скорости резки углов при той же точности. В машинах с высокой динамической точностью частота свободных колебаний портала на всех направлениях должна быть не ниже 60 Гц.

Портальные машины для кислородной резки наиболее эффективны на мощных металлообрабатывающих предприятиях с объемом обработки листовой стали свыше 20 тыс. т в год. Эти машины допускают: резку одним резаком низкоуглеродистой и низколегированной стали толщиной менее 200 мм; подготовку кромок под сварку Х- и У-образным швом; одновременно резку листов несколькими (2—12) резаками. Портальные машины выпускают с тремя системами контурного управления: числовым программным, масштабным фотокопировальным и линейным.

Машины с числовым программным управлением для кислородной резки наиболее точны и производительны. Их используют преимущественно в поточно-механизированных линиях обработки листов. Годовая производительность поточной линии, оснащенной такими машинами с ЧПУ, может достигать 30...35 тыс. т листовой стали толщиной 20...40 мм. Современные машины с ЧПУ являются машинами-роботами и особенно эффективны при работе в гибких заготовительных автоматизированных производствах и участках.

Техническая характеристика порталных машин с ЧПУ для кислородной резки приведена в табл. 2.20. Машины предназначены для фигурной и прямолинейной кислородной резки листового проката из углеродистой или низколегированной стали со скосом кромок и без него. Каждая машина состоит из портала рельсового пути, привода продольного хода, приводной и неприводной кареток поперечного хода суппортов с резаками, рамы для подвески шлангов внешней подводки, шкафа электрооборудования и автоматического управления. Некоторые машины, например, типа "Комета" имеют устройства разметки (рис. 2.15).

Конструктивные особенности машин типа "Искра" следующие. Продольный ход порталных машин обеспечивают два рельса — направляющий и поддерживающий. На направляющем рельсе крепится прецизионная зубчатая рейка для зацепления без зазора привода продольного хода. Рельсовый путь монтируется на подрельсовых двутавровых балках или бетонном фундаменте. Портал выполнен в виде жесткой облегченной конструкции, состоящей из передней и задней балок, соединенных между собой для жесткости горизонтальными стяжками. Все узлы портала сварены из гнутых стальных профилей, усиленных внутри диафрагмами. Перед передней балкой смонтирована балка-рельс поперечного хода с точно обработанными направляющими планками поперечного хода. По направляющим планкам поперечного хода движутся каретки с инструментом.

Продольное и поперечное перемещение инструмента осуществляется малоинерционными высокомоментными двигателями через беззазорные редукторы. Приводы обладают высоким быстродействием.

Частоты вращения валов приводных электродвигателей согласованы между собой так, что установленная скорость подачи остается постоянной во всех направлениях. Машина точно следует импульсам, посылаемым в приводной усилитель системы ЧПУ, который вместе с приводными электродвигателями и тахогенераторами образуют замкнутый контур регулирования для продольного и поперечного размещения.

Внешняя подводка представляет собой тележку, перемещаемую порталом по собственной направляющей вдоль рельсового пути.

2.20. Основные характеристики портальных машин для кислородной резки с ЧПУ на микроЭВМ

Характеристика	"Комета"				
	"Искра-2,5К"	2,5К	3,2К	3,6К	8К
Наибольшие размеры обрабатываемых листов, мм:					
ширина	2500	2700	3200	3600	8000
длина	8000	8000	8000	8000	8000
толщина при резке:					
вертикальной	150	200	200	200	100
четырьмя резаками	100	100	100	100	100
со скосом кромок под сварку	80	80	80	80	80
Точность воспроизведения заданного контура (ГОСТ 5614-74), мм	±0,5	±0,5	±0,5	±0,5	±0,5
Скорость перемещения резака, мм/мин	50... 6000	50... 12000	50... 12000	50... 12000	50... 12000
Число суппортов:					
с вертикальным резаком	1-4	4	4	4	8
с трехрезовыми блоками	1	1	1	1	-
Масса машины в комплекте поставки, кг, не более	8700	6150	6700	6700	8910
Наибольшая потребляемая мощность, кВт	3,5	3,5	3,5	5,5	5,5
Габаритные размеры машины, м	11,8×4,5×2,2	20,6×4,8×2,55	20,6×5,7×2,55	20,6×5,7×2,55	11,6×11×2,55
Расход рабочего газа на один резак, м ³ /ч:					
кислорода	15	15	15	15	15
природного газа	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
пропан-бутана	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Давление рабочего газа на входе в резаки, МПа:					
кислорода	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0
горючего газа	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
сжатого воздуха	-	0,4	0,4	0,4	0,4
Площадь, занимаемая машиной, м ²	60	125	145	145	265
Марка ЧПУ	2P32	2P32	2P32	2P32	2P32M

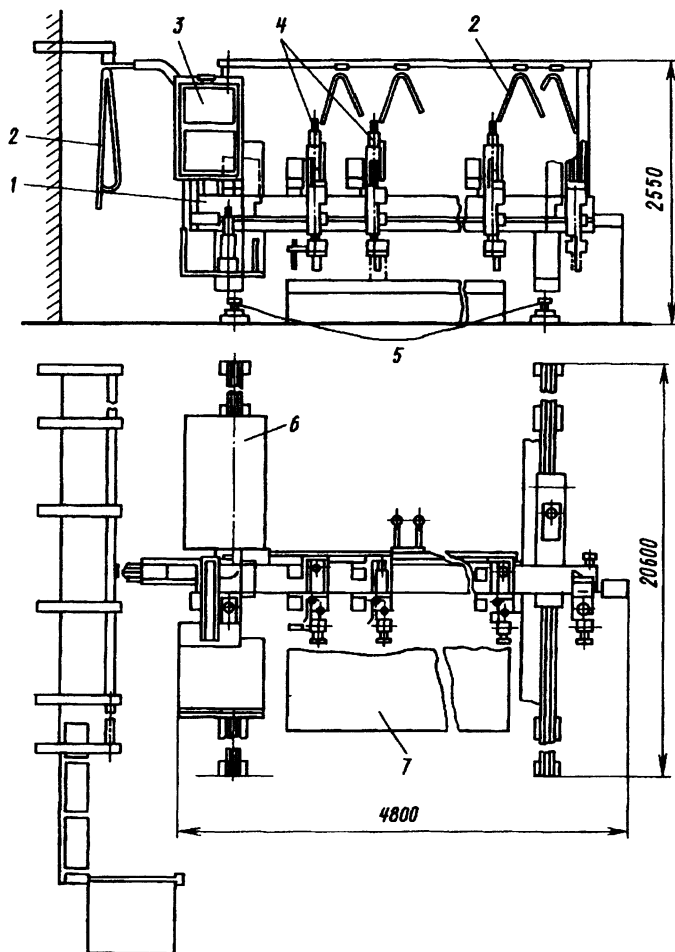


Рис. 2.15. Портальная машина для кислородной резки типа "Комета":

1 — портал; 2 — газовые коммуникации; 3 — блок управления; 4 — резаки; 5 — рельсы; 6 — электроблок; 7 — стол

Электрическое и электронное оборудование машины смонтировано в пыленепроницаемом шкафу, стоящим отдельно от машины рядом с системой ЧПУ.

На машинах для обеспечения снабжения газами проложена газовая разводка из трубопроводов горючего газа, подогревающего и режущего кислорода и воздуха. У каждого трубопровода индивидуальное питание. Шланги и электрические кабели держатся в передвижных подвесках каждой направляющей трубы и от одного места подвески к другому образуют гирлянды, которые сжимаются или растягиваются при передвижении поперечной каретки. На балке рельса поперечного хода портала под прямым углом к рельсовому пути продольного хода передвигается каретка поперечного хода, к которой прикреплена обрабатываемая лен-

та из коррозионно-стойкой пружинной стали, обеспечивающая поперечный привод механизма, распределенный по portalу. На передней стороне приводной каретки крепятся суппорты с резаками.

Неприводные каретки поперечного хода посредством электромагнитов прикрепляются к передней ветви ленты, что дает возможность изготавливать однонаправленные изделия, прикреплением к задней ветви ленты (зеркально отраженные изделия).

Автоматический поворотный трехрезак-овый блок служит для подготовки кромок под сварку со скосом кромок на фасонных деталях произвольной формы за одну рабочую операцию. Средний резак выполняет вертикальный рез, боковые — резы с углом скоса $10...60^\circ$.

На машине предусмотрена электронная регулирующая система слежения для точного воспроизведения контуров реза в направлении по касательной к контуру. В блоке осуществлена система подвода газов, через кольцевые камеры, что обеспечивает неограниченное вращение в обоих направлениях. Блок имеет систему безконтактного емкостного слежения для поддержания расстояния от сопла резаков до поверхности металла.

Машина комплектуется устройством для маркировки деталей порошком. Порошковый маркер представляет собой горелку-резак с порошковым питателем, в который насыпан цинковый порошок. Порошок подается в резак, расплавляется в греющем факеле и образует прочно держащуюся на месте маркировку или разметку.

Мундштук двухвентильного резака с внутрисопловым смещением соединен с резаком конусной посадкой в корпус. На резаке в качестве датчика применен фотодиод Ф1-25К, сигнал которого меняется в зависимости от условий прорезания металла (при непрорезании сигнал максимальный, а при нормальном отставании или при его отсутствии сигнал минимальный) и от скорости перемещения машины.

Для защиты коммуникаций от обратных ударов в газовой системе на резаке на всех газовых каналах установлены пламегасители. В состав пламегасителя входит простая вставка.

Электрическая часть машины состоит из устройства ЧПУ на базе микроЭВМ (типа CNC) и комплектного электропривода типа ПКПО2. Технологические циклы организованы внутри ЧПУ программным путем, что позволяет упростить блок технологической автоматики. Имеется возможность выбора режущего инструмента и вывода его в определенную точку на разрезаемый металл. Машина "Искра" может встраиваться в автоматизированные линии и управляться ЭВМ верхнего уровня.

Приводы портала и суппорта организованы одинаково. Они содержат контур регулирования положения, контур регулирования скорости и контур тока. Каждый из приводов состоит: из усилителя мощности на базе блока УПЛ-1; двигателя постоянного тока со встроенным тахогенератором ДПУ-127-220-1-30 ДО; датчика положения — вращающегося трансформатора ВТМ-1Г. Приводы вертикальной стабилизации представляют собой замкнутые по положению и скорости системы, в состав которых входят: устройство, формирующее сигналы датчиков положения резаков и логику работы приводов; блок вертикальной стабилизации; усилители мощности; транзисторные преобразователи блока БУТ-2; двигатели СЛ-369 М; тахогенераторы ТД-102 и датчики высоты.

Выбор резаков и закрепление кареток на стальной ленте в передней или задней ее части осуществляются вспомогательными технологическими командами либо с пульта управления.

Системы числового программного управления МТР во многом соответствуют системам управления фрезерных станков с ЧПУ. Это, прежде всего, системы контурного управления с двумя или тремя управляемыми координатами. Они предназначены для отработки листов шириной 1...12 м и длиной менее 24 м с точностью $\pm 0,5$ мм. В качестве программного носителя в МТР используется бумажная перфокарта с восемью дорожками.

Системы ЧПУ для МТР постоянно совершенствуются в направлении повышения скоростей перемещения, наращивания числа управляемых координат, объема памяти.

Машины с фотокопировальным управлением для кислородной резки используются преимущественно на предприятиях с объемом обработки листовой стали (15...20 тыс. т в год) и не имеющих возможности подготовки программ для резки крупных фигурных заготовок, а также при небольших объемах резки. Машины работают по копир-чертежам в масштабах 1:10 или 1:5 и предназначены для фигурной кислородной вырезки деталей с вертикальными кромками или со скосом кромок под сварку из листовой углеродистой стали.

Техническая характеристика порталных машин с фотокопировальным управлением для кислородной резки приведена в табл. 2.21.

Машины с линейным управлением (раскройные) для кислородной резки используются для раскроя листов на полосы и на заготовки прямолинейной формы без применения копирующих устройств. Для прямолинейного раскроя применяют однопортальные машины "Днепр-2,5К2", характеризующиеся жесткостью конструкции и высокой точностью резки (± 1 мм). За рубежом часто используют двух- и трехпортальные машины, которые позволяют обрабатывать одновременно все четыре кромки листа.

Машина "Днепр-2,5К2" с шириной обработки 2,5 м оснащена двумя трехрезовыми суппортами для подготовки кромок под сварку. Наибольшая толщина разрезаемого металла 160 мм при резке одним резаком и 80 мм при резке со скосом кромок. Стабилизация расстояния между резаками и обрабатываемым листом в процессе резки автоматическая или дистанционная с пульта управления. Система управления движением резака по контуру — линейная с ручным регулированием скорости. Управление технологическим процессом дистанционное, скорость перемещения резака 50...10 000 мм/мин.

Портально-консольные машины предназначены преимущественно для автономного цехового использования при объемах обработки листового металла менее 10 тыс. т в год: в заготовительном производстве для вырезки фигурных заготовок или готовых деталей малых и средних размеров из низко- и среднелегированных сталей толщиной менее 100 мм. Машины удобно использовать для раскроя

2.21. Техническая характеристика машин типа ПКФ с фотокопировальным управлением для кислородной резки

Параметры	2,5-2-2-10	3,5-2-2-10
Габаритные размеры обрабатываемых листов, м:		
длина		8
ширина	2,5	3,5
толщина при резке:		
вертикальной, двумя однорезаковыми суппортами		0,1
со скосом кромок под сварку		0,08
Масштаб фотокопирования	10 : 1; 5 : 1	
Скорость перемещения, мм/мин	50... 6000	
Точность воспроизведения заданного контура, мм		1
Номинальное давление, МПа:		
кислорода		1
ацетилена		0,1
Потребляемая мощность, кВт, не более		2,5
Масса комплекта, кг, не более	3500	3700
Габаритные размеры (с рельсовым путем), м	4,4×11,5×1,8	5,6×11,5×1,8

листов на полосы или прямоугольные карты. Портально-консольные машины оснащены системой фотокопирования по копир-чертежу "Москва" (масштаб 1:1). Изготовление копиров не представляет трудностей. Обслуживание фотопривода не требует особой подготовки. Высокая производительность машины обеспечивается возможностью одновременной вырезки четырех одинаковых заготовок (деталей). Машины могут работать как на ацетилене, так и с использованием газов-заменителей (пропан-бутана и природного газа).

В фотокопировальной системе "Москва" использован фазоимпульсный способ управления за контуром чертежа. Этот способ предполагает получение управляющих импульсов от фотоголовки, фаза и взаимное положение которых зависят от расположения участка прослеживаемой линии (ее направления, отклонения от нулевого значения и т. д.) и последующее управление двумя взаимно перпендикулярными перемещениями.

Фото головка состоит из двух осветителей, которые создают равномерно освещенное пятно, превышающее по размерам рабочее поле объекта, состоящего из двух линз. В фокальной плоскости объектива установлен вращающийся модуляционный диск, имеющий два круглых радиально расположенных отверстия диаметром 0,4 мм, одно из которых смещено относительно оси вращения на 1,2 мм, другое на 3 мм. За диском расположены два фотоумножителя для преобразования световой энергии в электрическую.

Световой поток, пройдя отверстия в диске, попадает на фотоумножитель. Вращение диска (с частотой менее 3000 мин⁻¹) осуществляется синхронным и синфазным двигателем, питающимся от трехфазной сети. В момент

прохождения отверстием белого поля чертежа сила тока имеет максимальное значение, а в момент прохождения линии — минимальное. Фаза возникновения импульсов зависит от направления чертежа. В случае отклонения линии чертежа от центра кольцевого сканирования, расстояние между импульсами отличается на π . Таким образом, фото головка является датчиком импульсов, которые несут информацию: фаза импульсов — о направлении линии, а расстояние между импульсами — об отклонении линии от центра кольцевого сканирования.

При работе в масштабе 1:1 система "Москва" имеет следующие параметры.

Скорость слежения, мм/мин	50...4000
Неравномерность скорости по отношению к средней, %	± 10
Погрешность воспроизведения контура, мм	± 5
Минимальный радиус закругления, мм, при скорости, мм/мин:	
1000	2
2000	8
Максимальная ручная правка на ширину реза, мм	± 6
Напряжение питания частотой 50 Гц, В	$3 \times 380/220$
Допустимые колебания напряжения питания, %	+10...-15
Потребляемая мощность, Вт	400

Система "Москва" обеспечивает: слежение по краю широкой или оси тонкой линии копир-чертежа; слежение по ходу и против хода часовой стрелки; автоматический ввод в режим слежения; прохождение в полуавтоматическом режиме мест разрыва прослеживаемой линии длиной не более 10 мм по направлению, совпадающему с направлением слеже-

ния; прохождение в полуавтоматическом режиме перекрестий (мест пересечения прослеживаемой линии другими, а также мест, где близко подходят соседние линии), расположенных под углами $45...135^\circ$ к копируемой линии, по направлению, совпадающему с направлением слежения; ручное управление системой для перемещения в любую точку над обрабатываемым изделием.

В систему "Москва" входят три узла: шкаф управления с электронными блоками; пульт управления; фотоголовка. Эта система может работать в других масштабах (1:5; 1:10; 1:20) с приведенными ниже параметрами.

Точность воспроизведения заданного контура (ГОСТ 5614—74), мм, не менее $\pm 0,5$
 Минимальный диаметр вырезаемого отверстия, мм 50
 Дискретность обработки перемещения, мм 0,01
 Точность стабилизации высоты резака при скорости движения до 6000 мм/мин, мм, не более $\pm 0,5$
 Потребляемая мощность, кВт, не более 3,0

Фотоэлектронная система управления "Москва" содержит автономные следящие системы для компенсации погрешностей, ширины реза. Расширение диапазона скоростей обеспечивают два сканирующих кольца: большое для скорости слежения менее 4 м/мин и малое для скорости до 1,5 м/мин.

Машины с фотокопировальным управлением за последние годы подверглись серьезной модернизации: их система управления переведена на новую элементную базу и, главное, снабжена микропроцессором. В результате стало возможным производить оперативное управление, т. е. путем набора программы резки на пульте управления можно без чертежа-копира вырезать детали простой формы (окружности, ромбы и выпукло-вогнутые многоугольники разной формы с числом сторон до 30) и автоматически всеми резаками выполнить полный раскрой листа. Точность воспроиз-

изведения заданного контура при работе от микропроцессора у этих машин более высокая и соответствует первому классу точности, т. е. 0,5 мм. Примером может служить система фотокопировального оперативного управления "Москва М".

Основные параметры портально-консольной машины с фотокопировальным и микропроцессорным управлением ПкКФ2-4-2 приведены ниже.

Габаритные размеры обрабатываемых листов, м:

длина 8
 ширина 2

толщина при резке:

вертикальной, двумя резаками. 0,1
 со скосом кромок под сварку 0,04

Точность воспроизведения заданного контура (ГОСТ 5614—74), мм ± 1

Скорость перемещения резака, мм/мин. 50...4000

Число суппортов с вертикальным резаком 4

Масса машин в комплекте поставки, кг 2184

Наибольшая потребляемая мощность, кВт 1

Габаритные размеры машины, м $5,4 \times 2,015 \times 2$

Расход рабочего газа на один разак, $\text{м}^3/\text{ч}$, не более:

кислорода 12
 ацетилен 0,8

Ток питающей сети. Трехфазный

Напряжение, В 380

Масштаб фотокопирования 1:1

Шарнирные машины предназначены для резки заготовок небольших размеров (1000×1000 мм или 1500×700 мм) из низкоуглеродистой листовой стали толщиной менее 150 мм при работе одним резаком. При работе одновременно тремя резаками предельная толщина резки меньше (до 100 мм). Резка может производиться только вертикальная (разделительная) без скоса кромок, но с большой точностью (до $\pm 0,5$ мм). Поэтому шарнирные машины применяют в заготовительных производствах для вырезки готовых деталей. Машины работают по стальному магнитному копиру в масштабе 1:1. Они занимают минимальную рабочую площадь, просты в обслуживании и требуют небольших затрат на приобретение и эксплуатацию.

Шарнирная машина "Огонек" с магнитным копированием (рис. 2.16), выпускаемая для кислородной резки, по сравнению с предшествующими машинами подобной конструктивной схемы имеет новую схему пантографа, обеспечивающую вырезку деталей тремя резаками по первому классу точности (ГОСТ 5614—74). Кроме того, на машине "Огонек" установлены более производительные и надежные кислородные резаки внутрисоплового смешения с номинальным давлением кислорода на входе 1,2 МПа. Основные параметры машины "Огонек" с магнитным копированием приведены ниже.

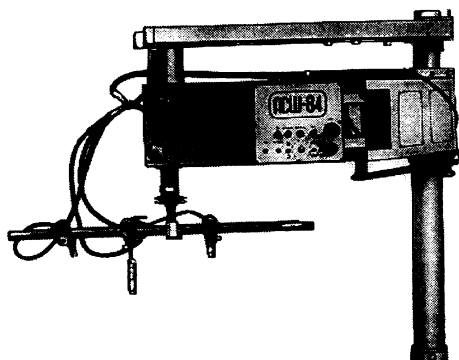


Рис. 2.16. Шарнирная машина "Огонек" для кислородной резки

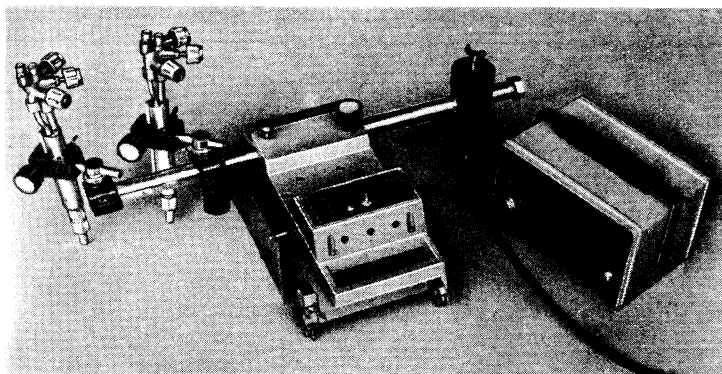


Рис. 2.17. Переносная машина "Гугарк" для кислородной резки листов

Наибольшие размеры обрабатываемых листов, мм:

длина	1000
диаметр вырезаемого круга	500
ширина	1000
толщина при резке:	

одним резаком стали	300
тремя резаками	100

Точность воспроизведения заданного контура (ГОСТ 5614—74), мм

Скорость перемещения резака, мм/мин. 50...1600

Число резаков

Масса машины в комплекте поставки, кг. 130

Наибольшая потребляемая мощность, кВт. 0,1

Габаритные размеры машины, м, 1,5 × 1,5 × 1,7

Расход рабочих газов на один резак,

м³/ч, не более:

кислорода

ацетилен

пропана

Переносные машины общего назначения применяют в основном в заготовительном производстве для резки листов прямолинейной или круглой формы и с кромками плавной кривизны. Переносные машины типов "Микрон" и "Гугарк" предназначены для разделительной резки листов одним или двумя резаками по направляющему уголку, вырезки кругов, фланцев и резки по радиусу в условиях металлообрабатывающих предприятий и на строительстве, монтажных площадках при температуре окружающего воздуха 5...35°С. Машина "Гугарк" для кислородной резки состоит из следующих основных частей: самоходной тележки, блока питания, двух блоков резки, циркулярного устройства (рис. 2.17).

Переносная машина "Микрон-2-02" комплектуется оснасткой для плазменной резки типа УПР-203 с источником питания и пультами управления (стационарным и дистанционным). Техническая характеристика переносных машин приведена в табл. 2.22.

Оборудование специального назначения. К специализированному оборудованию относят-

ся машины для резки труб, профильного проката, металла большой толщины и др., а также оборудование для резки в металлургическом производстве.

Оборудование для фасонной резки труб и профильного проката используется в промышленных условиях и на монтажных участках. Переносное оборудование применяется для обрезки торцов труб в полевых условиях при строительстве магистральных трубопроводов и в цеховых условиях.

Установка УРТ-630-М для фасонной резки труб диаметром 90...630 мм со скосом кромок под сварку до 35° состоит из сварной рамы, на которой смонтирован рольганг с подъемными роликами, подающими трубу в продольном направлении, и роликовых опор. На передней части рамы установлен приводной плавающий ролик, обеспечивающий вращение трубы, и направляющая, на которой закреплен суппорт с резаком. Возвратно-поступательное движение резака вдоль оси трубы обеспечивается кулисным механизмом. Установка обеспечивает вырезку из трубы отводов, цилиндрических заготовок, обрезку патрубка для сопряжения с трубой при угле между осями 90°. Она может использоваться на монтажных участках.

Техническая характеристика установки УРТ-630-М приведена ниже.

Диаметр обрабатываемой трубы, мм . . .	630
Толщина стенки трубы, мм, менее . . .	16
Угол скоса кромок под сварку, °	60
Максимальная скорость перемещения резака, мм/мин.	4000
Расход газа, м ³ /ч:	
кислорода	12,0
ацетилен	0,55
природного газа	0,8

Переносные машины для резки труб имеют параметры, приведенные в табл. 2.23. Машина "Спутник" обеспечивает обрезку торцов труб со скосом кромок диаметром 144...1620 мм перпендикулярно к оси трубы,

2.22. Техническая характеристика переносных машин общего назначения

Параметры	“Гугарк”	“Микрон-2-02”
Габаритные размеры обрабатываемых листов, мм:		
длина	8000	8000
диаметр отверстия	300... 3000	300... 3000
ширина полосы	100... 330	—
толщина при резке:		
стали	300	40
алюминия	—	40
меди	—	20
Скорость перемещения, мм/мин	50... 1600	50... 4000
Число резаков (плазматронов)	1—2	1
Расход рабочих газов (на один резак), м ³ /ч, не более:		
кислорода	19	—
ацетилена	0,63	—
пропан-бутана	0,5	—
сжатого воздуха	—	2... 5
Масса машины в комплекте поставки, кг	43	550
Наибольшая потребляемая мощность, кВт	0,05	63

2.23. Техническая характеристика переносных машин для кислородной резки труб

Параметры	“Спутник-3”	“Орбита-БМ”
Максимальная толщина срезаемой стали, мм	75	75
Диаметр трубы, мм	194... 1620	530... 1420
Скорость перемещения резака, мм/мин	150... 750	200... 500
Габаритные размеры, мм	420×470×315	670×450×270
Масса ходовой части, кг	20,8	21

перемещается по поверхности с помощью гибкой направляющей (цепью). Машина “Орбита-БМ” (рис. 2.18) выполняет резку в полевых условиях перпендикулярно к оси трубы или под углом до 40°, с разделкой кромок под сварку, оснащена двумя резаками. Система крепления и перемещения машины по гибкому кольцевому поясу (шаблону) гарантирует точное совпадение начала и конца резов.

Кислородная резка переносными машинами производится с использованием в качестве горючего газа ацетилена или его газов-заместителей (пропан-бутана, природного газа и др.). Машина “Орбита” имеет также оснастку для плазменной резки труб в условиях трассы.

Машина для резки прокатных и сварных балок (рис. 2.19) под углом (крупногабаритных балок и швеллеров) состоит из колонны 1, на которой устанавливается поворотная балка. Балка поворачивается с помощью механизма поворота. На балке установлена направляющая, на которой смонтированы три перемещающихся по зубчатым рейкам

каретки 1—3. На каретках 1 и 3 для вертикальной резки установлены суппорты с резаками. Левый и правый суппорты с резаками перемещаются вверх и вниз с помощью приводов и разрезают полки двутавра, а средняя каретка 2 для горизонтальной резки с резаком перемещается в горизонтальном направлении и разрезает вертикальную стенку профиля. Машина оснащена многокоординатным электроприводом ПКПО2 и обеспечивает резку балок в автоматическом режиме. Для механизированной резки балки под машину подаются с помощью рольганга с автоматическим измерителем длины обрезаемой заготовки. Угол скоса реза устанавливается поворотом консоли вокруг оси колонны.

Техническая характеристика машины приведена ниже.

Номер профиля двутавровой балки. 20—40
 Максимальная ширина обрабатываемого
 профиля, мм, менее 1200
 Скорость перемещения резаков,
 мм/мин. 50...750

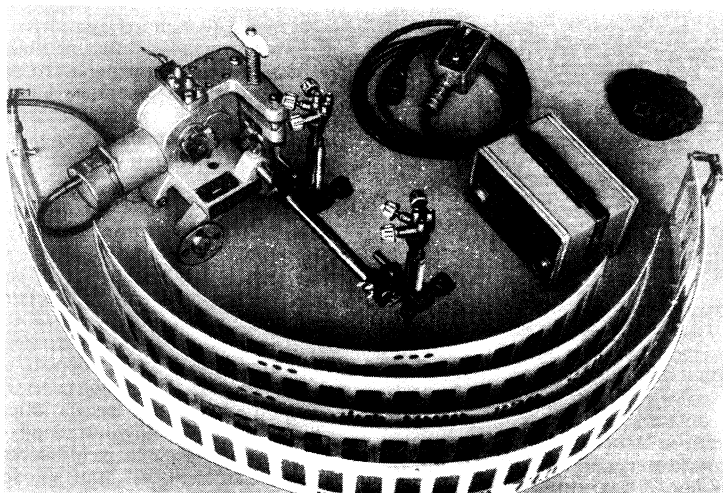


Рис. 2.18. Переносная машина "Орбита БМ" для кислородной резки труб

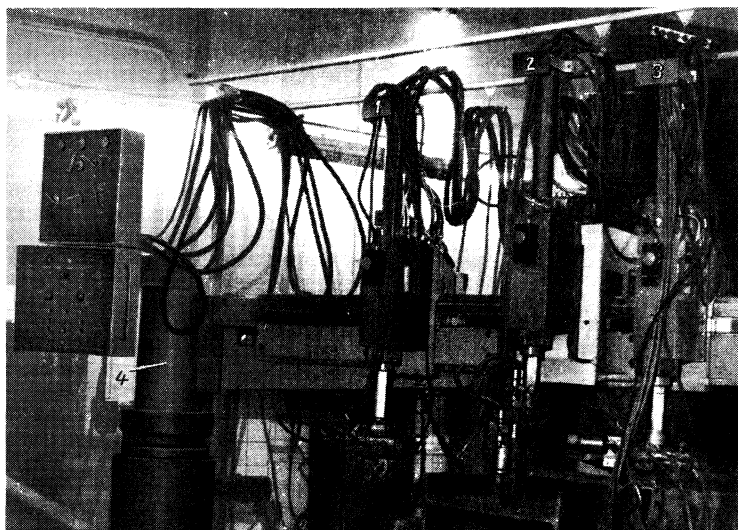


Рис. 2.19. Машина для резки прокатных и сварных балок:

1 — колонна; 2 — поворотная балка; 3, 4 — каретки для вертикальной резки; 5 — каретка для горизонтальной резки

Угол реза балки по отношению ее продольной
оси, °, менее 30
Потребляемая мощность, кВт 1

Фланцerez ПГФ-2 (рис. 2.20) предназначен для вырезки фланцев и дисков диаметром менее 450 мм из листовой стали толщиной 5...60 мм, он устанавливается непосредственно на поверхность обрабатываемого листа. Переносной фланцerez состоит из кольцевой

опоры 2, в которой закреплен ведущий механизм, вращающий большое зубчатое кольцо 1 и суппорт с резаком 3, перемещающийся на направляющей 4 в зависимости от диаметра вырезаемой детали. Масса машины 26 кг.

Оборудование для резки в металлургическом производстве предназначено для больших сечений (и поверхностей) обрабатываемого металла, а также для горячего металла.

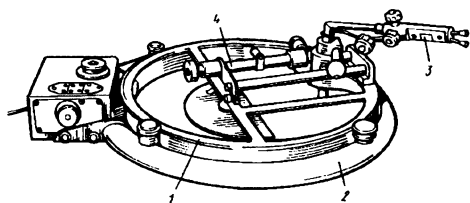


Рис. 2.20. Фланцрез ППФ-2

Оборудование для зачистки горячего проката — огневые машины (МОЗ) — обладают значительной производительностью: сплавляет дефектный поверхностный слой металла со скоростью 30...50 м/мин одновременно со всех четырех сторон блюмса или сляба. Машины огневой зачистки устанавливают на технологической линии проката непосредственно после блюминга или слябинга. С заготовок, передвигающихся по рольгангу по ходу проката при температуре 900...1100°C, снимается слой металла толщиной 1...3 мм. Зачистка производится резаковыми блоками.

Число работающих резаков, монтируемых в блоках (12—100) зависит от размеров зачищаемых заготовок и числа одновременно обрабатываемых сторон. На таких машинах обрабатывают горячий прокат размером 150 × 150...250 × 1800 мм, как из углеродистых, так и низколегированных сталей. Для работы огневой машины и обеспечения производительности, заданной ритмом зачистки, необходим значительный расход газов: кислорода до 20 тыс. м³/ч, горючего газа (коксового или природного) до 1 тыс. м³/ч.

Управление системой газопитания МОЗ дистанционное. Используется огневая аппаратура, работающая на принципе внешнего смещения газов. Управление полностью автоматизированное с применением следящих систем и средств автоблокировки.

Установка для резки при непрерывной разливке стали комплектуется узлом резки, периодически, синхронно со скоростью процесса разливки, отрезающее мерные заготовки от непрерывного слитка. В отличие от обычной разделительной резки резка в данном случае производится горизонтально направленной струей режущего кислорода. Металл, подвергаемый резке, имеет температуру 800...1200°C. Управление подачи газов и скоростью перемещения резаков дистанционное автоматизированное. Резки работают по принципу внешнего смещения газов с применением газов-заменителей ацетилена.

Оборудование для отрезки труб в поточном производстве входит в состав линий по кислородной и плазменной резке цельнотянутых труб диаметром 325...700 мм и трубных заготовок диаметром 150...350 мм. Процесс резки полностью автоматизирован. Для изготовления магистральных

трубопроводов используются спирально-шовные трубы большого диаметра (1200 мм и более), изготавливаемые на специальных трубосварочных станах непрерывного действия. Станы оснащены оборудованием для разделительной резки стальной полосы с разделкой кромок под сварку и обрезку сварных заготовок на мерные длины при выходе их из сварочного узла стана.

Оборудование для резки в тяжелом машиностроении используется преимущественно для фигурной резки заготовок из металла толщиной менее 700 мм, мерной резки поковок и проката толстых листов, обрезки прибылей стального литья толщиной 300...2000 мм и др. Применение газовой резки металлов большой толщины позволяет сберечь десятки тысяч тонн металла. На заводах тяжелого машиностроения основная масса образующихся металлоотходов — крупногабаритный лом, большая часть которого разрезается вручную "кислородным копьём" или кислородной резкой с использованием жидкого горючего (керосина) и установок типа КЖГ. Для кислородной резки прибылей, поковок, слитков и крупногабаритного лома в тяжелом машиностроении применяют разнообразное специализированное оборудование.

Наибольшее применение получили машины и установки, построенные по схемам рис. 2.21 [15].

Установка для отрезки прибылей отливков диаметром менее 1200 мм (рис. 2.21, а) имеет горизонтально расположенную штангу 1, по которой с рабочей или маршевыми скоростями перемещается каретка 2 с резаком, обеспечивающая любое положение резака в пространстве. Процесс резки заготовок может осуществляться и при перемещении всей машины по рельсовым направляющим 3. Управление работой машины — дистанционное с пультов управления, один из которых выносной. Машина для резки отливок диаметром 2,4 м (рис. 2.21, б) имеет ручные приводы: перемещения по рельсовым направляющим, поворота колонны вокруг вертикальной оси 4 и штанги под различными углами. Конструктивно эта машина значительно проще предыдущей.

Установка для резки поковок и слитков (рис. 2.21, в) представляет собой четырехколесную платформу, перемещающуюся по рельсам. На ней смонтирована вертикальная колонна с движущейся кареткой, на которой закреплена подвижная штанга 1 с резаком. Перемещения горизонтальной штанги с резаком осуществляются с плавной регулируемой скоростью, а платформы по рельсам — либо с маршевой, либо с рабочей регулируемой скоростью. Машина имеет устройство для отсчета величины перемещений вдоль рельса. Вместе с платформой перемещается (через поводок) и зонт 5 для отсоса вредных выделений (пыли, дыма и газов). Уборка обреза осуществляется с помощью приводной тележки 6, расположенной под платформой.

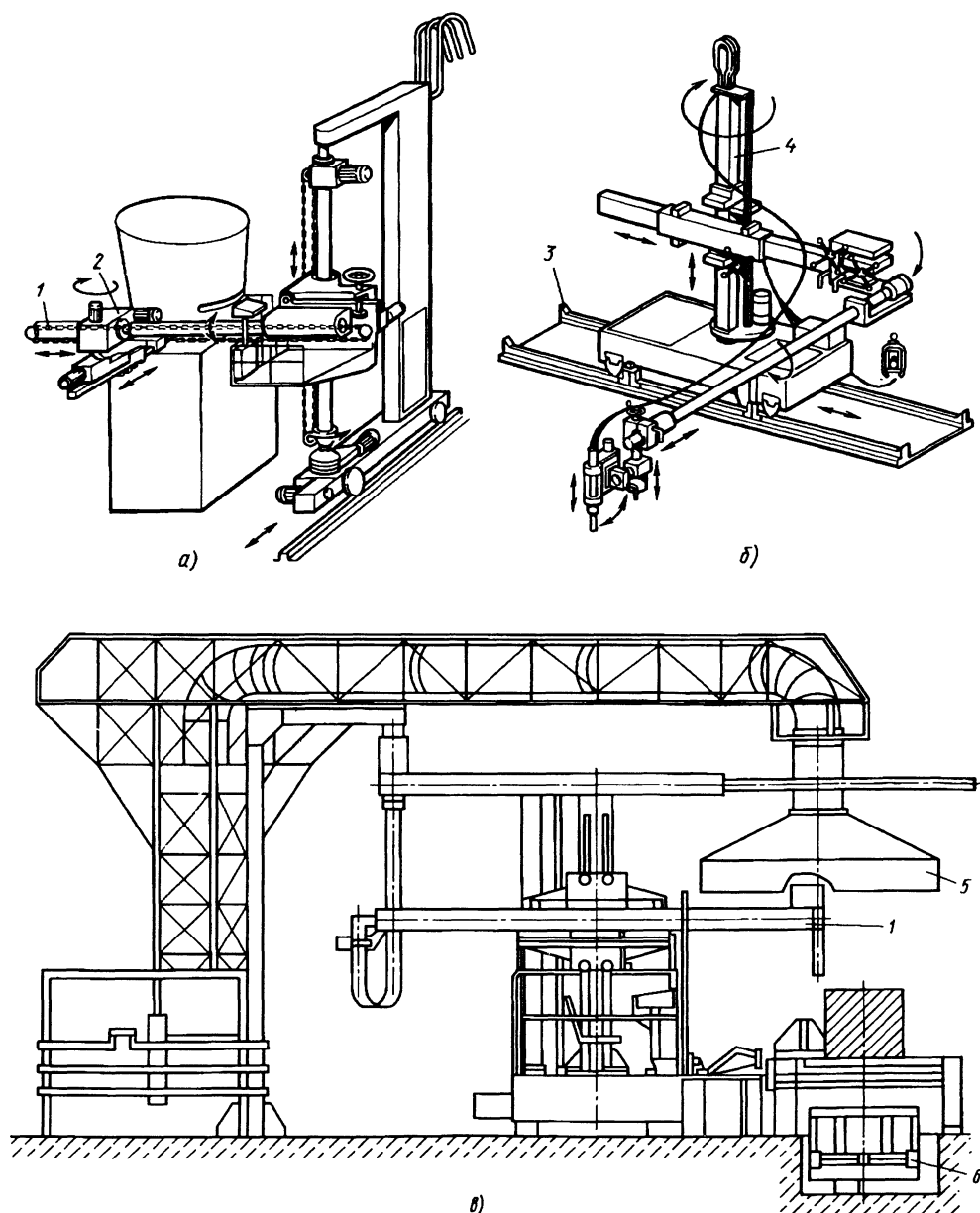


Рис. 2.21. Установки для резки в тяжелом машиностроении:

а — прибылей отливок диаметром до 1,2 м; *б* — прибылей отливок диаметром до 2,4 м; *в* — поковок и слитков

Рассмотренные установки оснащены резаками, работающими по принципу внутрисоплового смешения кислорода с природным газом. Резаки обеспечивают устойчивый процесс резки металла толщиной 400...1800 мм. Современные модификации установок подобного

типа выполнены в модульном исполнении [16] для кислородной резки прибылей отливок, поковок и слитков, разделки крупногабаритного скрапа из углеродистых и низколегированных сталей. В зависимости от назначения машина комплектуется соответствующими модулями.

2.24. Схема комплектования модулями машин для резки прибылей, слитков и скрапа

Модуль	Прибыли	Поковки и слитки	Скрап
Анкерные части	+(-)	+(-)	+(-)
Колесная пара	-(+)	-(+)	-(+)
Привод перемещения машины	-(+)	-(+)	-(+)
Рама	+(+)	+(+)	+(+)
Колонна:			
стационарная	-(-)	+(+)	-(-)
поворотная	+(+)	-(-)	+(+)
Привод:			
поворота колонны	+(+)	-(-)	+(+)
подъема	+(+)	+(+)	+(+)
Крестовина	+(+)	+(+)	+(+)
Привод перемещения траверсы	+(+)	+(+)	+(+)
Траверса	+(+)	+(+)	+(+)
Газовый пульт	+(+)	+(+)	+(+)
Стойка	+(+)	+(+)	+(+)
Резак	+(+)	+(+)	+(+)
Механизм качания резака	-(-)	+(+)	+(+)
Механизм ориентирования	+(+)	-(-)	-(-)
Привод механизма ориентирования	+(+)	-(-)	-(-)
Головка	+(+)	-(-)	-(-)
Пульт электрический	+(+)	-(-)	-(-)
Шкаф электрический	+(+)	+(+)	+(+)

Примечание. Знак “+” — стационарное выполнение модуля, (+) — подвижное, “-” — отсутствие модуля.

Применение модульного принципа построения позволяет повысить уровень унификации, сократить трудоемкость проектирования и изготовления машины. Набор необходимых модулей для комплектования машины требуемого назначения приведен в табл. 2.24.

2.10. ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ, ИНСТРУМЕНТ, ПРИСПОСОБЛЕНИЯ

Вспомогательное оборудование для ручных работ включает: стол с приспособлениями для крепления обрабатываемых деталей; систему местной вытяжной вентиляции для удаления вредных веществ, образующихся при проведении газопламенных работ; грузоподъемное приспособление для перемещения обрабатываемых изделий в случае газовой сварки или резки тяжелых (и громоздких) деталей; противопожарный инвентарь и оборудование.

Газоразборные посты, входящие в состав рабочего поста, могут быть встроены в стол или располагаться на трубопроводах потребления газов. Рабочие столы для сварки должны быть оборудованы металлической плитой или кирпичной кладкой. Оснащение столов общим

или местным вентиляционным устройством производится в зависимости от характера выполняемых работ. На каждом рабочем посту должен быть необходимый инструмент (ключи) для подключения аппаратуры к источникам питания и устранения возможных неполадок в работе горелок и резаков.

Рядом со сварочным столом должно быть ведро с водой для охлаждения горелок в процессе работы.

Вспомогательное оборудование для механизированных работ включает: механизм перемещения обрабатываемого изделия (лист); раскроечный стол; систему вентиляции; систему уборки (удаления) обрезей и шлаков.

Столы для машинной резки обычно имеют либо неподвижные точечные, либо уставные опоры в виде полос толщиной 1,5...3 мм, поставленных на ребро. Они выдерживают большие нагрузки и обеспечивают легкое удаление шлака. Иногда столы комплектуют специальными коробами — контейнерами, устанавливаемыми в приемке. Такие столы удобно использовать для механизированной уборки обрезей и мелких отходов после резки.

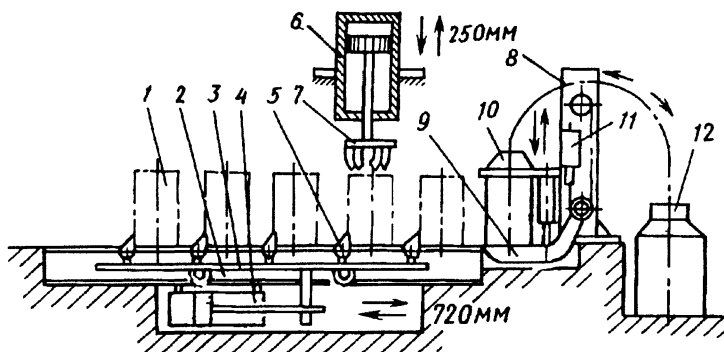


Рис. 2.22. Механизированная линия обработки барабанов с карбидом кальция:

1 — барабан с карбидом кальция; 2 — шаговый конвейер; 3 — движущая штанга; 4 — цилиндр; 5 — упор; 6 — станок для вскрытия барабанов; 7 — режущая головка; 8 — кантователь; 9 — платформа; 10 — подвижная воронка; 11 — привод; 12 — бункер генератора

Существуют различные типы местных вытяжных устройств, используемых при механизированной резке. Так, устройство для отсоса пыли и газов от машины для резки листового проката имеет воздухоприемник со всасывающим отверстием 160×160 мм. Воздухоприемник прикреплен к portalу машины, на одной оси с резаками перемещается с помощью шарнирно-сочлененных воздухопроводов вдоль раскроечной рамы. Другие типы вентиляционных систем имеют двусторонние вытяжные устройства. При движении портала машины воздухоприемник движется по воздухопроводу со щелями, закрытыми прорезиненной лентой.

Вспомогательное оборудование для производства ацетилена включает устройство, аппаратуру и приборы, которые дополняют основное технологическое оборудование с целью облегчения труда при производстве ацетилена и улучшения его качественных показателей. К вспомогательному оборудованию относятся: ацетилирующая установка, предназначенная для добавления ацетона в баллоны; рампа "командного" азота с разрядной рампой, служащие для управления системы аварийной азотной продувки линии высокого давления; щит управления ручной и автоматической продувки, предназначенный для продувки азотом карбидного бункера после установки его на газообразователь генератора и трубопроводов линии низкого давления перед пуском блока низкого давления; установка для регенерации ацетиленовых баллонов, утративших газобираемость вследствие накопления влаги; механизированная линия обработки барабанов с карбидом кальция (рис. 2.22), обеспечивающая транспортирование и вскрытие их с пересыпкой карбида кальция в передвижные бункеры, устанавливаемые на генераторы.

К вспомогательному оборудованию относятся также устройства различного рода для испытания баллонов, разгрузки их с авто-

транспорта, перемещения в складских помещениях и др.

2.11. ПОТОЧНЫЕ И АВТОМАТИЧЕСКИЕ ЛИНИИ

Поточные линии для термической резки применяют в заготовительном производстве с объемом обрабатываемого металла 10 тыс. т и более. Поточные и автоматические линии отличаются: обеспечением оптимального производственного цикла изготовления заготовок; высокой производительностью оборудования, которая на целом ряде операций исключает участие человека; высоким качеством получаемых заготовок, обусловленное надежной работой всей системы и стабильностью технологических режимов; наиболее полное использование обрабатываемого металла за счет оптимального раскроя листов; максимальный коэффициент использования дорогостоящего оборудования.

Поточные линии для раскроя металла представляют собой связанные гибко участки: для правки листа, очистки, пассивации или грунтовки, разметки и маркировки, раскроя листов и разборки. Компоновка поточных линий зависит от выбранного типа машин, системы механизации и автоматизации подачи листов, сортировки и уборки деталей, располагаемых производственных площадей (ширины, длины и числа пролетов в цехе) и т. д. [17].

Участок правки обрабатываемых листов состоит из вальцеправильных машин. После правки листы металла поступают на очистку от загрязнений, коррозии и окалины, выполняемую с помощью дробеструйных или дробетных аппаратов. При струйной очистке применяют крупный песок, чугунную или стальную дробь размером 0,7...4 мм, которая сжатым воздухом выбрасывается на поверхность металла. Эта операция выполняется в специальных камерах, предусматривающих непрерывное использование отработанной дроби и

имеющих вентиляционную систему. В последнее время все более широкое применение для очистки находят иглофрезерные станки, имеющие большую производительность, чем при струйной очистке. После очистки листы металла защищают от коррозии пассивацией или грунтовкой, выполняемой в специальных камерах в электростатическом поле, что обеспечивает минимальный расход краски.

На некоторых предприятиях применяют химические методы очистки. При этом все имеющееся оборудование для очистки и грунтовки группируется в самостоятельную линию, в которой листы металла роликовым конвейером пропускаются через листопрямильные валы. Затем листоукладчик устанавливает листы в вертикальном положении на роликовый конвейер и подает в камеры подогрева, травления, промывки, нейтрализации пассивирования или грунтовки, после чего листы подаются либо в накопитель, либо на участок термической резки. Перед резкой листы подвергают разметке и маркировке. Если разметка и маркировка выполняются на самостоятельных машинах, то листы металла должны иметь ту же систему координат, что и машины термической резки для возможности закрепления листа на специальных рамах.

Разметка грунтованного листа осуществляется пневмокернением или специальными карандашами с трудноудаляемыми красителями. Для разметки негрунтованного листа может применяться метод газопламенного напыления цинковым порошком. Разметочные и маркировочные машины изготавливаются на базе порталов машин для термической резки с ЧПУ. На портале смонтирован суппорт поперечного перемещения с рабочим инструментом для нанесения знаков. При разметке листа используются координаты продольного перемещения портала машины и поперечного перемещения суппорта, а при нанесении маркировочных знаков — только движение каретки построителя знаков.

Участок резки комплектуется машинами термической резки. В зависимости от обрабатываемого металла и его толщины применяют машины для кислородной, плазменной или лазерной резки. На практике встречаются участки из односторонних машин, комбинированных (кислородно-плазменных) или разнотипных машин.

Машины komponуют в пределах одного пролета цеха в одну "нитку", либо параллельно в две "нитки". С точки зрения экономии площади наиболее предпочтительны двухъярусные линии с расположением режущих машин на одном ярусе, а транспортной системы для подачи листов — на другом ярусе. В этом случае листы на специальных раскроечных рамах подаются по первому ярусу к свободным машинам и специальным гидравлическим устройством поднимаются в рабочее положение на второй ярус, после чего выполняется вырезка деталей. После окончания резки рама

опускается на рольганг первого яруса и поступает на позицию разборки.

Неотъемлемой частью комплексно-механизированных линий являются устройства для перемещения листа; кантователи — листоукладчики; гидротолкатели; перегружатели-кантователи; траверсы с большим числом магнитов; сортировщики с вакуумными присосками на траверсе и др. Все эти механизмы обеспечивают перемещение листа, его обороты по технологической цепочке, а также механизированную разборку вырезанных заготовок. Управление комплексно-механизированными линиями осуществляется с пульта управления оператором. На каждом участке линии должны находиться операторы технологического оборудования, например, машины термической резки обслуживают операторы машин термической резки, операторы по очистке листа и т. д.

Автоматические линии термической резки листов включают то же оборудование, что и механизированные линии, которое в этом случае оснащено микропроцессорной системой управления, многочисленными датчиками, системой диагностирования работы оборудования и технологического процесса.

Система управления автоматической линией построена по иерархическому принципу: верхний уровень — управляющий вычислительный комплекс (УВК) с периферийным устройством; нижний уровень — устройство ЧПУ на базе микроЭВМ. УВК верхнего уровня обеспечивает управление в реальном масштабе времени, распределенным в пространстве оборудованием линии, отображение процессов резки на МТР, передачу программ обработки на МТР и обратно по запросам от МТР, связь с ЭВМ заводских вычислительных центров. Технологические участки управляются собственными локальными системами управления, имеются автоматизированные склады металла, машины для резки, транспортные устройства, склады вырезаемых заготовок и др.

Наиболее эффективной формой организации работ по изготовлению заготовок крупных предприятий является комплексная автоматизация заготовительного производства, которое состоит из нескольких автоматизированных линий. В наибольшей степени уровень автоматизации обеспечивается котельно-заготовительным производством ПО "Уралхиммаш". Комплекс технологического оборудования состоит из четырех линий:

1) воздушно-плазменной резки листов шириной менее 2500 мм. В состав линии входят: оборудование для сортировки деталей после вырезки; машины "НУМОРЕКС НХВ" с ЧПУ; средства механизации транспортировки листов на позиции линии; вакуумные сортировщик заготовок и перегружатель листов;

2) воздушно-плазменной и лазерной резки листов шириной менее 2500 мм и сортировки деталей после вырезки. В составлении машины "НУМОРЕКС НХВ" с ЧПУ для воздушно-

плазменной и кислородной резки, машины НУМОРЕКС НХВ-НА для лазерной резки с лазером РС-500, средства механизации транспорта листов на позициях линии, вакуумные сортировщик заготовок и перегружатель листов;

3) кислородной резки листа шириной менее 2500 мм и сортировки деталей после вырезки. В состав линии входят машины "НУМОРЕКС НХВ" с ЧПУ для кислородной резки; центр управления линиями 3 и 4, средства транспорта листов на позициях линии; магнитные сортировщик заготовок и перегружатель листов;

4) кислородной резки листа шириной менее 3600 мм и сортировки деталей после вырезки. Линия включает: машины "НУМОРЕКС НХВ" с ЧПУ для кислородной резки; средства механизации транспорта листов на позициях линии; магнитные перегружатель листов и их сортировщик.

Линия маркировки деталей в листе шириной до 3600 мм имеет в составе машины "НУМОРЕКС НХВ" с ЧПУ для маркировки кернением, центр управления линией, средства механизации транспорта листов на позициях линии, перегружатель листов вакуумный.

Транспортные средства технологических линий, поставленные фирмой ТТС (Норвегия), имеют: устройство для продольной ориентации с двумя гидроцилиндрами и неподвижным упором базирования листа; автоматическую подъемно-транспортную тележку с гидравлическим блоком питания; гидропривод; сортировщик заготовок с двумя тележками для продольного перемещения; платформу оператора; троллейный подъемник; вакуумный захват диаметром 260 мм грузоподъемностью 150 кг; захват диаметром 480 мм грузоподъемностью 500 кг с системой электроуправления; шкаф и пульт управления; узел механизации вентиляционной системы с резиновым поясом и тележкой, закрепленной к газорезательной машине; перегружатель листового проката с вакуумной траверсой грузоподъемностью 6 т и раскройно-транспортный стол размером $2,6 \times 10,2$ м.

Управляющий центр фирмы Конгсберг (Норвегия) обеспечивает работу машин с ЧПУ и механизмов линии в автоматическом, наладочном и ручном режимах. На программирующей центр возложены следующие функции, выполняемые в автоматическом режиме: прием с головного ВЦ предприятия и хранение в памяти ЭВМ номенклатурного плана производства деталей на два месяца текущий и перспективный; формирование посуточного плана производства котельно-заготовительного комплекса с учетом наличия металла на складе на текущий момент работы; готовности программ резки деталей, наличия готовых раскроев и кодирования геометрической конфигурации каждой детали, хранения геометрических описаний деталей в банке данных ЭВМ без вторичного кодирования в соответствии с посуточным номенклатурным пла-

ном деталей и выделением для этих деталей металлов, осуществления раскладки деталей на листах (раскрой с учетом минимизации расхода металла), получение программы резки листов на газорезательных машинах; учет поставки готовых деталей на склад комплектации; постоянная оперативная информационная связь с головным вычислительным центром для получения и учета отклонений от плана и включения информации.

Программирующий центр комплекса котельно-заготовительного корпуса для раскроя и маркировки листового проката обеспечивает: ввод задания по подготовке программ резки и маркировки листового проката на текущий плановый период; кодирование конфигурации, маркировки и технологических условий резки; хранение математического описания деталей; проектирование раскройно-маркировочных карт в управляющие программы для машин резки с ЧПУ; хранение повторяющихся программ резки и маркировки; учет деталей, вошедших в программы резки и раскройные карты; получение программ путем информации о длине резки для данной раскройно-маркировочной карты, оценке времени обработки листа на машине резки.

Централизованный ввод задания с вычислительного центра предприятия осуществляется на программирующей центр в виде массивов на магнитной ленте. Вместе с плановым заданием на программирующей центр поступают чертежи деталей, математическое описание которых отсутствует в базе данных программирующего центра.

Программирующий центр оснащен автономным устройством перфорации лент и их считывания с отображением текста на экран дисплея, интерактивное кодирование деталей посредством изображения чертежей деталей на экране графического дисплея. Для проверки описаний деталей применяются графопостроители различного типа и графические дисплеи для визуального контроля.

Проектирование раскройных карт может производиться в режиме ручной раскладки деталей, интерактивной раскладки и в автоматическом режиме. Автоматическая раскладка деталей выполняется по критерию максимального использования площади листа с автоматическим переводом в программу резки с учетом технологических организаций.

Котельно-заготовительное производство относится к категории гибкого автоматизированного производства раскроя листового материала. На данном производстве автоматизированы планирование и подготовка управляющих программ, подготовка листа к резке и его маркировка, процесс раскроя листов методами кислородной, плазменной и лазерной резки, его уборка и складирование.

Автоматические линии для фасонной резки труб обеспечивают заданные точность и качество трубных конструкций. Автоматическая линия состоит из участка подающего, гибкого автоматизированного модуля для фасонной

резки труб и участка принимающего. Подающий участок состоит из следующих основных узлов: стеллажа, механизма перегрузки, рольганга системы управления и автоматики. На подающий участок укладываются трубы, которые по наклонной форме поступают на механизм перегрузки. Механизм перегрузки с помощью пневмоцилиндра опор и рычагов укладывают трубу на рольганг. С помощью роликов осевого перемещения труба подается на гибкий автоматизированный модуль для фасонной резки труб.

Гибкий автоматизированный модуль для фасонной резки труб обеспечивает обработку патрубков и вырезку отверстий под любые типы трубчатых сопряжений высокой точности и может применяться для изготовления трубных заготовок металлоконструкций для добычи нефти и газа, строительных металлоконструкций, кранов и др. Техническая характеристика модуля приведена ниже.

Диаметр обрабатываемой трубы, мм	100...630
Наибольшая толщина стенок трубы, мм	20
Точность вырезаемой заготовки, мм	$\pm 1,0$
Наибольшая скорость перемещения, мм/мин	6000
Наибольшая длина обрабатываемых труб, мм	12000
Точность стабилизации расстояния резак-труба, мм	$\pm 0,5$
Потребляемая мощность, кВт	3
Масса модуля в комплекте поставки, кг	4400
Число суппортов	2
Максимальный расход газов на один резак, м ³ /ч:	
кислорода	4,0
ацетилена	0,7
пропана	0,5
Давление газа, МПа:	
кислорода	1,2
ацетилена, пропана	0,08...0,1
Габаритные размеры, м	13,6 × 2,5 × 2

Гибкий автоматизированный модуль (рис. 2.23) представляет собой металлическую конструкцию, на основании которой смонтированы устройство для поворота и осевого перемещения труб. Вдоль оси трубы закреплена направляющая, на которой установлены два суппорта. В конструкции модуля имеются три прижимных устройства, фиксирующих трубу при ее обработке. Основание с устройством поворота и осевого перемещения труб осуществляет поворот обрабатываемой трубы вокруг продольной оси по закону, заданному программой обработки, производит продольное перемещение трубы после ее обработки. Оно выполнено в виде отдельных стыкуемых при сборке секций. На каждой секции установлены привод вращения труб и подъемный рольганг их продольного осевого перемещения, узлы крепления вертикальных стоек направляющих, узлы прижима труб малого диаметра.

Привод вращения труб имеет приводные ролики, механизм их синхронного поперечного перемещения, электромеханический привод вращения. Привод вращения труб обеспечивает:

нахождение точек касания обрабатываемых труб с роликами в положениях с расстоянием между ними по дуге в пределах 90...150° для всего диапазона диаметров поверхностей труб;

синхронность поперечного коса трубы перемещения роликов в горизонтальной плоскости с тем, чтобы отклонение центра лежащей на них трубы в горизонтальной плоскости не превышало $\pm 0,25$ мм от общей оси;

возможность проведения регулировок заданных величин и юстировки центров вращения роликов.

Подъемный рольганг включает: вогнутые ролики продольной подачи; механизм их перемещения в вертикальной плоскости с надежной фиксацией в верхнем положении (при

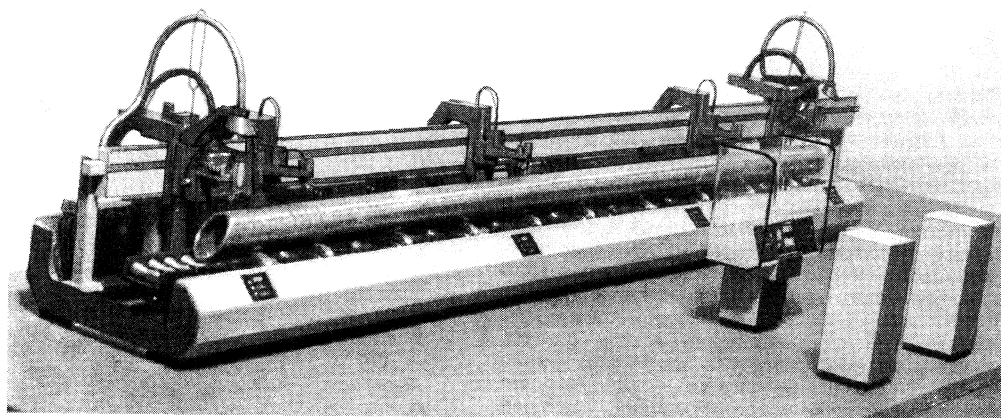


Рис. 2.23. Гибкий автоматизированный модуль для фасонной резки труб

транспортировке трубы); электромеханический привод осевого перемещения, обеспечивающий осевую реверсивную подачу труб со скоростью ниже 6 м/мин на номинальном режиме и со скоростью менее 0,1 м/мин для транспортировки при подходе трубы к фиксируемому упору.

Подъемный рольганг обеспечивает свободное перемещение трубы в осевом направлении при загрузке на обработку или снятие после обработки; плавное опускание трубы на ролики привода вращения; свободное вращение трубы на роликах привода вращения при обработке. Каретка с суппортом обеспечивает продольное перемещение суппорта с резаком по закону, заданному программой обработки; перемещение суппорта с резаком на высоту до 600 мм; наклон резака в вертикальной продольной плоскости в обоих направлениях на угол до 60° от вертикали; вертикальную стабилизацию резака под поверхностью трубы.

Режущая кислородная оснастка включает: резак с механическим автономным устройством для уменьшения мощности пламени при его наклоне; коммуникации для подачи кислорода и горючего газа; устройство для автоматического зажигания резака, электромагнитные клапаны, устройства для защиты от обратного удара. Узел прижима труб малого диаметра предназначен для обеспечения надежной и точной обработки труб диаметром менее 150 мм. Электропневматический привод узла допускает его отвод от трубы при обработке труб диаметром свыше 150 мм. На модуле устанавливаются три узла прижима труб.

В систему автоматического управления модуля для резки труб входят: устройство ЧПУ (типа 2Р32М); комплектный электропривод (типа ПКП02); стационарный пульт управления в одном блоке со шкафом электроавтоматического оборудования и приборов; приводные электродвигатели и другие исполнительные механизмы; электрические датчики положения рабочих органов модуля для резки труб и вспомогательное оборудование. Система автоматического управления обеспечивает: воспроизведение заданного контура резки с точностью не ниже $\pm 1,0$ мм; осуществление в автоматическом режиме полной циклограммы работы всего комплекта оборудования линии для резки труб с управлением от ЧПУ и привлечением элементов циклового управления, включая вспомогательное; реализацию циклограммы процесса термической резки (выход резака к месту начала резки, зажигание резака, прогрев места пробивки отверстия, пробивка отверстия, выход на рабочий контур, обработка рабочего контура, включение подачи рабочих газов; автоматический наклон резаков на угол $\pm 60^\circ$ от вертикали с точностью ± 20 мин; компенсацию возможного осевого перемещения обрабатываемой трубы путем соответственного синхронного перемещения обеих кареток с суппортами и резаками в сторону увода трубы в пределах ± 10 мм; автоматическое поддержание расстояния между обрабатываемой поверхно-

стью трубы и торцом мундштука резака с точностью не ниже $\pm 0,5$ мм.

После обработки трубы подаются на участок принимающий, который состоит из рольганга, стеллажей и системы управления и автоматизации. Рольганг обеспечивает приемку отрезков трубы длиной 1...12 м (и менее). Стеллажи установлены с двух сторон от рольганга и выполнены аналогично конструкции участка приемки.

2.12. ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ

Развитие огневой и газорегулирующей аппаратуры (резаков, горелок, редукторов и др.) возможно по двум путям. Экстенсивный путь потребует примерно двух-, трехкратное увеличение производства аппаратуры. Интенсивный путь предусматривает необходимость повышения надежности и сроков службы аппаратуры, организации территориальной сети ремонтных баз и увеличения производства запасных частей.

Развитие техники газопитания требует создания новых совершенных средств газорегулирования и коммуникационной аппаратуры. Специальные газовые смесители повышенной точности должны обеспечивать автоматическое поддержание и контроль состава смеси. В области газовой наплавки необходимо уделить внимание механизации процессов наплавки цветных металлов и сплавов и созданию специализированных высокопроизводительных автоматов, оснащенных мощными газовыми горелками.

Перспективным является создание новых типов горелок, интенсифицирующих процесс теплопередачи при нагреве газовым пламенем: горелок ракетного, термореактивного горения горючей смеси и др.

Важнейшей задачей является создание новых и совершенствование существующих комплексно-механизированных и автоматизированных поточных линий кислородной резки в заготовительном производстве. В единичном и мелкосерийном производстве изготовление деталей и заготовок из листового проката целесообразно производить на специально оборудованных поточных линиях.

В крупносерийном и массовом производстве наиболее перспективно использование комплексных автоматизированных конвейерных линий и агрегатов, связанных между собой единой транспортной системой. Для этих линий характерно синхронное автоматическое выполнение всего комплекса операций с управлением от ЭВМ соответствующего уровня.

Для оснащения таких линий преимущественное применение получают широкопортальные многорезаковые машины, допускающие одновременную обработку нескольких листов с высокой степенью автоматизации вспомогательных операций без увеличения обслуживаемого персонала. На предприятиях с объемом обработки листовых сталей 15...20 тыс. т в год перспективно использование машин с шириной обработки 2,5...5 м, оснащенных ЧПУ.

Портально-консольные и шарнирные машины целесообразно применять на средних предприятиях с объемом обработки 2...10 тыс. т листовой стали в год.

Особенно перспективно применение кислородной резки не только для обработки листового проката, но и для пространственно-контурной резки (труб, цилиндрических сосудов и др.). Задача создания автоматических поточных линий для обрезки труб и получения сопряжений различных элементов стыкуемых цилиндрических поверхностей связана с расширением использования новых сырьевых ресурсов (природных и сжиженных газов из нефтепродуктов) для обеспечения топливно-энергетического баланса страны.

Тенденция применения кислородной резки при наиболее перспективных методах непрерывного производства металлургического передела, в частности при огневой зачистке проката, в том числе и при непрерывной разливке стали обеспечивает существенное повышение выхода годного металла.

Следует отметить, что добиться резкого повышения уровня механизации термической резки только за счет комплексной механизации и автоматизации процессов, при всей эффективности этих мероприятий, вряд ли удастся. Создание поточных линий, механизированных газорезательных цехов или участков требует значительных капитальных вложений. Поэтому целесообразным следует считать дальнейшее расширение использования средств малой механизации (переносных приборов, стационарных машин простейших типов, фланцезов, труборезов и т. д.), повышающих производительность труда резчиков на отдельных операциях. Ввиду массовости применения ручной кислородной резки только при наличии достаточного числа средств малой механизации можно обеспечить существенное повышение производительности труда и общего уровня механизации газорезательных работ.

При производстве ацетилена в системах газопитания важнейшей задачей является замена передвижных генераторов баллонными (растворенным ацетиленом). Поэтому перспективно создание новых видов оборудования повышенной единичной мощности для производства растворенного ацетилена. В современных условиях наибольшее значение имеют ацетиленовые станции мощностью 80...160 м³/ч и менее, способные обеспечить нужды промышленно-экономического района в растворенном ацетилене. Это позволит сэкономить расход карбида кальция на 15...20%, увеличить производительность труда газосварщиков и газорезчиков на 10...15% и повысить технику безопасности ацетиленового производства. Для оптимизации способов и средств газопитания необходимо проведение технико-экономического обоснования оптимальных решений по сортаменту и числу средств производства ацетилена, а также территориальному их размещению.

Особое внимание следует обратить на обеспечение безопасных условий труда, создание экологически чистых процессов газопламенной обработки.

Обеспечение отмеченных выше основных направлений развития автогенного оборудования связано с расширением и совершенствованием материально-технической базы автогенного машиностроения, с реконструкцией и техническим перевооружением предприятий. К важнейшим перспективным сдвигам в производстве автогенного оборудования следует отнести повышение темпов роста выпуска оборудования для механизированных процессов (по отношению к аппаратуре для ручных процессов) и увеличение выпуска оборудования для новых прогрессивных методов плазменно-дуговой и газолазерной обработки. Переход к выпуску преимущественно крупных ацетиленовых станций следует сочетать с соответствующим темпом роста выпуска передвижных генераторов.

Развитие генераторов водородно-кислородной смеси эффективно по пути совершенствования их конструкции — снижения массы газогенераторов производительностью более 1,7 м³/ч с 300 до 100 кг; разработки газогенераторов с раздельным получением водорода и кислорода. Эта тенденция обусловлена необходимостью и возможностью существенного расширения технологических свойств водородо-кислородного пламени, например, при использовании водорода в комбинации с другими газами в процессе плазменной обработки, в дуговых методах нагрева для интенсификации процессов сварки, резки, напыления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Кислицин В. М.** К вопросу разработки газогенераторов водородокислородной смеси. // Новые достижения в области пайки. Киев: ЛОП ИЭС им. Е. О. Патона АН УССР, 1981. С. 110—116.
2. **Машина** модульной конструкции для кислородной резки прибылей литя, поковок, слитков и крупногабаритного скрапа / А. Н. Коротун, Б. Ф. Савченко, А. Л. Мельченко, Г. Н. Братцев // Сварочное производство. 1990. № 9. С. 15.
3. **Машины**, установки и аппаратура для газопламенной обработки металлов: Каталог. М.: НИИТИХимнефтемаш, 1984. 112 с.
4. **Пилипенко А. А., Шевчук Л. Н.** Машины для кислородной резки крупногабаритного металлолома // Сварочное производство. 1982. № 3. С. 37—38.
5. **Сухинин Г. К., Трофимов А. А.** Машинная кислородная резка: Библиотека газосварщика. М.: Машиностроение, 1974. 80 с.
6. **Технология**, механизация и автоматизация производства. Сборник конструкций / С. А. Куркин и др. М.: "Машиностроение", 1989. 248 с.
7. **Якименко Л. М., Модылевская И. Д., Ткачек З. А.** Электролиз воды. М.: Химия, 1979. 264 с.

РАЗДЕЛ 5

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ И СПЕЦИАЛЬНЫХ ВИДОВ СВАРКИ, НАПЛАВКИ, РЕЗКИ

Глава 1

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СВАРКИ

1.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Электронно-лучевая сварка (ЭЛС) относится к методам сварки высококонцентрированными источниками энергии и обладает широкими технологическими возможностями, позволяя соединить за один проход металлы и сплавы толщиной 0,1...400 мм. При этом наиболее перспективным является соединение изделий из тугоплавких металлов, из термически упрочненных материалов, когда нежелательна, затруднена или невозможна последующая термообработка; изделий после завершающей механической обработки при необходимости обеспечения минимальных сварочных деформаций; ряда ответственных крупногабаритных толстостенных и толстодлистых конструкций из сталей и легких сплавов, преимущественно в энергетическом и транспортном машиностроении, и др.

Выполняется такая сварка на установках, состоящих из двух основных комплексов — энергетического и электромеханического. Энергетический комплекс предназначен для формирования пучка электронов с заданными параметрами, управления его мощностью и положением относительно свариваемого стыка. Выбор параметров энергетического комплекса определяется толщиной и теплофизическими характеристиками свариваемых материалов, а также требованиями к коэффициенту формы проплавления.

Электромеханический комплекс установок предназначен для герметизации и вакуумирования рабочего объема, выполнения всех сварочных, установочных и транспортных перемещений свариваемого изделия и электронно-лучевой пушки (ЭЛП), выполнения вспомогательных операций и управления всеми этими процессами.

Установки для ЭЛС отличаются большим разнообразием по назначению и конструкции. Так, в зависимости от размера и формы свариваемого изделия существуют следующие установки: с загрузкой изделия в вакуумную камеру и герметизацией всего изделия; с гермети-

зацией части изделия или только зоны сварки; с вводом изделия в вакуумную камеру через специальные шлюзовые устройства.

Тем не менее установки для ЭЛС состоят в основном из узлов и блоков, имеющих одинаковое функциональное назначение и отличающихся габаритными размерами, степенью вакуума, числом степеней свободы исполнительных механизмов и др. В связи с этим возможно широкое применение агрегатных (модульных) конструкций, позволяющих компоновать гаммы сварочных установок с разными технологическими возможностями разнообразным сочетанием основных агрегатов с различными параметрами и в различных конструктивных исполнениях: сварочных пушек с различным ускоряющим напряжением, мощностью пучка, встроенными системами наблюдения или без них, с устройствами для дифференциальной откачки; сварочных камер различного объема и формы со сменными манипуляторами для выполнения разного рода работ; более совершенных и производительных откачных систем и др.

Благодаря имеющемуся параметрическому ряду сварочных пушек и источников питания по мощности пучка с использованием по ускоряющему напряжению для каждой конкретной задачи можно подобрать энергетический комплекс с необходимой мощностью пучка при оптимальном уровне ускоряющего напряжения. Существенно снижена стоимость сварочных установок с низковольтными пушками малой мощности и сравнительно простыми источниками питания (напряжением 20...30 кВ, мощностью 0,6...6 кВт).

На базе сварочных пушек созданы сварочные блоки, в состав которых кроме сварочной пушки входят устройства для ее ориентации относительно свариваемого стыка, механизм подачи присадочного материала, устройства наблюдения и освещения и, при необходимости, вакуумные насосы для дифференциальной откачки из области эмиссионной системы сварочной пушки. Сварочный блок является автономным узлом современных сварочных установок с автоматизированными системами управления установочными и сварочными перемещениями пушки или изделия, а также параметрами режимов сварки (ускоряющего напряжения, тока пучка, фокуси-

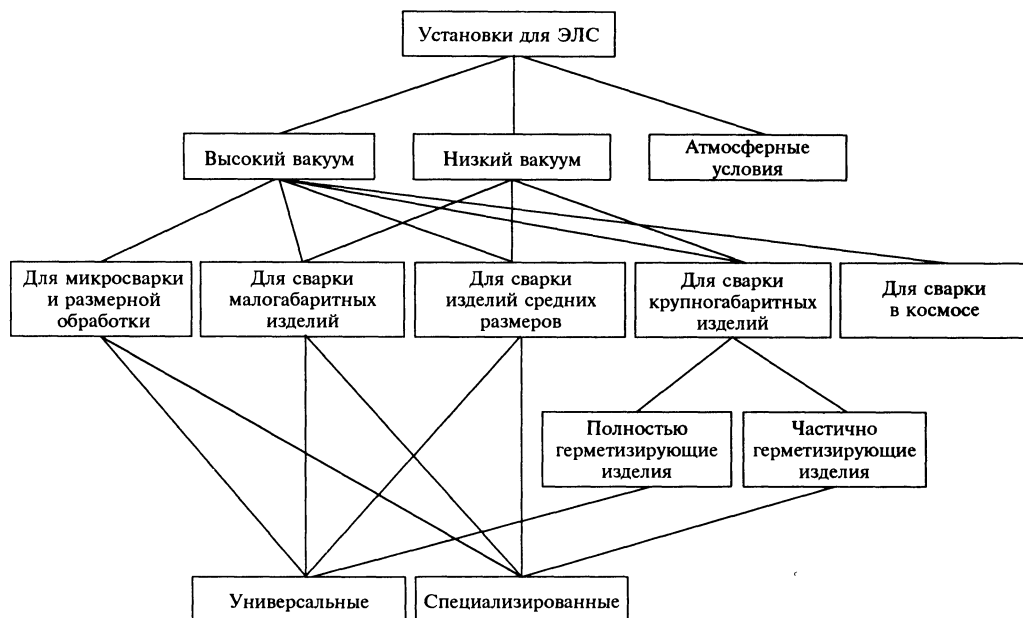


Рис. 1.1. Классификация установок для ЭЛС

ровки и др.). Наиболее совершенные установки работают от ЭВМ. Максимальная экономическая эффективность работы таких установок достигается в случае их специализации или когда установка является органичным звеном всей технологической цепи изготовления данного изделия при обеспечении необходимой обработки деталей перед ЭЛС.

Новым направлением в создании оборудования для ЭЛС является разработка и успешная эксплуатация поточных и автоматических линий на базе сварочных установок, а также организация технологических центров для ЭЛС изделий.

1.2. КЛАССИФИКАЦИЯ

За основу классификации установок для ЭЛС приняты степень защиты сварного шва от воздействия окружающей среды, область применения и габаритные размеры свариваемых изделий, степень специализации установки. По степени защиты сварочной ванны от воздействия окружающей среды установки делятся на три класса [7, 15]: для сварки в высоком вакууме ($1,33 \cdot 10^{-2} \dots 1,33 \cdot 10^{-3}$ Па); для сварки в промежуточном низком вакууме ($13,3 \dots 1,33$ Па); для сварки вне вакуума (рис. 1.1).

Установки для сварки в высоком вакууме обеспечивают практически идеальную защиту металла шва, большие рабочие расстояния и острофокусированные электронные пучки. Их используют для микросварки и размерной обработки в радиоэлектронике, приборострое-

нии, точной механике, а также для сварки изделий малых, средних и больших размеров в ядерной энергетике, авиастроении и ракетной технике.

Установки для сварки в низком вакууме отличаются от предыдущих упрощенной откачной системой сварочной камеры и меньшим временем ее откачки до рабочего давления. Качество сварных соединений конструкционных сталей, алюминия, меди и других материалов при сварке в промежуточном вакууме вполне удовлетворительное.

Установки с выводом пучка в атмосферу не имеют сварочной камеры. Электронный пучок через лучепровод сварочной пушки с мощной ступенчатой откачной системой выводится в атмосферу или защитную газовую среду, где и производится сварка. Установки этого класса отличаются рассеянием электронного пучка в газовой среде, а следовательно, малым рабочим расстоянием. Для установок с выводом пучка в атмосферу применяют только высоковольтные (175...200 кВ) энергетические комплексы. Эти установки широкого распространения не получили.

1.3. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВЫХ СВАРОЧНЫХ УСТАНОВОК

Сварочные электронные пушки. Они представляют собой приборы, в которых электроны, эмитированные катодом, ускоряются и формируются в электронный пучок. Первоначальное формирование пучка производится электрическим полем межэлектродного промежутка. Минимальное сечение пучка (кроссо-

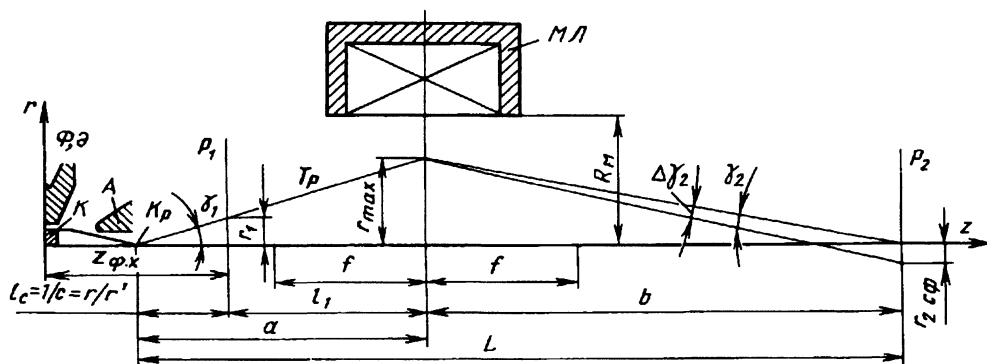


Рис. 1.2. Геометрические соотношения электронно-оптической системы электронной сварочной пушки:

r и z — система координат; K — катод; $\Phi Э$ — фокусирующий электрод; A — анод; K_p — кроссовер пучка; P_1 — условная входная плоскость (плоскость в пространстве дрейфа, в которой исследуется фазовая характеристика); $z_{ф.х}$ — продольная координата входной плоскости; T_p — крайняя траектория пучка; ML — магнитная линза; $СП$ — средняя плоскость магнитной линзы; f — фокусное расстояние магнитной линзы; P_2 — плоскость изображения Гаусса; $r_{2сф}$ — радиус кружка размытия сферической aberrации; $\Delta\gamma_2$ — приращение угла сходимости пучка на изделии, вызванное сферической aberrацией; r_{max} — максимальный радиус пучка в средней плоскости линзы; R_m — радиус отверстия в магнитопроводе магнитной линзы

вер) отображается затем одной или несколькими электромагнитными фокусирующими линзами в плоскости фокусировки, располагаемой на требуемой глубине в глубине свариваемого изделия (рис. 1.2).

К особенностям формирования электронных пучков в сварочных пушках относятся "технический вакуум", интенсивный встречно направленный парогазовый поток из сварочной ванны, частые разгерметизации объема пушки. Одним из основных требований к параметрам пучков является достижение высокой удельной мощности в плоскости фокусировки.

При полном прохождении тока и при отсутствии различного рода несовершенств электронно-оптической системы электронная яркость, представляющая собой плотность тока в единице телесного угла сходимости пучка, постоянна по всей его длине [13]. Так,

$$j_{кр}/\pi\gamma_1^2 = j_{ф.п}/\pi\gamma_2^2, \quad (1.1)$$

где $j_{кр}$ и $j_{ф.п}$ — плотность тока соответственно в кроссовере и в плоскости фокусировки; γ_1 и γ_2 — углы сходимости пучка соответственно в кроссовере и в плоскости фокусировки (на свариваемом изделии).

При увеличении толщины свариваемых металлов необходимо стремиться к уменьшению угла сходимости пучка на изделии и к повышению плотности тока в пучке в плоскости фокусировки, что согласно выражению (1.1) возможно при увеличении электронной яркости путем повышения плотности тока в кроссовере.

Для идеальных условий формирования пучка максимально достижимая плотность то-

ка в кроссовере, размеры которого обусловлены только тепловыми скоростями электронов, оценивается упрощенной зависимостью Лэнгмюра [20]:

$$j_{кр} = j_k \frac{e U_y \gamma_1^2}{K T_k}, \quad (1.2)$$

где j_k — плотность тока эмиссии с катода при его рабочей температуре T_k ; e — заряд электрона; U_y — ускоряющее напряжение пушки; K — постоянная Больцмана.

Расчет параметров электронного пучка, формируемого в конкретной электронно-оптической системе пушки, в отличие от идеальных условий представляет собой сложную задачу, решаемую обычно методами траекторного анализа [5]. Траекторный анализ базируется на численном решении системы уравнения, включающей уравнения поля (уравнения Пуассона), непрерывности и движения:

$$\nabla^2 U = -\rho/\epsilon_0;$$

$$\operatorname{div} \rho \vec{v}_e = 0;$$

$$\frac{d\vec{v}_e}{dt} = -\frac{e}{m_e} (\vec{E} + [\vec{v}_e, \vec{B}]),$$

где ∇^2 — дифференциальный оператор Лапласа, форма которого зависит от выбора координатной системы; U — потенциал в ускоряющем промежутке эмиссионной системы; ρ — плотность пространственного заряда электронов в пучке; ϵ — диэлектрическая проницаемость

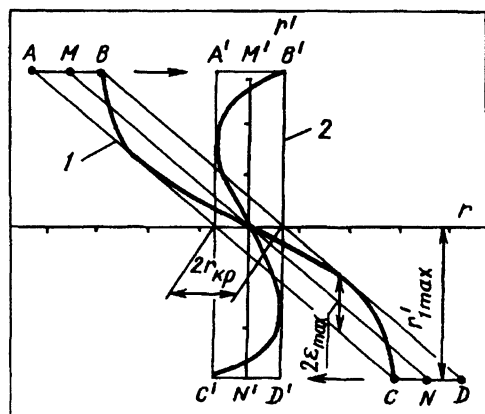


Рис. 1.3. Фазовый параллелограмм:

1 и 2 — фазовая характеристика для сечения пучка в области соответственно перед кроссовером и в кроссовере; стрелки — направления деформации параллелограмма при перемещении исследуемого сечения пучка к кроссоверу; $A, B, C, D, M, N, A', B', C', D', M', N'$ — точки построения параллелограмма; $2r_{кр}$ — диаметр кроссовера; $2\epsilon_{\max}$ — максимальное суммарное отклонение фазовой характеристики от линейной

среды (вакуума); $\vec{E}$ — вектор напряженности электрического поля; $\vec{v}_e$ — вектор скорости электронов; $\vec{B}$ — вектор индукции магнитного поля, суммирующегося из магнитного поля фокусирующей линзы и собственного магнитного поля электронного пучка; e и m_e — заряд и масса электрона.

Качество формирования электронного пучка удобно оценивать с помощью фазового параллелограмма, построенного по результатам траекторного анализа электронно-оптической системы с учетом степени компенсации пространственного заряда пучка в различных ступенях этой системы. Фазовый параллелограмм строится на основе фазовой характеристики пучка (зависимости угла наклона траекторий r' от их радиальной координаты r для каждого характерного поперечного сечения пучка) таким образом, чтобы при минимуме площади включить всю фазовую характеристику (рис. 1.3). Минимальная площадь параллелограмма F_1 , охватывающего фазовую характеристику на фазовой плоскости r'/r , может рассматриваться как площадь изображения пучка в фазовой плоскости:

$$F_1 = 4|r'_{1\max}|r_{кр},$$

где $r'_{1\max}$ — наибольшее значение угла наклона траекторий; $r_{кр}$ — радиус пучка в кроссовере в случае, если фазовая характеристика построена для сечения в зоне анод — фокуси-

рующая линза (половина отрезка, отсекаемого параллелограммом на оси r).

Из рис. 1.3 видно, что конечный размер кроссовера $r_{кр}$ обусловлен степенью нелинейности фазовой характеристики, вызванной несовершенствами конкретной эмиссионной системы. В идеальной эмиссионной системе, формирующей ламинарный пучок, фазовая характеристика линейна, $r_{кр} = 0$ и $F_1 = 0$. Радиус пучка в плоскости фокусировки, обусловленный степенью нелинейности фазовой характеристики (см. рис. 1.2),

$$r_2 = r_{кр} \frac{|r'_{1\max}|}{|r'_{2\max}|} = r_{кр} M = r_{кр} \frac{cb}{1 + cI_1} = \epsilon_{\max} \frac{b}{1 + cI_1},$$

где $M = |r'_{1\max}|/|r'_{2\max}|$ — увеличение фокусирующей системы; c — средний наклон фазовой характеристики к оси r ; $r'_{2\max} = \gamma_2$.

При учете тепловых скоростей электронов радиус кроссовера возрастает на величину

$$r_\tau = \frac{r_{кр}}{c r_1} \sqrt{\frac{U_\tau}{U_y}},$$

где $r_{кр}$ — радиус катода; r_1 — радиус пучка (по крайней траектории), где определена фазовая характеристика; U_τ — наиболее вероятная кинетическая энергия эмитированных электронов при максвелловском распределении их начальных скоростей; $U_\tau = 8,62 \cdot 10^{-5} T_k$ (В).

В результате суммарного действия тепловых скоростей и нелинейности фазовой характеристики размер минимального пятна нагрева в плоскости фокусировки

$$r_2 = (r_{кр} + r_\tau) \frac{cb}{1 + cI_1}.$$

Для повышения точности оценки параметров пучка необходимо учесть радиус кружка размытия пятна нагрева из-за сферической aberrации магнитной линзы:

$$r_{2сф} = \Delta\gamma_2 b,$$

где $\Delta\gamma_2 = C_\alpha r_m^3 / f$; C_α — модифицированный коэффициент сферической aberrации, рассчитываемый по результатам траекторного анализа и зависящий только от параметров конкретных магнитных линз; r_m — радиус пучка в средней плоскости магнитной линзы; $1/f = 1/a + 1/b$ для тонкой линзы.

В мощных сварочных пушках величина $r_{2сф}$ может быть соизмерима с размерами пятна нагрева, обусловленными нелинейностью фазовой характеристики и влиянием тепловых скоростей электронов.

На размеры пятна нагрева может оказывать существенное влияние хроматическая aberrация, вызванная нестабильностью ускоряющего напряжения и пульсациями тока маг-

нитной линзы силой I_m . Если сила тока магнитной линзы изменяется статистически случайным образом относительно пульсаций энергии электронов, то радиус кружка размытия пучка из-за хроматической aberrации

$$r_{2xp} = LM\gamma_{2\Delta} \sqrt{(\Delta U_y/U_y)^2 + (2\Delta I_m/I_m)^2}.$$

В реальном случае радиус пучка в плоскости фокусировки можно представить следующим образом:

$$r_2^* = \sqrt{r_2^2 + r_{2cf}^2 + r_{2xp}^2}.$$

Современные сварочные пушки имеют модульную компоновку, т. е. конструктивно разделены на отдельные взаимозаменяемые функциональные узлы, основными из которых являются эмиссионная система, изолирующие высоковольтные элементы, системы фокусировки и отклонения электронного пучка, системы дифференциальной отдачи и др. В сварочных пушках применяют в основном трехэлектродные эмиссионные системы, включающие катод, управляющий (фокусирующий) электрод и анод.

Достижение линейной фазовой характеристики пучка принимается в качестве основной цели при разработке эмиссионных систем

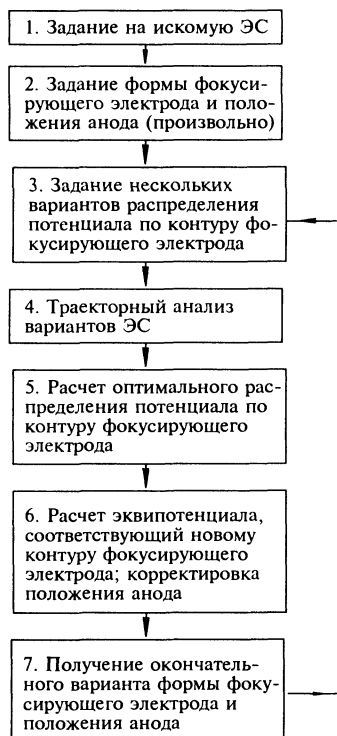


Рис. 1.4. Схема алгоритма построения эмиссионной системы (ЭС) сварочной пушки

в соответствии с новейшими методиками их расчета, основанными на совместном использовании методов анализа и синтеза [4, 8, 10, 14]. Схема алгоритма одной из таких методик представлена на рис. 1.4 [1]. Характерной особенностью этой методики является задание формы фокусирующего электрода в виде произвольной прямой линии, которую разбивают на n участков (обычно $n = 10$), на каждом из которых задаются потенциалом U , определяемым, например, полиномом от порядкового номера n участка:

$$U(n) = a_0 + a_1 n + a_2 n^2 + \dots + a_m n^m$$

$$(n = 0, 1, 2, \dots, 9).$$

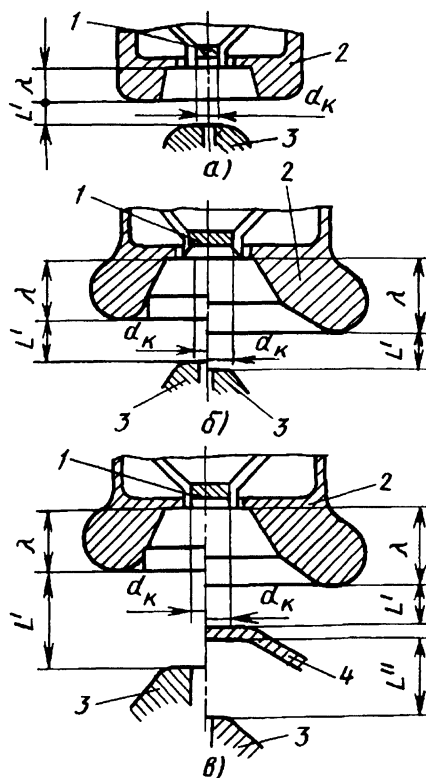


Рис. 1.5. Оптимизированные эмиссионные системы для мощных сварочных пушек:

a — ускоряющее напряжение $U_y = 30$ кВ, $I_{n\max} = 0,5$ А, $\lambda = 3,8$ мм, $L' = 6$ мм, $d_k = 4,2$ мм; $б$ — $U_y = 60$ кВ, $I_{n\max} = 1$ А, $d_k = 4,2$ мм, $\lambda = 7$ мм, $L' = 4,1$ мм (слева от оси); $d_k = 5,4$ мм, $\lambda = 7,8$ мм, $L' = 6,9$ мм (справа от оси); $в$ — $U_y = 120$ кВ, $I_{n\max} = 1$ А, $d_k = 4,2$ мм, $\lambda = 7$ мм, $L' = 10,5$ мм (слева от оси); $d_k = 5,4$ мм, $\lambda = 7,8$ мм, $L' = 6,9$ мм, $L'' = 12$ мм (справа от оси двухкаскадная система ускорения); 1 — катод; 2 — фокусирующий электрод; 3 — анод; 4 — дополнительный ускоряющий электрод

Коэффициенты $a_0, a_1 \dots a_m$ связаны функциональной зависимостью с оптимизируемыми параметрами, определяющими качество формирования пучка в рассчитываемой эмиссионной системе (линейность фазовой характеристики, требуемый угол сходимости, требуемая сила тока пучка и др.). Число оставляемых членов полинома определяется количеством оптимизируемых параметров системы. Формирование заданной эмиссионной системы с той или иной степенью точности производится в процессе повторяющихся циклов последовательных приближений. Конструктивно-технологическими ограничениями на искомую эмиссионную систему задаются на начальном этапе расчета.

На рис. 1.5 показаны оптимизированные эмиссионные системы для ускоряющих напряжений U_y соответственно 30, 60 и 120 кВ, построенные с применением этой методики, а результаты траекторного анализа одной из таких систем — на рис. 1.6 и 1.7.

К изолирующим высоковольтным элементам сварочных пушек относят вакуумные промежутки (вакуумную изоляцию) — высоковольтные твердые изоляторы, прослойки из жидких диэлектриков. Улучшению электрической прочности вакуумной изоляции способствуют: увеличение механической прочности материала электродов; улучшение вакуумных условий в межэлектродном промежутке (например, путем дифференциальной откачки из этой области); "тренировка" электродов; искривление оси электронно-оптической системы пушки и др.

В качестве материала для высоковольтных изоляторов в сварочных пушках применяют в основном керамику (например, алюмооксидная керамика ВК94-1) или молибденовое стекло.

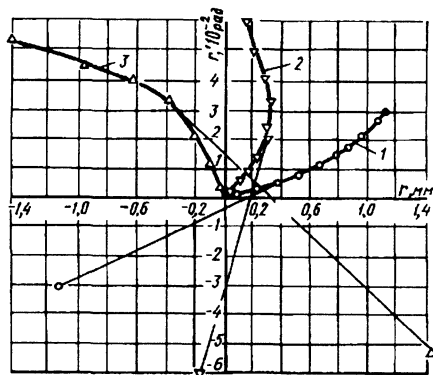


Рис. 1.6. Фазовые характеристики пучков в сечении $z_{ф.х} = 21$ мм при $U_y = 60$ кВ, $d_k = 5,2$ мм (U_m — потенциал фокусирующего электрода относительно катода, I_p — сила тока пучка):

1 — $U_m = 0$, $I_p = 1,25$ А; 2 — $U_m = -1,2$ кВ, $I_p = 0,75$ А; 3 — $U_m = -3,1$ кВ, $I_p = 0,29$ А

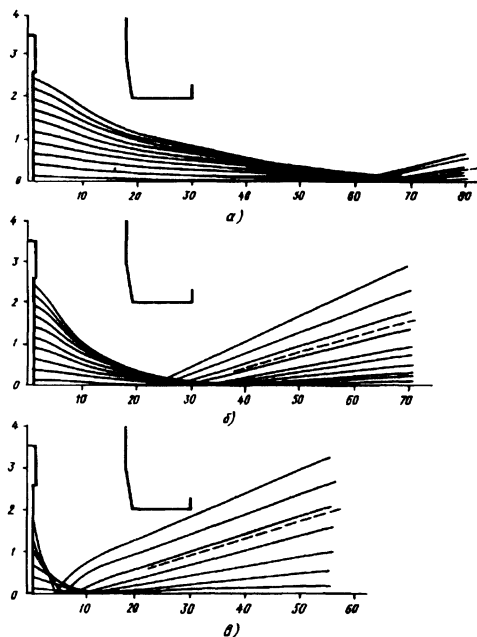


Рис. 1.7. Траекторный анализ эмиссионной системы типовых сварочных пушек при $U_y = 60$ кВ, $d_k = 5,2$ мм (r'_e — угол расходимости пучка на уровне его эффективного радиуса):

а — $U_m = 0$, $I_p = 1,25$ А, $r'_e = 2,16 \cdot 10^{-2}$ рад; б — $U_m = -1,2$ кВ, $I_p = 0,75$ А, $r'_e = 3,38 \cdot 10^{-2}$ рад; в — $U_m = -3,1$ кВ, $I_p = 0,29$ А, $r'_e = 5,31 \cdot 10^{-2}$ рад;

1 — катод; 2 — анод; 3 — траектории электронного пучка; 4 — профиль пучка на уровне его эффективного радиуса (соответствует r'_e)

Форма высоковольтных изоляторов может быть самой разнообразной. Так, изоляторы для пушек класса 30, 60 и 120 кВ, разработанных в ИЭС им. Е. О. Патона, имеют трубчатую конструкцию и снабжены унифицирован-

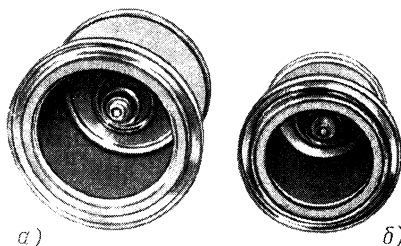


Рис. 1.8. Высоковольтные изоляторы из порошкового материала для сварочных пушек с ускоряющим напряжением 60 кВ (а) и 30 кВ (б)

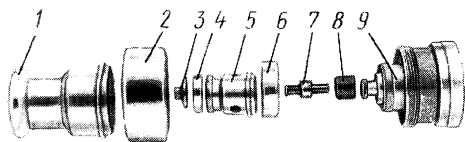


Рис. 1.9. Унифицированные детали катодного узла сварочных пушек:

1 — фокусирующий электрод; 2 — накидная гайка крепления фокусирующего электрода; 3 — держатель катода в сборе с катодом; 4 — накидная гайка крепления держателя катода в сборе; 5 — промежуточная втулка; 6 — накидная гайка крепления промежуточной втулки; 7 — подогреватель в сборе; 8 — накидная гайка крепления подогревателя; 9 — катодная ножка

ной ножкой из порошкового материала, на которой собираются все элементы конструкции катодного узла пушки (рис. 1.8—1.10).

Жидкие диэлектрики (касторовое масло, кремнийорганические жидкости) применяются в сварочных пушках для изоляции высоковольтных элементов со стороны ввода высоковольтного кабеля, а также интенсификации отвода теплоты от теплонагруженных элементов катодного узла. В большинстве сварочных пушек применяют термокатоды, эмитирующие электроны при разогреве до высоких температур. Достижимая плотность силы тока эмиссии термокатодов j_e (плотность силы тока насыще-

ния) зависит от температуры в соответствии с законом Дэшмана:

$$j_e = A T \exp[-\varphi/(KT)],$$

где A — константа, зависящая от материала катода; φ — эффективная работа выхода электрона из материала катода; T — рабочая температура катода; K — постоянная Больцмана.

Катоды сварочных пушек выполняются прямонакальными и с косвенным подогревом (рис. 1.11). Прямоканальные ленточные или проволочные катоды более просты в изготовлении, но часто требуют механической или электрической юстировки пушки (применяются в основном в маломощных пушках, в том числе для прецизионной сварки). Прямоканальный катод в виде шайбы из гексаборида лантана используют в пушках серии КЭП. Он подогревается резистивным нагревателем 3, контактирующим с катодом и последовательно включенным с последним в цепь накала катода (рис. 1.12). На рис. 1.12 показана скорость изменения силы тока пучка катода из различных материалов.

В мощных сварочных пушках наибольшее применение получили массивные шайбовые или штыревые катоды косвенного подогрева с помощью электронной бомбардировки. Наиболее распространенные шайбовые катоды из гексаборида лантана отличаются высокой эмиссионной способностью и стойкостью к ионной бомбардировке. Недостатками этих катодов являются подверженность влиянию паров свариваемых металлов и насосных масел, сравнительно высокая скорость испарения в случае вынужденного перегрева катода (для восстановления эмиссионных свойств после отравления). Последний фактор определяет в основном срок службы катодов из гексаборида лантана.

Большим ресурсом характеризуются массивные металлические термокатоды из вольфрама или тантала (рис. 1.13), так как значительно медленнее испаряются в процессе эксплуатации, не склонны к отравлению углеводородами и запылению тугоплавкими элементами свариваемых материалов. К принципиальным недостаткам металлических катодов следует отнести сравнительно высокую требуемую мощность разогрева (более 100 Вт при диаметре катода $d_k = 5$ мм по сравнению с 30...40 Вт для лантанборидных катодов) и связанное с высокой рабочей температурой (выше 2500°C) некоторое усложнение конструкции элементов крепления.

Особое место среди катодов сварочных пушек занимают газоразрядные катоды, в основном "полые" [3]. В полном газоразрядном катоде 2 (рис. 1.13) поток электронов вытягивается электрическим полем из плазмы высоковольтного тлеющего разряда, загорающегося внутри полого металлического цилиндра (катода) при определенном сочетании давления остаточных газов и напряжения между электродами эмиссионной системы. Стабильность

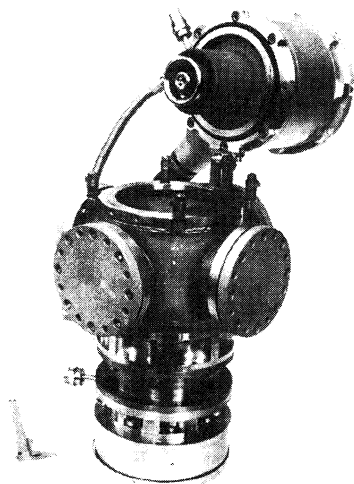


Рис. 1.10. Мощная сварочная пушка ЭЛА-120 (ПЛ1110) с отборненным на шарнире катодным блоком (120 кВт, 120 кВ)

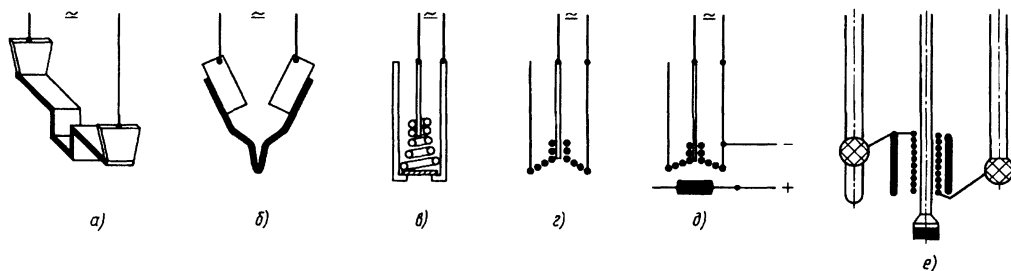


Рис. 1.11. Типы катодов сварочных пушек:

a — прямонакальный металлический ленточный; *б* — V-образный прямонакальный металлический; *в* — лантанборидный с косвенным подогревом; *г* — прямонакальный металлический в виде спирали; *д* — шайбовый с электронным подогревом; *е* — штыревой металлический с электронным подогревом

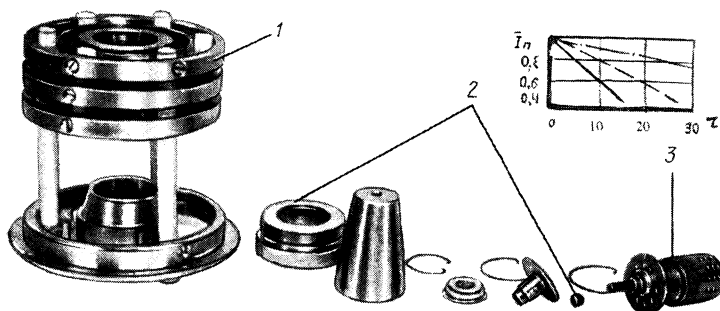


Рис. 1.12. Электронный прожектор на стержневых высоковольтных изоляторах 1, блок 3 с резистивным нагревателем и детали 2 крепления катода и анода, а также скорость изменения силы тока I_n (относительная) пучка для катодов из различных материалов:

———— горячепрессованный гексаборид лантана; — — — плавный гексаборид лантана; · — — чистый вольфрам

режима работы такого катода обеспечивается дифференциальной откачкой и устройством дозированного впуска рабочего газа. Современные полые катоды способны генерировать пучок мощностью менее 20 кВт с энергией до 50 кэВ. Срок службы таких катодов достигает 80 ч.

В газоразрядных катодах, предложенных Р. Дугделом, приданием эмитирующей поверхности катода соответствующей формы можно получить конические пучки, сходящиеся на свариваемом изделии, а также фасонные пучки, сфокусированные, например, в линию или в кольцо. К разновидностям газоразрядных катодов относятся плазменные эмиттеры на основе дугового контрагированного разряда с холодным катодом, на основе высоковольтного тлеющего разряда с анодной плазмой и др. С помощью газоразрядных катодов и пушек на их основе трудно сформировать электронные пучки с высокой плотностью мощности.

В настоящее время имеется большое разнообразие конструкций сварочных электрон-

ных пушек с различными параметрами. Простейшей конструкцией отличается электростатическая пушка, в которой формирование пучка производится только эмиссионной системой, как правило, диодного типа. Регулировка мощности в пучке производится ускоряющим напряжением. В большинстве случаев пушки такого типа низковольтные (до 30 кВ).

Типичным представителем низковольтных пушек с комбинированной фокусировкой пучка является универсальная пушка УЛ119 (У250А) с параметрами $U_y = 30$ кВ, $I_{\text{пmax}} = 0,5$ А, разработанная в Институте электросварки им. Е. О. Патона. Эмиссионная система пушки — триодная, разогрев катода из гексаборида лантана — электронной бомбардировкой. Пушка снабжена блоком электромагнитной фокусировки и отклонения пучка. К этому же классу пушек относятся пушки с прямонакальным катодом типа КЭП: А.852.04, А.852.18 и А.852.19 (табл. 1.1).

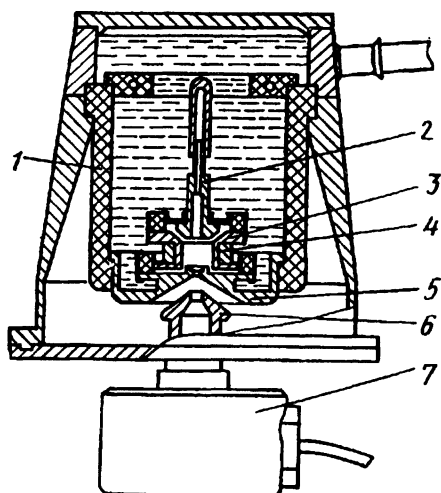


Рис. 1.13. Схема мощной электронной сварочной пушки с плазменным эмиттером:

1 — высоковольтный изолятор; 2 — полный катод; 3 — анод; 4 — постоянные магниты; 5 — эмиттерный катод (отражательный электрод); 6 — ускоряющий электрод; 7 — магнитная линза и отклоняющая система

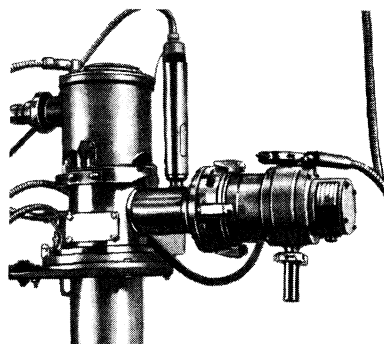


Рис. 1.14. Мощная сварочная пушка ЭЛА-60/60 (60 кВт, 60 кВ)

процесса сварки можно определить из выражения [4]:

$$\frac{\delta h}{h} = 10,42 \frac{\delta I_M}{I_M} + 4,18 \frac{\delta I_p}{I_p} + 6,85 \frac{\delta U_y}{U_y} + \frac{\delta v_{св}}{v_{св}} + 0,4 \frac{\delta T_K}{T_K},$$

где h — глубина проплавления; I_M и I_p — сила тока соответственно фокусирующей линзы и пучка; $v_{св}$ — скорость сварки; T_K — температура катода.

При нестабильности силы тока пучка, ускоряющего напряжения и скорости сварки (в пределах $\pm 1\%$), температуры катода ($\pm 2\%$) и силы тока фокусирующей линзы ($\pm 0,05\%$) глубина шва может изменяться до $\pm 7\%$. Поэтому к параметрам источника питания и, в первую очередь, к нестабильности и уровню пульсаций ускоряющего напряжения и силы тока сварки предъявляют очень жесткие требования. В источниках питания фокусирующей магнитной линзы при наличии современной элементной базы не представляет особого труда обеспечить нестабильность силы тока в пределах $\pm 0,05\%$.

В общем случае источник питания сварочной пушки состоит из следующих функ-

Широкое распространение получили пушки с промежуточным ускоряющим напряжением ($U_y = 60$ кВ типа ЭЛА-15, ЭЛА 60/60, ЭЛА-60Б (рис. 1.14). В отличие от описанных выше они снабжены дифференциальной откачкой и встроенным в пушку клапаном (табл. 1.2).

Для сварки металлов больших толщин нашли применение мощные высоковольтные пушки, в том числе типа ЭЛА-120 (ПЛ110) (см. рис. 1.10).

Источники питания сварочных электронных пушек. При ЭЛС недопустимы даже кратковременные и сравнительно незначительные отклонения параметров процесса. Так, для угла сходимости пучка $1 \cdot 10^{-2}$ рад изменение глубины шва в зависимости от параметров

1.1. Техническая характеристика сварочных электронных пушек серии КЭП

Параметры	КЭП-2М-1	КЭП-3	КЭП-4
Ускоряющее напряжение, кВ	30 (60)	30 (60)	30
Максимальная сила тока пучка, мА	550 (1100)	550 (1100)	400
Сила тока накала прямоканального катода из LaB ₆ , А	14 ± 2	14 ± 2	12 ± 2
Габаритные размеры, мм:			
максимальный диаметр	250	280	186
высота	408	600	307
Масса (без кабелей), кг	15	55	93

1.2. Техническая характеристика электронных сварочных пушек серии ЭЛА

Параметры	ЭЛА-15	ЭЛА-60Б	ЭЛА-120 (ПЛ110)
Ускоряющее напряжение, кВ	60	60	120
Максимальная мощность, кВт	15	60	120
Диапазон регулировки силы тока сварки, мА	0,5... 250	2... 1000	1... 1000
Тип катода	LaB ₆ или W	LaB ₆ или W	LaB ₆ или W
Сила тока, мА:			
фокусировки	400... 1000	400... 1000	400... 1000
отклонения	-300... +300	-300... +300	-500... +500
Угол отклонения пучка	±10°	±10°	±10°
Рекомендуемое рабочее состояние, мм	50... 200	50... 200	50... 400
Число ступеней дифференциальной откачки	1	1	1 (2)
Максимальное давление в вакуумной камере, Па	2,66 · 10 ⁻¹	2,66 · 10 ⁻¹	2,66 · 10 ⁻¹ (6,65)
Габаритные размеры, мм:			
максимальный диаметр	440	350	330
высота	750	530	570 (625 с системой двойного преломления пучка)
Масса, кг, не более (без кабелей и насосов)	55	65	50 (55 с системой двойного преломления пучка)
Максимальная толщина свариваемых металлов, мм:			
стали	60	100	250
титана и его сплавов	90	150	350
сплавов на основе алюминия	120	200	400

циональных частей: силового высоковольтного источника ускоряющего напряжения; источника разогрева катода сварочной пушки; источника питания цепи управления током пучка.

Силовые высоковольтные источники по величине ускоряющего напряжения подразделяют, как показано ниже, в зависимости от выходной мощности.

U_y , кВ 20...30 50...70 120...175

Выходная мощность, кВт 5...15 15...60 75...120

Напряжение повышается обычно с помощью трехфазных трансформаторов. Мощные источники рассчитаны на питание от промышленной сети частотой 50 Гц, а в мало-мощных источниках для уменьшения размеров и массы трансформаторов используется преимущественно питающее напряжение повышенной частоты (0,4...10 кГц) от мотор-генераторов или статических преобразователей (рис. 1.15) [15].

Для снижения пульсаций выпрямленного напряжения применяют двухтактные схемы выпрямления при соединении секций вторичных обмоток в "звезду" и "треугольник". Такие решения позволяют в реальных условиях (при несимметрии трехфазной сети и магнитопроводов трансформаторов) получить вы-

прямленное напряжение с пульсацией не выше 3%. Дальнейшее сглаживание пульсаций выполняется емкостными фильтрами или с помощью специальных схем с применением высоковольтных электронных приборов. Стабилизация высокого напряжения осуществляется за счет управления по первичной цепи (тиристоры, магнитные усилители, преобразователи) или электронными приборами.

В связи с тем, что при ЭЛС возможны электрические разряды в пушке, которые для источника питания являются коротким замыканием, необходимо, с одной стороны, предотвратить выход из строя этого источника, а с другой, — исключить появление дефекта в сварном соединении в результате отключения источника питания при срабатывании защиты. Кроме того, для снижения мощности разряда и газовой выделения в момент пробоя в пушке, а также для исключения эрозии ее электродов высоковольтная часть источника питания должна иметь минимальную емкость относительно "земли".

В источниках питания мощностью менее 15 кВт хорошие результаты дает применение пассивной динамической защиты [3]. В качестве токоограничивающего элемента используется дроссель 4, включенный между источником питания и сварочной пушкой (рис. 1.16). При пробое пушки 7 переходные процессы, возникающие в выходных цепях источника

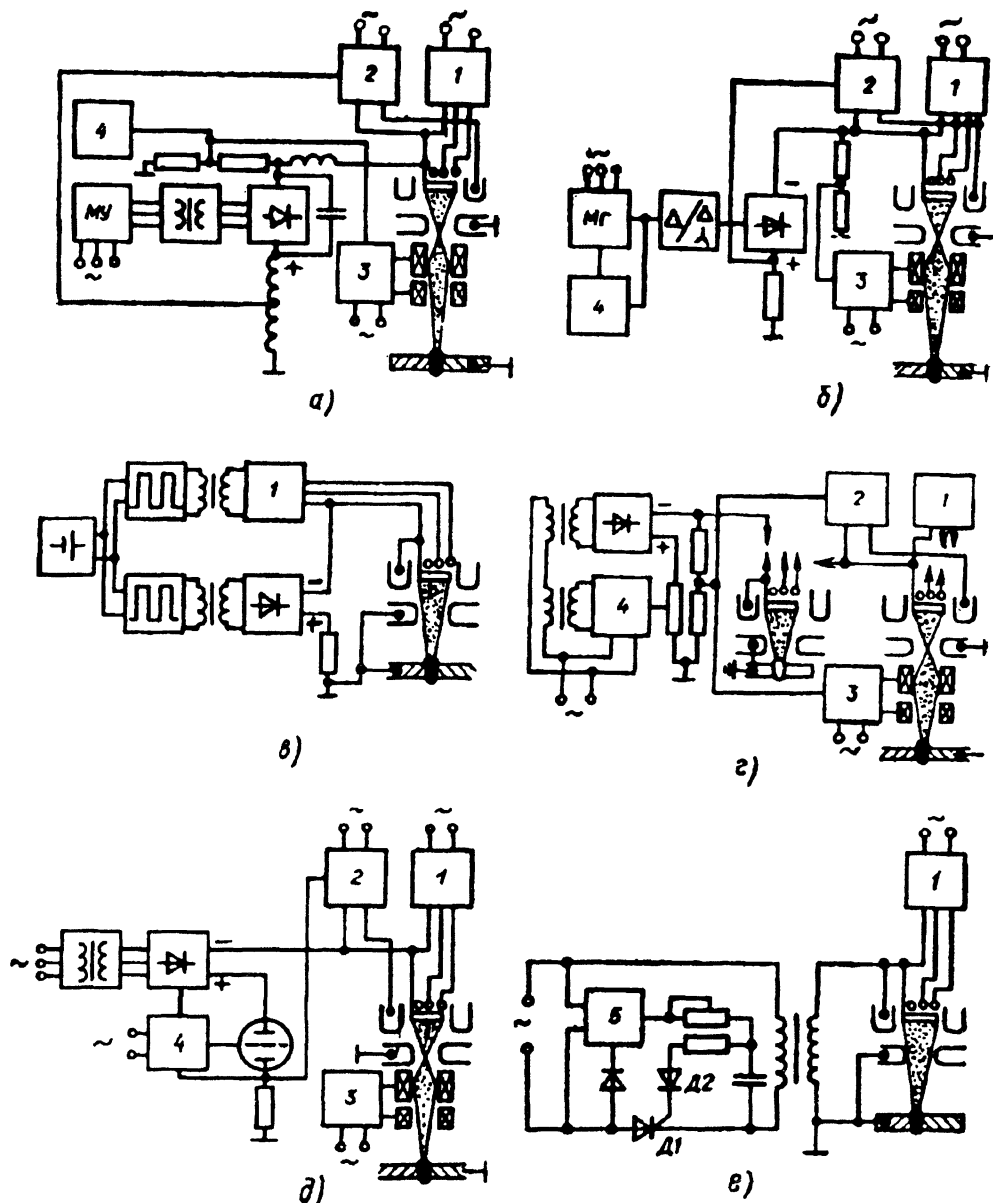


Рис. 1.15. Возможные схемы высоковольтного питания сварочных пушек:

a — через R -ограничительные элементы; *б* — от генератора повышенной частоты; *в* — от инверторного преобразователя; *г* — стабильных токов; *д* — через проходную лампу; *е* — переменным напряжением; 1 — блок накала; 2 — модулятор; 3 — блок питания; 4 — блок сравнения и усиления; 5 — блок защиты и "вывода кратера"; МУ — магнитный усилитель; МГ — мотор-генератор; Д — диод

питания, носят колебательный характер и поддерживаются за счет энергии, запасенной в дросселе 4 и емкости C_f фильтра. Для подавления разряда в начальной стадии, исключения перенапряжений и повторных пробоев

пушки дроссель шунтируется высоковольтным диодом 5, препятствующим развитию этих колебательных процессов. Индуктивность дросселя выбирается исходя из условия, что скорость восстановления ускоряющего на-

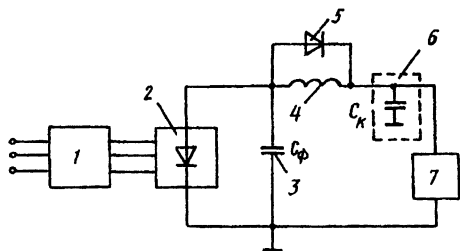


Рис. 1.16. Схема защиты источника питания с помощью дросселя, шунтированного высоковольтным диодом:

1 — трансформатор; 2 — выпрямитель; 3 — емкостный фильтр; 4 — дроссель; 5 — диод; 6 — кабель; 7 — электронная пушка

пряжения на пушке после пробоя не превышает скорости восстановления ее электрической прочности. При использовании такой схемы защиты время прерывания технологического процесса не превышает 0,5 мс.

Наиболее универсальным способом улучшения динамических характеристик источников питания сварочных пушек является применение в качестве исполнительного элемента мощного электронного прибора, включенного в цепь высокого напряжения. С его помощью осуществляется сглаживание пульсаций и стабилизация ускоряющего напряжения, а также прерывание процесса при разрядах в пушке. Электронный прибор уже в начальной стадии аномального нестационарного процесса (разряда) должен отключать ускоряющее напряжение на время

$$\Delta t = (0,1 \dots 0,15) d_e / v_{св},$$

где d_e — диаметр пучка; $v_{св}$ — скорость сварки.

Это время соответствует смещению оси пучка на 10...15% его диаметра. При меньшей длительности отключения пучка восстановление электрической прочности вакуумной изоляции пушки может быть не полным, что приведет к повторному разряду.

В зависимости от применяемого в пушке катода — прямонакального, косвенного подогрева или подогреваемого электронной бомбардировкой — используется тот или иной источник питания. Наиболее сложным из них является последний, поскольку он требует специальной схемы стабилизации силы тока бомбардировки. В разработках последних лет стабилизаторы строятся по схеме тиристорного управления на первичной стороне трансформатора тока накала и позволяют добиться неустойчивости тока бомбардировки менее $\pm 5\%$.

Для управления током пучка чаще всего используется способ регулирования отрицательного относительно катода потенциала на управляющем электроде пушки. При этом воз-

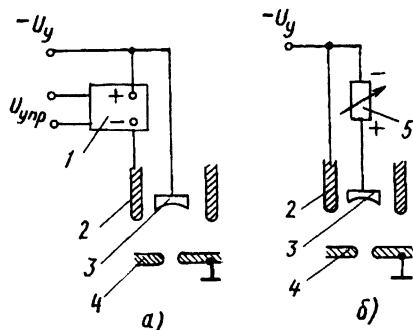


Рис. 1.17. Схемы питания электронно-оптических систем сварочных пушек для управления током пучка:

а — автономное смещение; б — автоматическое смещение; 1 — автономный источник управляющего на-
пряжения; 2 — управляющий электрод; 3 — катод;
4 — анод; 5 — регулируемое сопротивление

можно два основных варианта получения этого потенциала: от отдельного постороннего источника (автономное смещение) и за счет падения напряжения (автоматическое смещение) от тока пучка на регулируемом сопротивлении, включенном в цепь катода пушки (рис. 1.17). В качестве регулируемого сопротивления применяется электронная лампа, управляемая с "низкой" стороны через оптронную развязку. В первом варианте в момент разряда в пушке возможен всплеск тока пучка, приводящий к прожогу изделия. Во втором варианте автоматическое смещение препятствует возрастанию тока, ограничивая возможность формирования дефекта сварного соединения. Вследствие этого схема автоматического смещения получила более широкое распространение при разработке систем управления током пучка.

Рассмотрим принципы построения высоковольтного источника питания с проходной электронной лампой на примере серийного энергоблока ЭЛА-60/60 [16]. Силовой источник питания его (рис. 1.18) содержит трансформатор с обмотками 29, 30, соединенными по схеме звезда — звезда — треугольник, выпрямитель 4, систему подогрева катода 8—10 и регулятор 7 тока пучка, которые расположены в отдельном баке 1, заполненном трансформаторным маслом. Первичная обмотка 30 трансформатора снабжена быстродействующей системой 3 защиты от токов короткого замыкания.

При работе высоковольтного источника питания с проходной электронной лампой возможна аварийная ситуация в случае развития вакуумного пробоя в самой лампе, например, в период ее тренировки после длительного хранения или перерыва в эксплуатации. Для ограничения пробойного тока в этом аварийном режиме в первичной цепи силового

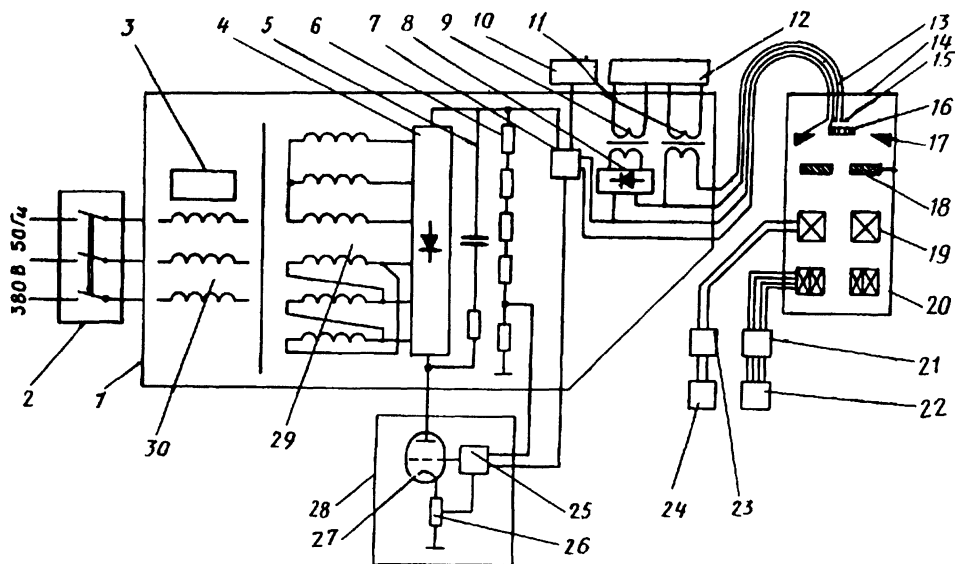


Рис. 1.18. Структурная схема энергоблока ЭЛА-60/60:

1 — маслonaполненный бак силового источника; 2 — блок пускозащитной аппаратуры; 3 — блок динамической защиты; 4 — выпрямитель; 5 — фильтр; 6 — делитель напряжения; 7 — регулятор тока пучка; 8 — выпрямитель бомбардировки; 9 — трансформатор бомбардировки; 10 — трансформатор накала; 11 — блок датчика тока пучка; 12 — магнитный усилитель; 13 — высоковольтный кабель; 14 — сварочная пушка; 15 — подогреватель катода; 16 — катод; 17 — прикатодный электрод; 18 — анод; 19 — фокусирующая линза; 20 — отклоняющая система; 21 — блок питания отклоняющей системы; 22 — блок датчика тока отклонения пучка; 23 — блок питания фокусирующей линзы; 24 — блок датчика тока фокусирующей линзы; 25 — система управления электронной лампой; 26 — датчик тока пучка; 27 — проходная электронная лампа; 28 — масляный бак проходной лампы; 29 — высоковольтные обмотки силового трансформатора; 30 — низковольтные обмотки силового трансформатора

трансформатора применена система динамического ограничения токов короткого замыкания, т. е. использована параметрическая защита, безынерционно реагирующая на резкое увеличение проводимости нагрузки.

Высоковольтный выпрямитель 4 состоит из двух последовательно соединенных трехфазных мостов, собранных по схеме Ларионова. Для повышения надежности работы в мостах использованы лавинные кремниевые диоды. Система подогрева катода состоит из понижающего трансформатора 10 для нагрева нити подогревателя 15 и источника бомбардировки катода 16 постоянного напряжения до 1500 В. Для стабилизации режима подогрева катода в первичной цепи обоих источников включен тороидальный магнитный усилитель 12 или тиристорный блок. Такая схема обеспечивает нестабильность установленного режима подогрева не более $\pm 5\%$. Для повышения долговечности работы катода интенсивность его подогрева в настраиваемом режиме работы установки автоматически снижается.

В отдельном масляном баке 28 находится проходная электронная лампа 27 с системой управления 25, которая предназначена для ста-

билизации ускоряющего напряжения, исключения возникновения дугового разряда в пушке при пробоях, ограничения тока пушки при самопроизвольном ее открывании, защиты источника ускоряющего напряжения при коротком замыкании на выходе. Регулирующая лампа управляется по двум каналам — стабилизации ускоряющего напряжения и защиты источника ускоряющего напряжения и ограничения тока пучка. Канал стабилизации ускоряющего напряжения управляется сигналом обратной связи, снимаемым с нижнего плеча высоковольтного делителя 6.

Фазность управляющего напряжения подобрана таким образом, чтобы компенсировать изменение ускоряющего напряжения при колебаниях нагрузки или питающей сети. Устойчивая работа стабилизатора ускоряющего напряжения обеспечивается при времени выхода его на номинальный режим не более 0,7 мс.

Канал защиты обеспечивает подавление аномального нестационарного процесса в пушке в результате полного снятия с нее ускоряющего напряжения на короткое время путем закрывания регулирующей лампы импульсом, вырабатываемым системой управления 25. По-

сле прохождения импульса регулирующая лампа начинает открываться и через 0,7 мс ускоряющее напряжение на пушке восстанавливается. Если в пушке короткое замыкание за время импульса не устранилось, то ускоряющее напряжение не успеет восстановиться за заданное время (выбирается интервал времени приблизительно 0,1 мс) до установленного значения. Система управления выработает импульс повторного закрытия лампы. Так будет продолжаться до тех пор, пока существует короткое замыкание в пушке.

Схема ограничения тока лампы, входящая в канал защиты, представляет собой регулируемый стабилизатор напряжения. Опорным напряжением для схем ограничения является напряжение, поступающее с блока задания то-

ка пучка. Одновременно это напряжение передается в блок стабилизатора тока пучка. При самопроизвольном открывании пушки, например из-за выхода из строя стабилизатора тока пучка или закорачивания промежутка катод — управляющий электрод, формируется сигнал рассогласования, снижающий ускоряющее напряжение до значения, гарантирующего сохранение изделия неповрежденным, хотя, естественно, качество сварного шва на этом участке не будет соответствовать требуемому и необходима повторная сварка.

В канале управления током пучка сварочной пушки используется тетрод, включенный между катодом и управляющим электродом пушки. Управление током пучка осуществляется путем управления проводимостью тет-

1.3. Техническая характеристика серийных энергоблоков для ЭЛС

Параметры	УЛ140	ЭЛА50/50	БЭП-2	БПЭ60/15К	ЭЛА15	ЭКСО60/60
Номинальная мощность, кВт	0,9	5	10	15	15	60
Номинальное ускоряющее напряжение, кВ	60	50	60	60	60	60
Нестабильность ускоряющего напряжения, %	±1	±0,5	±3	±3	±0,5	±2
Коэффициент пульсаций ускоряющего напряжения, %	0,5	0,5	3	3	0,25	6
Рабочий диапазон силы тока, мА	1... 15	2... 100	1... 160	5... 250	5... 250	100... 1000
Нестабильность тока пучка, %	±1	—	—	—	±1	±2
Наличие защиты от пробоев	+	+	—	+	+	+
Нестабильность тока фокусирующей линзы, %	±0,5	—	—	—	±0,05	±0,1

Продолжение табл. 1.3

Параметры	ЭЛА60/60	У905М2	ЭЛА60Б	ЭЛА120	Сиаки 60/30 (Франция)	Штейгер-вальд 150/30 (Германия)
Номинальная мощность, кВт	60	60	60	120	30	3
Номинальное ускоряющее напряжение, кВ	60	60	60	120	60	150
Нестабильность ускоряющего напряжения, %	±1	±0,5	±0,5	±0,5	±1	±0,5
Коэффициент пульсаций ускоряющего напряжения, %	0,25	0,4	0,25	0,2	0,5	0,5
Рабочий диапазон силы тока, мА	5... 1000	2... 1000	2... 1000	2... 1000	5... 500	1... 200
Нестабильность тока пучка, %	±1	±1	±1	±1	—	—
Наличие защиты от пробоев	+	+	+	+	—	—
Нестабильность тока фокусирующей линзы, %	±0,05	±0,05	±0,05	±0,05	—	—

рода. Блок стабилизации тока пучка находится под высоким потенциалом. Сигнал, задающий ток пучка (опорный сигнал), передается от его задатчика 11 на блок стабилизации.

Техническая характеристика серийных энергоблоков для ЭЛС приведена в табл. 1.3. Энергоблок ЭЛА-15 имеет цепи для управления от ЭВМ, а ЭЛА-60Б и ЭЛА-120 выпускается в комплекте с управляющим вычислительным комплексом СМ 1810.

1.4. ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВЫХ СВАРОЧНЫХ УСТАНОВОК

Состав электромеханического комплекса зависит от класса сварочной установки, ее назначения, габаритных размеров свариваемых изделий, степени механизации, автоматизации и специализации установки. Обычно электромеханический комплекс включает: сварочную камеру, откачную систему, сварочные манипуляторы, механизмы подачи присадочных материалов, системы наблюдения, вспомогательные устройства и механизмы, а также электроприводы с системами их управления.

Сварочные вакуумные камеры. От формы, конструкции, жесткости и размеров камер зависят габаритные размеры и качество свариваемых за одну откачку изделий, удобство их загрузки и выгрузки, возможность пристыковки дополнительных объемов в нужном направлении и др. По степени специализации различают универсальные камеры и специализированные.

Универсальные камеры предназначены для сварки изделий любой формы и размеров (в пределах объема камеры). Их используют в единичном и мелкосерийном производстве и

выпускают в соответствии с принятыми параметрическими рядами.

Специализированные камеры определяются конструкцией и габаритными размерами конкретного изделия (или группы изделий). Специализированные камеры часто выполняют по форме свариваемого изделия.

К камерам сварочных установок предъявляются разнообразные, часто противоречивые, требования: объем камеры должен быть достаточным для размещения и сварочных перемещений изделия (или группы изделий) и, вместе с тем, он должен быть минимальным для сокращения времени откачки и повышения производительности оборудования; конструкция должна обеспечивать удобный доступ в рабочую зону для загрузки, выгрузки и обслуживания и, вместе с тем, должна иметь минимальное количество разъемов с вакуумными уплотнителями и открывающихся крышек в связи с тем, что они являются наиболее вероятными местами разгерметизации и чаще всего пропускают рентгеновское излучение; должна иметь минимальную металлоемкость и быть технологичной, в то же время отличаться механической прочностью и жесткостью всех элементов, а также обеспечивать защиту оператора от рентгеновского излучения и др.

По конструктивному исполнению известны камеры прямоугольной и цилиндрической формы. **Прямоугольные камеры** отличаются универсальностью. В них наиболее эффективно используют подвижные сварочные пушки, сменные манипуляторы изделия и др. Кроме того, объем таких камер сравнительно легко увеличить пристыковкой дополнительных секций в нужном направлении. Прямоугольные камеры можно условно разделить на две груп-

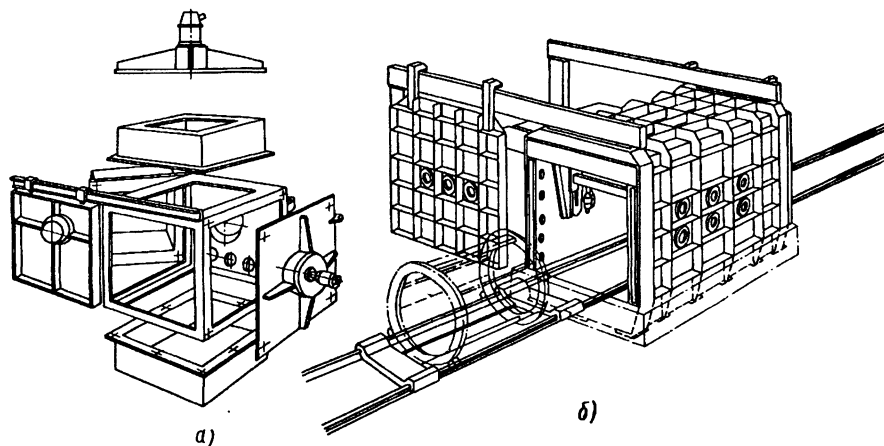


Рис. 1.19. Прямоугольные сварочные камеры

пы: каркасные (рис. 1.19, а) и бескаркасные (рис. 1.19, б). Каркасные камеры объемом менее $0,2 \text{ м}^3$ применяют преимущественно в установках для сварки деталей малых размеров, а объемом $4...5 \text{ м}^3$ — для сварки изделий средних размеров. В каркасных камерах можно размещать манипуляторы изделий, сварочные пушки, а также дополнительные камеры-приставки на любой свободной грани. Бескаркасные камеры объемом более 5 м^3 чаще всего применяют при сварке изделий средних и больших размеров.

Параметрический ряд универсальных прямоугольных сварочных вакуумных камер, собираемых из модулей, приведен в табл. 1.4, а схема компоновки таких камер показана на рис. 1.20.

Цилиндрические камеры применяют все реже, так как они менее универсальны и хуже приспособлены к работе с перемещающимися внутри камеры сварочными пушками, что приводит к низкому коэффициенту использования объема сварочной камеры [7, 15].

Изготовление вакуумных камер из коррозионно-стойких сталей (12Х18Н9Т) оправдано, когда по условиям производства необходимо периодически промывать камеру агрессивными растворителями. Коррозионная стойкость камер из конструкционных сталей вполне удовлетворительна, поскольку внутренние поверхности камер в процессе работы покрываются конденсатом свариваемых материалов. В последнее время ЭЛС изделий больших размеров выполняют в камерах из бетона, полимерабетона или их сочетания.

Толщину стенок камеры выбирают с учетом механической прочности и жесткости и защиты от рентгеновского излучения. Для установок со сварочными пушками с $U_y \leq 60 \text{ кВ}$ толщина стенок $25...30 \text{ мм}$ обычно достаточна для защиты от рентгеновского излучения. При более высоком ускоряющем напряжении применяют дополнительно слой свинца. При

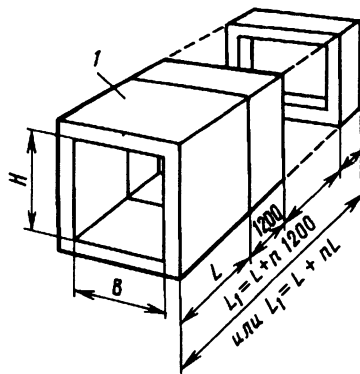


Рис. 1.20. Схема компоновки универсальных прямоугольных сварочных вакуумных камер из модулей 1

этом особого внимания заслуживают разъемные соединения сварочной камеры.

Расчет деформации различных элементов камеры на атмосферное давление и учет ее влияния на перекос валов, винтов и направляющих, изменение зазоров в зубчатых зацеплениях, вакуумных вводах, линейные и угловые смещения механизмов, закрепленных на стенках камеры, весьма сложен. Поэтому точность работы механизмов обеспечивается разными конструкторскими приемами: механизмы размещают на общей базе, вводят в конструкцию различные компенсаторы перекосов и зазоров в зацеплениях и др.

Откачные системы. Служат для создания и поддержания в процессе работы высокого вакуума $1,33 \cdot 10^{-2}...1,33 \cdot 10^{-3} \text{ Па}$ в ускоряющей промежутке сварочной пушки и рабочего давления $1...10^{-3} \text{ Па}$ в сварочной камере. Наиболее распространенные в конструкциях электронно-лучевых сварочных установок схемы откачных систем приведены на рис. 1.21.

1.4. Параметрический ряд, принятый в ИЭС им. Е. О. Патона, универсальных прямоугольных сварочных вакуумных камер, собираемых из модулей

Размеры камеры, мм			Длина камеры в сборе L_1 , мм		
Длина L	Ширина B	Высота H	$L_1 = L$	$L_1 = L + n1200$	$L_1 = L + nL$
600	600	600	600	—	—
1200	1200	1200	1200	$1200 + n1200$	—
1800	1800	1800	1800	$1800 + n1200$	$1800 + n1800$
2400	2400	2400	2400	$2400 + n1200$	$2400 + n2400$
3000	3000	3000	3000	$3000 + n1200$	$3000 + n3000$
3600	3600	3600	3600	$3600 + n1200$	$3600 + n3600$
4200	4200	4200	4200	$4200 + n1200$	$4200 + n4200$
4800	4800	4800	4800	$4800 + n1200$	$4800 + n4800$

Примечание. $n = 1, 2, 3... \dots$

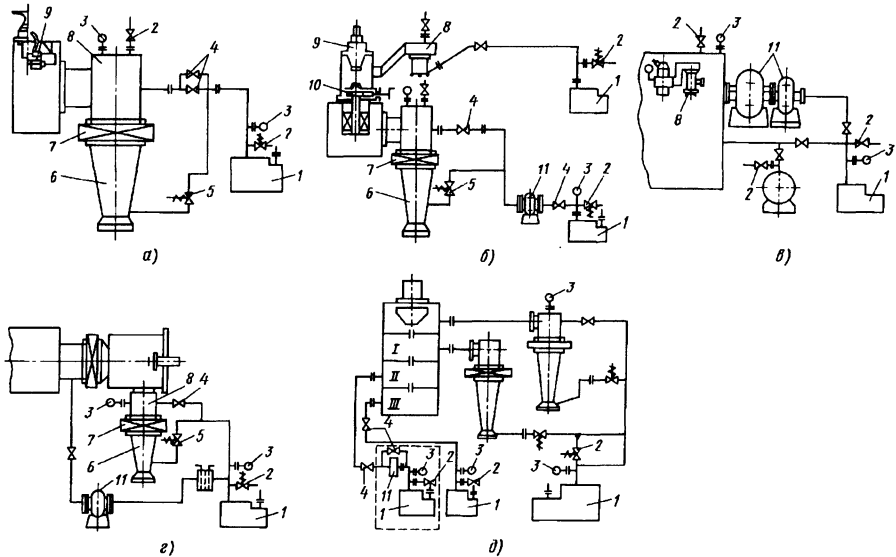


Рис. 1.21. Схемы откачных систем:

а — для ЭЛС в высоком вакууме; *б* — с дифференциальной откачкой (в эмиссионной системе пушки $6,65 \cdot 10^{-3}$ Па и в камере $13,3 \dots 1,33 \cdot 10^{-2}$ Па); *в* — для откачки больших объемов (в эмиссионной системе пушки $6,65 \cdot 10^{-3}$ Па, в камере $1,33 \dots 0,665$ Па); *г* — для безмасляной откачки ($1,33 \cdot 10^{-3}$ Па); *д* — для вывода электронного пучка в атмосферу инертных газов (в эмиссионной системе пушки $1,33 \cdot 10^{-3}$ Па, в зоне I $1,33 \dots 0,133$ Па, в зоне II $13,3 \dots 1,33$ Па, в зоне III $1,33 \cdot 10^{-2} \dots 6,65 \cdot 10^{-2}$ Па); 1 — насос предварительного разрежения; 2 — вентили; 3 — датчики; 4, 7, 10 — вакуумные затворы или клапаны; 5 — предохранительный клапан с электромагнитным приводом; 6 — диффузионный насос; 8 — угловой патрубков; 9 — сварочная электронная пушка; 11 — двухроторный насос

При сварке в высоком вакууме в относительно небольших камерах (рис. 1.21, *а*) внутренняя полость сварочной пушки 9 соединена со сварочной камерой и откачивается общей вакуумной системой. Поскольку не всегда откачка из пушки оказывается достаточной, такую схему применяют только в тех случаях, когда конструкция сварочной пушки не предусматривает дифференциальной откачки.

Более совершенная система откачки, показанная на рис. 1.21, *б*, отличается от предыдущей наличием еще одного насоса 11 предварительной откачки, что увеличивает скорость откачки системы, а для откачки электронного прожектора сварочной пушки имеется дополнительная вакуумная система меньшей производительности. Особенностью такой схемы является возможность выполнять сварку как в высоком, так и в низком вакууме. В последнем случае используются агрегаты типа АВР, состоящие из двухроторного насоса и насоса предварительного разрежения. Такие системы имеют высокую скорость откачки при давлении примерно равном 10^{-1} Па. Для откачки электронного прожектора пушки целесообразно использовать турбомолекулярные насосы. При этом полость катодного узла пушки не загрязняется парами рабочей жидкости диффу-

зионного насоса, а пушку можно перемещать вместе с насосом внутри сварочной камеры.

Между электронным прожектором сварочной пушки и камерой может быть установлен вакуумный затвор 10, который позволяет производить перезагрузку камеры без выпуска воздуха в пушку или заменять катодный узел пушки без выпуска воздуха в камеру, а при сварке в промежуточном вакууме — прекращать натекание газа из камеры в пушку при прерывании сварочного процесса. При сварке в высоком вакууме система может работать и без этого клапана.

При откачке камер большого объема (рис. 1.21, *в*) для откачки ускоряющего промежутка пушки используется турбомолекулярный насос, а воздух из камеры откачивается сначала до давления в ней 10^4 Па насосом предварительного разрежения типа РВН, а затем до давления 10^2 Па насосом типа НВЗ и до рабочего давления 10^{-1} Па двухроторными насосами типа ДВН вместе с насосами типа НВЗ.

Безмасляная откачка (рис. 1.21, *г*) применяется в тех случаях, когда высоковакуумный насос устанавливается на поворотных камерах и работает в различных пространственных положениях. Для откачки используют сорбционные или турбомолекулярные насосы.

Функциональное назначение

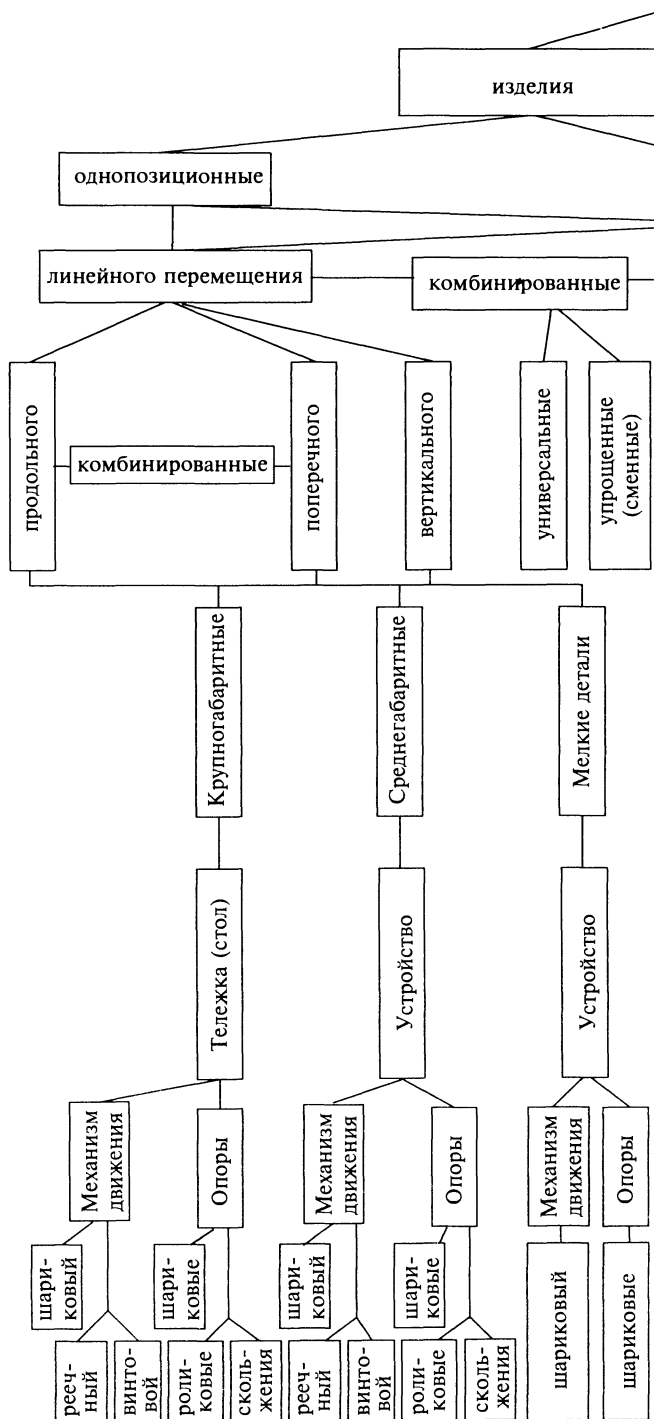
Размеры свариваемых изделий

Механизмы

Механизмы перемещения:

сварочные или комбинированные
с транспортными

транспортные и установочные



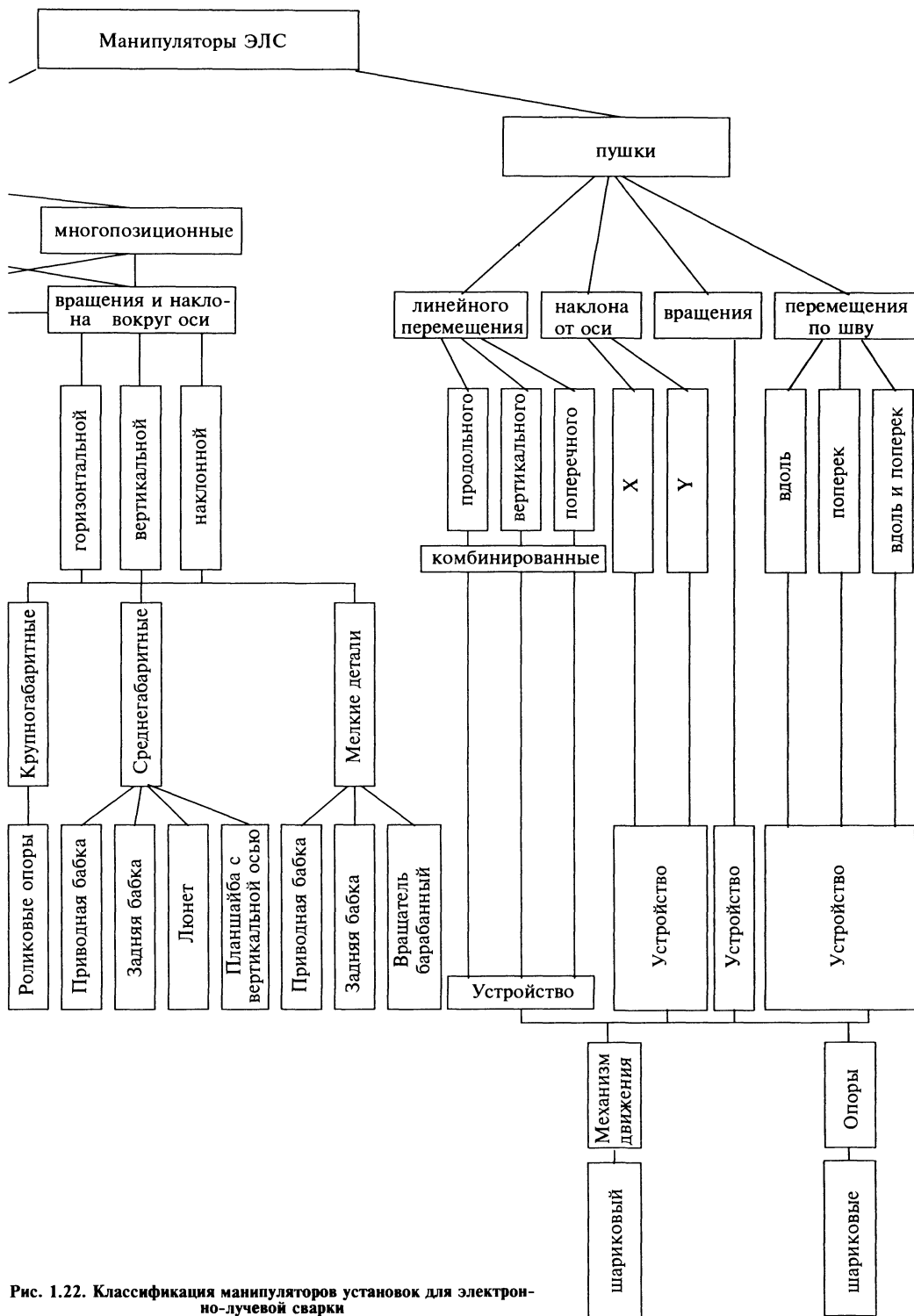


Рис. 1.22. Классификация манипуляторов установок для электронно-лучевой сварки

Откачные системы в установках с выводом пучка в атмосферу (рис. 1.21, д) имеют несколько независимых ступеней откачки. Схема каждой ступени выбирается в зависимости от давления в ней, причем для ступени с давлением, близким к атмосферному, выбирают насосы типа РВН или водокольцевые, которые длительное время могут работать при высоком давлении с высокой производительностью, а для откачки полости катодного узла пушки предпочтительны турбомолекулярные насосы.

Сварочные манипуляторы. Сварочные, установочные и транспортные перемещения свариваемого изделия и электронной пушки осуществляются в соответствии с конфигурациями сварных швов, в числе которых характерными являются линейные, кольцевые и круговые в основном на горизонтальной и вертикальной плоскостях, а иногда на наклонных, конусных или сферических поверхностях, а также при различных их комбинациях. В соответствии с этим в состав манипуляторов входят различные механизмы и устройства.

На рис. 1.22 представлена классификация манипуляторов установок для электронно-лучевой сварки и их основных механизмов и устройств, согласно которой манипуляторы делятся на две основные группы: манипуляторы изделия и манипуляторы пушки [9, 15, 22—24]. Первые являются непременным элементом практически любой установки, а вторые используются в тех случаях, когда сварочная пушка перемещается внутри вакуумной камеры.

По конструктивному исполнению сварочные манипуляторы подразделяются на универсальные с большим числом степеней свободы и специализированные — с ограниченным числом степеней свободы. Первые обеспечивают широкие технологические возможности, но имеют сложную конструкцию, что обуславливает их высокую стоимость. Применение универсальных манипуляторов целесообразно при единичном и мелкосерийном производстве с частой сменой типа свариваемых изделий. Специализированные манипуляторы намного проще по конструкции. Они предназначены для конкретного изделия (или группы однотипных изделий) и применяются как сменные манипуляторы. Основным их недостатком являются дополнительные затраты времени (иногда довольно значительные) на переналадку, установку дополнительных устройств и пр. Однако при крупносерийном и массовом производстве сменные устройства для сварки различных изделий позволяют получить максимальный эффект.

Использование сменных устройств предусмотрено во многих конструкциях отечественных установок У273, У401 и др. Манипуляторы со сменными устройствами широко применяются и за рубежом. Такие фирмы как Эдвардс (Великобритания), Юнион Карбайд (США) и другие разработали и рекомендуют сменные манипуляторы для промышленных установок [22—24].

Манипуляторы изделия чаще всего выполнены в виде тележек, вращателей, двухкоординатных столов и других устройств с электромеханическим приводом. Манипуляторы сварочной пушки имеют вид шарнирно-рычажных устройств, направляющей траверсы, по которой перемещается каретка с шарнирно закрепленной на консоли сварочной пушкой, двух- и трехкоординатных механизмов прямолинейного перемещения, а также различных самоходных порталных механизмов приводятся в действие от электромеханического привода.

Механизмы подачи присадочных материалов. Обычно ЭЛС ведется без подачи присадочных материалов в сварочную ванну. В необходимых случаях используются механизмы для подачи проволоки и сыпучих материалов. Механизмы подачи присадочных материалов можно разделить на две группы: 1) стационарные; 2) перемещаемые в вакууме. Механизмы первой группы используются в установках со стационарно закрепленной пушкой. Если пушка в процессе сварки перемещается внутри вакуумной камеры, то используются механизмы второй группы. Механизмы подачи проволоки отличаются от аналогичных механизмов дуговых сварочных установок большей точностью подачи проволоки под пучок и повышенной стабильностью ее скорости. При диаметре пучка менее 1 мм и наиболее распространенном при ЭЛС диаметре проволоки 1...2 мм отклонение оси проволоки от оси пучка и стыка более 0,5 мм приводит к существенному изменению условий плавления проволоки. В связи с этим направляющий мундштук располагается как можно ближе к сварочной ванне, а вылет проволоки обычно не превышает 3...5 мм. Механизмы подачи сыпучих материалов — обычно бункеры с дозирующими устройствами.

Системы наблюдения [10]. К системам наблюдения за процессом ЭЛС относятся смотровые окна, оптические и телевизионные системы, которые используются как раздельно, так и в различных комбинациях. Смотровые окна кроме прочного иллюминаторного стекла содержат рентгеновское стекло, необходимое для защиты обслуживающего персонала от рентгеновского излучения из сварочной ванны. Форма, размеры, конструкция, а также расположение смотровых окон на сварочной камере в каждом конкретном случае зависит от условий удобного наблюдения. При ЭЛС крупногабаритных изделий, когда место сварки удалено от оператора на значительное расстояние, а также при микросварке, визуальное наблюдение через смотровые окна уже недостаточно, поэтому используются оптические устройства, увеличивающие объект наблюдения в 5...50 раз. Указанные устройства могут быть независимыми и встроенными в конструкцию смотрового окна или сварочной пушки. Используются как окулярные оптические устройства, так и системы вывода изображения на экран.

Независимые оптические устройства устанавливают вне камеры у смотровых окон, при необходимости их можно перемещать от одного окна к другому. Телевизионные системы

позволяют передавать изображение на большое расстояние и устанавливать видикон в сварочном блоке в непосредственной близости от сварочной пушки.

Особенностью систем наблюдения при ЭЛС является необходимость защиты их от загрязнения парами свариваемых материалов и от теплового воздействия сварочной ванны. В качестве защитных устройств применяются поворотные прозрачные экраны и прозрачные перемещаемые защитные пленки. В случаях особо интенсивных паровых потоков применяются стробоскопические устройства.

Вспомогательные устройства и механизмы. К вспомогательным относятся устройства и механизмы типа подвижных платформ для выкатывания сварочных манипуляторов из камеры, устройств для предварительного нагрева свариваемых изделий, их сборки в сварочной камере и др. Механизмы типа подвижных платформ представляют собой промежуточные конструкции, на которых монтируются свариваемые изделия и перемещаются в пределах сварочного участка. С них или на них изделие поступает в сварочную камеру. Устройства для предварительного нагрева свариваемых изделий устанавливаются только при технологической необходимости для сварки некоторых материалов. Конструктивно нагреватели разрабатываются с учетом размеров и конфигурации свариваемых изделий.

Электропривод. По функциональному назначению электроприводы исполнительных органов установок для ЭЛС можно разделить на электроприводы механизмов: откачных систем (насосы, натекатели, запорная арматура); вспомогательных устройств (механизмы загрузки и выгрузки, закрытия дверей и т. п.); перемещения и вращения свариваемого изделия и пушки (манипуляторы изделия и пушки); электромеханических систем слежения за стыком (корректирующие механизмы); подачи присадочной проволоки, коррекции мундштука и перемещений телевизионных устройств.

Управление электроприводом любого функционального назначения осуществляется как в ручном дистанционном режиме для простых систем, так и в автоматическом режиме для более сложных систем. Управляющие функции могут выполняться с помощью ЭВМ или средствами локальной автоматики. Наибольшее распространение в управлении электроприводами получили средства локальной автоматики, при этом локальная автоматика может быть выполнена как на релейно-контактной элементной базе, так и на базе интегральных микросхем или программируемых логических контроллеров.

В электроприводах механизмов откачных систем и механизмов вспомогательных устройств обычно применяются трехфазные асинхронные двигатели серии А4. Автоматическое управление механизмами откачных систем производится в функции достижения определенной глубины вакуума в отдельных объемах откачной системы. Механизмы перемещения свариваемого изделия и пушки должны рабо-

тать как в режиме позиционирования, когда необходимы высокие скорость обработки и точность позиционирования, так и в режиме сварочного перемещения, когда требуются высокие стабильность скорости перемещения и динамичность, а также плавное регулирование скорости перемещения. Эти механизмы располагаются в основном внутри вакуумных камер, в ограниченных объемах и работают в условиях больших механических и тепловых нагрузок. Поэтому в механизмах перемещения свариваемого изделия и пушки обычно применяют электродвигатели постоянного тока типов ПБВ, ПСТ, ПБСТ, СЛ, КПА, ЭТА или силовые шаговые двигатели типов ЕС, ШД и ДШИ небольших размеров и большого момента.

Электродвигатели постоянного тока, работающие в вакууме, помещают в герметичный объем, соединенный с атмосферой, чтобы условия работы электродвигателей по условиям охлаждения и изнашивания щеточного механизма и коллектора не отличались от обычных.

Использование силовых шаговых электродвигателей вместо электродвигателей постоянного тока обеспечивает простое сопряжение двигателей с системами ЧПУ и управляющим вычислительным комплексом, более высокую надежность системы в связи с уменьшением числа элементов системы и увеличением точности дискретного перемещения, обусловленного фиксацией ротора при остановке двигателя. Электроприводы электромеханических систем слежения за стыком отличаются: малая инерционность, т. е. высокие динамические показатели; высокий КПД; относительно невысокая мощность. Это в основном электродвигатели ШД-5Д1М, управляемые при помощи серийного блока управления шаговыми двигателями БУШ-1. Система управления шаговыми двигателями ДШИ-1-200 принципиально не отличается от системы управления двигателями типа ШД-5Д1М.

Применение шаговых двигателей в системе слежения за стыком обусловлено относительной простотой преобразования сигналов датчика вторично-эмиссионных сигналов в унитарный код, который представляет собой последовательность импульсов. Шаговые двигатели преобразуют унитарный код в пропорциональное перемещение механизмов.

В электроприводах механизмов подачи присадочной проволоки, механизмов коррекции мундштука, вспомогательных механизмов системы теленаблюдения применяют преимущественно электродвигатели малых размеров: для механизмов подачи присадочной проволоки электродвигатели типа СЛ и КПА с тиристорными блоками питания, позволяющими изменять скорость подачи присадочной проволоки в пределах 1:10; для других механизмов, не требующих изменения скорости — электродвигатели РД-09 с питанием от сети переменного тока и ДП1-26, ДР1, 5Р с питанием выпрямленным напряжением 27 В.

1.5. ПРОМЫШЛЕННЫЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СВАРКИ

Поскольку большинство отечественных промышленных установок предназначено для электронно-лучевой сварки в высоком вакууме, ниже рассматриваются в основном установки этого типа.

Установки для микросварки и размерной обработки. Установки этой группы предназначены для сварки и размерной обработки малогабаритных деталей радиоэлектроники, приборостроения, точной механики, для которых характерны сложность геометрических форм, различные сочетания материалов и их толщин, большое количество операций, необходимых для получения готового изделия. К микросварке в настоящее время принято относить соединения изделий с толщиной стенки менее 1 мм, а также выводов толщиной 0,05...0,3 мм с контактными площадками печатных плат и микросхем. Размерная обработка охватывает ряд технологических приемов по резке, испарению, зонной и вакуумной очистке, фрезерованию и сверлению.

Установки для микросварки и размерной обработки, как правило, универсальны. Требования к точности выполняемых операций на деталях малых размеров обусловили следующие особенности установок этой группы: наличие высоковольтных энергоблоков, формирующих пучок с минимальным диаметром 10...100 мкм при высокой стабильности параметров; сканирование пучка по изделию на небольшой площади с высокой степенью точности; работу электронной пушки как в непрерывном режиме, так и в импульсном; высокую точность перемещения изделия; использование для наблюдения за процессом оптических систем с увеличением в 50...100 раз; создание в высоком вакууме при объеме сварочной камеры (даже при групповой загрузке деталей) не более 0,5 м³; применение автоматизированных систем управления, работающих в комплексе с программируемыми устройствами или вычислительными машинами.

К числу установок для микросварки относятся разработанные в ИЭС им. Е. О. Патона установки У496 и У672 (табл. 1.5, рис. 1.23). Установка У496 (рис. 1.23, а) имеет ускоряющее напряжение $U_y = 50 \text{ кВ} \pm 1\%$, силу тока пучка $I_n \leq 10 \text{ мА}$, длительность одиночного сварочного импульса до 50 мс, минимальный диаметр электронного пучка на изделии 25 мкм. Установка в комплекте с вычислительной машиной "Электра-13" предназначена для приварки контактов интегральных схем (100 контактов в 1 мин) и сварки контактов микроразъемов.

Установка У672 (рис. 1.23, б) предназначена для сварки различных материалов, в том числе и тугоплавких толщиной 0,05...1 мм непрерывным и импульсным электронным пучком. Ускоряющее напряжение установки регулируется дискретно: 30, 40, 50, 60, 70 кВ. Нестабильность ускоряющего напряжения в диапазоне 30...70 кВ за 15 мин непрерывной работы не ниже 0,05%. Сила тока электронного

пучка в постоянном режиме регулируется в пределах 0...5 мА, а в импульсном достигает 10 мА. Нестабильность тока пучка в диапазоне 0...5 мА составляет 0,3%. Длительность сварочного импульса регулируется в пределах 1...50 мс.

К рассматриваемой группе относятся также следующие установки. Установка У512, предназначенная для микросварки и размерной обработки тонких пленок и засветки фоторезиста, работает при ускоряющем напряжении до 180 кВ. Сила тока пучка до 2 мА, диаметр пучка менее 0,015 мм. Специализированная установка УЛ105 предназначена для герметизации корпусов приборов, автоматизированная установка УЛ191 — для микросварки корпусов приборов, а установка У601 — для сварки полупроводниковых гибридных микросхем и др. На базе установки УЛ191 разработана установка УЛС-3, предназначенная для микросварки тонкостенных металлических корпусов приборов. Установки УЛС-3 серийно изготавливаются в двух модификациях: УЛС-3 с безмасляным вакуумом и УЛС-3М с применением традиционных пароструйных вакуумных агрегатов.

Техническая характеристика установок А306.13; ОЗЛЭВ80-1 и УСЭ.СВЭ80-2 (рис. 1.24) приведена в табл. 1.6.

Установка CW-1 (США) предназначена для микросварки и размерной обработки малогабаритных деталей в условиях серийного и массового производства. Установка используется для сварки микромодулей, представляющих собой пакет плат прямоугольной формы. Всего в каждом пакете выполняется 396 сварных точек за одну откачку камеры, причем время сварки каждой сварной точки не превышает 10 мс.

Институтом Манфреда фон Арденне (Германия) для микросварки и размерной обработки создана установка ESB-80/200 с $U_y = 20; 40; 80 \text{ кВ}$ и мощностью электронного пучка меньше 200 Вт (рис. 1.25). С помощью этой системы можно производить резку ферритовых сердечников диаметром 2 и 3 мм, сверление отверстий диаметром 30 мкм, точечную сварку и выравнивание (фрезерование) пленочных резисторов. Установка снабжена системой программного управления и псевдонепрерывной шлюзовой системой подачи изделий.

Установки для сварки малогабаритных изделий. В установках этой группы для сварки в высоком вакууме применяются малогабаритные сварочные пушки мощностью меньше 3 кВт, а в особых условиях — меньше 6 кВт с ускоряющим напряжением $U_y = 30...60 \text{ кВ}$. Объем сварочных камер (как правило, смен-

1.5. Техническая характеристика установок для ЭЛС в высоком вакууме типов У и УЛ

Параметры	Микросварка			Малогабаритные изделия		
	У496	У672	УЛ105	УЛ191	У212М	У579*
Наибольшие размеры свариваемых изделий, мм, при сварке швов: кольцевых (диаметр × длина) продольных	200×250 250 У496.40 30 10	20×150 150 ПЛ102 6,5 10	18×140 140 ПЛ102 6,5 1,5	130×170 170 ПЛ102 18... 72 10	400×400 400 У530М 5... 60 12... 15	35×70 — У586 80 —
Тип электронной пушки						
Скорость сварки, м/ч						
Время отогрева до рабочего вакуума, мин						
Габаритные размеры вакуумной камеры (длина × ширина × высота для прямоугольной, внутренний диаметр × длина для цилиндрической), мм	600×500× ×300 120 1495×1620× ×1520 1050	450×400× ×350 120 2200×1200× ×1890 1800	300×300× ×300 120 1990×4300× ×2120 2200	600×600× ×400 120 5800×4200× ×2200 2100	600×600× ×600 150 2800×2200× ×2500 2500	300×300× ×300 150 2700×3700× ×2400 3000
Расход охлаждающей воды, л/ч						
Габаритные размеры установки, мм						
Масса, кг						

Продолжение табл. 1.5

Параметры	Изделия средних размеров			Крупногабаритные изделия		
	У401	У570М	УЛ144	УЛ110*2	УЛ112*3	УЛ117
Наибольшие размеры свариваемых изделий, мм, при сварке швов: кольцевых (диаметр × длина) продольных	350×500 450 У530М 10... 100 35	500×900 900 УЛ119 10... 100 12... 15	900×840 840 УЛ119 10... 100 15... 20	1600×2800 2800 У530М 10... 100 30	450×1000 1000 УЛ119 10... 100 15... 20	440×2300 2300 У530М 6... 60 30
Тип электронной пушки						
Скорость сварки, м/ч						
Время отогрева до рабочего вакуума, мин						
Габаритные размеры вакуумной камеры (длина × ширина × высота для прямоугольной, внутренний диаметр × длина для цилиндрической), мм	650×1500	1200×1200× ×1200	1200×1200× ×1200	3600×3600× ×4000	400×1000; 400×1200; 400×1500	500×2000 2000 У735 6... 60 20
Расход охлаждающей воды, л/ч						
Габаритные размеры установки, мм	4000×3500× ×3200 5200	3950×3200× ×2000 5200	3000×2000× ×2400 4600	12000×7000× ×4770 35000	5050×1800× ×2180 6200	1000... 2000 7050×5350× ×3350 9500
Масса, кг						

* Установка со шлюзовым устройством.

*2 В установке две пушки.

*3 Установка может применяться также для сварки изделий средних размеров; камеры сменные.

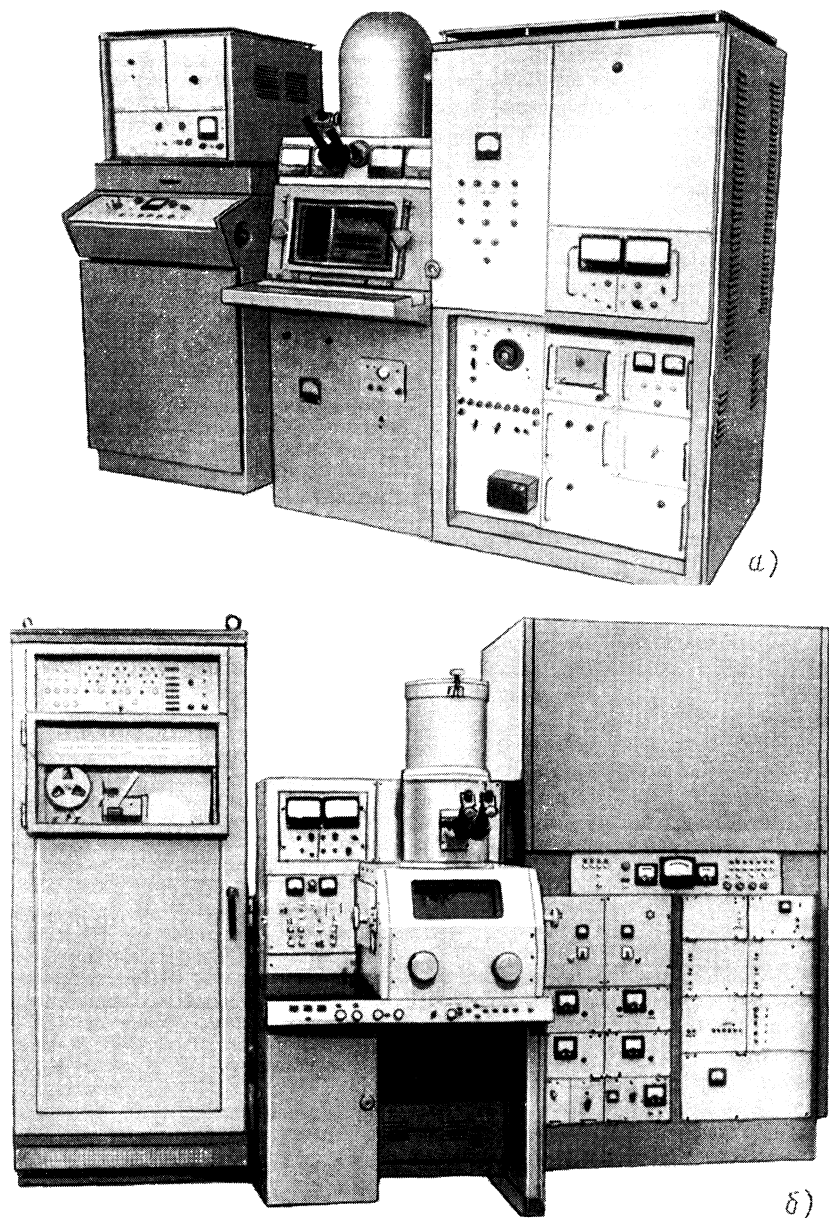


Рис. 1.23. Установки для микросварки:

а — У496; б — У672

ных) не превышает $0,2 \text{ м}^3$. Сменные манипуляторы позволяют работать с одиночной и групповой загрузкой изделий и сваривать кольцевые и прямолинейные швы в различных пространственных положениях. Откачные системы автоматизированы, позволяют откачать камеру до давления 10^{-2} Па не более, чем за

20...60 с. Используются моно- и бинокулярные оптические системы наблюдения с увеличением 1:10.

Установка У616 укомплектована сварочной пушкой, работающей при ускоряющем напряжении менее 30 кВ и мощности пучка до 2 кВт. Размеры сварочной каме-

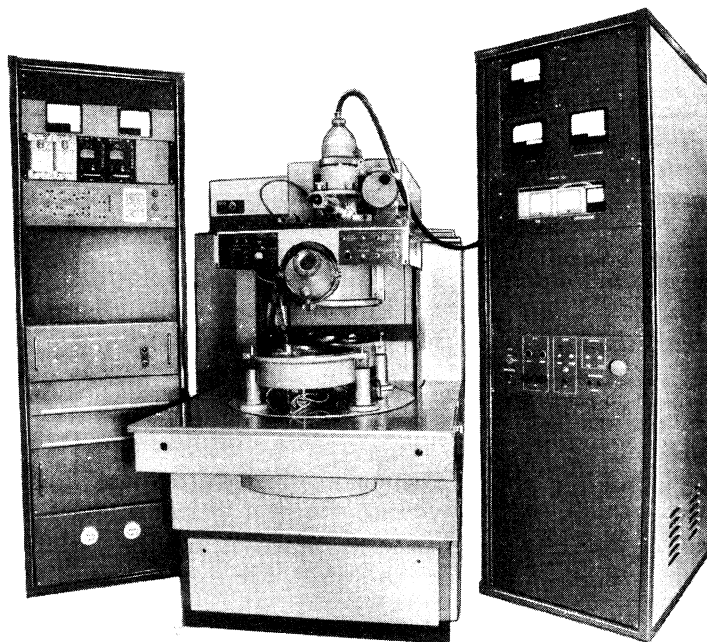


Рис. 1.24. Установка УЦЭ.СВЭ80-2

ры $200 \times 200 \times 200$ мм. Сварка выполняется в высоком вакууме. В числе установок, разработанных для сварки малогабаритных изделий, известны также установки У212М, У579 и др.

Для ЭЛС в промежуточном вакууме в промышленности применяют установки: УВЛ-3009 (табл. 1.7). К этой группе относится гамма установок типа ВВ (Великобритания), комплектуемых прямоугольной камерой $203 \times 152 \times 177$ мм с передним открывающимся люком. В основании и боковых стенках камеры предусмотрены окна диаметром 100 мм для присоединения сварочных манипуляторов или удлинительных камер. При-

вод сварочного манипулятора устанавливается за пределами сварочной камеры, а его выходной вал вводится в камеру через герметичный ввод. На этом валу внутри камеры устанавливают сменные зажимные патроны, держатели или многоместные приспособления для групповой загрузки изделий. Цикл сварки как при одиночной, так и при групповой загрузке полностью автоматизирован, причем все параметры процесса задаются оператором заранее с помощью ступенчатых переключателей на панели управления. Установки снабжены соосной с пучком оптической системой наблюдения с увеличением 1:4. Система имеет сетку для точной настройки пучка на стык и легко доступна для очистки от конденсата.

Базовой моделью гаммы является установка ВВ 3020 со сварочной пушкой, работающей при ускоряющем напряжении $U_y = 30$ кВ и силе тока пучка $I_p = 20$ мА (мощность пучка до 0,6 кВт). Диаметр электронного пучка на изделии 0,1...1 мм. В камере создается давление $6 \cdot 10^{-3}$ Па за 70 с. Сварочный манипулятор с горизонтальной осью вращения выполнен в виде кассеты для групповой загрузки миниатюрных реле. Другой манипулятор выполнен в виде планшайбы с вертикальной осью вращения. К ней крепятся свариваемые изделия типа сильфонов. Для удобства герметизации камера установлена наклонно. Источник питания, откачная система и система управления смонтированы в станине установ-

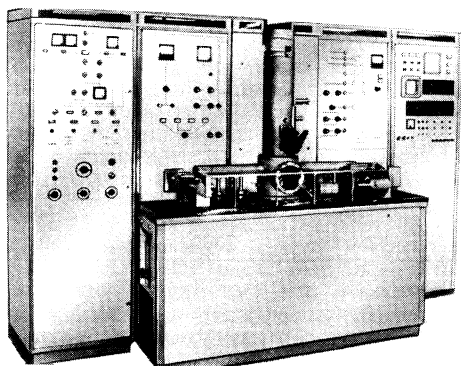


Рис. 1.25. Установка ESB-80/200 (Германия)

1.6. Техническая характеристика установок для ЭЛС в высоком вакууме, разработанных НПО "Исток"

Параметры	A306.13	ОЗЛЭВ80-1	УСЭ.СВЭ80-2
Ускоряющее напряжение (стабилизированное), кВ	25	25	25
Сила тока пучка, мА	200	80	80
Режим работы	Непрерывный, импульсный, моноимпульсный		
Диаметр фокального пятна на свариваемом изделии, мм	0,5	0,3	0,3
Рабочая дистанция, мм	80	100	100
Размер рабочей камеры, мм	500×500×500	700 (длина)× ×300 (диаметр)	600 (высота)× ×300 (диаметр)
Длительность откачки до рабочего давления $6,7 \cdot 10^{-2}$ Па, мин	12	10	4
Потребляемая мощность, кВ · А	16	6,5	14
Габаритные размеры, мм	1900×1950×2750	1700×1400×1900	2200×1960×1900
Масса, кг	2500	1200	1400
Состав установки	Технологический модуль, высоко- вольтный блок питания		Технологический модуль, высоковольт- ный блок питания, блок управления
Тип электронно-оптической сварочной системы	Триодный с подо- гревным катодным узлом и эмиттером из гексоборида лантана	Четырехэлектродный эмиссионный объектив с подогревным КПУ и эмиттером из гексоборида лантана	

1.7. Техническая характеристика специализированных установок для ЭЛС в промежуточном вакууме серии УВЛ

Параметр	Изделия малых размеров	Изделия средних размеров		
	УВЛ-3009	УВЛ-6001	УВЛ-60Q2	УВЛ-6003
Наибольшие размеры свариваемых изделий (диаметр × высота), мм	16×60	170×190	400×450	330×450
Тип электронно-лучевой аппаратуры	30 кВ, 100 мА	ЭЛА 50/5Т (ЭЛА15)	ЭЛА 60/15Т (ЭЛА15)	ЭЛА 60/60 (ЭЛА15)
Вакуум в пушке, Па	$8 \cdot 10^{-3}$	$8 \cdot 10^{-3}$	$8 \cdot 10^{-3}$	$8 \cdot 10^{-3}$
Скорость сварки, м/ч	0,3... 30	0,3... 30	0,3... 30	0,3... 30
Время откачки до рабочего вакуума, с	45	15	45	20
Время сварки узла, с	4	30	50	40
Производительность установки, шт./ч	450	60	30	30
Габаритные размеры установки, мм	2800×1200× ×2900	4000×5000× ×2200	4500×5000× ×2200	5000×5000× ×4100
Масса, кг	2500	4200	7300	9750

ки, а панели управления расположены по бокам камеры.

Установка BW5010α снабжена пушкой примерно той же мощности (0,5 кВт), но с более высоким ускоряющим напряжением (50 кВ).

Регулировка ускоряющего напряжения ступенчатая (через 10 кВ). Установка позволяет сваривать стальные детали толщиной менее 2,5 мм, диаметр электронного пучка на изделии 0,1...1 мм. Откачная система имеет насос пред-

варительного разрезания со скоростью откачки 210 л/мин и диффузионный насос со скоростью откачки 350 л/с. С помощью этой системы в камере создается давление $6 \cdot 10^{-3}$ Па за 70 с.

Установка BW5010b отличается более мощной откачной системой (630 л/мин и 600 л/с соответственно) и уменьшенным (до 45 с) временем откачки сварочной камеры. Кроме того, установка снабжена системой дифференциальной откачки пушки и стабилизированным источником питания. Такие же системы у установки BW6010 (60 кВ, 0,6 кВт). Установки BW5020 и BW6020 (50 кВ, 1 кВт и 60 кВ, 1,2 кВт) кроме более мощной пушки снабжены телевизионными системами наблюдения с замкнутым контуром.

Установки для сварки изделий средних габаритов. Установки этой группы наиболее многочисленны и разнообразны, особенно распространены для сварки в высоком вакууме, нашли применение в ракетной, авиационной, станкостроительной и автомобильной промышленности, при производстве теплоделяющих элементов ядерных реакторов. Для них характерно: применение пучек с различным ускоряющим напряжением при мощности электронного пучка 0,5...100 кВт, стационарных и перемещаемых внутри вакуумной камеры; использование вакуумных камер объемом 0,5...4 м³, при этом время откачки до рабочего давления $6 \cdot 10^{-1}$... $6 \cdot 10^{-3}$ Па составляет 0,5...30 мин.

Универсальные установки позволяют сваривать разнотипные изделия без существенной переналадки. Требование универсальности в сочетании со специфическими требованиями различных отраслей промышленности, использующих это оборудование, а также процесс его непрерывного совершенствования способствовали созданию большого количества различных по конструкции установок. К лучшим образцам рассматриваемого оборудования относятся гаммы универсальных установок, состоящие из однотипных узлов и предназначенные для сварки большого количества изделий различных типоразмеров. В пределах этих гамм установки отличаются ступенчатым увеличением размеров сварочных камер, параметрами пучка сварочной пушки, мощностью и составом откачной системы, наличием разнообразных манипуляторов свариваемого изделия, степенью автоматизации и др. Большое количество универсальных установок для ЭЛС в высоком вакууме изделий средних размеров создано в Институте электросварки им. Е. О. Патона.

Универсальная установка У570М (рис. 1.26) имеет прямоугольную камеру 1 размером 1200 × 1200 × 1200 мм с толщиной стенок 25 мм, что обеспечивает как механическую прочность, так и необходимую биологическую защиту обслуживающего персонала. В верхней части камеры установлена камера-приставка 2, внутри которой смонтирован двухкоординатный механизм перемещения сва-

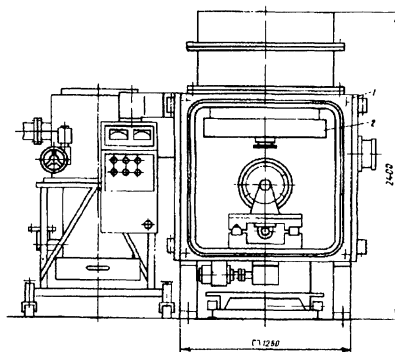


Рис. 1.26. Универсальная установка У570М

рочной пушки, что позволяет наиболее рационально использовать объем сварочной камеры. Длина продольных и поперечных швов, которые можно выполнить на этой установке, достигает 900 мм. Можно сваривать прямолинейные и кольцевые швы в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Установка У570М успешно эксплуатируется в судостроительной промышленности, энергетическом машиностроении.

Следует отметить, что увеличение размеров камеры решали путем пристыковки к фронтальной стенке основной камеры специальной удлиняющей камеры-приставки по форме и размерам свариваемого изделия. При этом пушка устанавливалась в основной камере горизонтально, чтобы пучок через специальное окно в фронтальной стенке проходил в дополнительную камеру и сваривал установленное там изделие. Такое сложное переоборудование универсальной установки для сварки изделий, габариты которых превышают размеры сварочной камеры, имеет смысл только в том случае, если такие работы являются эпизодическими.

В основу конструкции установки с секционными сварочными камерами заложена, например, типовая универсальная установка УЛ144 (рис. 1.27) со стандартной камерой 1200 × 1200 × 1200 мм. Камера установки УЛ144 в верхней части имеет дополнительную камеру-приставку, в которой размещен двухкоординатный манипулятор стандартной сварочной пушки. Величина хода сварочной пушки вдоль камеры составляет 575 мм, поперек 840 мм. Конструкция манипулятора позволяет устанавливать пушку вертикально, горизонтально или под углом, что значительно расширяет технологические возможности установок. Установка снабжена двумя монтажными и двумя грузочными тележками, что позволяет работать по "челночному" принципу: пока одна из тележек находится в камере, на другой ведется монтаж под сварку очередного изделия.

Для сварки толстостенных конструкций на базе установки УЛ144 созданы две специализированные установки УЛ146 и УЛ147, со-

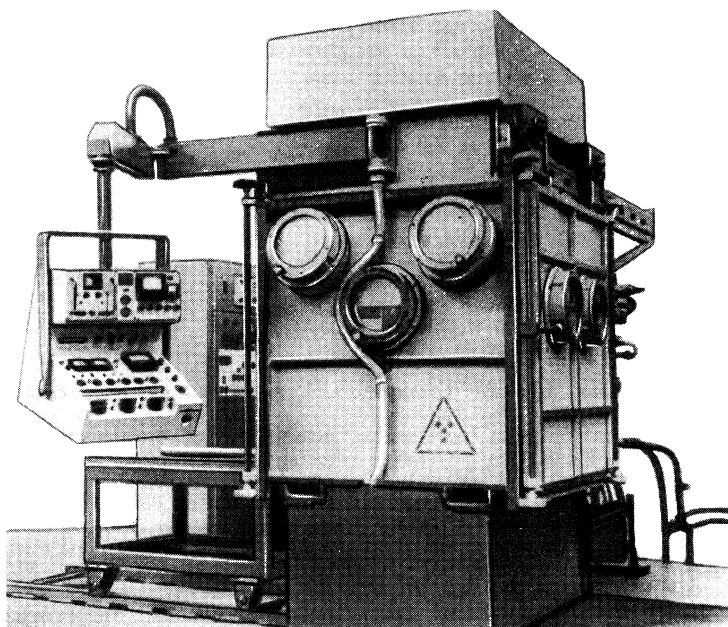


Рис. 1.27. Универсальная установка УЛ144

стоящие соответственно из четырех и трех состыкованных камер УЛ144 (рис. 1.28). Установки комплектуются перемещаемой в вакууме пушкой мощностью пучка менее 60 кВт (60 кВ, 1000 мА) или стационарной пушкой мощностью пучка 120 кВт (120 кВ, 1000 мА).

В промышленности используются установки УВЛ-6001, УВЛ-6002 и УВЛ-6003 для ЭЛС в промежуточном вакууме и установки ЭЛУ-19 и ЭЛУ-20 для сварки в высоком вакууме (табл. 1.8).

Весьма перспективны установки с откачными системами, позволяющими выполнять сварку как при высоком, так и при низком вакууме в зависимости от свойств свариваемых материалов, и сменными сварочными манипуляторами, обеспечивающими выполнение на одной и той же установке самых разнообразных сварочных операций.

Наиболее широкие технологические возможности у установок, имеющих агрегатную (модульную) конструкцию, с набором сварочных манипуляторов и обеспеченных системами автоматического слежения за свариваемым стыком и системами программного управления сварочным процессом. Использование таких установок наиболее эффективно при сварке деталей сложной формы. Легко могут быть приспособлены к изменяющимся условиям производства. Следует отметить,

что автоматизированные системы откачки камеры и дифференциальная откачка пушки — неперенные признаки лучших образцов современных универсальных установок, причем время откачки камеры до рабочего давления сведено к минимуму благодаря применению мощных откачных средств и введения обратной связи по давлению.

Основным недостатком универсальных установок является их сравнительно низкая производительность. Применение многопозиционных сварочных манипуляторов не всегда решает проблему ее повышения. Рассматривая вопрос повышения производительности применительно к установкам для сварки малых, средних и крупных изделий, необходимо отметить следующее. Высокая производительность, как правило, достигается только в специализированных или высокопроизводительных установках с различного типа шлюзовыми системами.

Время цикла для электронно-лучевой сварочной установки по аналогии со станкостроением

$$t_{\text{ц}} = t_0 + t_{\text{всп}},$$

где t_0 — основное время; $t_{\text{всп}}$ — время выполнения вспомогательных операций.

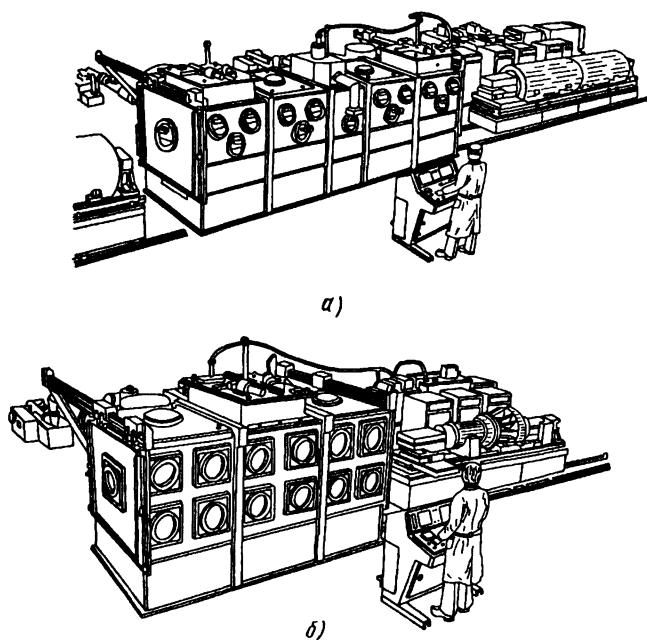


Рис. 1.28. Специализированная установка:

а — УЛ146; б — УЛ147

Основное время для всех типов сварочных установок, при прочих равных условиях (длина шва, тип материала, глубина проплавления, параметры пучка, скорость сварки и др.) одинаковое, а вспомогательное изменяется в очень больших пределах в зависимости от конструкции установок, что существенно влияет на производительность. Для универсальных установок периодического действия, предназначенных для сварки одного изделия за одну откачку сварочной камеры, основное время составляет приблизительно 5%. Остальное время затрачивается на выполнение вспомогательных операций. Увеличить производительность установок можно двумя путями: сокращением времени выполнения каждой вспомогательной операции или выполнением вспомогательных операций параллельно со сваркой изделия.

Одним из наиболее распространенных способов повышения производительности установок является групповая загрузка изделий и их поочередная сварка за одну откачку камеры. С увеличением количества загружаемых в камеру изделий время цикла сварки одного изделия уменьшается. На практике количество одновременно загружаемых в камеру изделий ограничено допустимыми ее размерами и сварочными манипуляторами, усложнением их конструкций и условий загрузки—выгрузки. Кроме того, большой объем сварочных камер увеличивает время их откачки до рабочего давления, мощность, а следовательно, стоимость от-

качных средств и снижает надежность установки за счет усложнения и укрупнения ее конструкции.

Наиболее часто применяют установки с одновременной загрузкой и сваркой 4...12, редко 24 изделий, например, установки типа ЦЭЛС с групповой загрузкой свариваемых изделий (рис. 1.29) и только в рассмотренных выше установках для микросварки и для сварки изделий малых размеров число одновременно загружаемых деталей достигает нескольких сотен. При этом широко применяются установки с двумя сменными манипуляторами, один из которых находится в камере, а другой в это время разгружается и загружается новыми заготовками. Так, в установке ВЭЛПРО-72 для сварки микрочелноков ткацких машин с групповой загрузкой изделий используются два специальных приспособления, каждое из которых предусматривает загрузку 72 изделий. Приспособления установлены на открывающейся крышке сварочной камеры по одному с каждой стороны. Пока свариваются 72 изделия в одном приспособлении, другое загружается заготовками. Замена приспособления в камере выполняется поворотом крышки камеры на 180° вокруг вертикальной оси. Диаметр приспособления 800 мм. На каждом изделии выполняются по четыре шва. Производительность установки достигает 140 деталей в 1 ч.

Специализированные установки с групповой загрузкой изделий и универсальные уста-

1.8. Техническая характеристика установок для ЭЛС в высоком вакууме серии ЭЛУ

Параметр	Изделия средних размеров		Крупногабаритные изделия	
	ЭЛУ-19	ЭЛУ-20	ЭЛУ-20А	ЭЛУ-21
Наибольшие размеры свариваемых изделий, мм:				
цилиндрической формы:				
диаметр	720... 1830	800	800	1600 (горизонтальная ось) 3000 (вертикальная ось)
длина (высота)	60... 270	—	—	3500 (горизонтальная ось) 2500 (вертикальная ось)
конической формы:				
диаметр	1400... 1590			
ширина	100... 300	—	—	
толщина	8... 20			
прямоугольной формы (длина × ширина × высота)	—	3000×1200× ×1000	3600×1000× ×1000	5000×2100× ×1600
Скорость сварки, м/ч	10... 40	10... 80	10... 80	10... 80
Время откачки до рабочего вакуума, мин	20	25	25	55
Расход охлаждающей воды, л/ч	4600	3800	3810	25000
Объем вакуумной камеры, м ³	12	12	16	82
Габаритные размеры установки (длина × ширина × высота), мм	10800×7500× ×4260	9000×9000× ×3000	10000×10000× ×4500	23500×1100× ×5300
Масса, кг	38000	46000	54710	160000

новки со специализированными многоместными манипуляторами для той же цели получили достаточно широкое распространение. Среди них можно назвать установки У212М, У401, установки MSE и MSJ (Франция), которые

принципиально не отличаются от рассмотренных выше.

В последние годы широкое распространение получили установки "тактового типа", у которых время выполнения всех вспомогательных операций сокращено до минимума за счет уменьшения объема камер, времени откачки, в том числе за счет выполнения сварки в промежуточном вакууме. Такие установки начали применяться на заводах автомобильной промышленности, в частности при изготовлении деталей автоматических коробок скоростей и трансмиссий. Установки имеют в большинстве случаев разъемные камеры. Одна часть камеры (обычно верхняя), в которой смонтирована пушка, неподвижно закрепляется на станине и снабжается по разъему вакуумным уплотнением. Другая часть — несущая гнездо для закрепления изделия (или изделий), может перемещаться относительно неподвижной части, что создает удобство перезарядки свариваемых деталей и доступ к механизмам их перемещений. Совмещение пучка со свариваемым стыком достигается благодаря точности изготовления и монтажа механизмов перемещения изделия и стабильности положения пучка. Ручные механизмы корректировки положения стыка используются при на-

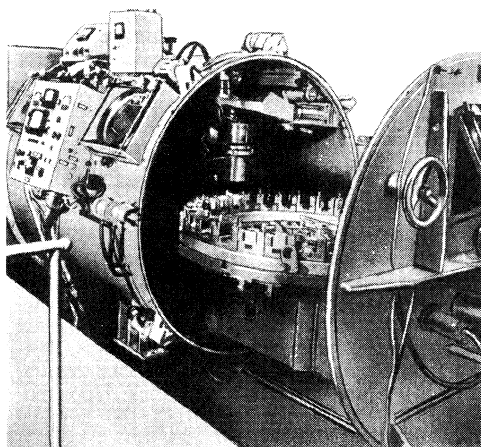


Рис. 1.29. Установка ЦЭЛС-2

ладке установки или при сварке разнотипных изделий. Наблюдение ведется через смотровые окна в камере или через оптическую систему соосно с пучком, которые используются только при настройке установки. Системы управления у таких установок, как правило, полностью автоматизированы.

Установка УЛ157 (рис. 1.30) такого типа предназначена для работы в составе линии электронно-лучевой сварки блоков шестерен автомобилей. В состав линии входят: моечная машина; пресс, на котором производится сборка блоков; нагреватель с размагничивающим устройством, предназначенный для подогрева запрессованных блоков до температуры $423...473^{\circ}\text{C}$ с последующим размагничиванием; установка для ЭЛС блоков шестерен; установка для проверки блоков на крутящий момент; транспортирующая система, предназначенная для межоперационной передачи изделий в линии. Установка для ЭЛС позволяет производить сборку и сварку изделий, близких по конструкции при минимальных переделках оснастки.

Установка УЛ157 представляет собой сварочную камеру, на которой сверху расположена пушка с напряжением $U_y = 60 \text{ кВ}$ и мощностью 15 кВт с дифференциальной откачкой, с возможностью поперечного настроечного перемещения в пределах 100 мм , что позволяет перенастроить пушку на любой диаметр сварного шва в пределах $50...250 \text{ мм}$. Настройка пучка на стык производится с помощью прибора "Прицел-2". Электронный прожектор пушки откачивается турбомолекулярным насо-

сом до давления $5 \cdot 10^{-3} \text{ Па}$ и отсекается от сварочной камеры промежуточным клапаном пушки. Сварочная камера откачивается двухроторным насосом до давления $5 \cdot 10^{-1} \text{ Па}$ и отсекается от наружной среды трехпозиционным поворотным клапаном (диском), который может последовательно переключать различные элементы вакуумной системы для создания рабочего вакуума в полости сварки. Под сварочной камерой расположен шестипозиционный поворотный стол, в каждой позиции которого свободно лежит камера, выполненная по конфигурации свариваемого изделия с минимальным зазором между изделием и камерой.

Работает установка следующим образом. Изделие при помощи захватов укладывается в камеру изделия на шестипозиционном столе, который поворачивается затем на одну позицию. Через два такта (шага) камера с изделием останавливается под сварочной камерой, которая в это время перекрыта поворотным клапаном. При помощи штока пневмоцилиндра, расположенного под поворотным столом, камера с изделием поднимается и прижимается опорными поверхностями к сварочной камере. После этого поворотный клапан соединяет внутреннюю полость камеры изделия с насосом предварительного разрежения. Следующим поворотом клапана эта полость соединяется со сварочной камерой, давление в камерах выравнивается и достигает рабочего.

После включения пушки происходит сварка кольцевого шва изделия. По завершении



Рис. 1.30. Установка УЛ157 для ЭЛС изделий массового производства

сварки и вывода кратера пучок выключается, клапан отсекает сварочную камеру и она заполняется воздухом. Камера изделия тем же пневмоцилиндром опускается в гнездо поворотного стола, который поворачивается на следующую позицию, цикл повторяется. Все операции на установке, кроме загрузки и выгрузки, автоматизированы и происходят без участия человека. Производительность установки 50...80 изделий в 1 ч.

Специализированное оборудование повышенной производительности используется и для сварки более крупных изделий, в частности корпусов мостов автомобилей [18].

Одним из путей развития оборудования высокой производительности являются установки со шлюзовыми системами подачи изделий под сварку. Эти установки имеют наиболее высокую производительность вследствие выполнения вспомогательных операций, таких как загрузка и выгрузка свариваемых деталей, откачка и другие, параллельно со сварочным процессом. Шлюзовые системы могут быть периодического и непрерывного действия. Выбор той или иной системы зависит от свариваемых изделий. При сварке штучных изделий применяются системы периодического действия, у которых подача очередного изделия на сварочную позицию или перемещение сварочной пушки (или пучка) к очередному изделию требуют, как правило, остановки сварочного процесса. Шлюзовые системы непрерывного действия используются обычно при сварке изделий бесконечной или достаточно большой длины: полотен ленточных пил, триметаллической ленты для держателей маски кинескопов и др.

Конструкции шлюзовых устройств периодического действия весьма разнообразны. Необходимость исключения из конструкции поточно-вакуумной системы часто срываются и недостаточно надежных вакуумных затворов привела к созданию установок, в которых в качестве затворов используются свариваемые изделия или "спутники", в которых находятся изделия. В установках такого типа загрузка и выгрузка производятся проталкиванием или протягиванием изделий через уплотнения. При этом наружная поверхность изделий или "спутников" плотно прилегает к внутренней поверхности кольцевых уплотнителей. В месте контакта изделия или "спутника" с уплотнителем достигается герметичность. Кольцевые уплотнители и соответствующее количество свариваемых изделий образуют в устройствах загрузки и выгрузки своеобразные шлюзовые камеры между двумя соседними изделиями. Откачка из этих камер по мере продвижения изделия в рабочую камеру осуществляется отдельными насосами. Подобные установки (типа У579) созданы для сварки кольцевых швов на корпусах реле, для сварки малогабаритных изделий радиоэлектроники.

В ряде случаев через шлюзовые окна свариваемые изделия и спутники могут проходить без трения с гарантированным зазором

(0,05...0,1 мм). При этом значительно повышается надежность установки вследствие резкого снижения усилий проталкивания заготовок, исключения вакуумной смазки и износа уплотнителей. Недостатком такой системы является необходимость высокой точности изготовления устройств. Установки, построенные по схеме проталкивания свариваемых изделий через вакуумные уплотнения, имеют производительность до 500 изделий в 1 ч, т. е. вполне приемлемую для серийного или массового производства.

Установка УЛ138 со шлюзовой системой на основе скользящих вакуумных уплотнителей предназначена для изготовления поршней с масляной полостью охлаждения применительно к мощным двигателям внутреннего сгорания. Она имеет пятипозиционный поворотный стол, на рабочей поверхности которого закреплен уплотнитель, а на противоположной — гнезда для сварочных камер. Стол с уплотнителем прижат к неподвижной плите, в которой выполнены сквозные отверстия, форма, число и расположение которых соответствуют гнездам поворотного стола. Свариваемый поршень загружается в сварочную камеру, которая специальным механизмом на позиции загрузки выводится из-под стола для удобства обслуживания. Поворотный механизм возвращает камеру с заготовкой в рабочее положение и поднимает ее до стыковки с гнездом поворотного стола. Тем же ходом поворотного механизма на позицию перегрузки подается следующая камера со сваренным изделием. Камера с заготовкой после позиции загрузки попадает на позицию предварительной откачки, затем на позицию форвакуумной откачки. Время откачки камер на этих позициях не превышает 15 с. Время сварки одного шва диаметром 120...125 мм при двух проходах составляет 25...30 с. При этих условиях производительность установки достигает 120 деталей в 1 ч.

На основе скользящего уплотнения выполнена и шлюзовая система установки Патон-ЦИС-700 [26]. Установка предназначена для сварки блоков шестерен. Конструкции стола и оснастки позволяют выполнять сварку деталей диаметром менее 170 мм и высотой до 300 мм.

В некоторых конструкциях шлюзовых систем на основе скользящих уплотнителей вместо поворотных столов применены поворотные барабаны. На этом принципе создана установка УЛ112 барабанного типа со шлюзовой системой для сварки изделий 2 средних и крупных габаритов (рис. 1.31). Неподвижным корпусом служит цилиндр диаметром 600 мм, внутренняя полость которого соединена с атмосферой. Внутри этого цилиндра размещены сварочная пушка 1 и патрубки откачной системы, а снаружи смонтирован поворотный барабан. Сварочные камеры закрепляют на наружной поверхности барабана, причем их форма может быть самой разнообразной, а размеры, особенно по длине, могут превышать размеры поворотного барабана.

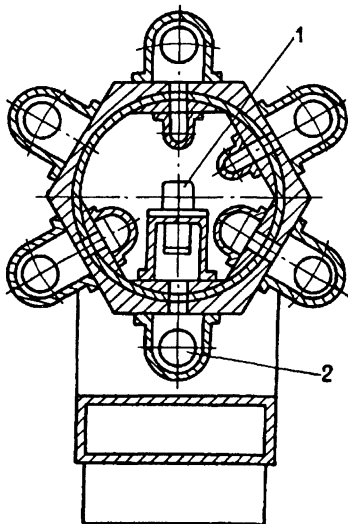


Рис. 1.31. Установка УЛ112 (вид сбоку) для ЭЛС изделий массового производства

Наиболее высокую производительность при ЭЛС обеспечивают установки со шлюзовыми системами непрерывного действия. Фирмой Техмета (Франция) разработана установка со шлюзовой системой для сварки полос из двух или трех заготовок: биметаллических полос медь—сталь, медь—серебро для электрических контакторов, магнитный сплав — сталь для реле и др.

Установки для сварки крупногабаритных изделий. Установки этой группы известны трех типов: камерные (с герметизацией всего изделия), с локальным и мобильным вакуумированием (частично герметизирующие изделие). Камерные установки отличаются многообразием конструкций. В зависимости от размеров и конфигурации свариваемого изделия, его массы, особенностей сварочной оснастки вакуумная камера может иметь форму куба (параллелепипеда) с верхней откидной крышкой, цилиндра, шара.

Установка УЛ110 имеет прямоугольную камеру $3600 \times 3600 \times 4000$ мм (объем 42 м^3). В ней сварка обечаек выполняется при их вертикальном расположении с наращиванием соединяемых элементов. Для снижения деформаций сварка может выполняться одновременно двумя пушками, установленными в диаметрально противоположных точках. Катодная пушка установлена на двухкоординатном манипуляторе с пределами перемещений 2800 мм по вертикали и 1000 мм по горизонтали. Изделие устанавливается на тележку с вертикальным вращателем. При необходимости для перемещения изделия могут быть использованы и другие механизмы.

Установка У736 имеет камеру объемом 20 м^3 с откидывающейся верхней крышкой, что весьма удобно в эксплуатации. Установки УЛ117 и УЛ118 предназначены для сварки диафрагм и пакетов лопаток мощных паровых турбин. Камеры установок могут поворачиваться на 180° , что обеспечивает сварку в любом пространственном положении. На днищах камеры с двух сторон закреплены приставки, внутри которых размещены сварочные пушки и механизмы их перемещения. Внутри камеры установлена планшайба для вращения свариваемых изделий. Следует отметить также специальные установки УЛ178 и УЛ680М для сварки в высоком вакууме труб с трубными решетками теплообменных аппаратов. В установке УЛ178 сваривают изделия длиной 2300 мм, диаметром трубной решетки 130 мм и свариваемой трубки 3...10 мм, а в установке У680М — изделия длиной 3200 мм, диаметром трубной решетки 1200 мм и свариваемой трубки 8...16 мм. Габаритные размеры установки УЛ178 $7000 \times 4800 \times 4400$ мм, а У680М — $7000 \times 6000 \times 7000$ мм.

Промышленное применение для ЭЛС в высоком вакууме крупногабаритных изделий нашли установки УЭЛС-I; УЭЛС-II; УЭЛС-IV и СУЭЛС-IV. Они производят электронно-лучевую сварку продольных, кольцевых и круговых швов изделий диаметром менее 2500 мм (в первых трех установках) и менее 3500 мм в установке СУЭЛС-IV. Рабочий объем сварочной камеры первых двух установок 30 м^3 , в установке УЭЛС-IV — 15 м^3 и в установке СУЭЛС-IV — 70 м^3 .

Известна установка с камерой в виде шара для сварки изделий аэрокосмической, ядерной и судостроительной промышленности. Внутренний диаметр камеры 10 м. Пушка перемещается внутри камеры.

В установке УЛ193 камера объемом 450 м^3 смонтирована из полимерных блоков, которые соединены между собой в монолитную конструкцию. Для создания необходимой плотности и качества поверхностей внутренняя и наружная стенки камеры покрываются специальным компаундом. Давление в камере поддерживается равным 6,65 Па и достигается за 30 мин.

В установках для ЭЛС крупногабаритных изделий с локальным вакуумированием герметизируется и откачивается до рабочего давления сравнительно небольшой объем в зоне стыка. Наиболее рационально герметизировать весь стык, а не отдельные его участки из-за сложности качественного перекрытия начала и конца швов. Для сварки шпангоутов ракеты "Сатурн" была применена установка с разъемной камерой [19]. Шпангоут выполнен в виде трех заготовок, которые свариваются между собой в кольцо диаметром 10 м, высотой 580 мм и максимальной толщиной 114 мм. Секции шпангоута устанавливаются на поворотном роликовом стенде так, чтобы свариваемый стык находился внутри вакуумной камеры, со-

стоящей из двух раздвигаемых половин. Секции зажимаются специальным устройством, обеспечивающим точную стыковку кромок. После установки секций обе полукамеры сводятся и их стык герметизируется. Отверстия в боковых стенках каждой полукамеры, выполненные по форме поперечного сечения шпангоута, герметизируются по периметру уплотнителями специальной конструкции.

В установках для сварки кольцевых швов на трубках вакуум создается в зоне стыка и благодаря применению заглушек герметизируется весь внутренний объем трубки. Создано несколько типов пистолетов для сварки трубок в трубные доски теплообменных аппаратов, бобышек и штуцеров в корпусные изделия. Сварочные пистолеты герметизируют и сваривают один стык за цикл. В этом случае трубы предварительно развальцовываются в трубной доске или герметизируются уплотнением. Центрирующая оправка сварочного устройства вводится внутрь трубки и герметизирует ее внутреннюю полость. Сварочное устройство при этом своим уплотнителем устанавливается на трубную доску и герметизирует свариваемый стык с наружной стороны. Перемещение пистолета от трубы к трубе осуществляется с помощью различных устройств или вручную по направляющей рамке, закрепленной на трубной доске. Для больших объемов производства разработаны автоматические манипуляторы.

При ЭЛС протяженных продольных швов в локальном вакууме сварочная камера выполняется в виде плиты с продольным сквозным пазом в ее центральной части или в виде колпака. В первом случае по плите перемещается каретка, на которой смонтирована сварочная пушка. Стык сварочной камеры с изделием герметизируется уплотнителями. Обратная сторона стыка герметизируется дополнительной камерой, а торцовые части стыка — выводными планками. Продольный паз сварочной камеры, вдоль которого перемещается каретка со сварочным блоком, герметизируется стальной лентой или трапециевидным резиновым уплотнением. Во втором случае сварочный блок с пушкой и механизмы его перемещения расположены под накидным колпаком.

В описанных установках длина свариваемого стыка обычно превышает длину камеры. Сварка выполняется по участкам с перерывами сварочного процесса при переносе камеры на новый участок, что связано с рядом трудностей. Поэтому сварка протяженных стыков по участкам с перестановкой сварочной камеры распространения не получила. Более перспективны в этом плане сварочные тракторы (мобильное вакуумирование) со скользящим по изделию уплотнителем. Они выполняются обычно в виде каретки, на которой размещаются сварочная пушка, система откачки, механизм подачи присадочного материала и др. Сварочная пушка снабжена дифференциальной откачкой и клапаном, отделяющим область катодного узла от сварочной камеры.

Каретка со сварочной головкой может быть как самоходной, так и неподвижной. В последнем случае сварочные перемещения сообщаются изделию. И в том, и в другом случае каретка сварочного блока в месте контакта с изделием снабжается уплотнительным блоком, который может иметь различные конструкции.

В лабораторном образце трактора (Германия) использована мощная система ступенчатой откачки [19]. Для герметизации обратной стороны стыка используется подвижная контркамера, которая перемещается синхронно со сварочной. Начало и конец шва выполняются с помощью выводных планок. Уплотнительный узел сварочной камеры и контркамеры можно выполнить для сварки как плоских, так и цилиндрических изделий.

Основным недостатком современных сварочных тракторов является трудность герметизации стыка поверхности изделия с уплотнителями трактора вследствие отклонений от заданной формы поверхности изделия, наличия местных дефектов и загрязнений. Форма и температура валика сварочного шва оказывают существенное влияние на герметичность сварочной камеры.

1.6. АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ УСТАНОВКАМИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СВАРКИ С ПОМОЩЬЮ СРЕДСТВ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Автоматизация установок для электронно-лучевой сварки является одним из важнейших направлений их совершенствования и позволяет добиться существенного повышения качества сварных соединений. Как уже отмечалось, время выполнения подготовительных и вспомогательных операций и диагностирования состояния функциональных систем таких установок превышает обычно время на проведение собственно технологических операций. Использование систем автоматического и программного управления дает возможность повысить производительность труда и надежность функционирования установок, а также обеспечивает высокую воспроизводимость технологического процесса. Кроме того, системы управления с использованием вычислительной техники расширяют технологические возможности сварочных установок.

Задачи автоматизации управления сварочными установками решаются в следующих направлениях: создание микропроцессорных систем локального управления параметрами процесса электронно-лучевой сварки и электромеханическим комплексом; применение систем локального управления положением электронного пучка; контроль и автоматическое регулирование процесса электронно-лучевой сварки; контроль положения фокуса электронного пучка и управление установками с помощью ЭВМ.

Микропроцессорные системы локального управления параметрами процесса электронно-лучевой сварки и электромеханический комплекс. Системами локального управления

комплекуются новые или модернизированные действующие специализированные сварочные установки. Типичные системы локального программного управления созданы в ИЭС им. Е. О. Патона на базе микропроцессорной техники. Они могут работать в комплекте с энергоблоками для электронно-лучевой сварки У-250А, ЭЛА-15, ЭЛА-30, ЭЛА-60/60, ЭЛА-60Б и ЭЛА-120.

Программирование режимов сварки необходимо для обеспечения высокой воспроизводимости геометрии и качества сварных швов в серийном производстве, а также для сокращения времени на отработку технологии сварки новых изделий. Программное управление пространственно-энергетическими параметрами электронного пучка осуществляется с помощью программатора.

Программатор режимов электронно-лучевой сварки СУ228 выполнен на базе контроллера "Электроника К1-20" и предназначен для программирования в функции пути или времени токов электронного пучка и фокусирующей линзы пушки, амплитуд периодического отклонения электронного пучка по двум координатам, а также длин участков с постоянным режимом сварки. Имеются также стандартные подпрограммы начала и окончания сварки. Число кадров программы сварки достигает 300. Для выполнения прихваток имеется специальная программа периодического повторения заданного однокадрового режима сварки.

Взаимодействие оператора с программатором осуществляется в диалоговой форме и не требует высокой квалификации.

Система программного управления режимом электронно-лучевой сварки СУ288 выполнена на базе контроллера "Электроника МС 2721" и кроме функций программатора СУ228 обеспечивает программирование траектории и скорости перемещения сварочной пушки или свариваемого изделия по шести координатам. Система имеет и переносной пульт ручного управления перемещением. Она предназначена для управления шаговым приводом типа БУШ-5, который может, в основном, применяться в малогабаритных сварочных установках. Управление отклонением электронного пучка осуществляется для пушек как с однократным преломлением пучка, так и с двухкратным.

Система контроля и программирования параметров сварочного электронного пучка СУ 260 (рис. 1.32) имеет более широкие функциональные возможности (табл. 1.9). Она позволяет управлять в функции перемещения сварочной пушки или свариваемого изделия всеми, кроме траектории и скорости сварки, параметрами режима электронно-лучевой сварки. В режиме "прихватка" программируется до 20 параметров технологического процесса. Число прихваток на свариваемом стыке может быть задано до 100 при периоде повторения 1...10 000 мм. В режиме "сварка" про-

1.9. Функциональные характеристики системы контроля и программирования сварочного электронного пучка СУ260

Задача	Режим работы	Выполняемые функции
Контроль	Совмещение	Электронный поворот осей отклоняющей системы; измерение углов в плоскости свариваемого изделия
	Диагностирование	Автоматическая фокусировка электронного пучка на уровень датчика; измерение диаметра электронного пучка
	Дальность	Измерение расстояния от сварочной пушки до свариваемого изделия
Программное управление	Прихватка	Запись, просмотр и воспроизведение программы режима прихваток
	Сварка	Запись, просмотр и воспроизведение программы режима сварки
	Стоп	Аварийный останов технологического процесса с плавным окончанием и запоминанием прерванного участка программы и координат
	Продолжение	Продолжение технологического процесса после аварийного останова с плавным началом
Вспомогательное управление	Коррекция	Редактирование записанной программы
	Тестирование	Проверка соответствия задаваемых и исполняемых значений программируемых параметров, работоспособности основных функциональных узлов системы

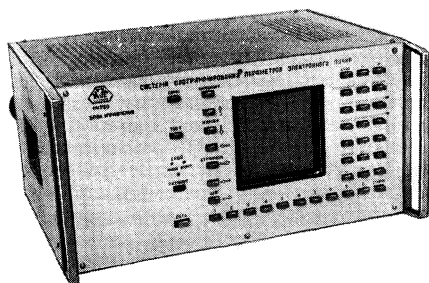


Рис. 1.32. Блок системы контроля и программирования СУ260

граммируется до 17 параметров процесса с возможностью линейной интерполяции каждого. Может быть задано до 300 участков шва с постоянным режимом сварки длиной 1...10 000 мм каждый. Начало и окончание сварки осуществляется по одной из двух специальных подпрограмм либо в функции перемещения, либо в функции времени.

В составе системы имеется submodule управления отклонением электронного пучка. С его помощью осуществляется статическое и периодическое отклонение электронного пучка как с однократным, так и с двукратным его преломлением. Развертка электронного пучка производится по одной из десяти записанных в перепрограммируемой постоянной памяти траекторий с частотой 50...500 Гц или любой другой оперативно вводимой траектории развертки. При этом обеспечивается минимум биений развертки из-за пульсаций выпрямленного сетевого напряжения. Submodule модуляции токов электронного пучка и фокусирующей линзы пушки обеспечивает любое их периодическое изменение с частотой до 500 Гц, в том числе синхронно с раз-

верткой электронного пучка. Эти submodule управляются программно.

Для контроля геометрических параметров электронного пучка мощностью до 60 кВт в состав системы входит специальный датчик, устанавливаемый на сварочной пушке или отдельно от нее. Контроль геометрии пучка может осуществляться до сварки. Программирование параметров технологического процесса осуществляется оператором в форме диалога (т. е. вводятся только необходимые цифровые значения параметров), а выбор режимов и подрежимов контроля — методом программного "меню" (с помощью кнопок "ДА" и "НЕТ"). Система включает также некоторые вспомогательные устройства: имитатор датчика перемещения пушки (или изделия); программатор микросхем постоянной памяти.

Управление и диагностика высоковольтного источника питания сварочной пушки и его функциональных узлов являются важнейшими условиями обеспечения надежности энергоблока. Микропроцессорная система управления и диагностики ОЛ152 позволяет контролировать ускоряющее напряжение, напряжение катод—управляющий электрод, силы тока электронного пучка, фокусирующей линзы, накала пушки и бомбардировки катода, время работы катода и подогревателя, количество пробоев, а также запись и воспроизведение отклонений параметров и появления пробоев при сварке в функции пути. Имеется возможность проверки эмиссионной способности катода пушки, состояния узлов стабилизатора ускоряющего напряжения, наличия охлаждения и фаз питания и др.

Программное управление манипулятором. Для управления манипулятором с шаговыми двигателями ЕС-5 и ЕС-10 и сервоприводом типа ЕСПА создан блок программного управления "Путь-1" (рис. 1.33). Он позволяет программно управлять одновременно по двум ко-



Рис. 1.33. Блок программного управления "Путь-1"

ординатам траекторией и скоростью перемещения электронной пушки или изделия с линейной интерполяцией. Имеется переносной пульт ручного управления. Блок предназначен для крупногабаритных сварочных установок (вместо систем ЧПУ типа 1Н22 и 1Н33).

Системы локального управления положением электронного пучка. В современной технологии электронно-лучевой сварки крупногабаритных изделий сложной конфигурации применение систем слежения за стыком позволяет сократить время позиционирования электронного пучка на стык, обеспечить точное следование по траектории стыка в процессе сварки, исключить влияние на пучок магнитных полей, снизить требования к точности перемещения электронной пушки, повысить уровень автоматизации процесса сварки.

Принцип работы наиболее распространенных систем слежения основан на сканировании поверхности изделия маломощным электронным пучком и контроле возникающего при этом потока обратных электронов. При поиске и наведении на стык производится непрерывная поперечная линейная развертка электронного пучка из неотклоненного поло-

жения. В процессе сварки электронный пучок периодически на короткое время выносится из сварочной ванны на стык и сканирует поперек его. Вторично-эмиссионный сигнал в обоих случаях принимается помехозащищенным датчиком, расположенным на электронной пушке. Сигналы от стыка визуализируются и преобразуются в управляющие воздействия для привода следящего перемещения сварочной пушки. Для предотвращения плавления металла при сканировании стыка в процессе сварки сила тока электронного пучка импульсно понижается.

Построенная таким образом система слежения за стыком СУ269 обеспечивает: поиск стыка на поверхности изделия; точное наведение на него маломощного электронного пучка перед сваркой; автоматическое совмещение электронного пучка со стыком в процессе сварки; передачу технологической развертки электронного пучка от внешних устройств в электромагнитную отклоняющую систему сварочной пушки (рис. 1.34). Техническая характеристика системы СУ269 приведена ниже.

Форма отслеживаемой линии стыка	Прямолинейная, слабокриволинейная (радиус кривизны более 6 м)
Точность наведения на стык, мм, не менее	±0,1
Точность слежения (без учета погрешностей механизмов перемещения пушки или изделия), мм, не менее	±0,2
Максимально допустимый в процессе слежения угол стыка от направления сварки (на длине 100 мм), мм	1
Максимально допустимая скорость сварки в режиме автоматического слежения, мм/с	20
Требуемая разделка кромок (для энергоблоков с максимальной мощностью более 15 кВт)	Клиновья, 0,3 × 3 мм
Мощность сварочного электронного пучка, при котором обеспечивается устойчивое слежение за стыком, кВт	0,12...60
Зона поиска стыка, мм	±50
Зона автоматического захвата стыка при слежении, мм	±10
Амплитуда выброса электронного пучка из сварочной ванны при слежении, мм	0...20
Длительность выброса электронного пучка из сварочной ванны, мс	1...3
Рабочее расстояние, мм	50...350
Допустимый диапазон частот внешней технологической развертки, Гц	0...1000

Датчик ОЛ140 расположен на торце электронной пушки и функционально является интегрирующим преобразователем потока заряженных частиц в электрический ток. Его конструкция обеспечивает необходимые термическую и электрическую помехозащищенность. Прибор СУ227 обеспечивает поиск и наведение на стык перед сваркой. Информация о положении стыка отображается на экране малогабаритной электронно-лучевой трубки. Оператор имеет возможность визуально контролировать момент точного совпадения оси электронного пучка со стыком.

Блок обработки вторично-эмиссионных сигналов ОЛ151 синхронизирует работу всей системы. В режиме автоматического слежения

он генерирует вынос электронного пучка из сварочной ванны, его развертку поперек стыка, управляет модуляцией тока электронного пучка, принимает и обрабатывает вторично-эмиссионные сигналы, выполняет преобразование управляющих напряжений в ток отклоняющих систем пушки, а также согласует во времени прохождение разверток электронного пучка от различных устройств. Блок коммутации ОЛ137 преобразует сигналы блока ОЛ151, характеризующие положение стыка, в управляющие команды для блока управления приводом следящего перемещения электронной пушки. В качестве автономного привода следящего перемещения используется шаговый электродвигатель ШД-5д с блоком управления

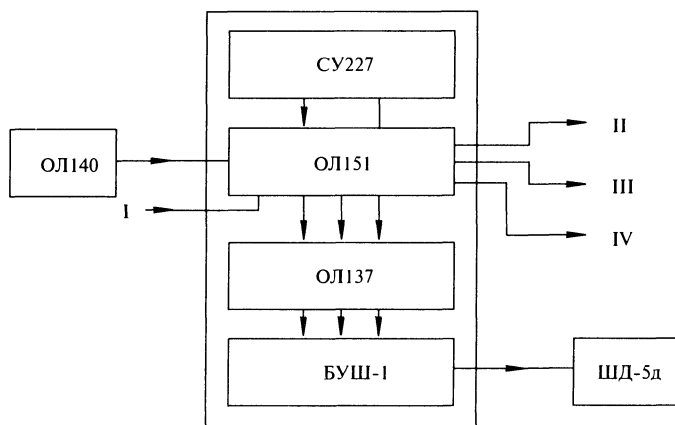


Рис. 1.34. Функциональная схема автоматической системы слежения СУ269:

I — технологическая развертка; *II* — канал управления током электрического пучка; *III* — канал управления фокусировкой пучка; *IV* — отклоняющие системы пушки

БУШ-1. Возможна также передача управляющих команд непосредственно на один из трех сервоблоков координатных шаговых двигателей манипулятора сварочной пушки или свариваемого изделия. При управлении приводом автоматически обеспечивается разгон—торможение шагового двигателя по заданному закону, компенсация зазора механической передачи привода перемещения.

Для наведения на стык и слежения за стыком с записью его траектории перед сваркой предназначена микропроцессорная система вторично-эмиссионного слежения СУ283. При сварке, а также при возможном последующем ремонте сварного шва траектория стыка воспроизводится. Координаты свариваемой точки стыка отображаются на малогабаритном дисплее в цифровом виде. При записи траектории стыка имеется возможность программного управления мощностью и фокусировкой электронного пучка. Управление положением электронного пучка осуществляется перемещением сварочной пушки, для чего система СУ283 выдает управляющие сигналы на шаговый привод типа БУШ-5.

Вторично-эмиссионные системы слежения применяются только при наличии явного стыка, либо его заменяющей клиновидной канавки на поверхности металла. Изготовление сварных конструкций, имеющих замкнутую поверхность, сопряжено с определением положения середины "скрытого" стыка. Так, при сварке тавровых соединений со стороны листа необходимо контролировать положение оси ребра, находящегося под листом. Стык между листом и ребром, невидимым со стороны листа, называют "скрытым" стыком.

Для контроля положения середины "скрытого" стыка изделий из немагнитных металлов разработан специальный прибор "Стык-1"

(рис. 1.35). Техническая характеристика прибора "Стык-1" приведена ниже.

Контролируемые немагнитные металлы	Коррозионно-стойкая сталь, титан и его сплавы, алюминий и его сплавы, медь и сплавы на ее основе
Диапазон толщин листа, мм.	2...12
Точность контроля, не ниже	3% толщины листа
Режим работы	Ручная и автоматическая разметка
Масса прибора, кг	6,5
Габаритные размеры, мм.	450 × 330 × 160
Напряжение питающей сети частотой 50 Гц, В.	220

Работа прибора основана на сочетании цифрового интегрирующего метода измерения с токовихревым методом контроля (рис. 1.36). Для этого используется дифференциальный токовихревой преобразователь *ТВП* накладного типа, собранный на Ш-образном магнитопроводе из ферромагнитного материала. Преобразователь содержит три обмотки, причем питающая обмотка расположена на среднем стержне, измерительные — на крайних стержнях. Питающая обмотка подключена к выходу генератора синусоидального напряжения *ГСН*, а измерительные — ко входам дифференциального усилителя *ДУ*.

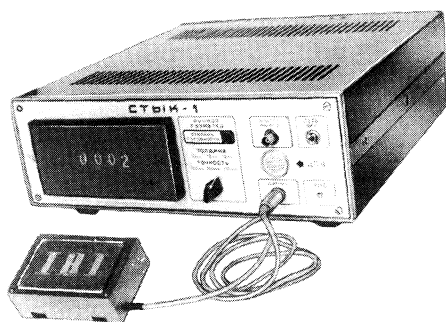


Рис. 1.35. Прибор "Стык-1"

Разностное напряжение на выходе ДУ определяется смещением оси ТВП относительно середины "скрытого" стыка, так как при несовпадении этих осей возникает асимметрия магнитного поля преобразователя. В результате этого амплитуда напряжения на одной обмотке возрастает, а на другой — уменьшается. Разность напряжений измерительных обмоток после усиления подается на синхронный детектор СД, управляемый сигналом с выхода того же ГСН. Постоянная составляющая протектированного напряжения выделяется фильтром нижних частот ФНЧ и преобразуется в цифровой эквивалент аналого-цифровым преобразователем АЦП. Величина и знак выходного сигнала АЦП соответствуют значению и направлению смещения оси ТВП и середины "скрытого" стыка. При совпадении измеренное АЦП напряжение равно нулю. Этот признак используется для управления искровым разрядником, который маркирует на поверхности изделия положение середины "скрытого" стыка.

Для контроля положения оси невидимой контактной площадки в сотовой конструкции из немагнитных материалов создана система контроля "Стык-3", которая состоит из токового датчика, первичного преобразователя сигнала и персонального компьютера. Результаты измерений непрерывно отображаются на дисплее. В контролируемой сотовой конструкции

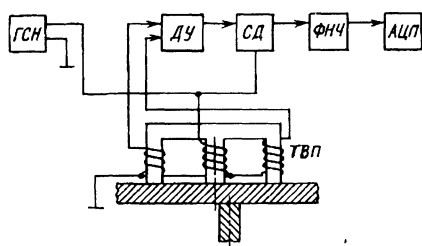


Рис. 1.36. Функциональная схема прибора "Стык-1"

толщина листа может достигать 2 мм, а расстояние между контактами — не менее 15 мм.

Контроль и автоматическое регулирование процесса электронно-лучевой сварки. Сопровождающие электронно-лучевую сварку электромагнитное излучение и вторичная эмиссия заряженных частиц могут быть использованы для контроля и автоматического регулирования процесса сварки. Рентгеновское и световое излучения несут непосредственную информацию о состоянии поверхности сварочной ванны, а радио- и СВЧ-излучения — косвенную, усредненную информацию о поведении сварочной ванны. Практически для контроля и регулирования процесса сварки может быть использовано лишь рентгеновское излучение. Однако системы контроля и регулирования процесса электронно-лучевой сварки с использованием рентгеновских датчиков для промышленного применения пока не разработаны.

Поток вторично-эмиссионных заряженных частиц, возникающих при ионизации пара электронным пучком, имеет определенную информацию о состоянии поверхности парадинамического канала в сварочной ванне. Для приема части потока частиц применяют обычно кольцевые металлические пластины (коллекторы) открытого типа (рис. 1.37, а) и закрытого (рис. 1.37, б), устанавливаемые соосно с электронным пучком над зоной сварки. Разделение вторичных электронов и ионов осуществляется подачей на коллектор соответственно положительного или отрицательного электрического потенциала $E = 80 \dots 200$ В.

Экспериментально установлена сильная зависимость от уровня фокусировки электронного пучка мощностью до 5 кВт частоты пульсаций как ионного, так и электронного токов вторичной эмиссии. Так, при изменении фокусировки электронного пучка постоянной мощности частота пульсаций ионного тока прямо пропорциональна глубине проплавления, а при изменении мощности пучка с неизменной фокусировкой или скорости сварки — обратно пропорциональна.

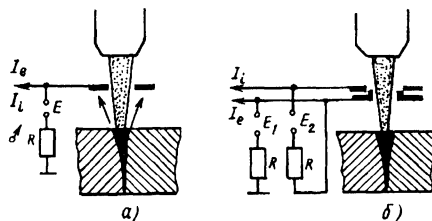


Рис. 1.37. Коллекторы вторичных электронов и ионов:

а — открытый; б — закрытый

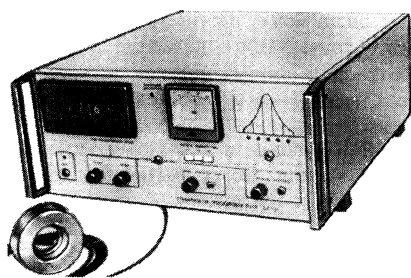


Рис. 1.38. Стабилизатор фокусировки пучка ОЛ131 с коллектором ионов ОЛ139

В ИЭС им. Е. О. Патона разработан прибор ОЛ131 (рис. 1.38) для стабилизации уровня фокусировки электронного пучка при сварке металлов толщиной менее 30 мм (в комплекте с коллектором ионов ОЛ139). Прибор предназначен для работы вместе с энергоблоком У250А (30 кВ, 15 кВт); также возможно его использование с энергоблоками ЭЛА-15, ЭЛА-30, ЭЛА-60/60, ЭЛА-60Б, ЭЛА-60В. В состав прибора входит источник тока фокусирующей линзы сварочной пушки и имитатор сигналов ионного тока. Прибор имеет два основных режима работы — ручной и автоматический. В ручном режиме оператор устанавливает силу тока фокусирующей линзы пушки и в процессе сварки контролирует уровень фокусировки электронного пучка по частоте ионного тока. В автоматическом режиме в процессе сварки фокусировка пучка автоматически поддерживается на заданном уровне. При этом компенсируются нарушения уровня фокусировки пучка относительно поверхности свариваемого изделия, вызванные изменением расстояния между сварочной пушкой и изделием, изменением катода пушки, нестабильностью электрических параметров энергоблока (например, ускоряющего напряжения) и др.

Контроль положения фокуса электронного пучка. В Институте электросварки им. Е. О. Патона разработан новый метод непосредственного определения положения фокуса тонкого аксиально-симметричного электронного пучка высокой мощности. Метод является модификацией известного метода прямого края пластины и обеспечивает высокую точность контроля и большую долговечность датчика при мощности электронного пучка менее 100 кВт. На основе этого метода контроля создано устройство "Дельта-1", состоящее из датчика и электронного блока (рис. 1.39). Датчик располагается в вакуумной камере на расстоянии 20...40 мм от оси электронного пучка. Устройство измеряет диаметр электронного пучка при импульсном его отклонении на датчик. Минимальный диаметр электронного пучка соответствует его фокусировке на уровне датчика. Контроль диаметра электронного пучка можно осуществлять и во время техно-

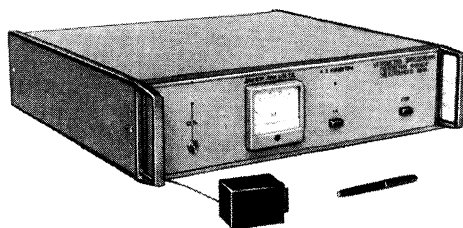


Рис. 1.39. Устройство контроля положения фокуса электронного пучка (на переднем плане датчик)

логического процесса (сварка, резка, наплавка, обработка) без нарушения его качества.

Техническая характеристика устройства "Дельта-1" приведена ниже.

Точность измерения диаметра электронного пучка, %	+5
Точность контроля положения фокусировки	+2% (или +2,5 мм при рабочем расстоянии 150...200 мм)
Точность определения тока магнитной линзы, соответствующего фокусировке электронного пучка на уровне датчика, %	+0,2
Диапазон мощности контролируемого электронного пучка, кВт	0,5...100
Длительность измерения, мс	0,1
Частота измерения, Гц	3; 6; 12; 25
Габаритные размеры датчика, мм	105 × 45 × 40
Габаритные размеры электронного блока, мм	480 × 480 × 120
Максимальная длина кабеля датчик—блок, м	20

Управление установками с помощью ЭВМ. Автоматизированная система управления (АСУ) установками для электронно-лучевой сварки включает (рис. 1.40):

управляющий вычислительный комплекс 3 (УВК) СМ-1810 с видеотерминалом 10 и цифро-печатающим устройством 11;

энергетический комплекс, состоящий из аппаратуры 6 ЭЛА60Б с электронно-лучевой сварочной пушкой;

электропривод 1 "Размер 2М-5", укомплектованный асинхронными двигателями;

модули связи 4 сервопривода с управляющей ЭВМ, представляющие собой функционально законченные логические устройства нижнего уровня управления приводами перемещения манипуляторов 8 пушки и 9 изделия;

блок 2 электроавтоматики, состоящий из панелей гальванической развязки и кроссовой,

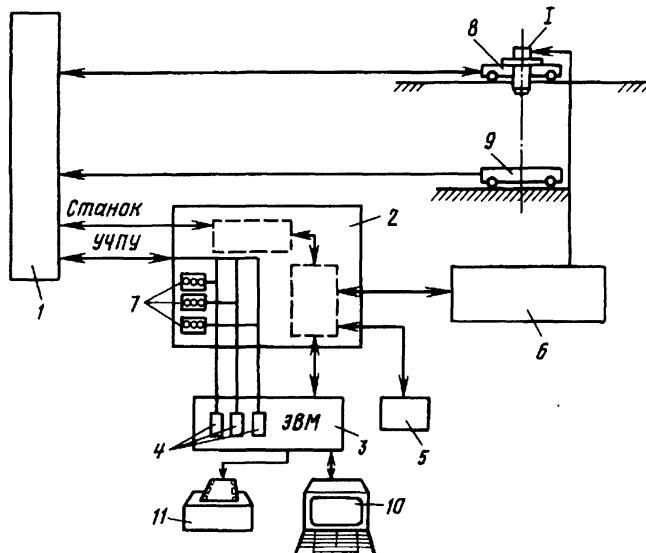


Рис. 1.40. Структурная схема АСУ электронно-лучевой сваркой

приборов 7 цифрового измерения скорости вращения электродвигателей;

пульт 5 ручного управления сервоприводом.

АСУ установки реализует последовательно следующие задачи технологического процесса электронно-лучевой сварки: подготовку, сварку, завершение. На стадии подготовки осуществляется: проверка работоспособности УВК, энергетического комплекса и электропривода; ввод с пульта видеотерминала заданных параметров режима сварки; контроль глубины вакуума в сварочной камере и пушке; совмещение электронного пучка со стыком свариваемого изделия с запоминанием реальной траектории стыка.

На стадии сварки управление процессом осуществляется выдачей уставок на локальные регуляторы по заданию оператора (в полуавтоматическом режиме работы) или по жесткой программе (в режиме "автомат"). Основными параметрами процесса являются: сила тока электронного пучка, фокусирующей линзы; амплитуда технологической развертки; скорость сварки. В процессе сварки обеспечиваются: контроль и регистрация отклонений параметров процесса выше допустимых значений; контроль и учет высоковольтных пробоев в пушке с определением координат на стыке свариваемого изделия; аварийное завершение процесса.

На стадии завершения выдается рапорт с отражением нарушений или отклонений, имевших место в процессе сварки.

Установка с АСУ позволяет реализовать заданное количество сварных соединений за одно вакуумирование. Постоянная потреб-

ность в наращивании функциональных возможностей вычислительной системы создала предпосылки для нового подхода к проектированию системы в виде ряда функций, получившей название функциональной архитектуры. Отдельные элементы, реализующие законченные функции, получили название модулей функциональной архитектуры. Появилась новая структура построения сложных автоматизированных систем управления, в основу которых закладываются иерархические звенья, обеспечивающие децентрализованное выполнение функций.

На основе такого подхода разрабатывают перспективные рассредоточенные микропроцессорные системы управления, в состав которых входят микропроцессоры МП и узлы ввода-вывода аналоговой и дискретной информации, перепрограммируемая и оперативная память (рис. 1.41). Такие микропроцессорные системы связи с объектом получили название активных и предназначены для работы в составе АСУ. Наличие микропроцессора позволяет установить такие модули в локальных узлах объекта управления и осуществлять управление исполнительными органами $\mathcal{E}_1 \dots \mathcal{E}_n$ объекта, реализовывать необходимые законы регулирования, оптимизировать процесс, а также иметь возможность работы как в автономном режиме, так и под управлением ЭВМ более высокого уровня, используя дистанционные каналы связи.

Децентрализованные системы управления, используя принцип параллельной обработки информации, обеспечивают высокое быстродействие системы управления технологиче-

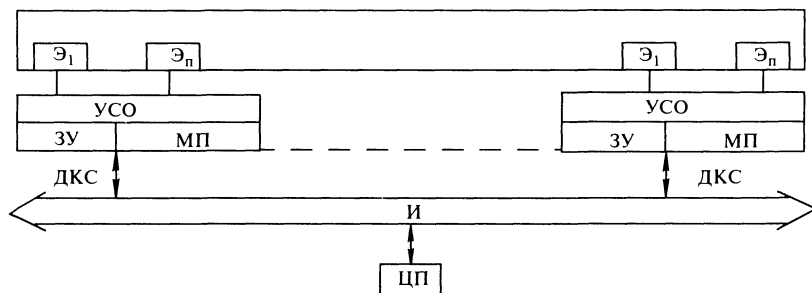


Рис. 1.41. Структурная схема двухуровневой системы микропроцессорного управления:

ЦП — центральный процессор управляющий микроЭВМ; УСО — устройство связи с объектом; ЗУ — запоминающее устройство; Э₁...Э_п — исполнительные органы или датчики; ДКС — дистанционный канал связи; И — интерфейс; МП — микропроцессор

ским процессом и дают возможность наиболее рационально и эффективно распределить ресурсы системы, а также упрощают разработку программного обеспечения.

Наиболее оптимальным вариантом использования в качестве управляющих микроЭВМ (верхний уровень управления) в разработках АСУ являются специализированные (профессиональные) ЭВМ, имеющие наиболее простую структуру, необходимый и достаточный объем памяти, ограниченную разрядность слов, обладающие повышенной надежностью и создаваемые для автоматизации конкретных объектов управления и технологических процессов. Специализированные ЭВМ должны обладать малыми габаритными размерами, высокой надежностью, низкой стоимостью, простотой обслуживания и управления.

Наличие в составе специализированной микроЭВМ встроенного видеотерминала и пульта управления, ориентированных функционально для управления сварочным процессом, дают возможность приблизить работу оператора к реальной работе технолога-сварщика. Специализированные ЭВМ могут успешно использоваться для модернизации системы управления на действующих в производстве промышленных установках электронно-лучевой сварки.

Дальнейшее совершенствование электронно-лучевой сварочной аппаратуры, как объекта управления активного типа, в части децентрализации его системы, а также совершенствование микропроцессорных средств связи позволит перейти на двухуровневую систему микропроцессорного управления нового поколения.

1.7. ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ

Успешное развитие имеющей большие возможности электронно-лучевой сварки тесно связано с дальнейшим совершенствованием и производством оборудования, с помощью которого она осуществляется.

— Определившиеся в настоящее время основные направления дальнейшего развития

техники и технологии электронно-лучевой сварки естественно являются главными направлениями совершенствования и разработки сварочных установок. Кроме того, при проектировании установок требуются решения проблемы, связанные с работой точных механизмов (вращатели, тележки, манипуляторы, электромеханические приводы, вакуумные вводы, механизмы перемещения электронно-лучевых пушек, устройства подачи присадочных материалов, механизмы сборки изделий в камере и др.) в условиях вакуума, а также повышенной температуры, напыления, разбрызгивания и рентгеновского излучения из зоны сварки.

— Данные о методике проектирования такого оборудования отсутствуют, а заимствование опыта смежных областей (таких, как вакуумная техника, вакуумная металлургия и др.) позволяет сформулировать лишь некоторые общие рекомендации по их конструированию. Опыт проектирования и внедрения установок для электронно-лучевой сварки показывает необходимость проведения в этой области специальных теоретических и экспериментальных исследований в направлении решения задач механизации и автоматизации технологического процесса ЭЛС и вспомогательных операций диагностики оборудования с максимальным применением микропроцессорных систем управления и ЭВМ.

— Разработка унифицированных механизмов, узлов, блоков и модулей с целью всемерного применения модульного принципа конструирования позволит агрегатировать типоразмерный ряд установок для ЭЛС, отличающихся значениями параметров и назначением. В первую очередь следует унифицировать: откачные системы, вакуумную арматуру (затворы, клапаны, натекатели, вакуумные вводы и др.), электромеханические, гидравлические и пневматические приводы, приспособленные для работы в высоком вакууме и др.

— К числу перспективных работ, обеспечивающих формирование электронных пучков, следует отнести дальнейшее совершенствование электронно-оптических систем

сварочных пушек и создание модификаций источников питания на базе универсальных источников для использования в различных отраслях промышленности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акопянц К. С., Зубченко Ю. В. Методика расчета электронно-оптической системы сварочной пушки // Автомат. сварка. 1979. № 11. С. 33—36.
2. Гинзбург В. Е. Оптимизация расчетной модели ЭОС с точки зрения использования ЭВМ // Методы расчета электронно-оптических систем. М.: Наука, 1977. С. 12—19.
3. Казимиров Н. Н., Лоскутов Г. А. Переходные процессы в источнике питания при погасании разряда в сварочной пушке // Автомат. сварка, 1983. № 11. С. 41—43.
4. Методика расчета допустимых нестабильностей основных параметров источников питания мощных сварочных пушек / А. А. Кайдалов, Ю. В. Зубченко, Г. А. Шилов, В. Е. Локшин // Автомат. сварка. 1984. № 7. С. 8—13.
5. Молоковский С. И., Сушков А. Д. Интенсивные электронные и ионные пучки. Л.: Энергия, 1972. 272 с.
6. Мощная электронно-лучевая сварочная пушка с плазменным эмиттером / С. И. Белюк, Б. М. Демидов, А. А. Каплан и др. // Автомат. сварка. 1982. № 1. С. 74—76.
7. Оборудование для электронно-лучевой сварки / А. И. Чвертко, О. К. Назаренко, А. И. Некрасов, А. М. Святский. Киев: Наукова думка, 1973. 408 с.
8. Оптимизация параметров ЭОС мощной сварочной электронной пушки / А. Н. Седов, Н. Г. Сушкин, В. Е. Гинзбург, В. Н. Журавлев // Тр. МЭИ. 1979. Вып. 411. С. 57—66.
9. Пипко А. И., Плисковский В. Я., Пенчко Е. А. Конструирование и расчет вакуумных систем. М.: Энергия, 1970. 504 с.
10. Седов А. Н., Гинзбург В. Е., Курило В. П. Расчетная модель электронно-оптических систем сварочных пушек // Тр. МЭИ. 1979. Вып. 411. С. 53—57.
11. Тенденции развития электронно-лучевой сварки / Б. Е. Патон, В. Н. Бернадский, О. К. Назаренко и др. // Автомат. сварка. 1976. № 10. С. 1—8.
12. Чвертко А. И., Некрасов А. И. Манипуляторы установок для электронно-лучевой сварки // Автомат. сварка. 1989. № 3. С. 64—69.
13. Шиллер З., Гайзиг У., Паниер З. Электронно-лучевая технология. М.: Энергия, 1980. 528 с.
14. Экспериментальное исследование ЭОС мощной сварочной электронной пушки с минимальным предметом / Г. Н. Сушкин, А. Н. Седов, А. С. Некрасов, В. Г. Янкин. 1979. Вып. 411. С. 42—49.
15. Электронно-лучевая сварка / О. К. Назаренко, А. А. Кайдалов, С. Н. Ковбасенко и др. Киев: Наукова думка, 1987. 248 с.
16. Электронно-лучевая сварочная аппаратура ЭЛА-60/60 мощностью 60 кВт / В. Е. Локшин, Ю. В. Зубченко, М. И. Трегубов, В. Е. Гинзбург // Автомат. сварка, 1980. № 6. С. 36—40.
17. Dobeneck D., Steigermald K. H. Electron beam machining the process and its industrial application // Conf. Elec. Met. h. Mach Form and Coat. London. 1975. P. 11—19.
18. Elektronenstrahl — Schweissmaschinen ESWP/12—2//Zeybolold — Heraeus. Hanau: 1976. 4S.
19. Gregor W. EBW of the first AH-56A (Cheyenne) helicopter rotor hubs // Weld. J. 1969. N 31. P. 97—100.
20. Langmuir D. B. Theoretical limitations of cathode-ray tubes. // Proc. IRE. 1973. N 25. P. 977—991.
21. Zeybold — Heraeus GmbH A130 CD. Production system for single compact disc metallization // S. J., S. a. 1980. P. 6.
22. Scikry. Machine a Souder par faisceau d'electrons type EEr3. S. J., S. a. 1983. P. 110.
23. Techmeta. Bombardement electronique // S. J. 1977. S. a. 1980. P. 20.
24. Trillwood R. Small component electron beam welding // Weld. and Met. Fabr. 1970. Vol. 3. P. 116—117.
25. Wiesner P. Elektronen — Strahlschweissan-lage Paton // Zis-700 // Schweisstchn. D. D. R. 1974. Bd. 4. N 9. S. 422.

Глава 2

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ ВИДОВ СВАРКИ, НАПЛАВКИ И РЕЗКИ

2.1. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПЛАЗМЕННОЙ СВАРКИ, НАПЛАВКИ И РЕЗКИ

Оборудование (установки, машины) для плазменных процессов сварки, наплавки и резки состоит из плазменной аппаратуры и механизмов, обеспечивающих перемещение плазмотрона относительно обрабатываемого изделия. Оно может функционировать в составе автоматизированных линий (станов). Плазменные установки представляют собой комплекты из плазмотрона (плазменной горелки), источника его питания и системы управления электрическими и газовыми параметрами плазменной дуги. Установки для сварки и наплавки кроме плазменных установок обычно комплектуются механизмами подачи присадочной проволоки или (в случае наплавки) порошковыми дозаторами и механизмами колебания плазмотрона. Основные составляющие плазменной аппаратуры (плазмотрон, источник питания, система управления) при всем их многообразии имеют ряд общих схемных и конструктивных решений.

Плазмтроны для сварки, наплавки и резки металлов представляют собой сочлененные в едином корпусе изолированные друг от друга катодный и слововой узлы. Электрический ток, охлаждающая вода, рабочий и защитный газы подводятся к плазмтрону по кабель-

шланговому пакету, который стыкуется с плазмотроном либо внутри рукоятки ручной горелки, либо посредством штуцерных соединений, расположенных в верхней части механизированного плазмотрона.

В плазмотронах для сварки и наплавки в качестве рабочего и защитного газов используются в основном аргон (реже гелий), а в качестве катода — тугоплавкий, стойкий к инертной среде вольфрамовый стержень, закрепленный в цанговом зажиме или впаянный в медный водоохлаждаемый катододержатель. Плотность тока в канале сопла, условно определяемая как $j = \frac{4I}{\pi d^2}$ (I — сила тока дуги, d — диаметр канала сопла), обычно невысока (7...14

А/мм² на токах 200...300 А), чем обусловлено формирование слабообжатой плазменной дуги, обеспечивающей спокойный (без выплесков) процесс сварки или наплавки.

В плазмотронах для резки в качестве рабочего газа используется в основном сжатый воздух, а в качестве материала катода — стойкий в кислородсодержащей среде циркониевый или гафниевого стержень, запрессованный в медный легкосменный катододержатель. Плотность тока в канале сопла, обуславливающая формирование жесткой интенсивно обжатой дуги с высокими режущими свойствами в плазмотронах для ручной резки составляет 25...30 А/мм², а в плазмотронах для механизированной резки 50...60 А/мм² на токах 200...300 А. К плазмотронам для резки предъявляют повышенные требования по точности сборки и соосности катодного и соплового узлов.

Высокие технологические показатели плазменных процессов сварки, наплавки и резки достигаются при определенной взаимосвязи между геометрией катодно-сопловой камеры плазмотрона, формирующей столб дуги, и параметрами режима работы плазмотрона (тока, расхода газа).

Источники электропитания плазмотронов для сварки и наплавки выполнены на базе сварочных выпрямителей с падающими внешними вольт-амперными характеристиками (ВАХ) с повышенным напряжением холостого хода (до 80 В). Источники питания для ручной воздушно-плазменной резки (ВПР) построены по принципу сварочных выпрямителей с падающими ВАХ, но с напряжением холостого хода до 300 В. Кремниевые вентили и трехфазные трансформаторы с повышенным рассеянием (рис. 2.1, а) обуславливают простоту, надежность и невысокую стоимость установок, но сравнительно низкое качество резки.

Выпрямители в аппаратах для механизированной ВПР, предназначенных в основном для комплектации установок с программным управлением, ввиду повышенных требований

к качеству резки обладают высокими показателями статических и динамических характеристик (стабильность тока, быстроедействие его управления, плавное регулирование и нарастание при включении дуги и пр.). Источники построены по принципу управляемых тиристорных выпрямителей с обратными связями по току и напряжению дуги (рис. 2.1, б); внешние ВАХ таких выпрямителей крутопадающие. При ручной резке металлов больших толщин (свыше 100 мм) рабочее напряжение дуги возрастает до величины, близкой к допустимой. Выпрямители, построенные на резонансе индуктивных и емкостных элементов силовой цепи (рис. 2.1, в) обеспечивают высокое соотношение рабочего напряжения и напряжения холостого хода при вертикальных ВАХ.

Система управления состоит из пульта и, при необходимости, шкафа управления, в которых размещены устройство поджига дуги, регуляторы расхода газа, электроблокировки, отсекатели и другие элементы водяных и газовых коммуникаций, коллектор кабель-шлангового пакета плазмотрона, разъем электрокабеля для подключения к источнику питания. На пульте расположены приборы контроля и регулирования параметров плазменного процесса. В установках для ручных плазменных процессов пульт управления чаще всего встроен в корпусе источника питания, а в установках для механизированных процессов — вмонтирован в панель управления установок.

Рассмотрим наиболее распространенные установки для плазменных процессов.

Установки для плазменной сварки выпускают двух типов: для ручной сварки УПС-301; для механизированной сварки УПС-503. Техническая характеристика установок представлена в табл. 2.1. Установка УПС-301 (рис. 2.2) предназначена для сварки на постоянном токе прямой полярности меди и ее сплавов толщиной 0,5...3 мм; коррозионно-стойкой стали толщиной 0,5...5 мм и на постоянном токе обратной полярности алюминия и его сплавов толщиной 1...8 мм; может быть использована для ручной аргоно-дуговой сварки.

Наличие переносного пульта позволяет приблизить его к сварщику, облегчает зажигание дуги, настройку расхода газа и силы сварочного тока. Установка обеспечивает работу в трех режимах: непрерывном, импульсном, точечном. Длительность импульса и паузы регулируется в пределах 0,1...1 с.

Установка УПС-503 предназначена для сварки в среде инертных газов на постоянном токе прямой полярности меди и ее сплавов, коррозионно-стойкой стали толщиной 3...6 мм и на постоянном токе обратной полярности алюминия и его сплавов толщиной 5...16 мм.

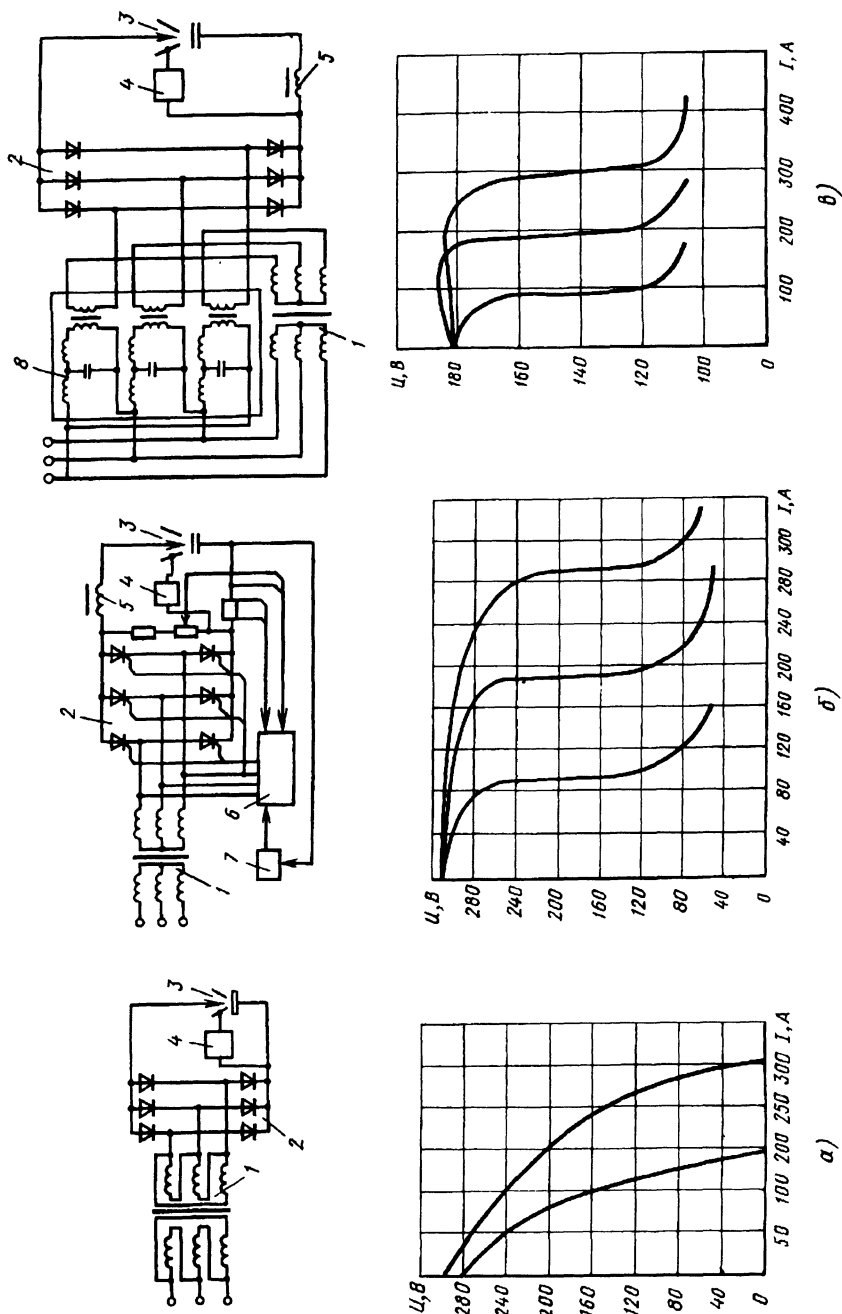


Рис. 2.1. Принципиальные схемы и статические характеристики U от I выпрямителей:

a — на трансформаторе с разнесенными обмотками; b — тиристорного; $в$ — на индуктивно-емкостных силовых элементах; 1 — трансформатор; 2 — выпрямительный мост на тиристорах; 3 — плазматрон; 4 — блок поджига дуги; 5 — блок поджига дуги; 6 — фазосдвигающее устройство; 7 — блок управления; 8 — индуктивно-емкостный преобразователь

2.1. Техническая характеристика универсальных установок для плазменной сварки

Параметры	УПС-301	УПС-503
Номинальная сила рабочего тока, А	315 при ПВ-60%	500 при ПВ-100%
Сила тока, А	50... 315	100... 500
Напряжение, В:		
холодного хода	80	80
рабочее	20... 40	20... 40
Потребляемая мощность, кВт · А	25	50
Расход газа (аргона), л/ч:		
плазмобразующего	70... 120	100... 250
защитного	500... 1000	600... 1500
Расход охлаждающей воды при давлении на входе 0,25 МПа, л/ч	75	240
Скорость движения самоходной головки, м/ч	—	5... 100
Диаметр присадочной проволоки, мм:		
стальной	—	1... 3
алюминиевой, медной	—	2... 3
Габаритные размеры, мм:		
источника питания	870×680×1050	(700×670×880)×2
колонный с направляющей	—	3450×2000×2800
пульта управления	340×380×520	—
шкафа управления	—	460×630×2600
Масса, кг, не более	325	2900

В качестве примера специализированной установки для плазменной сварки можно привести трубосварочный стан ЛДГ-43, созданный для производства сварных прямошовных особо тонкостенных труб из коррозионно-стойкой стали. Техническая характеристика стана приведена ниже.

Свариваемые толщины, мм	0,17...0,25
Диаметр свариваемых труб, мм	4...10
Скорость сварки, м/ч	420...720
Сила сварочного тока, А	20...100
Расход плазмобразующе- го газа (аргона), л/мин	4...7
Расход защитного газа (аргона), л/мин	2...4
Потребляемая мощность, кВт	8
Габаритные размеры, мм	5240 × 2630 × 1630
Масса, кг	2500

Основа стана — трубосварочный автомат, состоящий из формирующего устройства, сварочной камеры с размещенной в ней плазменной горелкой и тянущего устройства. В состав стана также входят бухторазматыватель ленты и бухтонаматыватель сваренной трубы.

Установки для плазменной наплавки в зависимости от объема производства наплавляемых деталей, требований к уровню автоматизации технологического процесса и других факторов могут быть выполнены как универ-

сальные (позволяющие наплавлять детали разной формы), так и как специализированные, предназначенные для наплавки деталей одного типа: клапанов двигателей внутреннего сгорания, дисков и седел трубопроводной арматуры, соединительных элементов бурильных труб и др.

Для плазменной наплавки порошками наибольшее распространение получили универсальные установки УПН-303, Об-2184 и УПНС-304 (табл. 2.2). Они имеют производительность наплавки 5...6 кг/ч. Установка УПН-303 имеет поворотную колонну с направляющей балкой, подвесную самоходную головку и манипулятор изделия. Установка комплектуется сменными плазмотронами для наплавки постоянным током прямой или обратной полярности. Номинальная грузоподъемность манипулятора 500 кг, максимальный диаметр изделия, закрепляемого на планшайбе манипулятора 1500 мм.

Установка Об-2184 (рис. 2.3) предназначена для наплавки наружных цилиндрических поверхностей диаметром менее 400 мм и длиной до 800 мм, торцовых поверхностей дисков диаметром менее 350 мм и толщиной 300 мм, плоских поверхностей деталей максимальных размеров 800 × 500 × 400 мм. Установка может быть использована для наплавки конических и фасонных деталей. В состав установки входят механизмы перемещения плазмотрона и манипулятор обрабатываемого изделия. Установка УПНС-304 предназначена для ручной плазменной наплавки и сварки постоянным

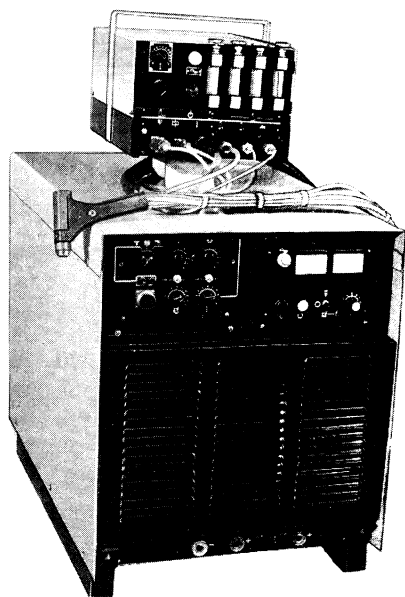


Рис. 2.2. Установка для плазменной сварки УПС-301

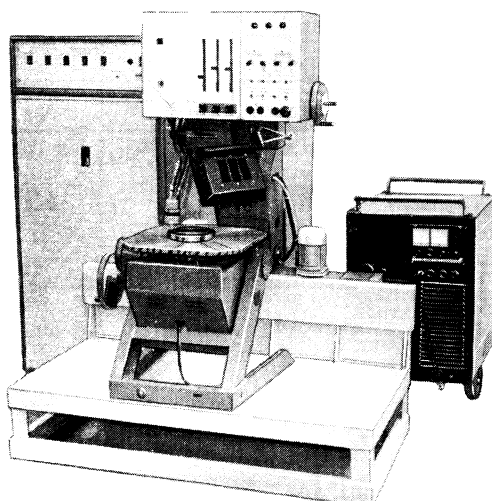


Рис. 2.3. Установка для плазменной наплавки Об-2184

током прямой и обратной полярности. В ряде случаев может быть использована для аргонодуговой сварки. Она имеет стрелу с балансиром, облегчающую работу сварщика и расширяющую радиус действия установки, водяное охлаждение плазматрона.

Специализированные установки УД-417 и УД-307 (табл. 2.3) предназначены для плазменной наплавки с присадкой порошковой проволоки диаметром 2,0...3,5 мм или порошковой ленты сечением 2,5 × 5,0 или 4 × 8 мм. Первая из них используется для наплавки деталей типа "вал", вторая — для наплавки соединительных элементов бурильных труб.

Установки для плазменной резки серийно выпускаются только воздушно-плазменные (ВПР) механизированной резки "Киев-6М" и АПР-404, источники питания которых построены по схеме, показанной на рис. 2.1, б и ручной резки УПР-203 и "Киев-4М", источники питания которых построены по схемам, показанным на рис. 2.1, а и 2.1, в соответственно.

В установках для ручной резки металлов малых толщин, рассчитанных на силу рабочего тока 20...80 А, плазматроны конструктивно выполнены с воздушным охлаждением теплонагруженных элементов и подвижным сопловым узлом, обеспечивающим контактный поджиг дуги; источники питания их выполняются по схеме, показанной на рис. 2.1, а. Установка подобного типа "Киев-1" (рис. 2.4) рассчитана на резку металлов толщиной до 5 мм.

Технические характеристики установок для плазменной резки представлены в табл. 2.4.

2.2. Техническая характеристика универсальных установок для плазменной наплавки

Параметры	УПН-303	Об-2184	УПС-304
Номинальная сила рабочего тока (при ПВ-100%), А	315	315	315
Регулируемая сила тока, А	50... 315	50... 315	40... 315
Производительность порошкового питателя, кг/ч, менее	12	15	—
Скорость перемещения самоходной головки, м/ч	0,2... 20	3... 6	—
Частота вращения планшайбы манипулятора, мин ⁻¹	0,05... 2,5	0,1... 5	—
Размах колебаний плазматрона, мм	≤60	≤25	—
Габаритные размеры, мм	3450×2800× ×2000	1800×1160× ×1850	1200×680× ×2800
Масса, кг	2820	800	400

2.3. Техническая характеристика специализированных установок УД-417 и УД-307 для плазменной наплавки

Параметры	УД-417	УД-307
Размеры наплавляемых деталей, мм:		
диаметр	500... 300	57... 83
длина в центрах	100... 800	130... 315
на люнетах, менее	1200	—
Масса наплавляемых деталей, кг (не более):		
в центрах	200	6
на люнетах	1600	—
Сила тока наплавки, А	120... 450	120... 350
Скорость подачи присадочного материала (регулировка плавная), м/ч	15... 75	9... 90
Размах колебаний плазмотрона, мм	0... 20	0... 50
Расход аргона, л/ч	600... 900	900... 1200
Габаритные размеры, мм	1800×1300×1600	3500×2000×2000
Масса, кг	650	1100

Расход воздуха в установках ВПР составляет обычно 1...3 м³/ч (при давлении в сети 0,4...0,6 МПа), а воды — 0,3...0,5 м³/ч (при давлении в сети 0,25...0,4 МПа).

Плазменные установки непрерывно совершенствуются: повышается ресурс работы сменных узлов плазмотронов (катодов и сопл); снижается удельное энергопотребление, улучшаются массогабаритные, эргономические характеристики и расширяются их технологические возможности.

В качестве средств механизации при плазменной резке применяют следующие маши-

ны: портальные с ЧПУ для фигурного раскроя листового проката, шарнирно-консольные с магнитным копиром для фигурной разделки листа малых размеров (до 1,5 × 1,5), переносные типа самоходных тележек, перемещаемых по направляющим, для прямолинейных протяженных резов. Кроме того, применяются разнообразные виды специализированных машин узкого назначения для резки профильного проката и различных изделий.

Плазменные машины портального типа по конструкции механической части и системы управления унифицированы с машинами для кислородной резки. Однако отличаются от последних более высокими скоростными показателями. Характеристики портальных машин с ЧПУ для плазменной резки приведены в табл. 2.5.

Ввиду того, что процесс плазменной резки сопровождается высоким уровнем шума и газопылевыведением, машины для резки должны эксплуатироваться только в специально оборудованных цеховых помещениях со звукопоглощающей облицовкой стен и потолка. Для защиты от высокочастотного шума в процессе плазменной резки рабочее место сварщика вынесено в специальную кабину управления. Машины должны оснащаться вытяжной вентиляцией, отсасывающей из-под листа в зоне резки продукты сгорания и испарения. Вентиляционная система должна предусматривать систему очистки от вредных выбросов озона, оксида азота, твердых частиц. Производительность вентиляции должна быть не менее 18000 м³/ч.

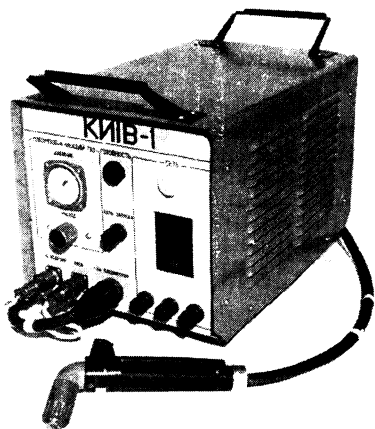


Рис. 2.4. Установка для плазменной резки "Киев-1"

2.4. Техническая характеристика установок для плазменной резки

Параметры	“Киев-6М”	АПР-404	“Киев-4М”	УПР-203	“Киев-1”
Номинальная сила рабочего тока, А	315	400	315	200	40
Регулируемая сила тока, А	50... 350	200... 500	100, 200, 315	100... 200	—
Напряжение холостого хода, В	300	320	180	300	180
Рабочее напряжение, В	100... 270	140... 270	100... 200	130... 180	80... 100
Потребляемая мощность, кВт · А	105	128	65	63	6,5
Масса, кг	750	1050	800	440	35
Максимальная толщина разрезаемого металла, мм	150	130	90	50	5
КПД	0,9	0,8	0,9	0,8	0,8
Коэффициент мощности	0,9	0,85	1,0	0,7	0,7

2.5. Техническая характеристика порталных машин с ЧПУ для плазменной резки

Параметры	“Искра-2,5Пл”	“Комета-2,5Пл”	“Комета-3,2Пл”	“Комета-3,6Пл”	“Гранат ППлКЦ-2,5”	“Енисей ППлЦ-2,5”
Наибольшие размеры обрабатываемых листов, мм:						
длина	8000	8000	8000	8000	10000	10000
ширина	2500	2500	3200	3600	2500	2500
толщина:						
при резке стали и алюминия с края листа	10...100	10...100	10...100	10...130	10...130	50
при резке с пробивкой меди	40	40	40	40	40	40
Точность воспроизведения заданного контура, мм	±0,35	±0,35	±0,35	±0,35	±0,35	±1,0
Скорость перемещения резака, мм/мин	50...6000	50...12000	50...12000	50...12000	70...6000	70...6000 (10000)
Число суппортов	2	2	2	2	1	1
Габаритные размеры машины, мм, не более	5500×11760×2200			4700×11600×1860		3300×12000××1650
Масса в комплекте поставки, кг	6300	8810	9415	9415	5420	-

2.2. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ МИКРОПЛАЗМЕННОЙ СВАРКИ

Основным оборудованием для микроплазменной сварки являются аппараты и установки с источниками питания и плазмотронами. В зависимости от степени механизации и условий эксплуатации в комплект оборудования могут входить: механизм подачи присадочной проволоки, вращатель, механизм продольного перемещения плазмотрона либо изделия, тех-

нологическая оснастка для сварки различных типов соединений, автономная система охлаждения и др.

Все источники питания для микроплазменной сварки состоят из следующих основных узлов: силовой блок постоянного или переменного тока, блок дежурной дуги и устройство ее поджига. В источнике размещены элементы коммуникаций по воде и газам, элементы автоматики: гидравлические реле, электрогазоплапаны, ротаметры, контакторы и др.

2.6. Техническая характеристика аппаратов и установок для микроплазменной сварки

Параметры	МПУ-4	Н-146	Н-155	И-167	УМПС-0301
Продолжительность нагрузки ПН, %	60	60	60	100	60
Номинальная сила сварочного тока, А	30	60	40	125	40
Регулируемая сила сварочного тока, А, при полярности:					
прямой	3...30	12...60	10...40	30...150	3...42
обратной	1,5...15	6...30	5...20	—	—
Напряжение холостого хода, В, не более, при полярности:					
прямой	80	70	80	180	160
обратной	100	70	140	—	—
Диапазон регулирования длительности импульса и паузы, с	0,02...0,50	—	—	0,04...0,99	0,10...0,99
Потребляемая электрическая мощность, кВт · А, менее	3,5	7	8	15	2,2
Время, с:					
плавного гашения дуги сварочного тока	—	—	0,5...5,0	0...3,0	0...3,0
отключения напряжения холостого хода	—	—	≤1	≤1	≤1
Комплектуемый плазмотрон *	УСДС.Р-45	ОБ-2592; ОБ-2628	ОБ-2628	ОБ-2628	ОБ-2592
Масса, кг	≤150	≤175	≤153	≤250	≤86

* Взаимозаменяемость плазмотронов к различным типам аппаратов и установок ограничена только несоответствием предельных сил тока сварки.

В табл. 2.6 приведена техническая характеристика аппаратов и установок для микроплазменной сварки.

Установка МПУ-4 предназначена для сварки черных, цветных, легких и тугоплавких металлов и сплавов малых толщин (0,15...1,5 мм) в зависимости от физико-химических свойств свариваемых металлов и типа шва на постоянном и импульсном токах прямой и обратной полярности. Ступенчатая регулировка силы сварочного тока осуществляется переключением катушек трехфазного сварочного трансформатора, плавная — их перемещением.

Аппарат Н-146 предназначен для сварки черных и цветных металлов, в том числе алюминия и его сплавов, толщиной менее 2,5 мм на постоянном и переменном токе. Аппарат снабжен встроенной системой охлаждения и может быть использован как в стационарных, так и в полевых условиях. Регулировка сварочного тока осуществляется перемещением подвижных катушек однофазного сварочного трансформатора.

Аппарат Н-155 предназначен для сварки переменным асимметричным током алюминия, магния и их сплавов при толщине 0,4...2,5 мм. Безынерционное регулирование сварочного тока производится путем изменения угла открытия силовых тиристорov, раздельно включенных в цепи электрода и плазмообразующего сопла. Аппарат обеспечивает

плавное нарастание и снижение силы сварочного тока, высокую устойчивость сварочной дуги вследствие ускоренного перехода сварочного тока через нулевое значение и инжентирования при этом в дуговой промежуток стабилизирующих импульсов напряжения.

Аппарат И-167 предназначен для сварки черных и цветных металлов (кроме алюминия, магния и их сплавов) толщиной 0,5...3 мм в непрерывном и импульсном режимах тока прямой полярности. Принцип работы аппарата основан на формировании крутопадающей (близкой к "штыковой") внешней вольт-амперной характеристики сварочного трансформатора в результате подмагничивания постоянным током магнитного шунта, расположенного между первичными и вторичными обмотками трехфазного сварочного трансформатора. Аппарат характеризуется пониженными пульсациями сварочного тока и высокими нагрузочными параметрами (ПН-100%), что позволяет его применять в составе автоматических линий и механизированных участков при высоких скоростях сварки. В аппарате обеспечивается снятие напряжения с плазмотрона при преднамеренном или случайном обрыве дежурной дуги, а также плавное гашение дуги (заварка "кратера") в конце процесса сварки.

Установка УМПС-0301 предназначена для сварки черных и цветных металлов (кроме алюминия, магния и их сплавов) толщиной

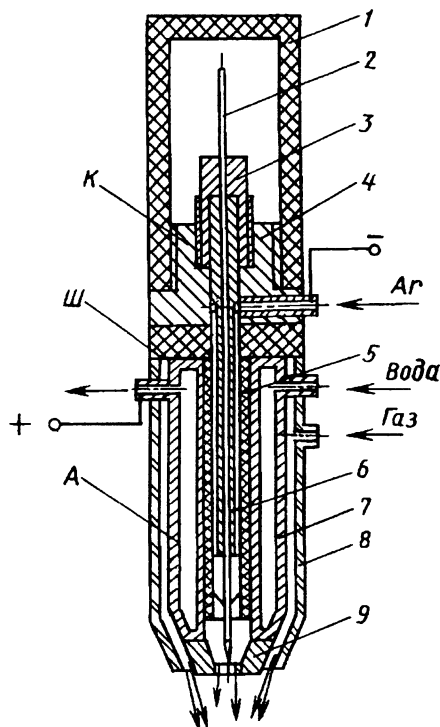


Рис. 2.5. Плазмотрон

0,1...1,5 мм в непрерывном и импульсном режимах горения дуги. Принцип безынерционного плавного регулирования сварочного тока в установке основан на изменении индуктивного сопротивления одного из двух трехфазных дросселей переменного тока, включенных последовательно со вторичными обмотками трехфазного сварочного трансформатора, имеющего жесткую вольт-амперную характеристику. В установке предусмотрено обеспече-

ние плавного гашения сварочной дуги (заварка "кратера") в конце процесса сварки, а также снятие напряжения с плазмотрона при преднамеренном или случайном обрыве дежурной дуги. Установка снабжена выносным пультом дистанционного управления.

Требования, предъявляемые к конструкции плазмотрона, достаточно высоки. Он должен обеспечивать: стабильное горение дежурной и основной дуги в рабочем диапазоне токов; диэлектрическую прочность при высокочастотном поджиге дежурной дуги; надежную защиту металла сварочной ванны от воздействия атмосферы; безотказную работу наиболее теплонагруженных элементов — электрода и плазмообразующего сопла, а в случае необходимости простоту их замены; возможность точной центровки электрода относительно канала плазмообразующего сопла и регулировки его продольного перемещения; удобство и маневренность при сварке.

Типовая схема плазмотрона представлена на рис. 2.5. Основой конструкции являются катодный *К* и анодный *А* узлы, разделенные между собой изолирующей шайбой *Ш*. В катодный узел входят: электрод 2, цанга 6, вкладыш 3 регулировки вылета электрода, верхний корпус 4 с коммуникациями подвода тока и плазмообразующего газа—аргона. Анодный узел включает: плазмообразующее 9 и защитное 8 сопла; нижний корпус 7 с камерой охлаждения и коммуникациями подвода тока, защитного газа и охлаждающей воды. Для изоляции цанги 6 крепления электрода и нижнего корпуса 7, находящихся под разными потенциалами, между ними установлена изолирующая втулка 5. Сверху катодный узел закрыт крышкой 1. В табл. 2.7 приведена техническая характеристика серийно выпускаемых плазмотронов. Наиболее широкое применение нашли плазмотроны типа УСДС. Р-45 и Т-169, входящие соответственно в комплект установок МПУ-4 и выпускаемые ранее для микроплазменной сварки алюминия А-1281, А-1343, Н-136 и др. Плазмотроны ОБ-2592 и

2.7. Техническая характеристика плазмотронов для микроплазменной сварки

Параметры	УСДС.Р-45	Т-169	ОБ-2322	ОБ-2592	ОБ-2628
Максимальная толщина свариваемой за один проход стали Х18Н10Т, мм	0,15...1,0	0,3...2,5	0,2...2,8	0,15...1,8	0,2...3,0
Сила тока, А:					
сварки прямой полярности	1,5...30	5,0...100	3,0...120	1,5...60	3...150
дежурной дуги	3...8	3...10	2...20	2...10	3...10
Диаметр вольфрамового электрода, мм	0,8; 1,6	1,2; 2,0	2,0	1,6; 2,0	2,0; 3,0
Диаметр, мм:					
канала плазмообразующих сопел	0,8; 1,2	1,0; 1,5; 2,0;	0,8; 1,5; 2,0;	0,8; 1,0; 1,5	1,5; 2,0; 2,5
отверстий защитных сопел	12	2,5 10	2,5 8, 10, 14	6	10, 5
Расход охлаждающей воды при давлении 400 кПа, м/с	$(6...9) \cdot 10^{-6}$	$(10...15) \cdot 10^{-6}$	$(1,5...5) \cdot 10^{-5}$	$(3...4) \cdot 10^{-5}$	$(6...7) \cdot 10^{-5}$
Масса (без кабелей), кг	0,32	0,42	0,4	0,3	0,4

ОБ-2628 отличаются новыми конструкторскими решениями, улучшенными техническими характеристиками, удобством в эксплуатации и обслуживании, ими комплектуются новые источники УМПС-0301, И-167, Н-155.

Специализированное оборудование для механизации и автоматизации процессов микроплазменной сварки серийно не изготавливается. Для этих целей используются аппараты и установки доукомплектованные универсальным стандартным оборудованием либо специальным оборудованием и технологической оснасткой целевого назначения.

2.3. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ДУГОВЫХ СПОСОБОВ КОНДЕНСАТОРНОЙ СВАРКИ

Оборудование для ударной конденсаторной сварки. Оборудование для различных способов ударной конденсаторной сварки (УКС) тонких проволок и шпилек со всеми их разновидностями состоит из сварочного инструмента, источника питания конденсаторного типа и схемы управления. Принципиальных отличий в устройстве оборудования не имеется. Однако в каждой конкретной установке, аппарате, станке учитываются особенности реализуемой технологии (уровень давления, способ возбуждения дуги и др.).

Вследствие специфических особенностей ударной конденсаторной сварки, связанных с высоким напряжением зарядки конденсаторов, большим числом изменяемых параметров режима сварки, высокой стабильностью качества сварных соединений, оборудование для реализации этих способов, выпускаемое серийно или изготавливаемое небольшими партиями, обычно специализировано по виду продукции. В основном, это установки: автоматы и полуавтоматы. В табл. 2.8 приведена техническая характеристика некоторых установок для УКС.

Установка для УКС включает: регулятор напряжения 1, зарядный резистор 2, коммутатор зарядного тока 3, выпрямитель 4, батарею конденсаторов 5 с регулируемой емкостью, разрядное сопротивление 6 (отсутствует в установках для приварки шпилек), коммутатор разрядного тока 7, ударный механизм 9 (рис. 2.6). Взаимодействие устройств, коммутирующих заряд и разряд конденсаторов, и спускового устройства ударного механизма контролируется системой управления СУ 8. Кроме принципиально необходимых элементов установки для ударной конденсаторной сварки могут содержать узлы повышения безопасности обслуживания и надежности работы, например, блокировки, препятствующие свободному доступу к заряженным конденсаторам или запрещающие включение разряда конденсаторов при отсутствии свариваемых деталей.

Все многообразие функциональных узлов изготавливаемого в настоящее время оборудования для УКС можно привести к следующим видам: регуляторы напряжения — автотрансформаторные, стабилизирующие, высоковольтные; зарядные сопротивления — рези-

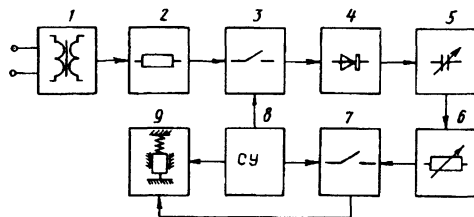


Рис. 2.6. Структурная схема установки для ударной конденсаторной сварки

стивные и емкостные; коммутаторы зарядного и разрядного тока — механические, полупроводниковые; батареи конденсаторов — низковольтные, высоковольтные, из металлобумажных или электролитических конденсаторов; ударные механизмы — пружинные, пневматические, электромагнитные, а также поступательные или маятниковые; спусковые защелки — механические, электромагнитные.

Установки для УКС классифицируют: по степени автоматизации — автоматические, полуавтоматические и ручные; по условиям эксплуатации — стационарные и переносные; по уровню специализации — специализированные и универсальные.

Применяемые в установках зарядные устройства принципиально не отличаются от подобных устройств установок для контактной сварки. Существенные отличия имеются лишь в номинальных значениях емкости и напряжения зарядки конденсаторов, в количестве накопленной энергии.

Выбор конденсаторов для зарядных устройств производится по напряжению их зарядки. В установках, предназначенных для УКС шпилек, применяя низковольтные (до 300 В) электролитические конденсаторы, а в оборудовании для УКС тонкой проволоки — конденсаторы напряжением 300...3000 В.

Разрядные токи (амплитудные значения) в установках для УКС тонкой проволоки редко достигают 1 кА, что вместе с кратковременностью разряда и включением напряжения на разомкнутый разрядный промежуток обуславливает целесообразность применения механических коммутаторов. Кроме того, видимый разрыв разрядной цепи повышает уровень безопасности обслуживания сварочных установок. Еще одно достоинство механической коммутации проявляется при возбуждении дуги пробоем воздушного промежутка при ударной конденсаторной сварке тонкой проволоки, когда полупроводниковые приборы непригодны.

При конденсаторной сварке шпилек сила разрядного тока достигает 10 кА при одновременном увеличении продолжительности горения дуги до нескольких миллисекунд. Для этих условий предпочтительнее полупроводниковые коммутаторы (тиристоры), пропускающие ударный ток указанной силы. Однако их применение вызывает необходимость введе-

2.8. Техническая характеристика установок для УКС

Параметры	ЛА-156*	ВО-808*	5307*	К-543*	К-747МВ ²	Н-130 ²	Н-135 ²
Диаметр свариваемых проволок, мм: медной платиновой никелевой стальной	0,5...0,6 0,4 0,8...1,0	— 0,4...0,5 0,8...1,2	1,0	0,3...1,2 0,3...1,2	— — 2,0...10,0	— — 2,0...6,0	— — 0,8...3,0
Длина свариваемых проволок, мм: медной платиновой никелевой	20...58 4...10 16...70 3900	Менее 16 9 3600	28	До 60	20...100	Менее 30	10...50
Максимальная производительность, сварок/ч	1,3	1,5	—	—	600	600	600
Номинальная мощность зарядного трансформатора, кВт · А	25...800	50...580	2720...4000	50...2050	12000...96000	12000...96000	10000...26000
Регулируемая емкость конденсаторов, мкФ	150...600	0...400	0...127	50...1000	80...300	80...300	80...250
Регулируемое напряжение зарядки конденсаторов, В	20...50	20...50	20...50	5...100	10...60	10...50	10...30
Усилие соударения, Н	Автотрансформаторный Механический						
Регулятор напряжения							
Коммутатор зарядного тока	Высоковольтные < 8						
Конденсаторы							
Разрядное сопротивление, Ом	Металлобумажные 0,5...1,5						
Коммутатор разрядного тока							
Ударный механизм	Пружинный						
Степень автоматизации							
Уровень специализации	Маятниковый Автомат						
Условия эксплуатации							
Габаритные размеры, мм	1540×840× ×1400	1550×1085× ×810	1227×800× ×900	1820×1570× ×1020	950×600× ×725	1450×840× ×1360	490×290× ×695
Масса, кг	720	350	350	113	135	300	35

* Дуговая конденсаторная сварка.

² УКС шпилек.

ния в схему установки ряда дополнительных блокировок, обеспечивающих электробезопасность ее обслуживания.

Важнейшим элементом установок для УКС является механизм соударения сварочной головки или сварочного инструмента [10]. Этот механизм должен иметь минимально возможную массу для обеспечения как надежного возбуждения дуги при напряжениях менее 400 В, так и саморегулирования процесса. Последнее обуславливает также необходимость применения эластичного привода соударения. Стабильность качества сварного соединения может быть достигнута лишь при использовании в сварочной машине пружинного, пневматического или электромагнитного приводов осадки. Подобные приводы осадки позволяют зажиму с привариваемой проволокой тонко следовать изменяющейся в процессе снижения сварочного тока и сближения деталей равнодействующей сил, направляемых в сторону движения (усилие осадки) и тормозящих его (давление паров свариваемых деталей). Рычажный привод, обеспечивая необходимую скорость сближения, развивает постоянное усилие, значительно превышающее усилия, препятствующие движению, и не реагирует самостоятельно на изменение условий в дуге или механизме осадки.

Кроме того, нужно учесть, что процесс возбуждения дуги носит вероятностный характер, т. е. длина дугового промежутка при возбуждении дуги пробоем или взрывом тонкого выступа на стержне или любым другим методом может изменяться в относительно больших пределах. Например, при пробое воздушного промежутка напряжением зарядки конденсаторов 600 В наиболее вероятной длиной дугового промежутка является $58 \pm 5,49$ мкм. Реальная длина промежутка может изменяться в пределах 41...102 мкм, с чем связана возможность существенного отклонения условий горения дуги от средних значений и невозможность точной установки длины хода механизма соударения. Поэтому механизм соударения сам должен обеспечивать слежение за металлом свариваемых деталей в процессе их осадки. Жесткий рычажный привод сформулированным условиям не отвечает.

В механизмах соударения чаще всего применяют пружинные устройства, обеспечивающие необходимую стабильность качества сварных соединений (прочность, структуру, внешний вид). В зависимости от типа соединения, диаметра привариваемой проволоки и конструктивной компоновки применяют поступательно перемещающиеся зажимы или подвижные зажимы маятникового типа.

При УКС проволоч равного сечения, приварке тонкой проволоки (при напряжении менее 500 В) к деталям различной конфигурации или при необходимости очень точной центровки свариваемых деталей, предпочтительным является маятниковое движение зажима. Маятниковый механизм соударения, действующий в вертикальной плоскости, по-

зволяет управлять отдельно скоростью соударения и усилием осадки, если заменить его пружинный привод падающим грузом. Скорость соударения определяется высотой подъема маятника, а усилие осадки (при постоянной высоте подъема) — массой подвижного зажима со сменными дополнительными грузами. Для максимального использования кинетической энергии маятника, переходящей в работу деформации привариваемой проволоки, линия соударения должна быть горизонтальной.

При УКС тонкой проволоки с напряжением зарядки конденсаторов выше 500 В, а также при конденсаторной сварке шпилек, по ряду причин, связанных с формой оплавления детали развитого сечения при приварке к ней проволоки и стержней, предпочтительнее поступательное перемещение зажима. Подвижный зажим механизма соударения установок УКС во взведенном состоянии наиболее просто зафиксировать защелкой механического типа, которая может выдергиваться вручную, электромагнитом или кулачком (в автоматической установке). Однако в случае, когда длина свободного хода зажима до соударения не превышает 2 мм, снижается стабильность процесса ввиду неконтролируемого трения защелки со штоком (или маятником) в начальный период движения. Тогда, например, в установках для сварки шпилек, несмотря на усложнение схемы и конструкции аппарата, подвижный зажим удерживают во взведенном состоянии электромагнитом.

Типичным примером оборудования для УКС тонких проволок является универсальная установка К543 [19]. Универсальная установка состоит из монтажного стола СМ-2, на котором устанавливается одна из трех сменных головок: вертикальная для УКС проволоки с деталью, имеющей развитую поверхность, горизонтальная для УКС одножильных проволок между собой и многожильных проводов с одножильными и головка с горелкой для дуговой конденсаторной сварки (ДКС). Кроме того, на этом столе находятся: пульт управления, микроскоп МБС-2, осветительная лампа, электромагнитный отсекаль газа и ротаметр. Электрическая часть машины размещена в шкафу управления, который приставляется к столу с тыльной его стороны [19].

Вертикальная головка состоит из корпуса 15, закрепленного на плите 2 (рис. 2.7), бобины 17 с проволокой на стойке 14, механизма 7 соударения и осадки на ползуне 16, столика 5 и электромагнита 1. В корпусе размещены рукоятка 3, служащая для перемещения ползуна 16, и система шестерен и валиков. Механизм 7 соударения и осадки состоит из корпуса 20, направляющей 13, рабочей пружины 11, регулировочной гайки 12, штока 10 с зажимом 6, рычага 19 и рукоятки 18 звзвода штока. Шток перемещается в подшипниковом механизме 9. На корпусе ударного механизма соударения и осадки закреплен защитный щиток 21.

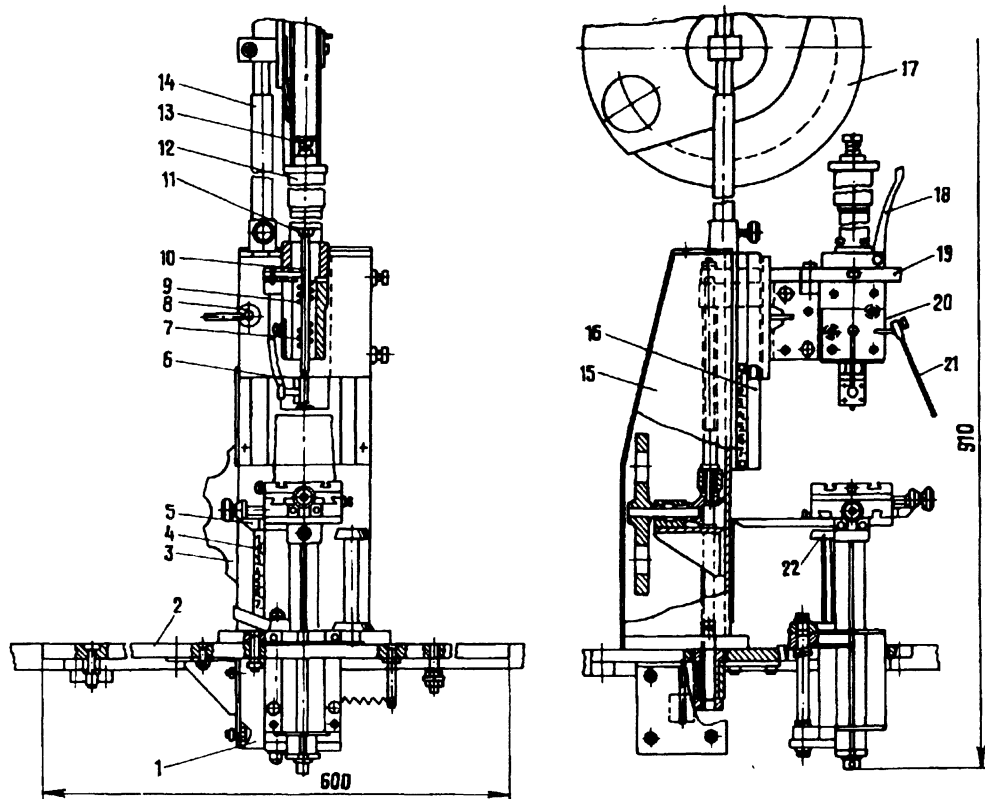


Рис. 2.7. Головка машины K543 для приварки проволоки к детали с развитой поверхностью

Столик 5 служит для установки на нем зажимных устройств для крепления детали, к которой должна быть приварена проволока. Подъем столика осуществляется педалью сварочной установки K543. В верхнем положении он удерживается защелкой, открываемой вручную. Столик опускается до упора в грибок 22, вертикальное положение которого регулируется по шкале 4. Тем самым определяется длина привариваемой проволоки. Электромагнит 1 служит для автоматического сброса штока 10 с выдержкой времени после подачи на напряжения конденсаторов на соединяемые детали. Сброс штока можно осуществить и вручную, оттянув рычаг 19.

Установка первоначального зазора между свариваемыми деталями производится подъемом ползуна 16 с закрепленным на нем ударным механизмом. В заданном положении ползун фиксируется рукояткой 8. Ориентация места приварки на плоскости детали по отношению к оси проволоки производится перемещением столика 5.

Головка для УКС проволоки встык представляет собой ударный механизм, аналогичный ударному механизму, описанному выше, который расположен в горизонтальной

плоскости по одной оси с подобным же штоком с зажимом проволоки, неподвижным во время сварки. Неподвижный зажим имеет только перемещения, предназначенные для выемки сваренной детали и подачи заготовки в зону сварки.

На рис. 2.8 представлена электрическая схема полуавтомата 5307 для приварки стале-медного вывода к танталовому выводу конденсатора K53-1А.

Напряжение на схему подается после включения выключателя $S1$. При этом загорается сигнальная лампа $E3$ "сеть" на пульте управления, напряжение подается на стабилизатор $U1$, автотрансформатор $T2$ и трансформатор $T1$, питающий цепи управления. При включении тумблера $S2$ зажигаются лампы освещения $E1$ и $E2$. При замкнутых крышках станины полуавтомата и кожуха на механизме подачи вывода (микрпереключатели $S3-S5$) и наличии проволоки в механизме подачи ($S6$) включается реле $K4$, которое подготавливает к включению цепи заряда конденсаторов, о чем сигнализирует отключение лампы $E4$.

При нажатии кнопки $S13$ "Высокое напряжение, пуск" включается реле $K2$, первичная обмотка зарядного трансформатора $T3$, лампа

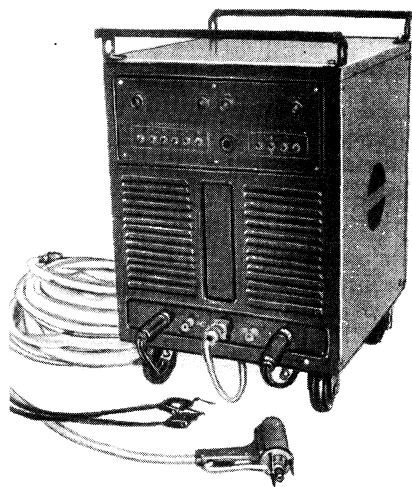


Рис. 2.9. Установка K747MB для приварки шпилек

хранении уровня потребляемой энергии). На K-747MB можно реализовать четыре способа конденсаторной приварки шпилек (рис. 2.10). Сварка с начальным зазором (рис. 2.10, а) применяется для приварки шпилек со взрывающимся выступом к тонкому листу, на его обратной поверхности не должно быть следов сварки, а сварка с начальным контактом (рис. 2.10, б) — для приварки шпилек по размеченной детали (повышается точность приварки) и тонких стержней без подготовки свариваемой поверхности.

При конденсаторной сварке шпилек со вспомогательной дугой (рис. 2.10, в) процесс начинается с контакта между свариваемыми деталями. При включении напряжения вспомогательной дуги одновременно подается напряжение на тянущий электромагнит сварочного пистолета и происходит отрыв шпильки от листа, обуславливающий появление и растяжение вспомогательной слаботочной дуги постоянного тока. После выдержки в течение 0,5 с в замкнутом положении, при котором блок управления производит подготовку к сварке, электромагнит обесточивается, и шпилька под действием пружины начинает возвратное движение. При сближении шпильки с поверхностью привариваемой детали производится разряд конденсаторной батареи, параметры которого практически такие же, как и при сварке со взрывающимся выступом.

Хотя способ конденсаторной сварки позволяет приваривать шпильки к поверхностям, покрытым продуктами коррозии, маслом, влагой или другими электропроводными материалами, толщина или их химический состав может оказать отрицательное влияние на качество сварного соединения. В таких случа-

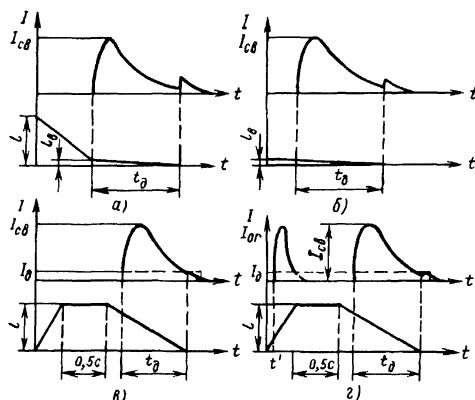


Рис. 2.10. Изменения силы тока $I_{св}$ и перемещения l шпильки при различных способах конденсаторной сварки на установке K747MB ($I_{св}$ — сила сварочного тока; I_d — сила тока вспомогательной дуги; $I_{оч}$ — сила тока дуги очистки; l — длина предварительного зазора, путь соударения; l_b — длина взрывающегося выступа; t — время; t_d — продолжительность горения дуги; t' — момент включения импульса очистки)

ях используют режим сварки "с очисткой" (рис. 2.10, г). На этом режиме на участке отрыва шпильки от листа производится частичный разряд конденсаторов во вспомогательную дугу.

Установка K-747MB состоит из передвижного источника тока И110MB и сварочного пистолета, соединенных сварочным и управляющим кабелями длиной 30 м (для шпилек диаметром менее 6 мм). Сварочный пистолет имеет съемную рукоятку и может быть использован не только при работе в монтажных условиях в качестве ручного инструмента, но и как сварочная головка в стационарной установке.

Установка K-747MB вполне отвечает условиям безопасной работы и обслуживания. Перед сваркой потенциал на шпильке равен нулю до тех пор, пока пистолет не опирается на электропроводящую поверхность детали и пока не будут нажаты (двумя руками) контакт микропереключателя на рукоятке и дополнительный контакт на корпусе пистолета. Кроме того, предусмотрен ряд аварийных блокировок, обеспечивающих отключение источника тока от сети и разряд конденсаторной батареи на внутреннее сопротивление при появлении на выходе источника тока неожиданного напряжения, задержке разряда батареи при подаче сигнала управления, открывании крышек источника тока и др.

Стационарные установки для приварки шпилек изготовляют с ручной подачей шпилек диаметром менее 3 мм (установки EFD-2200 и H135, имеющие дополнительный режим

точечной конденсаторной сварки) и с автоматической подачей шпикел диаметром до 6 мм в сварочную головку. Установки для приварки шпикел, как правило, имеют полуавтоматический характер действия, изделие подается к месту сварки вручную, по копиру или с помощью приспособления с жесткими упорами (к последним относится одноголовочная установка Н130 и многоголовочная установка Н116). Однако в последнее время появились установки с ЧПУ и роботизированные установки для автомобильной промышленности.

Оборудование для дуговой конденсаторной сварки. Установки для дуговой конденсаторной сварки (ДКС) по сравнению с установками для УКС имеют кроме активного сопротивления индуктивность, включенную последовательно в цепь разряда конденсаторов, и осциллятор для возбуждения дуги при сварке с неподвижным тупоугольным электродом (при ДКС с возбуждением дуги предварительным касанием электрода и привариваемой проволоки осциллятор не нужен). В установках для ДКС не применяют высоковольтные регуляторы напряжения, а следовательно, высоковольтные конденсаторы. Зарядные устройства для этих установок такие же, как у установок для контактной сварки. Они отличаются значениями накопленной энергии (емкостью и напряжением заряда конденсаторов).

В установках для ДКС проволок выбор типа конденсаторов определяется способом возбуждения дуги. Если инициирование дуги происходит касанием тонкой привариваемой проволоки неплавящимся электродом, то применяют электролитические конденсаторы. В случае пробоя воздушного промежутка между свариваемыми деталями высоковольтным разрядом осциллятора используются металлобумажные конденсаторы.

Напряжение заряда конденсаторов в установках для ДКС регулируется в пределах 40...150 В. При этом сила тока разряда не превышает 50 А. Установки для ДКС выпускают единичными экземплярами.

Техническая характеристика источника питания И-165 для дуговой конденсаторной сварки приведена ниже.

Диаметр свариваемых проволок, мм	0,3
Максимальная производительность, сварок/ч	1800
Номинальная мощность зарядного трансформатора, кВт · А	0,4
Емкость рабочей батареи конденсаторов, мкФ	10500
Пределы регулирования напряжения заряда конденсаторов, В	40...150

Регулятор напряжения	Стабилизирующий
Коммутатор зарядного тока	Тиристорный
Конденсаторы	Электролитические
Разрядное сопротивление, Ом	6...35
Коммутатор разрядного тока	Тиристорный
Степень автоматизации	Автомат
Уровень специализации	По типу свариваемого изделия
Условия эксплуатации	Стационарные
Габаритные размеры, мм	220 × 480 × 470
Масса, кг	19

Источник И-165 предназначен для дуговой конденсаторной приварки центрального вывода электрических ламп накаливания вместо пайки оловянным припоем. Структура И-165 построена по общему принципу источников питания установок для дуговых способов конденсаторной сварки: выпрямительный блок с зарядным трансформатором, который одновременно служит в качестве разделительного (для безопасности работы); токоограничивающий резистор и средства коммутации на стороне переменного (блокировка) и постоянного тока; блок управления напряжением заряда и включения разряда конденсаторов; конденсаторная батарея; элементы управления разрядным током (дроссели и резисторы), а также коммутатор разрядного тока. В зависимости от назначения в состав источников питания включают блокирующие устройства (для обеспечения безопасности обслуживания при наладке и ремонте), а также элементы автоматизации, подчиняющие работу установки ритму работы основного устройства.

В однофазную сеть переменного тока источник тока И-165 включается разъемом *X1* и выключателем *SA1* (рис. 2.11). Через предохранитель *F1* напряжение 220 В подается на трансформатор управления *T1*, о чем сигнализирует лампа *E1* (сети). Одновременно включается промежуточное реле *K2*, которое, в свою очередь, включает реле *K1* заряда конденсаторов, срабатывающее при нормальном положении блокировок и обесточенном реле аварии *K4*. Реле *K1* включает трансформатор *T2*, отключает разрядный резистор *R11* и самоблокируется. От выпрямителя *VD2* подается напряжение на блок управления, который вырабатывает сигнал для включения оптрона *VD8* и разрешения заряда конденсаторов *C4—C6* через соответствующие резисторы током выпрямителя *VD4—VD7*.

С целью создания импульса, имеющего форму, удовлетворяющую технологическим требованиям, в источнике питания И-165 конденсаторная батарея секционирована на три части, каждая из которых имеет определенный набор элементов, управляющих формой импульса. Так, конденсатор *C4*, предназначен-

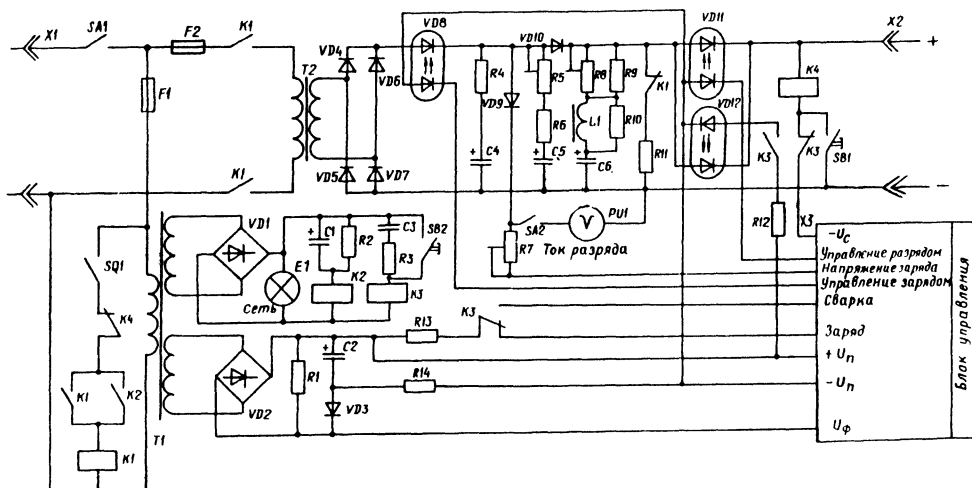


Рис. 2.11. Принципиальная электрическая схема источника питания И-165 установки для дуговой конденсаторной сварки

ный для возбуждения дуги, разрезается через резистор с постоянным сопротивлением R_4 , конденсаторная батарея C_5 — через регулируемое сопротивление $R_5 + R_6$, а конденсаторная батарея C_6 , играющая главную роль в плавлении присоединяемой проволоки, — через дроссель L_1 и регулируемый резистор R_8 (ток разряда).

Выбор напряжения заряда производится потенциометром R_7 (напряжение заряда). При этом в блоке управления напряжение на конденсаторах сравнивается с опорным напряжением и при достижении заданного значения выключается оптрон VD_8 и подготавливается к включению оптрон VD_{11} . Контроль напряжения заряда производится вольтметром PUI при включенном выключателе SA_2 (прибор включен).

Выключение разряда производится тумблером SB_2 , подающим напряжение на реле K_3 . Реле K_3 отключает контрольную цепочку с реле K_4 , переключает выход блока управления с зарядки на разряд и включает оптроны VD_{11} и VD_{12} . Окончание процесса сварки отмечается размыканием тумблера SB_2 . Вместо прибора может быть любое другое механическое или электромеханическое устройство.

В схеме предусмотрены две блокировки. Одна из них находится в цепи питания реле K_1 и обеспечивает препятствие свободному доступу к токонесящим элементам схемы. Вторая контролирует отсутствие несанкционированного напряжения на выходе источника питания при пробое одного или обоих оптронов VD_{11} и VD_{12} . При этом срабатывает реле K_4 , отключающее реле K_1 . Аварийное отключение может производиться кнопкой SB_1 .

2.4. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СВАРКИ КОНТАКТНЫМ ПЛАВЛЕНИЕМ

Сварка контактным плавлением благодаря ряду технологических особенностей может быть эффективно использована при изготовлении многих деталей, узлов и конструкций, особенно тонкостенных.

Сварка контактным плавлением может быть ручной или механизированной. Установка для ручной сварки состоит из электрододержателя и источника питания. При сварке в среде защитного газа в состав установки входит комплект газовой аппаратуры.

Ручной держатель, предназначенный для сварки в атмосфере защитного газа, выполняет следующие функции: подвод сварочного тока к неплавящемуся электроду посредством скользящего контакта; подачу защитного газа в зону сварки и равномерное его распределение в струе кольцевого сечения, направленной вдоль электрода.

Электрододержатель состоит из сварочной головки и изолирующей рукоятки, через внутреннее отверстие которой подведен шланг для подачи газа (рис. 2.12). Внутри шланга проложен также гибкий медный провод III и трубки водяного охлаждения. Неплавящийся электрод 2 закрепляется внутри сварочной головки с помощью цангового зажима 3. При сварке используются электроды диаметром 3...10 мм. Водяное охлаждение необходимо при непрерывной работе и большой силе тока сварки. Сварка плавящимся электродом производится с помощью малогабаритного ручного полуавтомата пистолетного типа. Полуавтомат состоит из механизма подачи электродной проволоки, узла токопровода и системы газовой защиты.

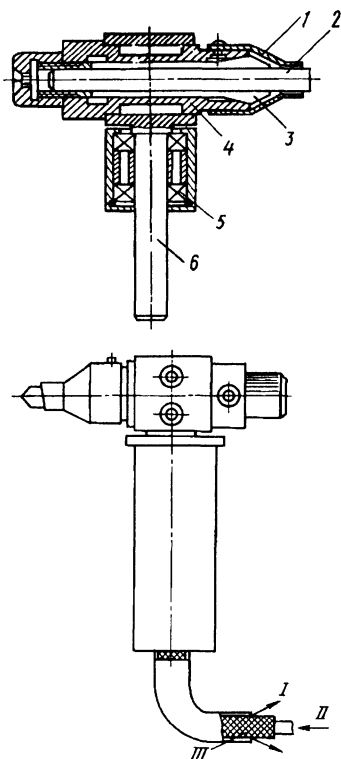


Рис. 2.12. Электрододержатель:

1 — сопло; 2 — электрод; 3 — канговый зажим; 4 — корпус; 5 — подшипник; 6 — ось качания; I — выход воды; II — вход воды; III — токопровод

В состав подающего механизма входят: электродвигатель с редуктором (расположены в ручке полуавтомата), тянущий и прижимной ролики, направляющие втулки, система прижима с регулировочным устройством, смонтированные в верхней части основания корпуса; в нижней части находится ручка полуавтомата. На корпусе закреплен держатель токоподводящего мундштука, который подключается гибким кабелем к источнику питания. Защитный газ через сопло, зафиксированное на держателе мундштука, подается в зону сварки. На ручке полуавтомата закреплен микропереключатель, который служит для включения двигателя подачи.

Для сварки коррозионно-стойкой стали применяют сварочную проволоку главным образом диаметром 1,2 мм из стали 12Х18Н10Т, в качестве защитного газа — аргон; расход газа составляет 2...3 л/мин. Сварка малоуглеродистых сталей производится сварочной проволокой диаметром 1,2 мм марки Св08Г2С. Для сварки контактным плавлением разработаны ряд специализированных установок, на кото-

рых процесс сварки выполняется по автоматическому циклу: для сварки сильфонов, кольцевых стыков труб и трубопроводов (в том числе в монтажных условиях); для сварки полупроводниковых приборов, тонкостенных сосудов, различного типа заглушек, продольных швов тонкостенных труб большого диаметра; для сварки термосов (комплекс). Некоторые данные о разработанных в Институте электросварки им. Е. О. Патона установках (головок) представлены в табл. 2.9.

Особенности основных узлов. Установка для механизированной сварки контактным плавлением включает: механическую часть, предназначенную для выполнения сборочно-сварочных операций; электрическую часть управления сборочно-сварочными операциями; источник питания; узлы аппаратуры газового обеспечения защиты зоны сварки. В состав механической части установки входят узлы, обеспечивающие сборку деталей под сварку и узел подвода тока к месту сварки. В большинстве случаев на специализированных установках сварка производится по двухэлектродной схеме, когда оба полюса источника питания подключают к сварочным электродам. При такой схеме практически исключается значительное протекание тока по свариваемой детали, благодаря чему сводятся к минимуму дополнительные потери энергии и деформация деталей от теплового воздействия. Кроме того, в 2 раза сокращается машинное время сварки.

При двухэлектродной схеме сварки электроды обычно размещены диаметрально противоположно и подпружинены, в результате чего создается необходимое давление в месте контакта электрод—деталь, исключаются искрообразование и нарушение процесса сварки. Для сварки применяют неплавящиеся электроды из тугоплавкого материала — вольфрама или молибдена (прутки диаметром 2...10 мм) или специально разработанные электроды из кермитов, в состав которых входят нитриды титана (основа), оксиды алюминия, вольфрам или молибден, никель и другие компоненты. Электроды из кермитов имеют цилиндрическую форму (3...10 мм), а контактный торец — клиновидную или конусную форму с закруглением на вершине. Один из электрододержателей изолирован от корпуса установки во избежание шунтирования тока помимо места сварки.

При сварке контактным плавлением подпружиненными электродами осуществляется самокопирование свариваемой поверхности, в связи с чем исключается необходимость в копирующем устройстве и упрощается конструкция сварочной установки. Электрододержатели закрепляются на планшайбе, которая перемещается посредством электропривода. Подвод тока к электрододержателям осуществляется через гибкие переключатели, позволяющие держателям свободно качаться на оси их крепления в необходимых пределах при скольжении электродов по свариваемому стыку. Подвод

2.9. Основные технические данные установок и головок для сварки контактным плавлением

Установка или головка	Сварка	Тип соединения	Скорость сварки, м/ч
Установки			
Н-140	Колб термосов	Бортовое	10...50
Н-132	Внутренних и наружных швов сильфонов	»	5...100
Н-129	Крышек больших пеналов	»	5...15
Н-121	Крышек малых пеналов	»	5...30
У-Д271	Продольных швов тонкостенных труб диаметром 100 мм	Стыковое	15...50
Н-122	Корпусов полупроводниковых приборов	Бортовое	25...50
Н-139	Трубопроводов диаметром 14 мм	»	10...50
Н-154	Внутренних и наружных швов поперечно-шовных сильфонов	»	10...100
Н-159	Кольцевых швов трубок диаметром 3...6 мм	»	-
УД-516	Термосов из коррозионно-стойкой стали	»	30...50
Н-108	Приварка заглушек внутри труб	»	10...12
Головки			
А-1459	Кольцевых стыков трубопровода	»	20...30
А-1232	Сварка—пайка и наплавка латунной проволокой порошковой и самофлюсующейся	Нахлесточное	15...30
А-1384	Кольцевых швов трубопроводов диаметром 20, 30 и 50 мм	Бортовое	20...30
А-1351	Поперечных швов сосудов	»	40
А-1375	Продольных швов сосудов	»	45...50

Примечание. Время сварки установки Н-159 6...9 с.

тока к гибким переключкам производится через скользящий контакт.

В тех случаях, когда во время сварки движется свариваемая деталь, электрододержатели крепятся в неподвижной головке или на стойках. При этом исключается скользящий токоподвод, что упрощает конструкцию токоподводящего узла и повышает надежность работы системы токоподвода. Питающие кабели подсоединяются непосредственно к гибким переключкам, связанным с электрододержателями.

Особенности установок. Установка А-1459 для сварки стальных трубопроводов в монтажных условиях состоит из комплекса сварочных головок для сварки поперечных стыков труб диаметром 20, 30 и 50 мм.

Сварочная головка А-1384 предназначена для равномерного поступательного перемещения электродов вдоль свариваемого стыка, удержания электродов на стыке подвода сварочного тока к электродам, крепления на ней вспомогательных узлов и деталей и проведения сварочных работ с целью получения прочного и герметичного соединения изделий. В конструкцию сварочной головки входят

корпус, узлы электрододержателей, прижимы электродов и подачи защитного газа. Разъемный корпус обеспечивает установку сварочной головки на изделие, ее крепление и исключает поперечное перемещение электродов на стыке. Привод вращения головки вокруг свариваемого стыка осуществляется от электромеханизма ДП2-26 через планетарный редуктор.

Малогабаритная сварочная головка Н-159, предназначенная для сварки кольцевых стыков трубок из коррозионно-стойкой стали 12Х18Н10Т, выполнена по двухэлектродной схеме с использованием неплавящихся электродов из кермитов или вольфрама (рис. 2.13). Не-разъемный корпус головки имеет вырез в радиальном направлении для возможности ее установки на трубопровод и снятие ее со стыка после окончания сварки. Узел сборки и центровки трубок оригинальной конструкции состоит из разъемных цанг, расположенных в направляющих, и специальных гаек с радиальным вырезом, посредством которых осуществляется перемещение цанг при фиксации трубок. Подвод тока к электрододержателям производится через скользящий контакт. Враще-

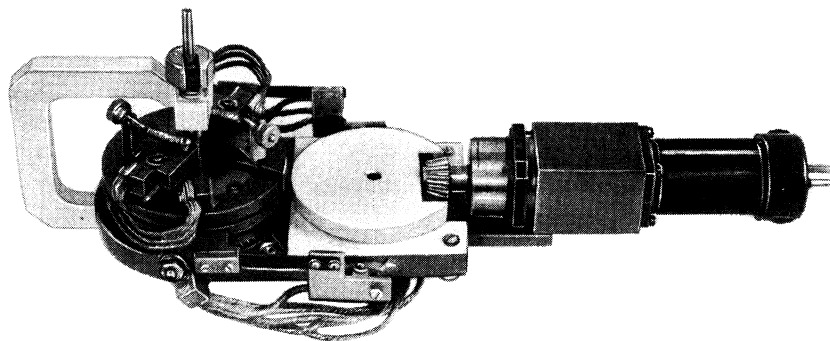


Рис. 2.13. Сварочная головка Н-159 для сварки труб диаметром 3...6 мм

ние планшайбы с электродами осуществляет посредством электродвигателя через понижающий редуктор. Сварочная головка Н-159 обеспечивает качественную сварку стыков труб.

Установка Н-132, предназначенная для сварки поперечно-шовных сильфонов с наружным диаметром 62 мм и внутренним 40 мм с толщиной стенки 0,2 мм из коррозионно-стойкой стали 12Х18Н10Т, имеет сборочные устройства. Первоначально свариваются внутренние швы, когда соединяются два элемента сильфона; сварка осуществляется по одностроудной схеме неплавящимся электродом из вольфрама диаметром 3 мм. Для обеспечения качественной защиты соединений сварка сильфонов выполняется в защитной микрокамере.

Для механизированной сварки одно- и двухлитровых термосов из коррозионно-стойкой стали 12Х18Н10Т с толщиной стенки 0,5 мм разработан комплекс установок УД-516. Комплекс состоит из шести установок. Последовательность работы комплекса по сварке термосов следующая: сварка поперечного кольцевого стыка внутренней колбы; сварка крышки наружной колбы с обечайкой; сварка горловины с внутренней колбой; сварка горловин внутренней и наружной колб; приварка дна к наружной колбе; сварка горловины с наружной колбой.

В комплект каждой установки входят: станина с вращателем; блок сварочных головок с электрододержателями; центратор и сборочные устройства; источник питания типа И-185; шкаф управления; устройства для загрузки деталей и выгрузки сваренных узлов.

Сварка выполняется по двухэлектродной схеме неплавящимся электродом в среде аргона. Во время сварки головка с электрододержателями неподвижна, вращаются детали.

Установка Н-122 предназначена для механизированной сварки в защитной среде азота кольцевых швов силовых полупроводниковых приборов, свариваемый материал — ковар и коррозионно-стойкая сталь 12Х18Н10Т. В со-

став установки входит вращатель, узел электрододержателей и трехпозиционный стол. На первой позиции происходит центровка и фиксация изделия в цанге вращателя, на второй позиции из изделия откачивается воздух (разрежение менее 1,31 Па), а затем происходит заполнение камеры азотом. На третьей позиции происходит сварка кольцевого стыка. При сварке вращается изделие, двухэлектродная головка неподвижна. После окончания сварки производится выгрузка сваренного изделия. Производительность установки составляет 180...200 изделий/ч.

Автоматическая установка Н-108 работает по методу контактного плавления при герметизации трубных каналов из коррозионно-стойкой стали. Отличительной особенностью установки является то, что приварка заглушек производится внутри трубы на глубине до 4 м. Двухэлектродная сварочная головка приводится в движение приводом, установленным снаружи у торца трубы.

Сварка контактным плавлением может производиться на переменном или постоянном токе. В качестве источников питания могут быть использованы трансформаторы, выпрямительные устройства, кислотные или щелочные аккумуляторы электроэнергии, обеспечивающие необходимые электрические параметры сварочной цепи. Сила сварочного тока обычно составляет 100...500 А и более при напряжении холостого хода 2...6 В.

Источники питания. Для сварки контактным плавлением Институтом электросварки им. Е. О. Патона созданы специализированные источники питания типов И-117, И-176 и И-185. Главным требованием, предъявляемым к специализированным источникам питания, является обеспечение стабильности режима сварки по установленной программе, независимо от колебаний напряжения питающей сети, нагрева токопроводящих кабелей и электродов и многих других факторов, влияющих на параметры сварочной цепи. На рис. 2.14 представлена диаграмма одной из возможных технологических программ изменения силы /

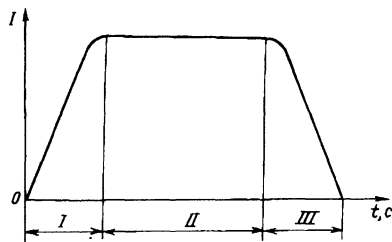


Рис. 2.14. Диаграмма технологической программы изменения силы I сварочного тока во времени t

сварочного тока во времени t . Первый участок программы I характеризуется плавным ростом силы тока, что позволяет исключить выброс металла в контакте электрод—деталь в начальный момент сварки. На участке II сила тока должна стабильно поддерживаться постоянной. На участке III происходит плавное снижение силы тока в связи с окончанием сварки, что исключает появление кратеров и выброс металла из сварного шва на заключительном этапе сварки. В ряде случаев участок II может быть более сложным.

В состав источника питания И-117 входит однофазный силовой трансформатор. Стабилизация режима сварки и управление по заданной программе осуществляются тиристорным регулятором напряжения типа РНТО-190-63, включенным в первичную обмотку сварочного трансформатора. При сварке постоянным током сварочная головка подключается к источнику через выпрямительный блок. Переменное напряжение сварочного трансформатора выпрямляется диодами блока с последующей фильтрацией дросселем. Стабилизация амплитуды выпрямленного напряжения производится ограничительными диодами блока, шунтирующими сварочную цепь. Питание источника осуществляется от сети с напряжением 220 В. Пределы регулирования сварочного тока 5...1500 А.

Более совершенный источник питания И-176 представляет собой выпрямитель, преобразующий трехфазный переменный ток номинальным напряжением 380 В в постоянный. Управление процессом сварки осуществляется с помощью микропроцессорной системы на базе однокристальной микроЭВМ. Регулирование силы тока в сварочной цепи и выполнение заданной программы его изменения производится посредством блока силовых транзисторов (типа ТКД 165-250-1), включенного последовательно в сварочную цепь. Система управления допускает набор 16-ти программ, при необходимости их число может быть увеличено до 32. Пределы регулирования сварочного тока 10...1000 А.

Источник питания И-185 отличается от И-176 наличием однофазного силового сварочного трансформатора. Управление током сварочной цепи осуществляется посредством

тиристорного контактора серии КТ, включенного в первичную цепь силового трансформатора. Блок программного управления выполнен на базе однокристальной микроЭВМ. Пределы регулирования сварочного тока 10...1000 А, питание источника осуществляется от сети переменного тока с напряжением 220 В.

2.5. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СВАРКИ И РЕЗКИ ПОД ВОДОЙ

Сварку под водой считают сухой, если свариваемые узлы и сварщик находятся в газовой среде, промежуточной, когда осушается только зона, в которой горит дуга и небольшое пространство вокруг нее, а водолаз находится в воде, и мокрой, когда свариваемое изделие, дуга и сварщик находятся в воде. Наиболее распространен способ мокрой сварки штучными электродами и самозащитными порошковыми проволоками.

Мокрая сварка штучным электродом. Пост ручной сварки штучным электродом состоит из источника питания, электрододержателя, рубильника и сварочных кабелей. В качестве источника питания дуги используются сварочные преобразователи и выпрямители с повышенным напряжением холостого хода (70...90 В). При отсутствии электрической сети наиболее распространены автономные однопостовые сварочные агрегаты ПАС-400-VI и ПАС-400-VIII, которые обеспечивают повышенное напряжение холостого хода (до 100 В). Пределы регулирования силы сварочного тока 120...600 А при ПР-45%. Разработаны и внедряются в производство новые однопостовые сварочные агрегаты с дизельным приводом АДД-4001-TI и АДД-4002-TI на раме и одноосном прицепе. Пределы регулирования силы сварочного тока 60...450 А при напряжении горения дуги 36 В. Разработан и освоен выпуск сварочного преобразователя с карбюраторным двигателем АДД-3112-TI на одноосном прицепе. Пределы регулирования сварочного тока 30...350 А при напряжении на дуге 32 В.

Все перечисленные выше агрегаты имеют падающую внешнюю вольт-амперную характеристику и могут быть использованы при сварке и резке штучными электродами и электрокислородной резке на глубине до 60 м.

Для сварки на больших глубинах необходимы сварочные преобразователи с более высоким напряжением холостого хода, так как в этом случае кроме увеличения напряжения горения дуги необходимо компенсировать падение напряжения в удлиняющейся сварочной цепи. Для этой цели рекомендуется использовать универсальный преобразователь АСУМ-400, имеющий жесткую и падающую внешние вольт-амперные характеристики и повышенное напряжение холостого хода.

Источники питания дуги выполнены в морском исполнении. При отсутствии таких источников питания при сварке на малых глубинах (до 30 м) возможно использование сварочных преобразователей ПС-500 или ПСУ-500, а также сварочных выпрямителей ВДУ-

501, ВДУ-502, ВДУ-503, ВДУ-504, ВДУ-505, ВДУ-601 или ВДУ-602.

Для подводной сварки штучным электродом используют электрододержатель ЭПС-2, рассчитанный на применение электродов диаметром 2...6 мм и на максимальную силу тока 400 А. В сварочной цепи применяют кабели, имеющие усиленную изоляцию, стойкие к морской воде и нефтепродуктам марок ГШМ и НРШМ.

Однополюсный рубильник, рассчитанный на разрывную силу тока 400 А, включается в сварочную цепь последовательно и располагается в удобном для оператора месте.

Мокрая механизированная сварка. Пост механизированной сварки под водой состоит из источника питания дуги, полуавтомата, сварочных кабелей и кабеля цепи управления. Для механизированной сварки, в отличие от ручной, применяют источники питания с жесткой внешней вольт-амперной характеристикой типов ВДУ-501, ВДУ-502, ВДУ-503, ВДУ-504, ВДУ-505, ВДУ-601, ВДУ-602, ВС-500, ВС-600 и преобразователь АСУМ-400. Для сварки на глубине до 20 м возможно использование преобразователей ПСГ-500 и ПСУ-500. Механизированная сварка выполняется на обратной полярности (плюс на электроде).

Механизированная сварка самозащитными порошковыми проволоками осуществляется специальными полуавтоматами А-1660, А-1450, ПШ-141 и ПШ-156 (табл. 2.10), разработанных Институтом электросварки им. Е. О. Патона. В конструкции перечисленных полуавтоматов имеются агрегаты и узлы, выполняющие аналогичные функциональные за-

дачи и отличающиеся друг от друга только совершенством и надежностью исполнения.

В состав указанных полуавтоматов входят: шкаф управления; погружной контейнер с механизмом подачи порошковой проволоки и катушкой; гибкий шланг с держателем; кабель цепи управления; комплект сварочных кабелей.

Шкаф управления предназначен для начала и окончания подачи порошковой проволоки, плавного регулирования ее скорости, а также подачи сигналов появления возможных неполадок в электрической цепи. На передней панели шкафа расположены приборы, обеспечивающие контроль за параметрами сварочного процесса. Электросхема обеспечивает заданную скорость вращения электродвигателя подачи электродной проволоки независимо от возникающей при этом нагрузке.

Погружной контейнер полуавтомата изготовлен из диэлектрического материала. В контейнере располагается электродвигатель подачи электродной проволоки с понижающим редуктором, подающий механизм и катушку с электродной проволокой. Электродвигатель и редуктор размещены в стальном стакане с герметичным вводом проводов цепи управления. Стакан заполняют диэлектрической жидкостью (полисилоксаном, керосином и др.). На одной из его стенок размещена подвижная мембрана, способная передавать увеличивающееся с погружением полуавтомата на большие глубины гидростатическое давление на жидкость, слегка сжимающуюся благодаря растворенным в ней газам. Такое устройство гидрокompенсатора позволяет эксплуатиро-

2.10. Техническая характеристика полуавтоматов для мокрой механизированной сварки под водой

Параметры	А-1450	А-1660	ПШ-141, ПШ-156
Максимальная сила сварочного тока при ПР-60%, А	400	400	400
Потребляемая мощность, кВт	0,6	0,6	0,4
Скорость подачи электродной проволоки, м/с	0,028...0,125	0,028...0,125	0,022...0,138
Диаметр электродной проволоки, мм	1,6...2,0	1,6...2,0	1,4...1,8
Габаритные размеры, мм:			
погружного контейнера	500×350×330	500×350×330	430×350×140
шкафа управления	400×420×320	390×410×330	300×500×330
Масса, кг:			
снаряженного контейнера с держателем:			
на поверхности	60	60	27
под водой	31	31	7
шкафа управления	52	25	25
проволоки на катушке	7	7	3,5
Время работы от одной катушки при сварке в рекомендованном диапазоне режимов, ч	2,5...4	2,5...4	1,5...2,5

вать полуавтомат во всем диапазоне глубин континентального шельфа. Внутренняя полость контейнера заполнена водой. Однако благодаря герметичному уплотнению разъема между корпусом и крышкой контейнера токи утечки и рассеивания отсутствуют.

Гибкий шланг с держателем общей длиной до 3 м представляет собой гибкий элемент со стальной спиралью или пластиковой трубкой, по которой проволока подается к медному контактному наконечнику держателя. В случае сварки в условиях с ограниченной видимостью на контактный наконечник надевается диэлектрический чехол.

Четырехжильный кабель в цепи управления площадью сечения жил не менее $2,5 \text{ мм}^2$ с центральным разгрузочным тросом обеспечивает подачу напряжения с блока управления на двигатель подачи электродной проволоки. Кабель вводится в погружной контейнер через герметичный ввод.

Комплект сварочных кабелей марки НРШМ площадью сечения $70...95 \text{ мм}^2$ соединяет источник питания, шкаф управления, шланговый держатель и изделие. Стандартная длина 60 м. При необходимости длину сварочной цепи можно нарастить, однако стабильность процесса в этом случае ухудшается ввиду увеличения активного, реактивного и емкостного сопротивления сварочной цепи и снижения возможностей источника питания по обработке возмущений, связанных с изменением вылета электрода и длины дуги. Сварочные кабели запрещено при работе укладывать в бухты или наматывать на вьюшки вследствие значительного увеличения индуктивного сопротивления сварочной цепи.

Полуавтоматы ПШ-141 и ПШ-156 являются более совершенными. Так, погружной контейнер в воде весит всего 7 кг, а форма его удобна для переноски. Стальная спираль в гибком шланге держателя заменена пластмассовой трубкой, что повышает надежность аппарата и упрощает уход за ним. В аппаратном шкафу размещен блок защиты электропривода полуавтомата, своевременно сигнализирующий о наличии неисправности в цепи и эффективно защищающий элементы электроцепи от перегрузок и коротких замыканий. Подающий механизм имеет планетарный редуктор и две пары приводных роликов, позволяющих развивать достаточное усилие проталкивания порошковой проволоки со скоростью $0,027...0,14 \text{ м/с}$ по шланговому держателю, не деформируя его оболочки. На катушку наматывается до 3,5 кг сварочной проволоки. Этого количества достаточно для выполнения сварки на силе тока $180...220 \text{ А}$ в течение 2 ч.

Сухая сварка под водой. Для сварки трубопроводов под водой применяют накидные камеры, в которых размещается дефектный участок трубопровода и сварщик с набором механизированного инструмента и монтажных приспособлений. После проведения сварки соединения подвергают дефектоскопии. При отсутствии дефектов в шве на ремонтируемый

участок наносится гидроизоляция. Специализированные камеры рассчитаны на несколько типоразмеров труб. Обычно для выполнения сварочных работ используется то же оборудование, что и при сварке на воздухе, установленное в специализированные контейнеры, размещенные непосредственно в камере. Источник питания находится либо на обеспечивающем судне, либо непосредственно в камере.

Обработка кромок перед сваркой выполняется многорезцовыми головками, а зачистка швов — абразивными кругами.

Для проведения ремонтных работ на стационарных основаниях используют накидные камеры, изготовляемые для каждого ремонтируемого узла. В камерах применяется такое же боксированное оборудование, как и при ремонте трубопроводов в специализированных накидных камерах. Такой способ ремонта трубопроводов и стационарных оснований позволяет получить высокое качество сварного соединения.

Наиболее целесообразно использовать способ сухой сварки на глубинах более 60 м, при наличии значительных илстых отложений, а также при плохой видимости и при скорости течения выше $0,7 \text{ м/с}$.

Способ с локальным осушением рабочей зоны. В специализированной мини-камере обеспечиваются удовлетворительные видимость и качество процесса. В камеру подается углекислый газ или его смесь с кислородом. Камеру прижимают к ремонтируемому участку. Уплотнение осуществляется по торцу мягкой резиновой прокладкой. Внутри камеры размещен держатель, по которому в зону сварки подается электродная проволока и защитный газ. Выполнение работ с использованием этой камеры требует очень высокой квалификации сварщика-водолаза.

Резка металлов непосредственно в воде. Основным способом подводной резки является электрокислородная резка металлическим трубчатым электродом. В состав поста для электрокислородной резки входят: электродо-держатель ЭКД-86-1 или ОБ 2667, конструкции ИЭС им. Е. О. Патона; кислородный шланг; комплект сварочных кабелей; кислородный баллон с редуктором; однополюсный рубильник, рассчитанный на силу тока 400 А ; источник питания дуги с падающей внешней вольт-амперной характеристикой, обеспечивающей силу тока 400 А .

Пост предназначен для выполнения работ на глубине до 60 м. За исключением кислородного баллона и держателя применяется то же оборудование, что и при сварке под водой штучным электродом. Скорость электрокислородной резки с использованием электродов ЭПР-1 при резке стального листа 20 м достигает 20 м/ч .

Механизированная бескислородная резка. В состав поста для механизированной бескислородной резки входит следующее оборудование: полуавтомат для подводной резки

ПШ-131 (возможно использование полуавтомата для механизированной подводной сварки А-1660 или А-1450); источники питания с жесткой внешней вольт-амперной характеристикой (возможно использование источников питания с полого падающей внешней вольт-амперной характеристикой), рассчитанные на силу тока не менее 600 А типов ВС-600 М, ВДУ-601, ВДУ-602; комплект сварочных кабелей; силовой рубильник (при использовании для резки полуавтоматов А-1660 или А-1450).

Для подводной механизированной электропорошковой резки ИЭС им. Е. О. Патона разработан специализированный полуавтомат типа ПШ-131, имеющий некоторые общие узлы с аппаратами для подводной сварки: контейнер из диэлектрического материала, гидрокompенсатор давления, шланговый держатель и др. Однако его электропривод создан на базе асинхронного двигателя, имеющего постоянную частоту вращения 1500 мин^{-1} . Изменение скорости подачи электродной проволоки осуществляется ступенчато с помощью сменных зубчатых колес. Как правило, режимы подводной резки не должны изменяться в течение одного спуска. Это ограждает источник питания от серьезных перегрузок. Значительно упрощает процесс и снижает требования к квалификации водолаза-резчика установленная на токоподводящем наконечнике держателя специальная керамическая насадка, позволяющая выполнять резку методом опирания.

Для резки черных и цветных металлов используют порошковую проволоку ППР-АН2 диаметром 2,2...2,4 мм. Скорость при резке металла толщиной 20 мм достигает 15 м/ч. Одной кассеты порошковой проволоки достаточно для ведения процесса в течение 45...50 мин. С ростом глубины производительность процесса снижается, так как возрастают потери в сварочной цепи с увеличением ее длины.

Плазменно-дуговая резка. Для плазменно-дуговой резки в пресной и морской воде металла толщиной 8...40 мм на глубине до 20 м разработана специализированная установка типа "Скат". В качестве плазмообразующего газа используется воздух. Сила тока плазмотрона с цирконовым катодом 200...600 А при напряжении на дуге 120...250 В. Скорость резки в зависимости от глубины и толщины разрезаемого металла составляет 5...24 м/ч. В состав установки входит источник питания, пульт управления, компрессор, системы осушения воздуха и охлаждения плазмотрона, гирлянда кабелей и коммуникаций, а также плазмотрон.

Наиболее эффективна плазменно-дуговая резка при разделке корпусов судов на лом, так как мощность, необходимая для работы установки, доходит до 100 кВт. Сложность эксплуатации оборудования и ограниченный ресурс работы плазмотрона не позволили широко внедрить этот способ резки.

Экзотермическая резка металлов. В последние годы за рубежом разработано оборудова-

ние и технологический процесс экзотермической резки металлов и неметаллов под водой. В комплект оборудования входят: держатель для электродов с кислородным клапаном; комплект кислородных шлангов; комплект сварочных кабелей; рама баллонов с редуктором, рассчитанным на большой расход газа. При использовании этого способа возможна резка металла и неметаллических материалов толщиной менее 150 мм на глубине до 300 м. Производительность процесса в зависимости от условий работы, глубины и толщины разрезаемого металла 3...30 м/ч.

Для защиты глаз сварщика-водолаза от действия электрической дуги применяют защитные стекла ТС-3 (класс светофильтра ЭС-100, классификационный номер 3) при сварке в воде с видимостью до 50 см и ЭС-300 (классификационный номер 2) при сварке в воде с видимостью более 50 см. Возможно также применение защитных светофильтров марки ТС-1 и ТС-2 (классов В-1, В-2 и В-3, классификационные номера 3, 4). При работе в трехболтовом водолазном снаряжении защитные стекла устанавливаются в специальных откидных приспособлениях, прикрепляемых к переднему иллюминатору при помощи обоймы.

При подводной сварке для зачистки места сварки и швов, а также для удаления напылов, брызг металла, шлака и других дефектов сварщик-водолаз должен иметь проволочную щетку, ручной молоток-секач, зубило и шуп для проверки зазоров и правильности подгонки привариваемых листов и заплат.

При сварке трубопроводов и других гидротехнических сооружений ответственного назначения подготовка поверхности под сварку и последующая зачистка швов должны производиться с помощью шлифовальной машинки ИП2014А с набором металлических щеток и армированных абразивных кругов толщиной 3...6 мм. Возможная глубина, на которой можно выполнять работы, 30 м. Избыточное давление в системе 0,5...0,8 МПа.

2.6. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СВАРКИ И РЕЗКИ В КОСМОСЕ

Особенности оборудования для сварки и резки в космосе связаны со свойствами окружающей среды. Такое оборудование может быть специализированным (для выполнения однотипных операций с использованием одного технологического процесса) или универсальным (позволяющим выполнять различные операции и использовать несколько технологических процессов). В подавляющем большинстве случаев в качестве источника нагрева используется электронный луч, отличающийся наибольшей универсальностью и максимальным термическим КПД [13, 16].

Требования к оборудованию. Оборудование для сварки и резки металлов в условиях космоса должно, с одной стороны, обеспечивать необходимые параметры и качество, присущие сварочной аппаратуре, а с другой, — пол-

ностью соответствовать специфичным требованиям, предъявляемым к космическим объектам. Общими требованиями к космическому сварочному оборудованию являются: соответствие функциональным задачам; безопасность; высокая надежность; минимальные размеры, масса, энергоемкость; обеспечение контроля параметров процесса и диагностирования состояния оборудования; совместимость с системами и экипажами космических объектов; ремонтпригодность.

Соответствие функциональным задачам включает строгое обеспечение требуемой мощности, скорости сварки или резки, глубины проплавления, фокусировки пучка, номенклатуры свариваемых и разрезаемых материалов и др. В то же время значительный запас по основным параметрам приводит к противоречию с другими требованиями, предъявляемыми к аппаратуре.

Безопасность при функционировании сварочной аппаратуры в космосе включает защиту от высокой температуры, до которой может быть нагрет расплавленный металл или отдельные детали оборудования, от электронного луча, от повышенного напряжения источников питания, а также от сопутствующих явлений (рентгеновского и инфракрасного излучения, электро- и радиопомех и др.). Безопасность достигается соответствующим выбором параметров аппаратуры и конструктивных решений, локализацией зон потенциальной опасности, введением различного рода ограждений, экранов, ловушек, блокировок и пр.

Высокая надежность подразумевает надежность технологии как физического процесса (процессов) и надежность функционирования оборудования. Обе эти составляющие взаимосвязаны. Надежность технологии в большей степени зависит от сведений об условиях выполнения процессов сварки или резки и степени их предварительной обработки, а надежность функционирования оборудования — от правильности конструктивных решений, выбора и качества конструкционных материалов и комплектующих изделий, резервирования функционально важных узлов и др.

Минимальные габаритные размеры, масса и энергоемкость обеспечиваются, как правило, рациональным выбором конструкционных материалов и комплектующих изделий, отвечающих современным требованиям; тщательным выполнением предварительных тепловых и механических расчетов; оптимизацией эксплуатационных параметров и др. Эти требования обычно противоречат повышению надежности и безопасности. В свою очередь, повышение безопасности препятствует качественному и полному выполнению функциональных задач, повышению надежности и т. д. Поэтому приходится оптимизировать требования к оборудованию с учетом приоритетности каждого из них.

Контроль параметров процесса возможен сопутствующий, последующий и одновременный. При сопутствующем контроле непосредственное участие в нем принимают операторы: обычно один-два наиболее важных параметра непрерывно отображаются на табло индикации, а остальные измеряемые параметры проверяются периодически по вызову. Одновременно все измеряемые параметры через собственную систему телеметрии сварочной установки подаются на вход системы телеметрии космического объекта, регистрируются его записывающими устройствами и через определенные промежутки времени передаются на Землю. Это необходимо для последующего контроля и анализа режима работы установки.

Диагностирование состояния оборудования необходимо перед первым включением его после доставки с Земли на борт космического объекта и перед каждым последующим включением после хранения на борту. В зависимости от сложности и ответственности оборудования применяют различные системы диагностирования: от простейшей, отвечающей лишь на вопрос "функционирует—не функционирует", до развитой, позволяющей определить неисправный узел, с достаточной степенью вероятности оценить причину неисправности, принять решение о необходимости перехода на резервные системы или зарегистрировать факт автоматического их подключения.

Совместимость с системами и экипажами космических объектов подразумевает: отсутствие взаимных помех при функционировании сварочного оборудования и других систем объекта; согласование параметров систем энергопитания, телеметрии и терморегулирования (при необходимости); максимально возможную степень использования имеющихся на борту объекта оборудования и аппаратуры; удобство обслуживания и соответствие внешнего вида сварочного оборудования интерьеру объекта; соответствие органов управления и индикации антропометрическим данным экипажа объекта и специфике защитного снаряжения, если такое имеется.

Ремонтпригодность ввиду сложности космического сварочного оборудования и высокой стоимости доставки на космические объекты требует обеспечения ресурса его работоспособности, измеряемого десятками лет. Такой ресурс возможен только при замене отдельных блоков или узлов. Аппаратура должна обеспечивать быструю, легкую и безопасную их замену. Как правило, замена производится в герметичных отсеках космических объектов. Но в ряде случаев может потребоваться замена и за бортом. При этом должна быть обеспечена возможность замены оператором, снаряженным в скафандр.

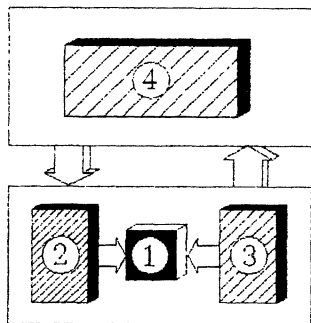


Рис. 2.15. Функционально-структурная схема комплекса космической сварочной аппаратуры

Конструкция. Для сварки в космосе используется довольно сложный комплекс аппаратуры, объединенной единой функциональной задачей (рис. 2.15). Основным звеном комплекса является технологическая аппаратура 1, под которой понимаются собственно установка для сварки и резки в космосе "Вулкан", разработанная в Институте электросварки им. Е. О. Патона, показана на рис. 2.16. Технологическая аппаратура нуждается в специально оборудованном рабочем месте 2 (см. рис. 2.15), которое, в зависимости от задач, может быть стационарным или переносным. Самостоятельным звеном комплекса космической сварочной аппаратуры является комплект вспомогательных приспособлений

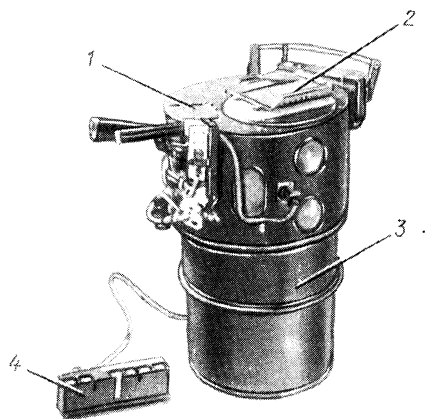


Рис. 2.16. Установка для сварки и резки в космосе "Вулкан":

1 — негерметичный отсек со сварочными головками; 2 — вращающийся стол со свариваемыми образцами; 3 — герметичный отсек с системами энергопитания и автоматики; 4 — дистанционный пульт управления

3, предназначенных для механизации трудоемких или опасных операций. Весь комплекс аппаратуры связан с основными энергетическими и информационными системами 4 космических объектов. Технологическая аппаратура, базирующаяся на электронно-лучевых источниках нагрева, состоит из нескольких взаимосвязанных, но функционально самостоятельных узлов.

Электронно-лучевые пушки, используемые в космической сварочной аппаратуре, существенно отличаются от применяемых на земле. Их назначение — сварка и резка тонколистового металла. В связи с этим в космической аппаратуре используются высокопереванские короткофокусные пушки с относительно большим углом сходимости пучка. Это позволяет изготавливать их достаточно простыми, надежными, безопасными и малогабаритными. Низкое ускоряющее напряжение позволяет свести к минимуму уровень тормозного рентгеновского излучения. Малое фокусное расстояние резко снижает риск поражения электронным пучком непреднамеренно попадающих в зону его действия объектов. Оптическая система пушек должна быть термостабильна и обеспечивать минимальные потери.

Наиболее перспективны для космических условий пушки с однокаскадной (электростатической) и комбинированной — электростатической и электромагнитной фокусировкой. В автоматических сварочных установках для космоса в состав пушки могут вводиться отклоняющие системы. Возможно использование прямонакальных пушек и пушек с косвенным накалом.

Электропитание космической сварочной установки производится от бортовой сети космического объекта. Она представляет собой сеть постоянного тока номинальным напряжением 27 В. В процессе работы могут наблюдаться значительные колебания напряжения питающей сети, достигающие $\pm 15\%$. Для обеспечения требуемых электронно-лучевыми установками параметров необходимо: во-первых, преобразовать постоянное напряжение в переменное, а, во-вторых, — обеспечить его стабилизацию на уровне $\pm 0,5\%$. Это является функциями вторичного источника питания (ВИП). Кроме того, ВИП является исполнительным органом, обеспечивающим регулировку выходной мощности и ее стабилизацию на заданном уровне. При этом ВИП взаимодействует с высоковольтным блоком (ВБ) и блоком управления (БУ).

ВИП представляет собой силовой транзисторный преобразователь (или несколько преобразователей), оснащенный периферийными системами для связи с ВБ и БУ. В состав ВИП входят также узлы измерения выходных и входных параметров и система терморегулирования (СТР), обеспечивающая стабильный тепловой режим функционирования. При необходимости СТР ВИП подключается к СТР объекта. Частота преобразования может быть различной, в зависимости от задач (от единиц

до десятков килогерц). Уровень выходного переменного напряжения ВИП 27...100 В.

Задачей высоковольтного блока (ВБ) является преобразование выходного напряжения ВИП до уровня, необходимого для электропитания электронно-лучевых пушек. Как правило, питание анодных цепей производится постоянным током напряжением 5...10 кВ. Соответственно в состав высоковольтного блока входят повышающий трансформатор и высоковольтный выпрямитель. Накальные цепи пушки питаются переменным током напряжением 2...20 В в зависимости от задач. Для этого используется понижающий накальный трансформатор, вторичная обмотка которого находится по отношению к аноду пушки под высоким (5...10 кВ) напряжением. В случае использования нескольких пушек в состав ВБ может входить несколько накальных трансформаторов.

При использовании пушек с управляющим прикатодным электродом в состав ВБ включается источник его электропитания, содержащий повышающий трансформатор, выпрямитель и элементы регулировки. Выходное напряжение 100...1000 В. Если в состав пушки вводятся отклоняющие и дополнительные фокусирующие системы, то необходимы соответствующие источники их электропитания, которые тоже условно включаются в состав ВБ.

Для обеспечения надежности и безопасности ВБ изготавливается в виде моноблока, заливаемого эпоксидным компаундом. При этом обеспечивается его длительная работоспособность в глубоком космическом вакууме. На вход моноблока подается низкое переменное напряжение от ВИП, а с выхода снимается высокое ускоряющее напряжение, напряжение питания цепей накала, прикатодного управляющего электрода, отклоняющих и фокусирующих систем. Номинальная мощность ВБ составляет обычно 0,5...4 кВт.

К функциям БУ относятся: формирование программ функционирования установки; прием и выдача управляющих команд; обработка и выдача сигналов в систему телеметрии. Системы БУ, обеспечивающие выполнение этих функций, обычно компонуются в едином аппаратном шкафу. Одной из систем блока управления является коммутирующая исполнительная аппаратура. Элементы этой системы компонуются раздельно таким образом, чтобы обеспечивались наилучшие условия функционирования установки. Пульт управления предназначен для выдачи первичных команд и отображения необходимой оперативной информации.

На рис. 2.17 показан современный комплекс космической сварочной электронно-лучевой аппаратуры УН-131, который может быть использован как при работе вручную, так и в сочетании с робототехническими устройствами.

Компоновка блоков технологической аппаратуры на космическом объекте диктуется конструктивными особенностями объекта, за-

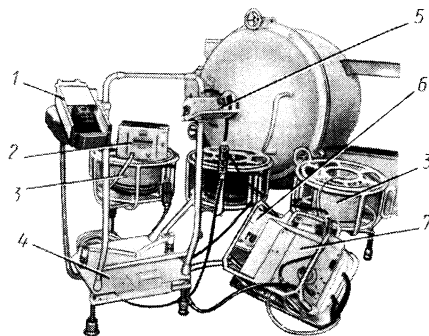


Рис. 2.17. Современный комплекс электронно-лучевой сварочной аппаратуры для работы в космосе:

1 — контейнер с рабочим инструментом; 2 — система диагностирования; 3 — кабельные коммуникации; 4 — позиционер оператора; 5 — пульт управления оператора; 6 — пульт управления ассистента; 7 — герметичный приборный отсек

дачами технологической аппаратуры и условиями ее эксплуатации. Как правило, предусматривается три различных варианта компоновки в состоянии: транспортном, рабочем и консервации.

В транспортном состоянии блоки технологической аппаратуры компонуются с таким расчетом, чтобы они надежно выдерживали перегрузки, действующие на космический объект при его выведении на орбиту. В рабочем состоянии требования к компоновке определяются обеспечением наилучших условий для выполнения операторами и установкой своих функциональных задач. Для этого снимаются различные транспортные ограничения, разворачивается и оборудуется рабочее место, закрепляются необходимые вспомогательные приспособления, а блоки оборудования устанавливаются наиболее удобным для выполнения работы образом.

Космическое сварочное оборудование не рассчитано на непрерывное функционирование в течение длительного времени. Поэтому после завершения определенного этапа работ оно обычно консервируется. При консервации вновь производится перекомпоновка блоков с целью обеспечения их надежного хранения. В зависимости от задач сварочное оборудование может быть законсервировано в герметичных отсеках космических объектов или на их внешней поверхности.

2.7. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ЛАЗЕРНОЙ СВАРКИ, НАПЛАВКИ И РЕЗКИ

Лазерное технологическое оборудование создается в виде автоматизированных лазерных технологических комплексов (АЛТК), чтобы обеспечить высокие производительность и точность обработки, а также снижение вспомогательного времени подачи заготовки в

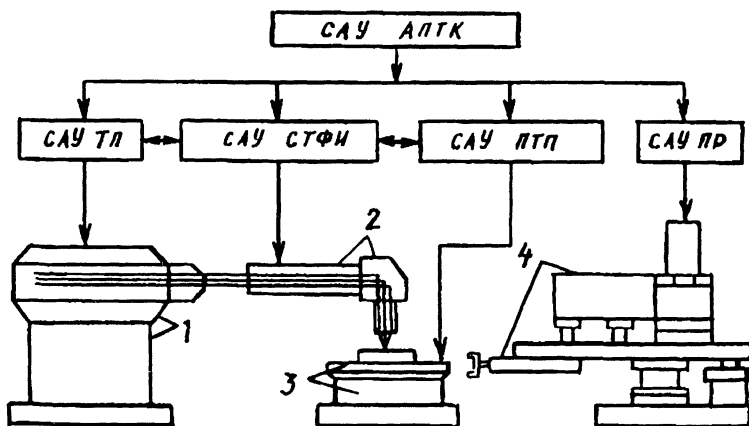


Рис. 2.18. Схема автоматизированного лазерного технологического комплекса (АЛТК):

1 — технологический лазер (ТЛ); 2 — система транспортировки и фокусировки излучения (СТФИ); 3 — лазерный технологический пост (ЛТП) с обрабатываемыми изделиями; 4 — лазерный робот (ЛР)

зону обработки и съема готовых деталей (рис. 2.18) [4]. Система автоматического управления (САУ) АЛТК содержит локальные САУ—ТЛ, СТФИ, ЛТП и ЛР. Иногда целесообразно применение лазерного технологического оборудования с ручным управлением. Наличие робота в составе АЛТК не обязательно. Его применение оправдано при работе АЛТК в составе конвейера или когда необходимо дополнительно манипулировать обрабатываемым изделием.

В АЛТК используются газовые и твердотельные лазеры, работающие в непрерывном и импульсном режиме генерации. Это, как правило, CO_2 -лазеры и лазеры на иттрий-алюминиевом гранате; очевидно, что в бли-

жайшее время в АЛТК для резки будут применяться также эксимерные лазеры [25]. Требования к лазерам, применяемым в АЛТК, приведены в табл. 2.11.

СТФИ служит для транспортировки лазерного пучка от лазера до фокусирующей системы и его фокусировки. Система транспортировки лазерного пучка состоит из поворотных зеркал с устройствами юстировки, проходного датчика мощности, оптического затвора и в некоторых случаях входного коллиматора, которые расположены в защитном кожухе. Объем кожуха заполняют обеспыленным и не поглощающим данное излучение газом (например, азотом). Иногда такие световоды делают гибкими с поворотными зеркалами, установ-

2.11. Требования к лазерам, применяемым в АЛТК для сварки, наплавки и резки [4]

Процесс лазерной технологии	Сварка	Наплавка	Резка
Интенсивность излучения на поверхности обрабатываемого изделия, Вт/см ²	$2 \cdot 10^5 \dots 2 \cdot 10^6$	$2 \cdot 10^5 \dots 2 \cdot 10^6$	$2 \cdot 10^6 \dots 1 \cdot 10^7$
Длительность излучения, с, не менее	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$
Диапазон мощности излучения, кВт	1...20	1...5	0,5...5
Угловая расходимость по уровню 0,86 полной мощности пучка, мрад	1...2	1...3	0,5...1
Апертура пучка, мм	20...60	20...80	10...30
Допустимая нестабильность, %:			
мощности	± 3	± 3	± 2
угловой расходимости	± 3	± 3	± 2
Допустимая нестабильность оси диаграммы направленности, мрад	0,25	0,25	0,03
Поляризация излучения	Круговая	Произвольная	Круговая

ленными на шарнирных сочленениях, которые обеспечивают поворот зеркала на угол в 2 раза меньший, чем изменение угла между осями падающего и отраженного пучка. При мощности излучения менее 1 кВт и когда требования к качеству пучка невысоки применяют гибкие волоконные световоды. Фокусирующая система гибких световодов легко сочленяется с захватом робота, который перемещает ее относительно обрабатываемого изделия согласно программе.

Фокусирующая система может быть линзовой или зеркальной. Последнюю целесообразно применять при мощности излучения выше 2...3 кВт. Линзовые системы имеют сферическую aberrацию значительно большую, чем зеркальные, но первые компактнее, хотя и менее надежны. Для повышения надежности фокусирующие системы снабжают устройствами защиты оптических деталей от пыли, дыма, паров и брызг обрабатываемого материала (газовые завесы и др.). Они также должны иметь устройства стабилизации положения фокуса относительно обрабатываемой поверхности, которые исполнены с опорой на поверхность изделия или без опоры с емкостным датчиком.

С фокусирующими системами сочленяются в сварочных установках системы газового подавления плазмы и газовой защиты шва; резательных — устройства подачи вспомогательного газа; наплавки — дозаторы порошка, обеспечивающие расход 1,5...300 мм³/с.

Для увеличения ширины зоны обработки при наплавке применяют устройства для сканирования лазерного пучка по круговой либо пилообразной траектории с частотой 10...300 Гц, которое осуществляется, как правило, колебанием одного из зеркал в системе транспортировки или фокусировки пучка (обычно последнего). Синхронно с перемещением пучка движется и сопло, подающее в зону наплавки присадочный материал.

Различают оборудование для лазерной сварки и резки листовых и объемных заготовок. Типичные конструктивные схемы оборудования для обработки листов с постоянной и переменной длиной оптического тракта приведены на рис. 2.19, а—г [6]. По одной или одновременно по двум координатам перемещается лист обрабатываемой заготовки 5 или излучатель 1 лазера вместе с лазерным инструментом 4. Пучок 2 передается в зону обработки с помощью неподвижных или подвижных отражающих зеркал 3. По схеме, показанной на рис. 2.19, а, создается оборудование на базе высечных ножей, прессов (лазер-пресс), координатных столов, фрезерных станков. По схеме, показанной на рис. 2.19, б, в, реализуются машины портальной конструкции, причем излучатель лазера может устанавливаться на подвижном портале, каретке поперечного хода (рис. 2.19, б) или стационарно (рис. 2.19, в). Недостаток оборудования с переменной длиной оптического тракта — изменение параметров сфокусированного пучка в различных точках зоны обработки ввиду на-

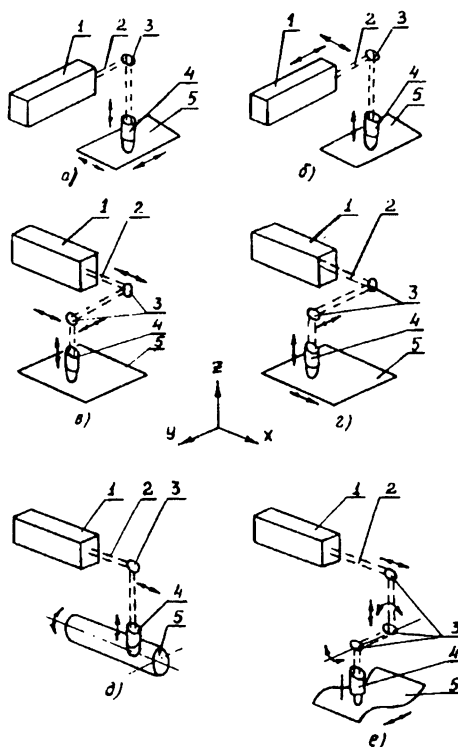


Рис. 2.19. Конструктивные схемы оборудования для лазерной сварки и резки листовых и объемных заготовок:

а, б — с постоянной длиной оптического тракта; в, г — с переменной длиной оптического тракта; д, е — для обработки объемных заготовок

личия расходимости излучения. Чтобы обеспечить требуемую производительность и качество резки, максимальная длина оптического тракта не должна превышать 6...10 м при расходимости излучения в пределах 1...1,5 мрад. Для обеспечения постоянного положения фокальной плоскости относительно поверхности обрабатываемого листа, который может иметь волнистость, оптический инструмент имеет возможность перемещаться по оси.

При обработке труб или обечаек предусматривается вращение заготовки и перемещение в горизонтальной плоскости отражающего зеркала (иногда вместе с излучателем лазера). Оборудование для обработки объемных заготовок (рис. 2.19, д, е) имеет 3—6 степеней подвижности в зависимости от конфигурации заготовок. В качестве приводов для обработки простых прямолинейных контуров применяют в основном тахометрические электромеханические приводы, а для обработки криволинейных контуров — следящие электромеханические приводы с тиристорными или транзисторными усилителями. В последнее время нашли распространение также электроприводы с линейными электродвигателями. Конечными

2.12. Техническая характеристика оборудования для резки листов

Оборудование (страна)	Рис. 2.19	Зона обработки, м	Число степеней подвижностей	Мощность, кВт	Скор. резки, м/мин	Точность позиционирования, мм
Машина "Севан"	<i>б</i>	2×2	2	0,25	10	+0,2
Машина "Бирюса 2М"	<i>г</i>	1,8×6	2	1	5	+0,3
Лазер-пресс "Трумпф" (Германия)	<i>а</i>	1×1,3	2	1,5	15	+0,1
Машина "Омнимат" (Германия)	<i>в</i>	2,5×3	2	1,5	12	+0,1
Машина ТЛУ-1000 (Болгария)	<i>г</i>	1×1,5	3	1,3	5	+0,15
Комплекс "Быстроник" (Швейцария)	<i>в</i>	1,5×3	2	1,5	15	+0,1
Комплекс ЛАК-554 (Япония)	<i>в</i>	2,4×6	3	3	8	+0,5

кинематическими звеньями электромеханических приводов машин с размерами зоны обработки до 1×1 м являются, как правило, шариковинтовые пары машин с большими габаритами зоны обработки — реечные передачи.

При сварке и резке сложных контуров используются многокоординатные системы ЧПУ на базе микроЭВМ. Система ЧПУ управляет координатными перемещениями оборудования, а также технологическими операциями включения излучения, вспомогательных газов и др. На современных портальных машинах для резки электроприводы и система ЧПУ располагаются, как правило, на подвижном портале. Для подготовки управляющих программ оптимального раскроя листов применяют автономные программирующие центры на базе мини-ЭВМ типа СМ1420.

Оборудование для сварки или резки объемных заготовок создается на базе портальных роботов или роботов антропоморфного типа. Программирование производится методом обучения или расчетным путем.

Техническая характеристика некоторых автоматизированных комплексов для резки листов приведена в табл. 2.12.

2.8. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СВАРКИ СВЕТОВЫМ ЛУЧОМ

В установках для сварки световым лучом в качестве источника излучения обычно используют шаровые дуговые ксеноновые лампы сверхвысокого давления двух типов: ДКСШ — с воздушным охлаждением и ДКСШРБ — с комбинированным воздушно-водным охлаждением мощностью 0,12...10 кВт. Ксеноновые лампы работают от источника постоянного тока с напряжением холостого хода не ниже 70 В и падающей вольт-амперной характеристикой. Хорошо себя зарекомендовали сварочные выпрямители серии ВСВУ. Дуговой разряд в лампах возбуждается с помощью специального высоковольтного высокочастотного блока поджига (осциллятора)

Установка УСПЛЭ-1-МАТИ состоит из стеклянного длиннофокусного отражателя с соотношением фокусных расстояний (осевым увеличением) $M_0 = 7,3$ диаметром 600 мм с углом охвата 180° и двухлинзового кварцевого объектива. Установка рассчитана на применение лампы типа ДКСШРБ мощностью 3,5...10 кВт. Максимальная плотность лучистого потока в центре сфокусированного пятна нагрева (2200 Вт/см^2) достигается при использовании лампы типа ДКСШРБ-1000 мощностью 10 кВт и системы с кварцевым объективом. Установка оснащена следующими технологическими узлами: станиной, на которой установлен рабочий стол с электроприводом, столом, предназначенным для размещения на нем приспособлений и перемещения деталей под световым лучом при выполнении сварных швов; оптическим устройством для наблюдения за процессом нагрева; пневматическим затвором, служащим для перекрытия лучистого потока; блоком питания ксеноновых ламп и пульта управления. На установке успешно выполняют сварку тонколистовых конструкционных металлов (12Х18Н10Т, ОТ4, Ст3, АМг3) толщиной 0,1...2,0 мм.

Установка содержит семь моноэллипсоидных систем, в которых в качестве концентратора излучения использован стеклянный отражатель диаметром 156 мм с углом охвата 180° и соотношением фокусных расстояний $M_0 = 7,8$. В качестве источников излучения применены дуговые ксеноновые лампы типа ДКСШ-1000 мощностью 1 кВт. В установке за счет перемещения отдельных оптических систем в зависимости от требуемой технологической задачи можно создавать точечный, кольцевой и плоской источники теплоты в рабочей плоскости установки. Максимальная плотность лучистого потока в рабочем пятне нагрева при фокусировке всех систем в одну точку составляет 1000 Вт/см^2 . С использованием этой установки успешно могут быть решены задачи по

сварке тонколистовых конструкций толщиной менее 0,2 мм.

Промышленная установка УСС-1 создана для сварки листовых конструкций с толщиной листа менее 2 мм. В установке использован стеклянный алюминированный эллипсоидный отражатель диаметром 358 мм с углом охвата 200° , осевым увеличением $M_0 = 4$, специализированная ксеноновая лампа типа ДКСШРБ-3800 мощностью 4 кВт. Такая система обеспечивает получение максимальной плотности лучистого потока 2500 Вт/см^2 .

В промышленности находят применение модули лучистого нагрева (МЛН) различного технического назначения. Такие модули могут устанавливаться на разнообразные технологические стапелы или станки в зависимости от конкретной технологической задачи. В модулях применен новый более прогрессивный металлический отражатель, который позволяет существенно повысить плотность лучистого потока в пятне нагрева, а следовательно, производительность сварочных установок. Так, система с отражателем, изготовленным из алюминиевого сплава Д16 диаметром 300 мм, углом охвата 238° с осевым увеличением $M_0 = 3,5$ позволяет достигнуть максимальной плотности лучистого потока в центре пятна нагрева 6000 Вт/см^2 при использовании лампы типа ДКСШРБ-5000 мощностью 5 кВт, работающей в номинальном режиме.

Дальнейшее повышение эффективности процесса нагрева световым лучом может быть достигнуто за счет увеличения энергетической яркости ламп путем перехода от непрерывного к импульсному режиму их питания. Установлено, что при кратковременной (0,1...1,0 с) перегрузке лампы по силе тока в 1,5...2,0 раза плотность лучистого потока в пятне нагрева может быть повышена в 2,0...2,5 раза. При этом лампа работает достаточно стабильно, без заметного сокращения срока службы.

В последние годы в промышленности был разработан более прогрессивный МЛН с короткофокусным металлическим отражателем, имеющий более высокие энергетические характеристики. Он состоит из металлического водоохлаждаемого отражателя, дуговой ксеноновой лампы серии ДКСШРБ, узла юстировки, затвора — регулятора лучистого потока, системы визуального наблюдения за процессом сварки, аппаратуры измерения и контроля параметра светового луча, пульта управления. Электрическое питание ксеноновых ламп мощностью 3,0...10 кВт осуществляется от сварочного тиристорного выпрямителя типа ВСВУ-630, обеспечивающего непрерывный и импульсный режим работы.

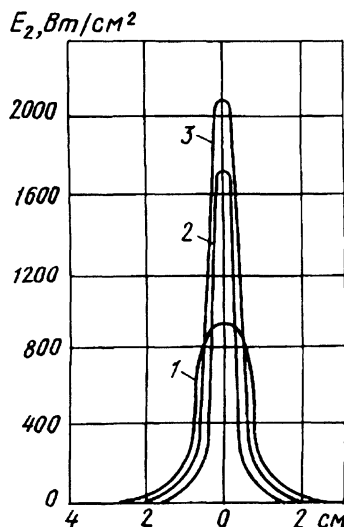


Рис. 2.20. Выходные энергетические параметры пучка лучистой энергии E установок с ксеноновой лампой ДКСШР-5000М:

- 1 — длиннофокусная моноэллипсоидная система ($P_n = 5,9 \text{ кВт}$); 2 — длиннофокусная моноэллипсоидная система с линзовым объективом ($P_n = 5,9 \text{ кВт}$); 3 — короткофокусная моноэллипсоидная система ($P_n = 5,1 \text{ кВт}$)

Выходные параметры пучка лучистой энергии E сварочных установок представлены с ксеноновой лампой ДКСШР-5000М (рис. 2.20).

2.9. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ТЕРМИТНОЙ СВАРКИ

Для термитной сварки рельсов, стержневой арматуры железобетонных конструкций, наплавочных, ремонтно-восстановительных и других работ на базе термитных процессов не требуется специального оборудования. Для выполнения этих работ необходимы термитные смеси соответствующих составов, огнеупорные формы и средства для воспламенения смесей в начале термитных процессов.

Составы термитных смесей и огнеупорных форм, чертежи огнеупорных форм и технологии термитной сварки стержневой арматуры железобетонных конструкций разработаны Институтом электросварки им. Е. О. Патона.

Термитную сварку одно- и многожильных проводов и кабелей электросетей с площадью поперечного сечения до 800 мм^2 производят с помощью патронов марки ПА (см. ниже), а голых алюминиевых и сталеалюминиевых проводов поперечным сечением до 600 мм^2 — патронами марки ПАС (табл. 2.13) и специальными клещами для осадки (табл. 2.14). Многопроволочные медные провода электросетей площадью сечения от 25 до 150 мм^2 можно соединять также с помощью термитных патронов (см. ниже) и клещей для осадки. Марка патронов для термитной сварки алюминиевых

2.13. Марки термитных патронов для соединения голых алюминиевых и сталеалюминиевых проводов

Марка провода	Марка патрона	Марка провода	Марка патрона
A-16, AC-16	ПАС-16	AC-185	ПАС-185
A-25	ПАС-25	AC-240	ПА2-210
A-35, AC-35	ПАС-35	AC-300, ACY-300,	ПАС-300
A-50, AC-50	ПАС-50	ACO-300	
A-70, A-95, AC-70	ПАС-70	AC-400, ACY-400, ACO-500	ПАС-400, ПАС-500
A-120, AC-95	ПАС-95	ACO-600	ПАС-600
A-150, AC-120	ПАС-120		
A-185, AC-150	ПАС-150		

2.14. Тип клещей для термитной сварки голых алюминиевых, сталеалюминиевых и медных проводов

Клещи	Масса, кг	Сварка проводов
АТСП50-185	3,5	Алюминиевых и сталеалюминиевых площадью сечения до 185 мм ² , медных менее 150 мм ²
АТСП240-600	4,5	Алюминиевых и сталеалюминиевых площадью сечения 240...600 мм ²
ПТСП	5,0	Алюминиевых и сталеалюминиевых площадью сечения менее 600 мм ² , медных менее 150 мм ²
ПСП-3	5,0	

жил ПА, а цифры — площадь сечения жил в мм² (ПА-16...ПА-800). Ниже приведены марки термитных патронов для соединения многопроволочных медных проводов:

Марка	M-25,					
провода....	M-35	M-50	M-95	M-120	M-150	
Марка						
патрона.....	M-35	M-50	M-70	M-120	M-150	

Заземляющие стержни и шины можно сваривать аналогично стержневой арматуре железобетонных конструкций в специальных огнеупорных формах.

2.10. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СВАРКОПАЙКИ

Соединение сваркопайкой разнородных материалов (меди со сталью, титана с медью, алюминия с медью, ниобия со сталью и др.) осуществляют с помощью оборудования общего назначения для сварки [2, 14, 17].

При дуговой сваркопайке используют, например, автоматы для дуговой сварки неплавящимся электродом в среде защитных газов АРК-4, АСГВ-5, АДСВ-7 и других с соответствующими источниками питания. Сваркопайка неплавящимся электродом может осуществляться на установках ПРСМ-3М, "Шторм", ПАРС-1, на переменном токе — на установках типов УДАР и УДГ, а в среде аргона — на нестандартной установке для соединения вольфрамового узла с массивным медным охладителем (рис. 2.21).

В вакуумной камере 4 нестандартной установки размещен поворотный стол 9, на котором устанавливают изделия 3. После откачки воздуха из камеры вакуумным насосом 11 в нее с помощью накатателя 2 напускают аргон из баллона 1. Стол 9 вращается до тех пор, пока одно из изделий 3 не займет фиксируемого положения для сварки. После этого включается сварочный ток, головка 5 вращается вокруг детали, оплавляя медь, которая заполняет спе-

циальный паз в вольфраме, хорошо смачивая последний. Цикл повторяется и производится сваркопайка следующего изделия. Одновременно в камеру загружается 4—8 изделий. Управление процессом осуществляется с пульта 10.

Для сваркопайки может быть использован широкий ряд установок для электронно-лучевой сварки, например, А 306.13, У-570М, У-579, ЭЛУ-19, ЭЛУ-20, УЛ-144, У-401. Применение электронно-лучевой технологии благодаря вакуумной защите и точному дозированию количества теплоты часто предпочтительнее других методов, особенно при наличии в соединяемой паре высокоактивного металла.

Сваркопайка изделий нахлесточными соединениями из разнородных металлов (например, из титана и алюминия) осуществляется на контактных точечных и шовных машинах, основными операциями которых являются сжатие и нагрев деталей током. Наиболее перспективны установки с нагревом переменным током промышленной частоты, постоянным током и конденсаторные. Режим сварки выбирается таким образом, чтобы произошло частичное оплавление более низкотемпературного металла, а соединение происходило за счет смачивания им второго металла. Для получения таких соединений успешно применяют машины: для контактной точечной сварки на переменном токе МТ-1818, МТ-2023, МТ-2102, МТ-4019 и др.; для конденсаторной точечной сварки МТК-2201, МТК-5502, МТК-8004 и др.; для шовной сварки на переменном и постоянном токе МШ-1601, МШ-2001, МШ-2201, МШ-3201, МШ-3208, МШВ-8001, МШВ-8501 и др.

Особо следует отметить перспективность применения установок большой мощности (более 500 кВ·А), например, машин для рельсовой сварки. Так, машина К-602, имеющая номинальную силу тока 100 кА (номинальная мощность 800 кВ·А) и усилие сжатия до 80 кН, успешно применена для сваркопайки

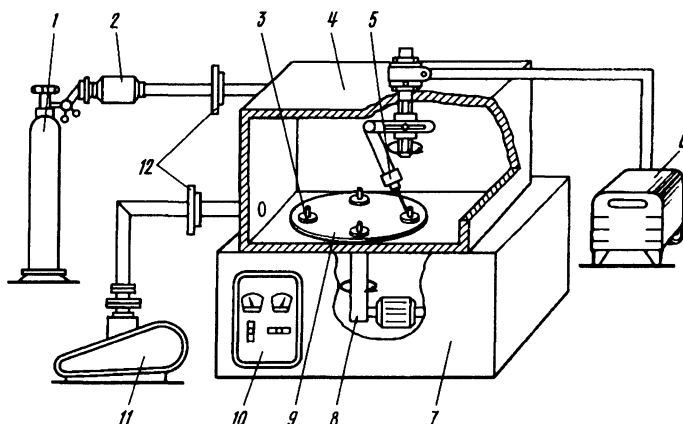


Рис. 2.21. Установка для сваркопайки вольфрама с медью:

- 1 — баллон с аргонем; 2 — натекаль; 3 — изделие; 4 — вакуумная камера;
5 — вращающаяся головка; 6 — источник питания; 7 — корпус установки;
8 — привод вращения стола; 9 — поворотный стол; 10 — пульт управления;
11 — вакуумный насос; 12 — задвижка

композиционных материалов на основе алюминия с алюминием, медью, титаном, коррозионно-стойкой сталью. Соединяются как плоские, так и трубные заготовки, причем в последнем случае при необходимости за счет особой конструкции приспособления можно обеспечить всестороннее сжатие. При соединении материалов с однородной основой, как правило, применяют более легкоплавкий припой.

Для получения стыкового соединения методом сваркопайки труб и прутков диаметром менее 20 мм из разнородных металлов (сталь—титан, коррозионно-стойкая сталь—ниобий или медь) для нагрева используют дугу низкого давления. Установки для осуществления этого процесса включают вакуумную камеру с соответствующей системой откачки, источник переменного тока и систему управления. Внутри вакуумной камеры располагаются подвижный и неподвижный зажимы, предназначенные для крепления соединяемых деталей и подвода к ним электрического тока. Режим нагрева подбирается таким образом, чтобы торец менее тугоплавкой детали оплавился, а более тугоплавкой нагрелся до температуры смачивания. После этого торцы быстро сближаются. Обычно такие установки получают переоборудованием имеющихся установок, например, на базе установок УДСВ-ДГ, ВВУ-1.

В последние годы получил распространение процесс сваркопайки с использованием процесса аргонодуговой сварки с присадкой в зону дуги припоя в массовом производстве, например, в автомобилестроении. В Японии разработано специализированное оборудование, отличающееся высокой степенью автома-

тизации (рис. 2.22). На поворотном столе 8 размещаются стальные изделия 6. Сварочная головка 1 и катушка 3 с присадочной проволокой размещены на специальных консолях 2. Все оборудование, включая баллон с аргонем 4 и блок управления 9, смонтировано в одном корпусе 7. Установка работает следующим образом. При нахождении детали 6 в исходном положении включается подача аргона, затем сварочный ток. После этого начинается прогрев вращающегося изделия за счет теплоты дуги, горящей между неплавящимся электро-

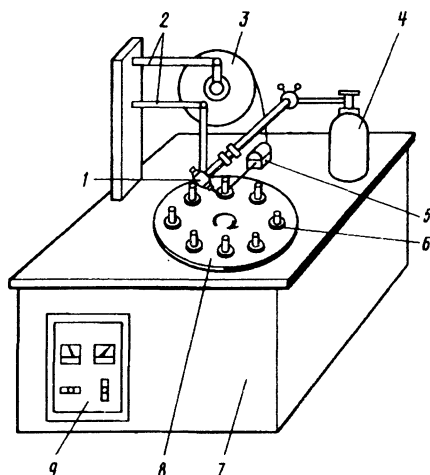


Рис. 2.22. Установка для дуговой сваркопайки с присадкой припоя

дом и изделием. После подогрева изделия до температуры смачивания стали латунью (контроль по времени) включается механизм 5 подачи проволоки и под дугу начинает подаваться латунь, причем в строго определенное время. Затем ток и подача проволоки отключаются, а шов, полученный за счет использования процесса сваркопайки, несколько секунд обдувается аргоном, после чего подача его прекращается. Затем стол перемещается на следующий шаг, и процесс повторяется.

Преимущества такого оборудования следующие: высокая производительность, исключение применения флюса, высокое и стабильное качество за счет точного соблюдения всех параметров процесса.

Сваркопайка, безусловно, не универсальный процесс. Однако во многих случаях, особенно при соединении разнородных материалов, этот метод позволяет найти наиболее рациональное решение, особенно при использовании специализированного автоматизированного оборудования.

2.11. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ВОЗДУШНО-ДУГОВОЙ РЕЗКИ

Оборудование для воздушно-дуговой резки (ВДР) включает резки для ручной резки и токовоздухопроводы к ним, источники питания, технологическое и вспомогательное оборудование для механизированной и автоматической резки, систему приточно-вытяжной вентиляции.

Резки, соответствующие условиям работы сварочных и заготовительных цехов, а также обрубных участков литейных производств, должны удовлетворять следующим основным требованиям: обеспечивать работу в труднодоступных местах сварных конструкций и на внутренних полостях отливок; иметь надежное крепление электрода, а также электро- и теплоизоляцию; минимально возможные габаритные размеры и массу; обеспечивать стабильно направленное воздушное дутье заданной интенсивности; обеспечивать быструю смену зажимных губок или замену всей головки [8]. Типы и основные параметры ручных резаков для ВДР регламентированы ГОСТ 10796—74.

Резки классифицируют: по принципу зажатия электрода — винтовые, цанговые, рычажно-пружинные, с пневмозажимом, клиновые; по способу подачи воздуха — цилиндрические или щелевые; по форме электрода — круглые или плоские; по виду охлаждения — воздушные или водяные; по условиям эксплуатации — для поверхностной резки-строжки или разделительной резки [9].

Резки с винтовым зажимом отличаются простотой и надежностью контакта практически на любых токах, однако смена электрода требует длительного времени и вспомогательного инструмента. Кроме того, затруднена изоляция головки резака, что препятствует его применению для обработки внутренних полостей. Резки с цанговыми зажимами

(РВД_у-600, РВД_у-800) надежны в работе с круглыми электродами с силой тока менее 800 А, но головки этих резаков сложны и трудоемки в изготовлении. Резки рычажно-пружинного типа, например, РВД_л-800 (рис. 2.23) наиболее широко применяют для работы на наружных поверхностях деталей с силой тока менее 1000 А. При выполнении резки внутри полостей рычажный зажим затрудняет манипулирование резаком. Для работы с силой тока свыше 1000 А необходимо устанавливать мощные пружины, что усложняет процесс смены электродов.

Резки с пневмозажимами более компактны, удобны в работе не только на наружных, но и на внутренних поверхностях отливок. Однако при смене электрода обязательно нужно перекрывать сжатый воздух, поскольку вентиль расположен сразу за рукояткой резака. Это дополнительное сопротивление на пути сжатого воздуха сказывается на интенсивности дутья. Резки с пневмозажимами сравнительно сложны по устройству и более трудоемки в изготовлении, чем держатели с рычажно-пружинным зажимом. Разработаны резки с пневмозажимами с силой тока 500, 1000 и 1300 А [8]. Резки с зажимами клинового типа отличаются наиболее надежным креплением плоского электрода. Головки резаков с клиновым зажимом могут быть прямыми (для поверхностной ВДР) и угловыми (для срезки металла в полостях и окнах деталей или отливки). Резки с зажимами клинового типа имеют марки РВД_л-1000, РВД_л-1600, "Раздан" и др.

Для охлаждения нагретых частей головки резака и всего устройства используют воздух, поступающий на дутье. Еще более эффективно охлаждение деталей резака и токовоздухопровода негорючей жидкостью, например, водой. Резки с водяным охлаждением (например, РВД_л-2000) более компактны, чем с воздушным. Вода, поступающая на охлаждение токоведущих деталей, может одновременно использоваться для образования водовоздушной эмульсии, выполняющей ту же роль, что и воздушное дутье. При этом наличие воды в атмосфере рабочей зоны электрической дуги и газовой струи снижает количество пыли и сварочных аэрозолей во внешней среде.

Использование водовоздушной смеси в качестве технологического дутья повышает эффективность охлаждения и снижает площадь сечения токоведущих жил. Например, при работе с силой тока 1500 А площади сечений то-



Рис. 2.23. Резак рычажно-пружинного типа

2.15. Рекомендуемые источники питания

Материал	Максимальная толщина, разрезаемая за один проход, * мм	Источник питания
Чугун	30 40	ТДР-1601, ВДМ-1001, ВДУ-1201 ТДР-1601, ВДМ-1601, ВДУ-1602, ВДМ-3000
Сталь	20 30 40	И-115, ВДУ-506 ВДМ-1001, ВДУ-1201 ВДМ-1601, ВДУ-1602, ВДМ-3000
Медь и ее сплавы	20 30 50	И-115, ВДУ-506 ВДМ-1001, ВДУ-1201 ВДМ-1601, ВДУ-1602, ТДР-1601
Алюминий и его сплавы	50 70	ВДМ-1001, ВДМ-600М, И-115, ВДУ-506 ВДМ-1601, ВДУ-1602

* Для разделительной резки. При поверхностной резке-строжке толщина металла, удаляемого за один проход, не должна превышать толщины электрода.

коведущих жил следующие: без охлаждения 250 мм²; с воздушным охлаждением 125 мм²; с водовоздушным 80 мм² (при расходе воды 150 см³/мин) и 50 мм² (при расходе воды 700 см³/мин).

Рациональной системой подвода тока и воздуха для резаков всех типов является совмещенный тоководухопровод (рис. 2.24), состоящий из штуцеров 1 и 5 с цилиндрическими хвостовиками, к которым припаяны тоководущие жилы 2, равномерно расположенные по окружности хвостовиков. Наружной оболочкой служит дюритовый шланг 3, рассчитанный на давление до 1,2 МПа.

Источниками питания при ВДР являются стандартные сварочные преобразователи и трансформаторы. При выборе источников питания следует учитывать конкретные производственные условия и технологические требования. Так, при работе на силе тока менее 500 А оптимальным является применение сварочных преобразователей или выпрямителей. Использование постоянного (выпрямленного) тока обратной полярности обеспечивает стабильность процесса, хорошее качество реза и достаточно высокую производительность тру-

да. Стабильность протекания процесса резки на переменном токе такой же силы достигают путем включения осциллятора и повышения напряжения холостого хода до 100 В.

Выбор источников тока зависит также от материала обрабатываемых изделий. При резке легированных сталей оптимален постоянный ток обратной полярности, обеспечивающий более высокую производительность процесса при удовлетворительном качестве обрабатываемой поверхности. При обработке легированных коррозионно-стойких сталей во избежание науглероживания поверхности реза и последующей межкристаллитной коррозии следует применять источники переменного тока. Для обработки чугуна также рекомендуются источники переменного тока, при этом параметры шероховатости поверхностей реза сопоставимы с этими же параметрами поверхности отливков. ВДР цветных металлов и их сплавов осуществляют с применением как сварочных преобразователей, так и трансформаторов [8].

Мощность источника тока определяется сечением разрезаемых деталей и требуемой производительностью процесса, а при обработке отливок — размерами литейных элементов, удаляемых с поверхностей. В табл. 2.15 приведены рекомендуемые источники питания в зависимости от разрезаемого материала и его толщины.

Механизированные устройства для ВДР повышают ее эффективность и расширяют границы применения. При однооперационной работе с большим объемом протяженных резов, например, при подготовке кромок на листах под сварку, целесообразно использовать механизмы с полным автоматическим циклом.

Автоматическую ВДР на установке АВД-1 применяют, например, для снятия усиления сварного шва высотой 4...5 мм со скоростью 120...140 м/ч. Производительность процесса при этом в 3—4 раза выше, чем при ручной резке.

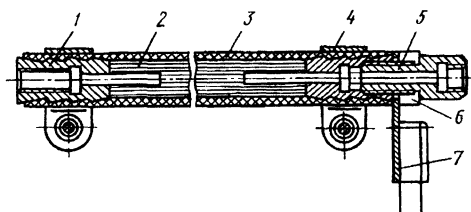


Рис. 2.24. Совмещенный тоководухопровод:

1 и 5 — штуцера; 2 — тоководущие жилы; 3 — дюритовый шланг; 4 — хомут; 6 — гайка; 7 — токопровод

Для производств, имеющих широкую номенклатуру изделий с разной длиной резов и поочередным выполнением этих резов, устройства с автоматическим циклом и контролем режима резки малоэффективны. В подобных случаях применяют более простые устройства. Механизированную резку на установке ПВД-3 используют при изготовлении шарового резервуара из стали 16Г2АФ объемом 600 м³. Источником питания является сварочный выпрямитель ВДМ-1000 с набором балластных реостатов РБ-300. Резку ведут угольными электродами диаметром 7 и 9 мм с углом наклона к поверхности реза 30° на режиме: сила тока 500 А, скорость резки 21 м/ч, давление сжатого воздуха 0,4 МПа, расход 32 м³/ч. Механизированная ВДР позволяет выдерживать требуемую форму разделки корня шва, обеспечивает необходимую шероховатость поверхности реза. В результате не только повышается производительность процесса, но и снижаются затраты на последующую заварку корня шва.

При использовании ВДР в литейном производстве в связи с широкой номенклатурой обрабатываемых отливок с большим разнообразием литейных элементов, подлежащих удалению, их нестабильности по линейным размерам, объему и местоположению, целесообразно использование манипуляторов с ручным дистанционным управлением. Для ограничения изгибающего усилия на угольный или графитированный электрод применяют манипуляторы повышенной чувствительности обратной связи: усилие, испытываемое электродом, не должно превышать 5...10 Н.

Перспективно применение в качестве электрода вращающегося диска, перемещаемого параллельно обрабатываемой плоскости и при механизации процесса ВДР на обрубных операциях в литейных цехах. При этом усилие взаимодействия изделия с вращающимся электродом направлено по радиусу последнего, изгибающий момент отсутствует, электрод выходит из строя только при износе его рабочей поверхности. Установки для ВДР вращающимся электродом используют для работы как в автоматическом, так и полуавтоматическом циклах.

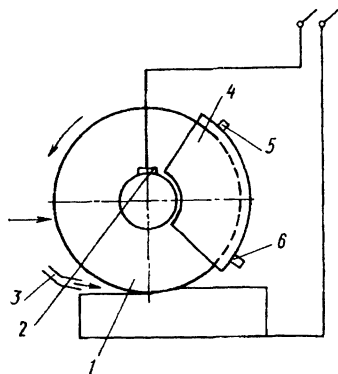


Рис. 2.25. Схема рабочей головки для воздушно-дуговой резки вращающимся электродом

Схема рабочей головки установки представлена на рис. 2.25. Дисковый электрод 1 имеет токоподвод 2, питаемый электрическим током. Сжатый воздух подается от бокового сопла 3, расположенного по касательной к окружности дискового электрода. Система охлаждения электрода выполнена в виде секторного кожуха 4, снабженного распылительными соплами 6 и отсасывающим паровоздушную смесь устройством 5, расположенным в верхней части кожуха.

Дисковым электродом диаметром 500 мм при работе с силой тока 2500...5000 А, частоте вращения электрода 600...1000 мин⁻¹, подаче 240...1000 мм/мин обеспечивается высокая производительность процесса (до 150 кг/ч выплавленного металла) при удовлетворительном качестве поверхности реза и сравнительно малом тепловом воздействии на обрабатываемый металл.

2.12. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СВАРКИ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Сварка различных полимерных материалов осуществляется с применением ручных и механизированных сварочных инструментов и приспособлений, а также установок и машин, среди которых доля оборудования с автоматизированными системами управления весьма незначительна. Специализация оборудования зависит от вида сварки: нагретым газом или инструментом; экструзионной; трением вращения; ультразвуковой и высокочастотной; инфракрасным излучением. Широкий интервал сварочных параметров позволяет настраивать оборудование на требуемые параметры сварки в зависимости от конкретных соединяемых материалов.

Сварка нагретым газом, как правило, осуществляется с применением ручных нагревателей различной конструкции: газовых косвенного и прямого действия; с электрообогревом, которые нашли наиболее широкое применение, поскольку более просты и безопасны в эксплуатации.

Наибольшее распространение получил универсальный электрический нагреватель ГЭП-2 (рис. 2.26), предназначенный для сварки нагретым газом различных пластмассовых изделий толщиной менее 20 мм с помощью присадочных прутков диаметром 3...5 мм. Температура газа-теплоносителя на выходе из наконечника нагревателя 260...600°C, давление газа-носителя не более 0,5 МПа, расход 3000...7000 л/ч, напряжение питания 36 В, потребляемая мощность 750 Вт, масса 0,75 кг, габаритные размеры 210 × 30 мм.

Полуавтомат ППП-1 создан [4] для сварки нагретым газом с применением присадочного материала в нижнем положении стыковых соединений листов из термопластов. Он смонтирован на самоходной тележке и комплектуется специальным блоком питания. Полуавтоматические машины типа МСП-54, МСП-12 и СПК-М созданы [20, 21] для сварки пленок из термопластов нагретым газом без присадочного материала.

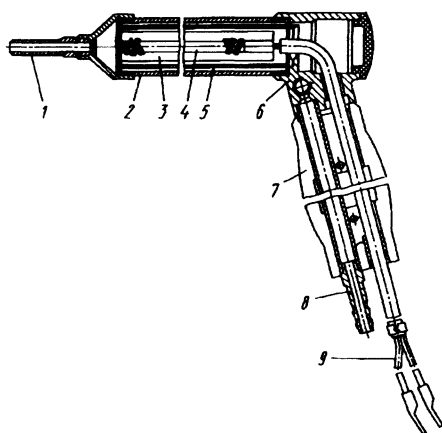


Рис. 2.26. Нагреватель ГЭП-2 для сварки пластмасс:

1 — наконечник; 2 — ствол; 3 — фарфоровая трубка; 4 — электрическая спираль; 5 — изолятор; 6 — вентиль; 7 — рукоятка; 8 — ниппель для подсоединения газового шланга; 9 — токоподводящий провод

Сварка нагретым инструментом по техническим и технологическим признакам подразделяется на группы: стыковая раструбная, прессовая, термомпульсная, ленточная и роликовая [7, 20—22].

Оборудование для стыковой сварки наиболее широко применяется для соединения пластмассовых труб нагревательным инструментом

том, работающим на газообразном или твердом топливе, или на электроэнергии. Нагревательный инструмент ОБ-2474 работает на твердом топливе и применяется в комплекте с установками для сварки пластмассовых труб диаметром 63...110 мм, а инструмент типа ОБ-2432 — на пропан-бутане и предназначен для сварки пластмассовых труб диаметром 63...225 мм. Нагревательный инструмент ТИИ-110/225 (теплогенератор инфракрасного излучения) работает на сжиженном газе и применяется в комплекте с установкой для сварки полиэтиленовых труб УСПТ-09.

Оборудование для стыковой сварки труб нагретым инструментом в зависимости от условий применения можно разделить на следующие группы: ручные приспособления и устройства; переносные установки; передвижные установки на колесном ходу; полустационарные и стационарные установки, перемещаемые с применением специальных механизмов. Привод может быть рычажный, винтовой, гидравлический, пневматический. Центраторы (зажимные узлы) установок рассчитаны на ряд типоразмеров труб, поэтому каждая установка комплектуется сменными вкладышами.

Установки, разработанные ИЭС им. Е. О. Патона (табл. 2.16), охватывают весь диапазон диаметров пластмассовых труб. В комплект установок входят центратор, электронагревательный инструмент, торцеватель и блок управления (рис. 2.27).

2.16. Техническая характеристика установок для стыковой сварки нагретым инструментом пластмассовых труб

Параметры	ОБ-2418	ОБ-2373	ОБ-2419	ОБ-2290	ОБ-2346	ОБ-2553
Диаметр свариваемых труб, мм	63...110	125...225	250...400	450...630	710...900	1000...1200
Привод торцевателя	Ручной	Электрический и ручной				Электрический
Потребляемая мощность, кВт: торцевателя нагревательного инструмента	— 1	0,4 1,3	0,6 2,2	0,6 4	0,8 8	0,8 9
Максимальное усилие сжатия труб при сварке, кН	0,9	3	10	26	30	35
Производительность, стыков/ч	6...8	2...4	2...3	1...2	1...2	1
Габаритные размеры, мм: центратора	430×250× ×760	840×510× ×1250	903×640× ×1036	1200×910× ×1200	1320×1400× ×1520	2390×2150× ×1820
блока управления	460×270× ×490	460×270× ×490	460×270× ×490	590×260× ×600	590×260× ×600	590×260× ×600
Масса, кг: центратора	17	63	70	300	415	1200
нагревательного инструмента	4	5	8	15	20	36
торцевателя	1,8	5 (8)	19 (23)	30 (35)	40 (45)	50
блока управления	31	44	49	98	196	294

Примечания: 1. Масса торцевателя в скобках указана для варианта с электрическим приводом.
2. Диапазон регулирования температуры нагревательных инструментов 190...240°C с точностью $\pm 6^\circ\text{C}$.
3. Напряжение питания блоков управления 220 В, нагревательных инструментов 42 В, торцевателей с электроприводом 220 В.
4. Система управления центратором ручная.

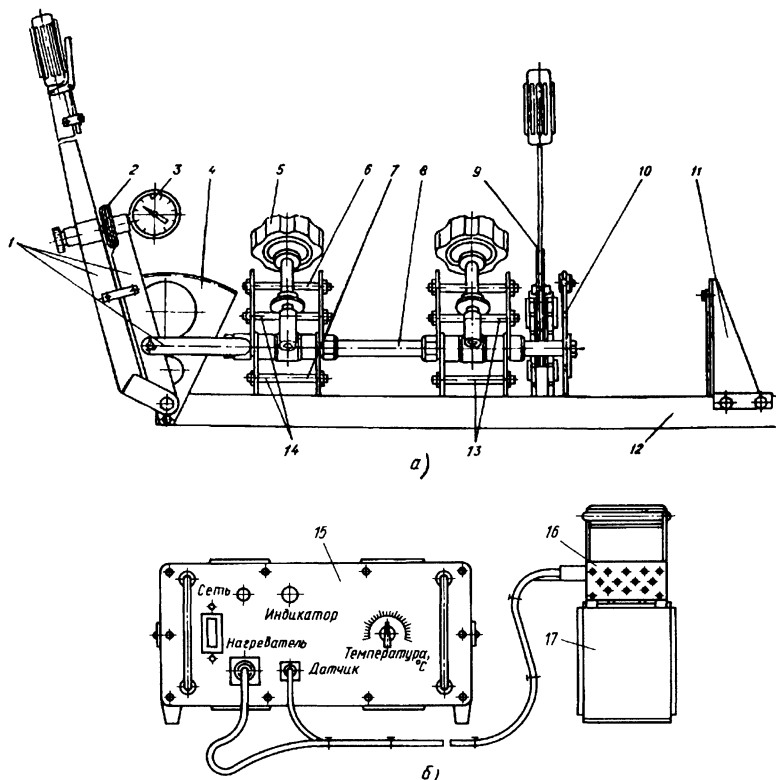


Рис. 2.27. Установка для стыковой сварки пластмассовых труб диаметром 63...110 мм нагретым инструментом:
а — центратор; *б* — блок управления с нагревательным инструментом; 1 — рычажная система; 2 — индикатор давления; 3 — манометр; 4 — зубчатый сектор; 5 — зажимной винт; 6 — верхняя откидывающаяся полуобойма; 7 — нижняя фиксированная полуобойма; 8 — направляющая; 9 — торцовое устройство; 10 — захват для зажима соединительных деталей; 11 — упорный кронштейн; 12 — рама; 13 — неподвижные зажимы; 14 — подвижные зажимы; 15 — блок управления; 16 — нагревательный инструмент; 17 — кассета

Оборудование, представленное в табл. 2.17, предназначено для единичного производства.

Широко применяются установка УСПТ-09 с гидроприводом, предназначенная для сварки в монтажных условиях полиэтиленовых труб диаметром 63...225 мм, а также приварки к трубам соединительных деталей, установки

УСП-5 (гидропривод) и УСП-69 (ручной привод) для сварки пластмассовых труб диаметром менее 315 мм, а также оснащенные гидроприводом комплекты УСКП-6 (для сварки труб диаметром 140...630 мм) и УСКП-7 (для сварки труб диаметром 140...355 мм).

2.17. Техническая характеристика установок для стыковой сварки нагретым инструментом пластмассовых труб при единичном производстве

Параметры	М-254	М-255	М-252	М-260	М-425	М-423
Диаметр свариваемых труб, мм	32...90	110...225	250...400	450...630	710, 800	1200
Привод:	Ручной	Гидравлический (с ручным управлением)				
центратора торцевателя						
Потребляемая мощность, кВт:	Электрический (от электросверлилки)					
насосной станции торцевателя	—	—	—	2,2	2,2	2,2
	—	—	—	0,34	0,34	0,5

Продолжение табл. 2.17

Параметры	М-254	М-255	М-252	М-260	М-425	М-423
нагревательного инструмента	—	1,5	3,5...4,0	4,0...5,0	6,3	7,5
Производительность, стыков/ч	4...5	3...4	2...3	1...2	1...2	1
Габаритные размеры, мм: центратора	400×170××270	330×300××400 (с гидроцилиндром)	540×640××700 (с гидроцилиндром)	800×620××800	640×920××1200	1800×1600××1500 (с насосной станцией)
насосной станции	—	—	—	340×600××320	340×600××390	Совмещена с центратором
источника питания	—	370×470××600	370×470××600	370×470××600	370×470××600	370×470××600
Масса, кг: центратора	6	42 (с гидроцилиндром)	110 (с гидроцилиндром)	80	75	250 (с насосной станцией)
насосной станции	—	—	—	46	46	—
торцевателя	3	8	12	33	28	60
источника питания	—	48	48	48	48	48

Примечания. 1. Температура нагревательных инструментов (220 ± 10)°С.

2. Напряжение питания установок (источника питания) 220 В, электронагревательного инструмента 4...12 В.

3. В комплекте с центратором М-254 могут применяться нагревательные инструменты с источником электропитания или без него.

4. Некоторые виды центраторов комплектуются насосной станцией, давление в гидросистеме которой составляет 10 МПа.

Устройства УСПМ-110, УСПМ-225 и УСПМ-315 с ручным приводом (рис. 2.28, табл. 2.18) предназначены для сварки монтажных соединений пластмассовых трубопроводов и комплектуются компактным центрато-

ром (что позволяет их применять на высоте, в труднодоступных местах и траншеях), нагревательным инструментом и торцевателем.

В числе другого широко применяемого оборудования известны устройства СА-34 и

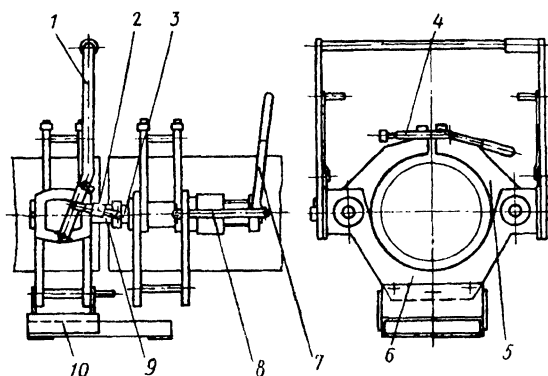


Рис. 2.28. Сварочное монтажное устройство УСПМ-225 с рычажным приводом:

1 — рычаг; 2 — тяга; 3 — ползун; 4 — замок; 5 — прижим; 6 — полухомут; 7 — курок; 8 — тяга; 9 — направляющая, 10 — подставка

2.18. Техническая характеристика устройств для стыковой сварки нагретым инструментом полиэтиленовых и полипропиленовых труб в монтажных условиях

Параметры	УСПМ-110	УСПМ-225	УСПМ-315
Диаметр свариваемых труб, мм	500...110	125...225	250, 280, 315
Тип привода	Винтовой	Рычажный	Механический
Производительность, стыков/ч	6	5	4
Пределы регулирования температуры нагревательного инструмента, °С	190...240	180...240	180...240
Напряжение питания нагревательного инструмента, В	36	36	42
Потребляемая мощность нагревательного инструмента, кВт	0,5	1,0	2,0
Габаритные размеры центратора, мм	370×170×280	450×440×500	570×640×532
Масса, кг:			
центратора	5,2	16	55
нагревательного инструмента	13,4 (с блоком управления)	5 (без блока управления)	31
торцевателя	2,4	4	7,3

2.19. Техническая характеристика устройств для изготовления сварных соединительных деталей пластмассовых трубопроводов

Параметры	УСДП-110	УСДП-225	УСДП-315
Наружный диаметр свариваемых труб, мм	63...110	125...225	160, 225, 315
Привод	Ручной		Гидравлический для кареток; электро-механический для торцевателя
Потребляемая мощность инструмента, кВт	1,5	1,5	3,0
Максимальное усилие сжатия при сварке, Н	2000	3600	16000
Габаритные размеры, мм	870×700×1080	1200×900×1275	1700×1450×2320
Масса устройства, кг	150	370	550

Примечания. 1. Максимальная регулируемая температура нагревательного инструмента 240 °С.
 2. Точность автоматического поддержания температуры нагревательного инструмента $\pm 5^\circ\text{C}$.
 3. Напряжение питания нагревательного инструмента 36 В.

СА-56 для сварки монтажных соединений пластмассовых трубопроводов диаметром 40...110 мм, устройство СА-59 для сварки труб диаметром 125...160 мм, комплект специальных приспособлений для сварки в монтажных условиях пластмассовых труб диаметром 69...315 мм. Устройства типа УСДП (табл. 2.19, рис. 2.29) предназначены для изготовления соединительных деталей пластмассовых трубопроводов в заводских условиях.

Оборудование для раструбовой сварки нагретым инструментом предназначено для соединения пластмассовых труб и комплектуется специальным нагревательным инструментом, имеющим дорн и гильзу, что обеспечивает оплавление свариваемых поверхностей трубы и соединительной детали (литой или формованной).

Устройство ОБ-2288 (табл. 2.20), разработанное ИЭС им. Е. О. Патона, предназначено

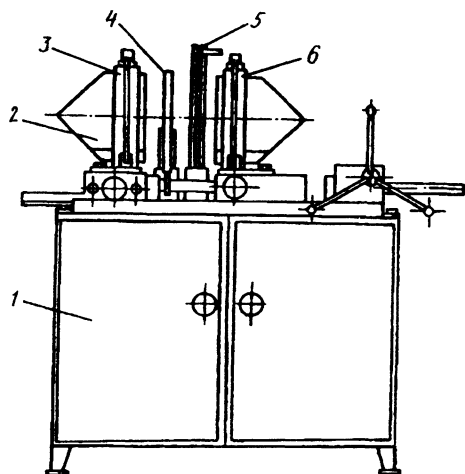


Рис. 2.29. Устройство УСДП-225 для сварки соединительных деталей пластмассовых трубопроводов:

1 — стол; 2 — вкладыш; 3 — узел левого зажимного хомута; 4 — электронагревательный инструмент; 5 — торцеватель; 6 — узел правого зажимного хомута

для эксплуатации в различных условиях и комплектуется нагревательным инструментом с набором сменных накладных деталей (дорна и гильзы), блоком питания (управления), струбциной, торцевателем с набором направляющих стаканов, хомутами.

Устройство УСП-100 предназначено для сварки в заводских условиях труб с соединительными деталями при изготовлении узлов и блоков систем внутренней канализации.

Оборудование для прессовой сварки нагретым инструментом предназначено для соединения пленочных полимерных материалов. В стационарных условиях применяют сварочные установки в виде прессов консольного

или portalного типов, а в монтажных условиях — переносные прессы скобообразной формы.

Прессы типа ПСТП (табл. 2.21, рис. 2.30) предназначены для сварки шаговым способом пленок из полиамида, полиэтилена и поливинилхлорида толщиной 0,3...2,0 мм. Прессы ПСТП-4 (ПСТП-4М) и ПСТП-2, отличающиеся длиной верхней и нижней траверс гидроподушки и нагревательных элементов, имеют портално-консольные станины, что позволяет сваривать поперечные и продольные прямолинейные швы крупногабаритных изделий, а также обслуживать прессы как с передней, так и с тыльной стороны. Пресс ПСТП-0,5У предназначен для сварки угловых швов.

Пресс ПУС-25 предназначен для сварки деталей и узлов контейнеров мягкой конструкции на основе полимеротекстильных материалов толщиной 0,3...2 мм. Максимальная температура сварки 20°C, длина сварного шва, получаемого за один цикл 2400 мм, ширина сварного шва 80 и 100 мм, производительность 6...10 швов/ч, потребляемая мощность 5 кВт, габаритные размеры 3130 × 1595 × 1935 мм, масса 2750 кг.

Установки ОБ-2451 и ОБ-2635 (табл. 2.22) предназначены для прессовой сварки нагретым инструментом гибких вентиляционных шахтных труб из армированных пленочных полимерных материалов. Установка ОБ-2635 позволяет также производить ремонт вентиляционного трубопровода при наличии повреждений в виде порывов, порезов или сквозных отверстий любых размеров. В комплект установки ОБ-2635 входит предназначенный для ремонтных работ ручной сварочный пресс с размерами нагревательного инструмента 160 × 60 мм, максимальным сварочным давлением 0,6 МПа и потребляемой мощностью 0,5 кВт.

Оборудование для термоимпульсной сварки нагретым инструментом предназначено для соединения полимерных пленок. В произ-

2.20. Техническая характеристика устройств для раструбовой сварки нагретым инструментом

Параметры	ОБ-2288	УСП-100
Наружный диаметр свариваемых труб, мм	16...63	50, 85, 110
Напряжение питания инструмента, В	42	36
Потребляемая мощность инструмента, кВт	1,0	0,5
Максимальная температура инструмента, °C	400	250
Масса, кг:		
инструмента	1,5	—
блока управления	30	—
устройства в комплекте	40	150

Примечание. Точность автоматического поддержания заданной температуры нагревательного инструмента в обоих устройствах составляет $\pm 10^\circ\text{C}$.

2.21. Техническая характеристика прессов

Параметры	ПСТП-4	ПСТП-4М	ПСТП-2	ПСТП-0,5У
Напряжение питания, В:				
электрооборудования	380/220	380/220	380/220	380/220
нагревателей	24,4...160	Менее 40	24,4...160	24,4...160
Потребляемая мощность нагревателей, кВт	5	5	5	3
Длина сварного шва за один цикл, мм	4000	4000	2000	500
Ширина сварного шва, мм	15...50	30, 40, 50	15...50	15...50
Температура нагрева в зоне шва, °С	150...200	200	150...200	150...200
Производительность, сварок/ч	4...10	6...10	4...10	4...10
Габаритные размеры, мм	4340×1100×1800	4750×1680×1825	2340×1100×1800	1700×1700×1920
Масса, кг	3500	3950	2850	1870

водстве, как правило, применяются автоматизированные установки различного типа. Машины (автоматы) типа МСП (табл. 2.23) предназначены для сварки полиэтиленовых, полипропиленовых, полиамидных и фторопластовых пленок толщиной менее 500 мкм.

Машина (автомат) М6-АП-2С предназначена для изготовления и запечатывания пакетов из пленочного полиэтилена низкой плотности или дублированной пленки по-

лиэтилен—целлофан толщиной менее 125 мкм. Максимальная длина сварного шва 500 мм, производительность при нагревательном элементе в виде проволоки ниже 400 сварок/ч, а в виде полосы ниже 350 сварок/ч, потребляемая мощность при нагревательном элементе в виде проволоки 500 Вт, а в виде полосы 800 Вт, напряжение питания машины 220 В, а нагревательного элемента 36 В, габаритные размеры 750 × 800 × 1020 мм, масса 62 кг. Автомат М6-

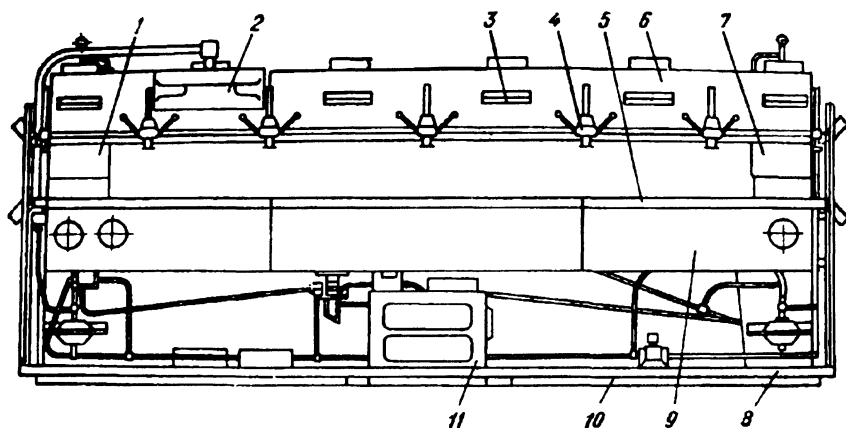


Рис. 2.30. Пресс ПСТП-4М:

1, 7 — стойки; 2 — пульт управления; 3 — светильник; 4 — прижим; 5 — стол; 6, 9 — траверсы; 8 — поддон; 10 — основание; 11 — гидропривод

2.22. Техническая характеристика установок для сварки гибких вентиляционных шахтных труб

Параметры	ОБ-2451	ОБ-2635
Диаметр свариваемых труб, мм	500, 600	600, 800
Размер нахлеста сварного шва, мм	20	50
Рабочая температура нагревательного инструмента, °С	190	140...250
Точность поддержания температуры нагревательного инструмента, °С	±10	±5
Напряжение питания, В	127	220 ± 10
Потребляемая мощность, кВт, менее	1,0	5,0
Масса установки, кг, не более	33	250

2.23. Техническая характеристика оборудования для термонимпульсной сварки нагретым инструментом полимерных пленок [20, 21]

Параметры	МСП-15	МСП-17	МСП-17Н (настольное исполнение)	МСП-21
Длина сварного шва, мм	Менее 500			100...250
Ширина сварного шва, мм	3...20	3...20	5	4...10
Марка материала свариваемых пленок	ПЭ, ПП	ПЭ, ПП, Ф	Ф	ПЭ, ПП, ПА, Ф
Потребляемая мощность, кВт	Менее 1,0	Менее 1,2	0,5	Менее 2
Напряжение питания нагревателей, В	Менее 20	Менее 25	Менее 25	36
Габаритные размеры, мм	2000×1800×1700	1030×2000×1500	700×420×700	830×800×1200
Масса, кг	200	234,5	120	315

Примечания: 1. Напряжение питания 220 В.

2. Продолжительность импульса в МСП-17 составляет 900 с, а в остальных 60 с.

3. Нагрев свариваемых пленок в установках МСП-17Н и МСП-21 односторонний, а в МСП-15 и МСП-17 — односторонний и двусторонний.

АБО предназначен для изготовления оберток книг, тетрадей и пакетов из полиэтиленовой пленки низкой плотности в виде полурукава или одинарной ленты. В качестве нагревательного элемента применяется нихромовая проволока диаметром 0,63...0,75 мм. Напряжение питания нагревательного элемента 51...56 В, а потребляемая мощность 650 Вт. Размеры пакетов, изготавливаемых из полурукава, мм: ширина 80...135, длина менее 480; из одинарной ленты: ширина 80...250 мм, длина менее 220 мм. Размеры изготавливаемых оберток, мм: ширина 220...480, высота 80...300. Производительность при изготовлении пакетов из полурукава 25...34 шт./мин, а из одинарной ленты 50...68 шт./мин; производительность при изготовлении оберток 25...34 шт./мин. Габаритные размеры 1710 × 1296 × 1195 мм, масса 370 кг.

Автомат ПМ-525 предназначен для изготовления мешков и мешков-вкладышей из рукавной полиэтиленовой пленки толщиной

0,06...0,22 мм. Размеры свариваемых изделий, мм: длина 550...1400; ширина 380...700; производительность автомата 1600 шт./ч; потребляемая мощность 3 кВт; габаритные размеры 3000 × 2710 × 1500 мм, масса 1350 кг.

Для ленточной сварки нагретым инструментом полимерных пленок применяют как ручные инструменты в виде полоза, так и механизированные установки (табл. 2.24) с инструментом в виде ленточных устройств [21]. Оборудование для роликовой сварки нагретым инструментом предназначено для соединения неармированных полимерных пленок. В отечественном производстве применяют, как правило, ручные ролики (например, ролик типа ВНИСТ-3), что дает возможность выполнять криволинейные швы [21].

Экструзионная сварка осуществляется с применением оборудования, принципиальная конструкция которого определяется исходным присадочным материалом, который может по-

2.24. Техническая характеристика оборудования для ленточной сварки нагретым инструментом полимерных пленок [20—22]

Параметры	Ручные полозы			Машина МСП-5М	Установки		
	ИП-1-3	УСП-1	УСП-9		МСП-11к	МСП-16	МСП-26
Напряжение на нагревателе, В	24...36	12...16	36	36	36	36	36
Толщина свариваемых пленок, мкм	Суммарная 600	Менее 200	Менее 200	Менее 500	20...200	Менее 200	20...60
Ширина шва, мм	4 + 4 или 6 + 6	2...6	4...10	3...6	5	5	4...6
Вид соединения	Нахлесточное	Нахлесточное, рантовое	Нахлесточное, рантовое	Нахлесточное, рантовое	Нахлесточное		
Скорость сварки, м/мин	Менее 0,5	1,5...12	1,5...2	0,8...11	1...15	2...8	2...8
Габаритные размеры, м	—	0,34× ×0,035× ×0,114	0,49× ×0,145× ×0,04	1,2× ×1,1×1,3	1,4× ×1,1× ×1,3	2,15× ×1,05× ×1,25	2,15×1,05× ×1,25 (сварочная машина); 0,75×0,54× ×1,075 (шкаф с электроаппаратурой); диаметр 6 (поворотный стол)
Масса, кг	1	2,5	3,5	280	235	840	460 (сварочная машина); 62 (шкаф электроаппаратуры); 1500 (поворотный стол)

Продолжение табл. 2.24

Параметры	Полуавтоматы						
	ПСП-11	ПСП-15*	ПСП-15М	ПСП-16	ПСП-16А	УСПП-2	УСПП-3М*
Напряжение на нагревателе, В	6...15	30	36	36	27	36	36
Толщина свариваемых пленок, мкм	Менее 200	300	Менее 100	100	Менее 100	Менее 200	Менее 400
Ширина шва, мм	5...8	5...8	4...5	5...8	5	5...7	5...7
Вид соединения	Нахлесточное, рантовое	Рантовое		Нахлесточное, рантовое	Нахлесточное	Нахлесточное, рантовое	Рантовое, стыковое с накладкой
Скорость сварки, м/мин	3...8	3...8	1,4...4,1	3...8	6, 8, 10, 12	Менее 12	2...12

Продолжение табл. 2.24

Параметры	Полуавтоматы						
	ПСП-11	ПСП-15*	ПСП-15М	ПСП-16	ПСП-16А	УСПП-2	УСПП-3М*
Габаритные размеры, м	0,416× ×0,65× ×0,18	0,4× ×0,11× ×0,16	0,31× ×0,215× ×0,3 (пульт управления); 0,324× ×0,18× ×0,115 (сварочное устройство)	0,48× ×0,055× ×0,013	0,31× ×0,215× ×0,25 (пульт управления); 0,5× ×0,056× ×0,135 (сварочное устройство)	1,4× ×1,1×1,3	0,51× ×0,15× ×0,24 (привод полуавтомата); 0,93× ×0,136× ×0,19 (сварочная головка)
Масса, кг	4,25	5,5	14 (пульт управления); 5 (сварочное устройство)	3,8	5,5 (пульт управления); 3,5 (сварочное устройство)	235	21 (привод полуавтомата); 19 (сварочная головка)

* Двусторонний нагрев.

ставляться в виде гранул или прутка [20, 21]. Полуавтоматы ПСП-3Э и ПСП-4 работают с применением гранулированного присадочного материала, в их состав входят ручной малогабаритный шнековый экструдер и пульт управления. В полуавтомате ПСП-3Э (производительность 0,57 кг/ч) вращение шнека экструдера осуществляется через планетарный редуктор с помощью электродвигателя СД-150, а в полуавтомате ПСП-4 (производительность 0,385 кг/ч) обеспечивается приводом от пневмоотвертки РПО-350. Это позволяет снизить массу ручного рабочего инструмента. Пределы регулирования температуры расплава для обоих полуавтоматов 150...300°C, а газа-теплоносителя 150...320°C, расход газа-теплоносителя 0,6 м³/ч, напряжение питающей сети 220 В, напряжение питания электродвигателя рабочего инструмента 36 В, длина соединительных шлангов 3 м.

Установка ПЭСУ-2000 (табл. 2.25, рис. 2.31) предназначена для экструзионной сварки в полуавтоматическом режиме протяженных стыков полиэтиленовых пленок и листов на горизонтальных поверхностях в различных условиях работы с применением гранулированного присадочного материала. В комплект установки входят пульт управления и сварочный аппарат.

В устройстве РЭСУ-500Б в качестве исходного присадочного материала применяется пруток. Устройство предназначено для сварки пленок и листов из полиэтилена и полипропилена в любом пространственном положении, в его комплект входят ручной сварочный ин-

струмент прямооточного типа (рис. 2.32), пульт управления, электрический кабель, гибкий резиновый шланг для подвода газа-теплоносителя и футляр для переноски сварочного инструмента.

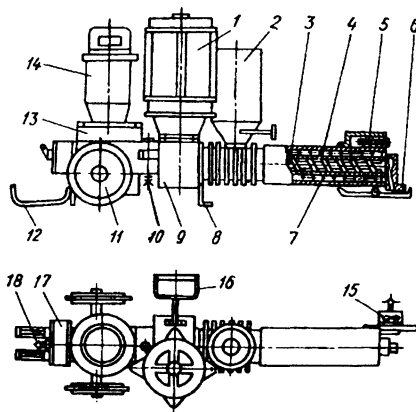


Рис. 2.31. Сварочный аппарат установки ПЭСУ-2000:

1 — электродвигатель экструдера; 2 — загрузочная воронка; 3 — шнек; 4 — цилиндр; 5 — датчик температуры; 6 — насадка; 7 — электронагреватель; 8 — упор; 9 — редуктор экструдера; 10 — шарнир; 11 — шасси; 12 — подпружиненная пластина с прорезями; 13 — редуктор тележки; 14 — электродвигатель тележки; 15 — захват с направляющей; 16 — ручка; 17 — шиток управления; 18 — тумблер

2.25. Техническая характеристика оборудования для экструзионной сварки пластмасс

Параметры	ПЭСУ-2000	РЭСУ-500Б
Напряжение, В: питающей сети электродвигателя	380 140...220 (тележка), 380 (экструдер)	220 (127) 127 (механизм подачи прутка)
Потребляемая мощность, кВт, менее	1,0	0,5
Производительность (выход расплава), г/ч	1800...2000	500
Скорость сварки, м/ч, полиэтиленовых пленок и листов толщиной, мм: 0,2...0,9 » 1,0...2,5	Менее 180 100...120	50...60 20...30
Пределы регулирования температуры, °С: расплавленного присадочного материала газа-теплоносителя	160...280 —	170...280 150...450
Расход газа-теплоносителя, м ³ /ч	—	Менее 1,5
Габаритные размеры, мм: пульта управления сварочного аппарата (инструмента)	340×200×240 640×450×195	310×210×180 270×96×220
Масса, кг: пульта управления сварочного аппарата (инструмента) без электрического кабеля	15 25	18 1,6
Длина электрического кабеля от сварочного аппарата (инструмента) к пульту управления, м, более	10	10

В портативных полуавтоматах ПСП-5, ПСП-5М и ПСП-6 (табл. 2.26) применяется присадочный материал в виде прутка диаметром 3...6 мм. Полуавтомат ПСП-5 состоит из ручного сварочного инструмента прямооточного типа (рис. 2.33), переносного пульта управления, электрического кабеля и резиновых шлангов для подвода охлаждающей воды. Полуавтомат ПСП-5М является модернизированной конструкцией полуавтомата ПСП-5 и отличается от последнего тем, что на цилиндре для плавления присадочного прутка дополни-

тельно смонтирована винтообразная трубка, по которой проходит газ-теплоноситель, нагреваясь от той же электроспиральи, что и присадочный пруток. Полуавтомат ПСП-6 создан на базе ПСП-5 и снабжен более мощным электродвигателем, в результате чего имеет большую производительность.

Сварка трением вращения может осуществляться на различных металлообрабатывающих станках (токарных, сверлильных, фрезерных), а также на специализированных сварочных машинах единичного производства, которые,

2.26. Техническая характеристика портативных сварочных полуавтоматов ПСП-5, ПСП-5М и ПСП-6

Параметры	ПСП-5	ПСП-5М	ПСП-6
Напряжение, В: питающей сети питания электродвигателя механизма подачи прутка	220 36	220 36	220 36
Производительность расплава, кг/ч	0,25	0,3	0,5
Скорость подачи присадочного прутка не более, м/ч	60	60	80
Пределы регулирования температуры, °С: расплава теплоносителя	150...300 —	150...350 150...370	150...400 150...420
Расход газа теплоносителя, м ³ /ч	—	0,5	0,8
Масса ручного сварочного инструмента, кг	1,5	1,6	—

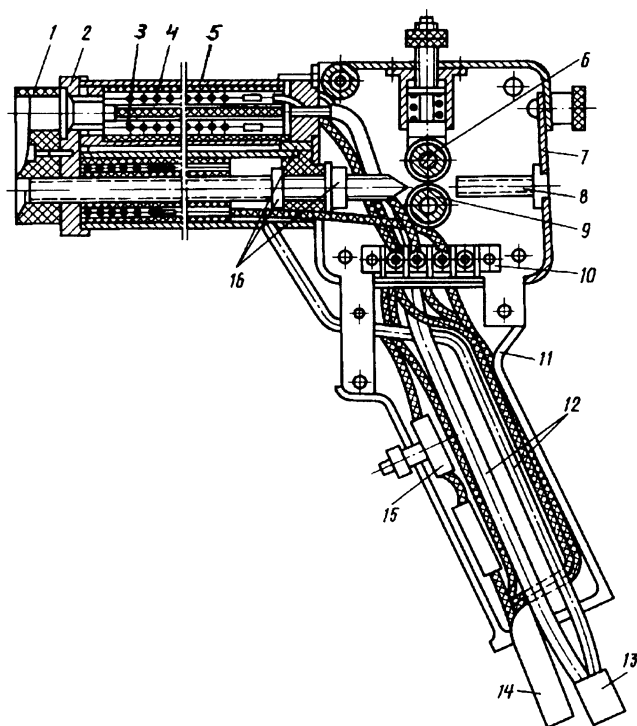


Рис. 2.32. Ручной сварочный инструмент устройства РЭСУ-500Б:

- 1 — насадка; 2 — фигурная обойма; 3 — нагреватель присадочного прутка; 4 — нагреватель газообразного теплоносителя; 5 — кожух камеры нагрева; 6 — прижимной подпружиненный ролик; 7 — корпус; 8 — направляющая втулка; 9 — тянущий ролик (соединен с электродвигателем); 10 — выводы; 11 — рукоятка; 12 — воздухопроводы; 13 — переходной штуцер; 14 — электрический кабель; 15 — тумблер; 16 — гайки

как правило, состоит из привода вращения, узлов зажима заготовок, механизма торможения, узла осадки и аппаратуры управления.

Ультразвуковая сварка производится на установках, состоящих из сварочной машины, ультразвукового генератора и системы управления процессом сварки. Важнейшей частью сварочной машины является сварочный узел, включающий в себя сварочную головку и опору. Сварочная головка включает электроакустический преобразователь, трансформатор

упругих колебаний и инструмент-волновод. Основные параметры серийно выпускаемых отечественных ультразвуковых установок для сварки пластмасс приведены в табл. 2.27—2.30.

Высокочастотная сварка осуществляется с применением установок, основными элементами которых являются генератор высокой частоты и пресс. Пресс может иметь рычажный, электромеханический, пневматический или гидравлический привод. На плитах пресса располагаются пластины рабочего конденсато-

2.27. Техническая характеристика стационарных универсальных установок для прессовой сварки пластмасс ультразвуком

Параметры	МТУ-0,4	МТУ-1,5-ЗУ4	УПМ-21
Преобразователь:			
материал	Никель	Пермендюр	Пермендюр
электрическая мощность, кВт	0,4	1,5	1,6
частота, кГц	22	22	21,5
Максимальная сила прижима, Н	600	400	500
Габаритные размеры (без генератора), мм	1330×620×1430	470×626×1500	530×740×130
Масса (без генератора), кг	76	185	85

2.28. Техническая характеристика стационарных специализированных установок для прессовой сварки ультразвуком

Параметры	АСУ-1,5	УПК-15М1	УСМ-19
Сварка	Трикотажно-лавсанового рукава при изготовлении фильтров (а также резка)	Наполненных емкостей	Текстильных материалов толщиной менее 4 мм по замкнутому контуру длиной менее 400 мм
Преобразователь:		Пермендюр	
материал			
электрическая мощность, кВт	1,5	3,0	8,0
частота, кГц	22	19,6	22,0
Максимальная сила прижима, Н	450	700	600
Габаритные размеры, мм (без генератора)	1640×990×540	655×945×1400	800×600×1800
Масса, кг (без генератора)	190	200	220

2.29. Техническая характеристика стационарных установок для непрерывной сварки ультразвуком

Показатель	УПШ-12	УЗП-6	УПШ-19
Сварка	Синтетических тканей толщиной 0,1...1,0 мм	Ленточных приборных шкал на лавсановой основе	Дублированных пленок ПЭТФ толщиной 0,07...0,09 мм
Преобразователь:			
материал	Феррит Никель	Феррит	
электрическая мощность, кВт	0,02 0,4	0,02	1,5
частота, кГц	22,7 22,0	50,0	22,0
Характеристика опоры	Массивный вращающийся ролик	Стол с механическим прижимом	Вращающийся ролик
Максимальная сила прижима, Н	300	4	400
Максимальная скорость протяжки, м/мин	4,2	1,8	9,6

2.30. Техническая характеристика ручного оборудования для ультразвуковой сварки пластмасс

Параметры	РУСУ-50 (РУСУ-50-3)	РУСУ-28	РУСУ-44-250	УРСК-7Н	УРСК-7Н-18
Сварка	Непрерывная пленок толщиной до 40 мкм	Непрерывная пленок толщиной до 100 мкм; точечная сварка	Универсальная	Биологических тканей (а также резка)	
Преобразователь:					
материал	Феррит Ф-21	Феррит Ф-21	Пьезокерамика ЦТС-17	Никель	Никель
частота, кГц	50	28	44	26,5	26,5
электрическая мощность, Вт	30	70	250	90	160
Масса сварочной головки, кг	0,4	1,5	1,5	0,4	0,6

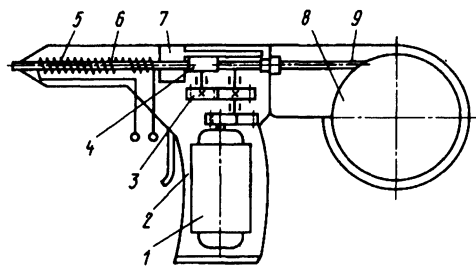


Рис. 2.33. Ручной сварочный инструмент полуавтомата ПСП-5:

1 — электродвигатель привода; 2 — ручка; 3 — редуктор; 4 — подающие ролики; 5 — цилиндр для плавления присадочного прутка; 6 — электрический нагревательный элемент (спираль из нихромовой проволоки); 7 — водяной охладитель; 8 — катушка с намотанным присадочным прутком; 9 — присадочный пруток

ра (сварочные электроды). Техническая характеристика серийно выпускаемых стационарных установок для прессовой высокочастотной сварки пластмасс приведена в табл. 2.31.

Установки серии ВЧД работают с частотой $27,12 \pm 0,87$ МГц. Электрическая схема генератора установок серии ВЧД обеспечивает стабилизацию и плавное регулирование выпрямленного напряжения в пределах 15...100% максимального значения. Для предупреждения повреждений электродов при электрическом пробое свариваемого материала применена электронная защита, мгновенно отключающая анодное напряжение. Установки ВЧД 3-1,6/27 и ВЧД6-4/27 имеют сварочные прессы консольного типа. Для создания сварочного давления в установке ВЧД3-1,6/27 используется электромеханический привод. Кроме небольших изделий установка позволяет сваривать последовательным способом и круглогабаритные, для размещения которых в нижней части экрана имеются карманы.

Для создания сварочного давления в установке ВЧД6-4/27 используется гидропривод. Установка позволяет проводить как плоскостную, так и объемную сварку изделий. Подготовка изделий для сварки выполняется вне ее зоны на двух загрузочных столах в виде подвижных плит, расположенных на одной высоте. Установки ВЧД10-4/27 и ВЧД6-10/27 имеют сварочные прессы портального типа с гидроприводом, а также два загрузочных стола, установленных для экономии площади один над другим и поочередно подаваемых в зону сварки под пресс. На установках серии ВЧД все операции сварочного цикла выполняются автоматически.

Кроме стационарных установок серии ВЧД применяют также малогабаритную ручную установку ЛС2-0,3. Потребляемая мощность этой установки 0,8 кВт (колебательная мощность 0,25 кВт), максимальная площадь сварки 4 см^2 , максимальная сила клещей 0,2 кН, габаритные размеры $0,35 \times 0,3 \text{ м}$, масса 20 кг.

Сварка инфракрасным излучением осуществляется с применением устройства "Пилад-220" или установок МСП-5М и СПК-М. Устройство "Пилад-220" предназначено для непрерывной стыковой сварки линолеума из пластифицированного поливинилхлорида. В качестве инфракрасных излучателей используются две стержневые кварцевые лампы КИ-220-1000, каждая мощностью 1000 Вт. Для охлаждения рефлектора и корпуса устройство "Пилад" имеет воздушные радиаторы. В зависимости от взаимного расположения кварцевых ламп и свариваемого изделия изменяется характер теплового поля в зоне сварки как поперек, так и вдоль нагреваемого стыка.

Установки МСП-5М и СПК-М предназначены для непрерывной сварки нахлесточных соединений полимерных пленок толщиной 25...500 мкм. Они имеют сменные сварочные головки, что позволяет также производить сварку нагретым инструментом и нагретым газом [21, 22].

2.31. Техническая характеристика прессовых стационарных установок для высокочастотной сварки пластмасс

Параметры	ВЧД 3-1,6/27	ВЧД 6-4/27	ВЧД 10-4/27	ВЧД 6-10/27
Мощность, кВт:				
потребляемая	4,1	7,7	9,0	21,0
колебательная	1,6	$4 \pm 0,4$	$4 \pm 0,4$	10
Максимальная сила пресса, кН	3,0	15,0	50,0	100,0
Максимальное расстояние между плитами пресса, см	7,5	25,0	—	15,0
Максимальная площадь сварки, см^2	60	70	70	200
Размер рабочей плиты пресса, м	$0,2 \times 0,3$	$0,5 \times 0,6$	$0,5 \times 0,6$	$1,2 \times 1,6$
Габаритные размеры, м	$1,6 \times 2,2 \times 0,9$	$1,7 \times 2,0 \times 2,1$	$2,1 \times 1,9 \times 1,5$	$4,0 \times 4,2 \times 2,0$
Масса, кг	530	1730	1525	2500

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Абрамов О. В., Хорбенко И. Г., Швела Ш.** Ультразвуковая обработка материалов. М.: Машиностроение, 1984. 280 с.
2. **Беседный В. А., Шеленков Г. М.** Сварка пайка алюминия с титаном. — Свар. производство, 1970, № 3. С. 45—46.
3. **Волков С. С., Черняк Б. Я.** Сварка пластмасс ультразвуком. М.: Химия, 1986. 256 с.
4. **Голубев В. С., Лебедев Ф. В.** Инженерные основы создания технологических лазеров. М.: Высшая школа, 1988. 176 с.
5. **Григорьянц А. Г., Соколов А. А.** Лазерная обработка неметаллических материалов. М.: Высшая школа, 1988. 191 с.
6. **Григорьянц А. Г., Соколов А. А.** Лазерная резка металлов. М.: Высшая школа, 1988. 127 с.
7. **Зайцев К. И.** Контактная сварка пластмасс в строительстве. М.: Стройиздат, 1982. 80 с.
8. **Иванов Б. Г., Журавичский Ю. И., Левченко В. И.** Сварка и резка чугуна. М.: Машиностроение, 1977. 208 с.
9. **Исаченко А. А., Откидач Л. Г.** Технологическая оснастка для поверхностной воздушно-дуговой резки (электрострожки) // Сварочное производство, 1984. № 1. С. 15—16.
10. **Калек Д. М., Моравский В. Э., Чвертко Н. А.** Ударная конденсаторная сварка. Киев: Наук. думка, 1984. 200 с.
11. **Микроплазменная сварка** / Под ред. Б. Е. Патона. Киев: Наук. думка, 1979. 247 с.
12. **Моравский В. Э.** Сварка аккумулированной энергией. Гостехиздат УССР, 1963. 297 с.
13. **Назаренко О. К., Бондарев А. А., Чвертко А. И.** Электронно-лучевая сварка. Киев: Наук. думка, 1987. 254 с.
14. **Николаев Г. А., Олышинский Н. А.** Специальные методы сварки. М.: Машиностроение, 1975. 232 с.
15. **Опарин М. И.** Новое в области сварки световым лучом дуговых ксеноновых ламп / Повышение качества и эффективности производства на предприятиях г. Москвы. МДНТП им. Ф. Э. Дзержинского, 1987. 48 с.
16. **Патон Б. Е., Назаренко О. К., Чалов В. И.** Особенности аппаратуры и процессов электронно-лучевой сварки и резки в условиях космоса // Автомат. сварка, № 3. 1971. С. 3—8.
17. **Сварка** расфокусированным электронным лучом ниобиевых сплавов с нержавеющей сталью / Н. П. Крутоголов, В. В. Дьяченко, Е. Н. Сивов и др. // Сварочное производство. 1980. № 4. С. 14—15.
18. **Сварочное оборудование.** Под ред. А. И. Чвертко. Киев: Наук. думка, 1981. 468 с.
19. **Сварочное оборудование, изготовляемое предприятиями Министерства электротехнической промышленности** // Сварочное производство. № 7. 1988. С. 14—18.
20. **Справочник по сварке и склеиванию пластмасс** / А. Н. Шестопал, Ю. С. Васильев, О. В. Тарасенко и др. Под общ. ред. А. Н. Шестопала, Г. Н. Кораба. К.: Техніка, 1990. 192 с.
21. **Справочник по сварке полимерных материалов** / Под ред. Зайцева К. И., Мацюк Л. Н. М.: Машиностроение, 1988. 312 с.
22. **Холопов Ю. В.** Ультразвуковая сварка пластмасс и металлов. Л.: Машиностроение, 1988. 224 с.
23. **Эсбиян Э. М.** Плазменно-дуговая аппаратура. Киев: Техніка, 1971. 162 с.
24. **Эсбиян Э. М.** Современный уровень развития воздушно-плазменной резки металлов // ЦИС-Миттайлунген. Германия. № 9. 1978. С. 928—930.
25. **D. M. Roessler.** Laser processing of materials for automotive applications. Mater. and Manuf. Processes. 1989. Vol. 4, N 3. P. 285—310.

РАЗДЕЛ 6

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ, ПАЙКИ, НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Глава 1

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ, ВАКУУМНЫХ И ОСОБЫХ СПОСОБОВ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ И ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ

1.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Оборудование для нанесения покрытий и модификации поверхности, в том числе методом ионной имплантации, служит для формирования на поверхности изделий, конструкций и конструкционных материалов слоев с особыми свойствами, отличающимися от основного материала и обеспечивающими защиту от разрушающего воздействия (физического, химического и механического) внешних сред и нагрузок, а также для восстановления геометрических размеров изношенных деталей.

Технологический цикл получения покрытий включает два основных этапа: подготовку поверхности изделий или конструкций перед нанесением покрытий и операцию нанесения покрытий. В соответствии с этим имеются две группы технологического оборудования. Установки для подготовки поверхности служат для обезжиривания поверхностей деталей, очистки их от оксидных пленок и загрязнений, придания необходимой шероховатости, активирования поверхностного слоя материала.

В ряде случаев, главным образом при вакуумных методах нанесения покрытий, операция подготовки полностью или частично осуществляется в основной технологической установке в качестве одной из рабочих операций. Оборудование для нанесения покрытий и модифицирования поверхности обеспечивает формирование защитных слоев заданной толщины на определенных участках или всей поверхности изделия.

1.2. КЛАССИФИКАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ

Оборудование для нанесения покрытий и модифицирования поверхности может быть классифицировано по следующим признакам.

— По физическим условиям реализации процесса нанесения покрытий (для газотермических, вакуумных способов нанесения покрытий, ионной имплантации). В случае газотермических методов нанесения необходим генератор горячих газовых струй, нагревающих и ускоряющих частицы материала, образующие покрытие. При вакуумных методах обязательным условием является создание достаточно разреженной среды с малым содержанием посторонних включений. Ионная имплантация характеризуется наличием источника ионов с высокой энергией.

— По виду используемой энергии (газоэлектрическое, газопламенное, электронно-лучевое, лазерное, электроискровое). При газотермических методах нагрев газовой струи может производиться или за счет электрической энергии (плазменный, электродуговой, газозлектрические методы) или путем сжигания горючего газа (газоплазменный, детонационный методы). В других случаях энергетическое обеспечение процесса осуществляется благодаря энергии электронного или лазерного луча, электрической искры и др.

— По скорости газовых струй (дозвуковое, сверхзвуковое). Этот тип классификации оборудования относится только к газотермическим методам нанесения покрытий.

— По роду электрического разряда (дуговое, высокочастотное, искровое). Примерами могут служить дуговые и высокочастотные плазматроны для газотермического напыления, электроискровые установки для легирования. Дуговой и высокочастотный разряды используют также в установках вакуумного нанесения покрытий.

— По виду используемого исходного материала (порошок, проволока, гибкий шнур). Эта классификация охватывает в основном газотермические методы (в зависимости от вида материала в состав оборудования входят различные устройства для его подачи). При вакуумных методах нанесения покрытий расходный материал используют в виде мишени для распыления или слитков для испарения.

— По составу среды, в которой проводится процесс (воздух, вакуум, вода, инертная ат-

мосфера). Разнообразие сред относится к газотермическому напылению. Состав оборудования значительно отличается в зависимости от условий его реализации — на воздухе, под водой, в вакуумируемой камере или в камере с контролируемой инертной средой.

— По степени комплектности и уровню механизации (ручной инструмент, станочный инструмент, механизированный комплекс, роботизированный комплекс). Использование ручного инструмента характерно для газоплазменного напыления, электродуговой металлизации и электроискрового легирования и, в меньшей степени, для плазменного напыления. Он применяется для нанесения покрытий на небольшие поверхности при отсутствии серийного производства, а также при работах в полевых условиях, например, при нанесении антикоррозионных покрытий на металлоконструкции мостов и других сооружений. Станочный инструмент для реализации этих методов применяют при проведении более высокопроизводительного технологического процесса. Он обладает большей массой, чем ручной, и крепится на станках или специальных манипуляторах, обеспечивающих его механизированное перемещение.

Механизированные и автоматизированные комплексы могут быть использованы практически во всех рассматриваемых технологиях нанесения покрытий и модифицирования поверхности. Они обеспечивают подачу обрабатываемого изделия в рабочую зону, заданное относительное перемещение рабочего инструмента (горелки, плазмотрона, лазерного луча и др.) и обрабатываемой детали и выдачу готового изделия. Контроль рабочих параметров осуществляется или вручную (при механизированном комплексе), или автоматически с поддержанием заданного уровня. Примером автоматизированного комплекса может служить комплекс плазменного напыления нитеводящих деталей текстильных машин.

Назначение роботизированных комплексов состоит в обеспечении перемещения рабочего инструмента по сложной траектории, а

также в проведении процесса нанесения покрытий в замкнутом пространстве, например, в вакуумируемой камере при плазменном напылении в динамическом вакууме. Роботизированные комплексы находят широкое применение при газотермическом напылении компонентов газотурбинных двигателей (лопаток, камер сгорания и др.).

— По технологическому назначению (нанесение покрытий, восстановление изношенных деталей, модификация поверхности).

Разнообразие типов оборудования для нанесения покрытий обеспечивает широкий диапазон его практического применения, например: ручные электродуговые пистолеты и газопламенные горелки для нанесения антикоррозионных и износостойких покрытий на экраны трубы бойлеров; газотермические установки для восстановления коленчатых валов; электронно-лучевые установки для нанесения покрытий на лопатки газотурбинных двигателей; поточные линии для газотермического нанесения антикоррозионных покрытий на лист, трубы, сортовой прокат; лазерные комплексы для упрочнения гильз двигателей внутреннего сгорания.

1.3. ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ

Вакуумные методы нанесения покрытий и модифицирования поверхности (электронно-лучевой и ионно-плазменный методы, термоионное и катодное распыление, ионная имплантация и др.), а также электроискровое легирование и лазерная обработка основаны на использовании электрической энергии. Источники питания, как правило, являются специализированными и во многих случаях входят в состав установки для нанесения покрытий или обработки поверхности.

Оборудование для газотермического нанесения покрытий (электродуговой металлизации, газоплазменного, плазменного и детонационного напыления) по виду используемой энергии делится на две группы — газопламенное и газоэлектрическое. В первом случае (газопламенное и детонационное напыление) ис-

1.1. Характеристика газов для газопламенных методов нанесения покрытий

Газ	Плотность, кг/м ³ (20 °С, 0,1 МПа)	Температура, °С		Соотношение с кислородом	Теплота сгорания, МДж/м ³	Предел воспламенения, объем газа, %
		воспламенения	пламени			
Кислород (ГОСТ 5583—78)	1,33	—	—	—	—	—
Ацетилен (ГОСТ 5457—75)	1,091	240. 630	3200	1,15	58,66	2,3...93,0
Водород (ГОСТ 3022—80)	0,084	590	2600	0,4	10,79	2,6...95,0
Природный газ (ГОСТ 5542—87)	0,68...0,9	650. 750	2200	1,7...2,1	31,8...33	4,7...58,9
Пропан-бутан (ГОСТ 20448—90)	2,21	500	2100	3,50	107,7	2,0...46,0

1.2. Техническая характеристика источников питания установок газотермического нанесения покрытий

Параметры	АПР-404	БЭП-80	ВПН-630	ВС-300Б	ВДУ-505	ВС-600М
Потребляемая мощность, кВт · А, не более	120	80	120	20	40	46
Максимальная сила тока, А	400	315	630* (I ступень) 315* (II ступень)	315	500	630
Рабочее напряжение, В	300	270	70 (I ступень) 120 (II ступень)	36	50	50
Напряжение холостого хода, В	350	330	140 (I ступень) 280 (II ступень)	43	80	90
Пределы регулирования силы тока, А	200...400	100...315	50...700 (I ступень) 50...350 (II ступень)	50...400	50...500	100...630
Напряжение сети, В	380	380	380	380	380	380
ВАХ	Крутопадающая			Жесткая		
Охлаждение	Воздушное		Водяное	Воздушное		
Масса, кг	1200	780	1100	200	300	550
Назначение	Установки плазменного напыления			Электродуговые металлизаторы		

* Номинальная сила тока при ПВ-60 % и длительности цикла 60 мин.

точником энергии является энергия сгорания горючего газа. Характеристики применяемых газов представлены в табл. 1.1.

Для установок газозлектрических методов газотермического нанесения покрытий (плазменного напыления, электродуговой металлизации) в качестве источников питания используют различные типы выпрямителей, причем при плазменном напылении с крутопадающей вольт-амперной характеристикой, а при электродуговой металлизации с жесткой или пологопадающей [3, 25]. Основные типы таких источников питания приведены в табл. 1.2.

Для плазменного напыления источниками питания служат ИПН-160/600, АПР-402, УПР-202 и другие, для электродуговой металлизации — ПСГ-500, ПСУ-500, ВДГ-301 и другие. Перспективно использование для этих целей тиристорных источников питания. К их числу относится специализированный источник питания ТИМЕЗ-500, имеющий следующую техническую характеристику.

Напряжение холостого хода, В 64
Максимальная сила тока, А 630
Пределы регулирования напряжения, В 17...44
Масса, кг 350

При электронно-лучевой технологии предъявляются повышенные требования к параметрам и характеристикам источников питания электронных пушек. Для питания электронно-лучевых пушек мощностью 250 кВт · А используют преобразователь ИЭ-133, техническая характеристика которого приведена ниже.

Номинальное напряжение питающей сети трехфазного переменного тока частотой 50 Гц, В ... 380⁻¹⁹₊₃₈

Номинальная выходная мощность, кВт 210±21

Номинальное постоянное напряжение, кВ 20±1

Номинальная постоянная сила тока, А 10,5±0,5

Диапазон регулирования напряжения, кВ 4...25

Пульсация постоянного напряжения в диапазоне регулирования напряжения 0,4...1,0 В, %, не более 1,5

Стабилизация постоянного напряжения, % 1,5

1.4. ОПИСАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ

Оборудование для газопламенного напыления покрытий и электродуговой металлизации. Установки для газопламенного напыления покрытий состоят из следующих основных элементов (рис. 1.1): газопламенной горелки 1, с помощью газового пламени которой происходит нагрев частиц порошка или расплавление проволоки (прутка, гибкого шнура); устройства 2 для подачи напыляемого материала (порошкового дозатор или механизм подачи проволоки, стержня, гибкого шнура); систем подачи окислителя 4, горючего газа 5 и газорегулирования 3 (шланги, штуцера, манометры, редукторы, расходомеры). В качестве привода механизма подачи проволоки (стержня или шнура) используют воздушную турбину или электродвигатель с регуляторами частоты вращения.

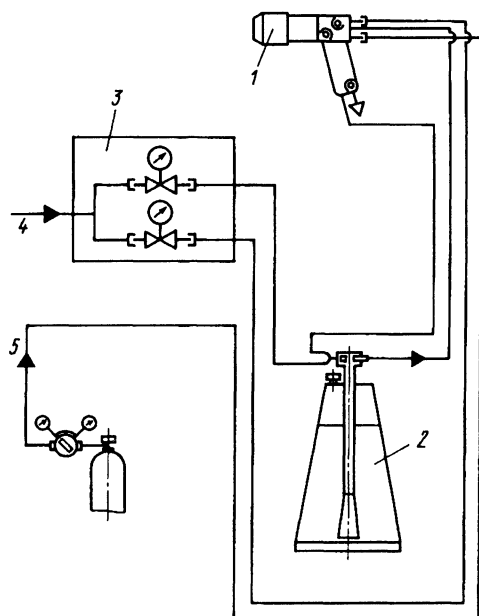


Рис. 1.1. Схема газопламенной установки

Установки подразделяются на два типа — для напыления легкоплавких материалов (с температурой плавления не выше 800°C) — цинка, пластмассы и др. и тугоплавких (с температурой плавления ниже 2000°C). В первом случае используется газовоздушное пламя, во втором — газокислородное. Техническая характеристика установок газопламенного напыления представлена в табл. 1.3 [1, 7, 15, 28]. Установки УГПЛ-П, УГПТ-П, УПТР-86 применяются для ручного газопламенного напыления, УГПУ — как для ручного, так и для механизированного, УГМ-1 — для механизированного.

Из установок газопламенного напыления зарубежных фирм следует выделить оборудование, выпускаемое фирмами Кастолин и Эутектик (Швейцария), Метко (США), СНМИ (Франция). Установка "Сибер-Джет" фирмы СНМИ снабжена системой автоматического пуска и выключения установки, программируемого установления режима напыления в зависимости от материала проволоки (или гибкого шнура) и ее диаметра.

К новому поколению оборудования для газопламенного напыления относятся установки сверхзвукового напыления процессом "Джет Коут". Скорость истечения струи достигает $1500\ldots 2000$ м/с. Схемы газопламенных горелок со сверхзвуковым истечением струи представлены на рис. 1.2. Существует две основных разновидности таких горелок — с камерой предварительного сжигания (рис. 1.2, а) и без нее (рис. 1.2, б, в). В первом случае процесс горения начинается в камере сгорания,

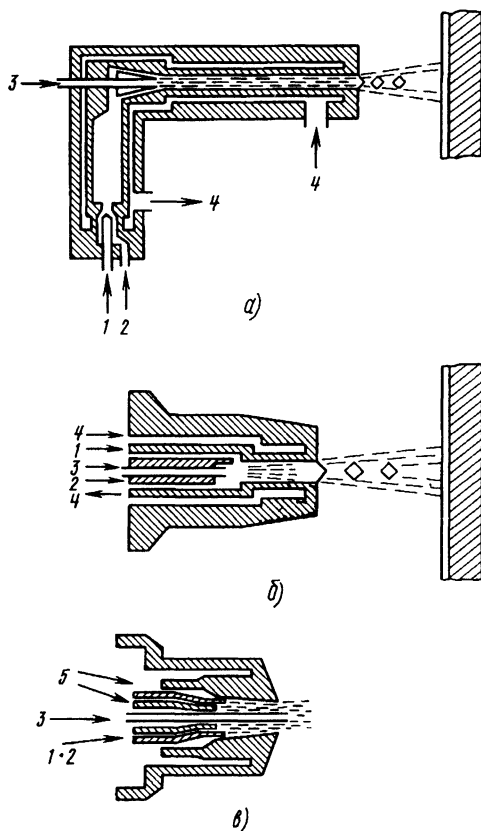


Рис. 1.2. Схемы сверхзвуковых газопламенных горелок:

а — с камерой сгорания; б, в — без камеры сгорания; 1 — горючий газ; 2 — кислород; 3 — порошок; 4 — охлаждающая вода; 5 — воздух

размещенной в корпусе горелки, с окончательным дожиганием топлива газовой смеси после истечения струи в атмосферу. В бескамерных горелках происходит только смешение компонентов газовой смеси. Варианты, показанные на рис. 1.2, б и 1.2, в, отличаются расположением точки зажигания (*) топливokислородной смеси.

К горелкам сверхзвукового напыления камерного типа относятся "Джет Коут" фирмы Стеллайт (Германия) и ДжК23 фирмы МТС (Австрия). Установки сверхзвукового газопламенного напыления с горелками бескамерного типа выпускают фирмы Плазма-Техник АГ (Швейцария), Метко, ОСУ (Германия). Данное оборудование отличается высокими расходами рабочих газов. Так, установка "Джет Коут П" имеет расход кислорода $28\ldots 40$ м³/ч, водорода $0,14$ м³/ч и горючего газа $7\ldots 10$ м³/ч.

При электродуговой металлизации в распылительной головке (рис. 1.3) через два токоподвода непрерывно подаются два находящихся

1.3. Техническая характеристика установок для газопламенного напыления

Параметры	УГПЛ-П	УГПТ-П	УГПУ	УГМ-1	УПТР-86
Наибольшая производительность по напыляемому материалу, кг/ч:					
полимер (ПФН-12)	11,0	—	—	—	—
никелевый самофлюсующийся сплав (ПГ-10Н-01)	—	5,0	6...18,0	—	10,5
оксид алюминия	—	—	2,2	—	1,1
алюминий с диаметром проволоки, мм:					
2	—	—	—	2,3	—
3	—	—	—	3,9	—
4	—	—	—	4,8	—
цинк с диаметром проволоки, мм:					
2	—	—	—	7,6	—
3	—	—	—	16,2	—
4	—	—	—	23,0	—
Коэффициент использования:					
порошка	0,85	0,9	0,9	—	0,96
проволоки	—	—	—	0,65...0,7	—
Размер частиц порошка, мкм	150...250	40...63	40...120	—	10...150
Вместимость порошкового питателя, дм ³ (не менее)	10,0	2,0	—	—	0,6
Рабочее давление, МПа:					
ацетилена	—	—	1,1	0,6...1,0	0,7...1,1
пропан-бутана	0,5...1,5	1,0	1,1	—	0,7...3,0
кислорода	—	2...6	1...6	2,0...4,5	1,0...4,0
сжатого воздуха	3...6	—	—	4,0...5,0	0,6...6,0
Расход газов, м ³ /ч:					
ацетилена	—	—	1,2...2,1	1,3	0,7...1,2
пропан-бутана	1,2	1,2	1,2	—	0,6...2,0
кислорода	—	6,0	2,2...6,0	2,5	1,0...2,5
сжатого воздуха	25	—	—	60	0,6...1,0
Уровень шума в зоне работы оператора с использованием наушников, дБ, не более	85	85	85	85	85
Масса, кг:					
установки	14,5	21,0	30,0	25,0	19,95
горелки	1,30	1,00	1,00	2,20	1,55

под напряжением электрода. Свойства металлизационных покрытий во многом определяются конструктивными особенностями распылительных головок. В настоящее время наиболее широко применяют два типа головок: закрытую (рис. 1.3, а) и открытую (рис. 1.3, б). Закрытая сопловая система обеспечивает более мелкое распыление напыляемого материала (при напылении алюминия средний размер частиц 40...80 мкм) и высокую плотность получаемых покрытий. Такая система используется преимущественно для нанесения анти-

коррозионных и других типов покрытий, для успешной эксплуатации которых необходима высокая плотность.

Открытая сопловая система (рис. 1.3, б) позволяет получать компактную металловоздушную струю и покрытия с более высокой прочностью сцепления. Однако размер частиц в этом случае несколько больше (в случае напыления алюминия 50...100 мкм) и покрытия, как правило, имеют меньшую плотность. Открытые системы успешно применяются, например, при нанесении износостойких покры-

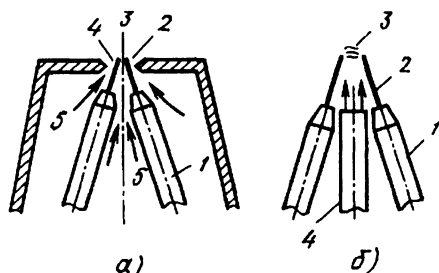


Рис. 1.3. Схема сопловой системы пистолета для электродуговой металлизации:

а — закрытого типа, б — открытого типа; 1 — направляющие электродов; 2 — проволока-электрод; 3 — электрическая дуга; 4 — сопло; 5 — сжатый газ (воздух)

тий. Серийно выпускаемые электродуговые металлизаторы ЭМ-17 могут комплектоваться как открытой, так и закрытой распылительными головками.

Производительность процесса практически линейно зависит от тока и в первую очередь определяется мощностью источника питания. В настоящее время наиболее мощные установки (на силу тока менее 1200 А) созданы фирмой ОСУ (Германия) для нанесения анти-

коррозионных покрытий из цинка и алюминия в условиях автоматизированных и механизированных производств.

Для нанесения покрытий других типов, как правило, применяют установки на силу тока 200...500 А, так как именно в этом диапазоне производительности можно получить покрытия с наиболее высокими эксплуатационными показателями. На силу тока менее 400 А серийно выпускались ручные электродуговые металлизаторы ЭМ-14М, стационарные ЭМ-17 и комплект для электродуговой металлизации КДМ-3 (табл. 1.4). Данные фирмы Металлистшен лимитед (Великобритания) по удельной производительности и расходу напыляемого материала при нанесении покрытия толщиной 100 мкм на поверхность площадью 1 м² приведены в табл. 1.5.

Техническая характеристика некоторых установок для электродуговой металлизации приведена в табл. 1.6.

Оборудование для плазменного напыления покрытий. Плазменным напылением наносят износостойкие, жаростойкие, коррозионностойкие и другие типы покрытий. Оборудование для плазменного напыления подразделяют следующим образом:

установки для ручного плазменного напыления;

1.4. Техническая характеристика установок для электродуговой металлизации

Параметры	ЭМ-17	ЭМ-14М	ЭМ-12	ЭМП-2	КДМ-3-1
Рабочая сила тока дуги, А	50...400	50...400	50...400	50...400	50...400
Рабочее напряжение, В	17...40	17...44	17...35	18...50	17...44
Производительность по наносимому металлу, кг/ч (не более):					
сталь (2 мм)	18,8	—	—	14,0	—
алюминий (2...2,5 мм)	12,0	12,0	14,0	—	12,5
цинк (2,5 мм)	40,0	40,0	45,0	20,0	40,0
Коэффициент использования материала:					
по стали	0,65	—	—	0,70	—
по алюминию	0,70	0,75	0,75	0,70	0,75
по цинку	0,60	0,75	0,75	0,70	0,75
Диаметр применяемых проволок, мм:					
сталь	1,5...2,0	—	—	1,6...2,0	—
алюминий, цинк	1,5...2,5	1,5...2,5	1,5...2,5	1,6...2,5	1,5...2,5
Скорость подачи проволоки, м/мин	1,4...14	2...12	—	—	2...12,0
Расход воздуха, м ³ /ч	90...150	60...90	60...150	60...100	60...90
Давление сжатого воздуха, МПа	0,3...0,6	0,5...0,6	0,5...0,6	0,5...0,6	0,5...0,6
Уровень звука на расстоянии 0,5...1,0 м от аппарата, по шкале А, дБ, не более	130	85	85	85	85
Масса, кг:					
установки, не более	39,5	—	23,4	146	380
в том числе металлизатора	14,5	2,3	—	8,1	2,3

1.5. Удельные показатели электродуговой металлзации

Параметры	.Напыляемый материал						
	Алюминий	Цинк	Сталь	Алюминиевая бронза	Медь	Монель	Никель
Удельная производительность, кг/ч (100 А)	2,7	10	4,5	4,5	5	5,7	4,5
Удельный расход, кг/м ² (при толщине покрытия 100 мкм)	0,35	1,22	0,98	0,73	1,1	0,98	0,98
Удельная площадь покрытия, м ² /кг (при толщине покрытия 100 мкм)	2,86	0,82	1,02	1,37	0,91	1,02	1,02

1.6. Электродуговые металлзаторы, выпускаемые зарубежными фирмами

Установка	Сила рабочего тока, А	Материал	Производительность, кг/ч	Диаметр проволоки, мм
СНМИ (Франция)	200...800	Сталь	7,0...30,0	1,6...2,0
		Алюминий	3,5...15,0	1,6...2,0
		Цинк	16,0...65,0	1,6...2,0
Vi-600 (США)	Менее 500	Сталь	25,4	1,5...3,0
		Алюминий	13,6	1,5...3,0
		Цинк	70,7	1,5...3,0
ELMET P-2 (Чехия)	200...400	Алюминий	25,0	2,0...2,5
		Цинк	66,0	2,0...2,5
S2 (Германия)	Менее 1400	Сталь	65,8	1,6...7,0
		Алюминий	37,1	1,6...7,0
		Цинк	140	1,6...7,0
BM-G76 (Германия)	20...500	Сталь	26,6	0,5...2,5
		Алюминий	8,2	0,5...2,5
		Цинк	26,4	0,5...2,5
BM-P80 (Германия)	360	Сталь	13,3	2,0
	140	Алюминий	17,6	1,8
	170	Цинк	82,0	2,0
PE-2 (Польша)	До 300	Сталь	12,0	1,5...2,0

установки для механизированного плазменного напыления;

полуавтоматические установки плазменного напыления со средствами механизации перемещения плазматрона и детали;

автоматические установки плазменного напыления с микропроцессорным управлением, в том числе с использованием роботов;

комплексы плазменного напыления, включающие оборудование для подготовки поверхности деталей и механической обработки напыленного слоя;

линии плазменного напыления, оснащенные межоперационным транспортом, в том числе снабженные центральной системой управления.

По составу среды, в которой осуществляется плазменное напыление, установки предназначены для напыления: в атмосфере; в вакуу-

ме (или в динамическом вакууме); в защитной среде; под водой.

Оборудование для плазменного напыления может быть также классифицировано по типу применяемого рабочего плазмообразующего газа: инертные газы (аргон, азот) и их смесь с водородом (или гелием); воздух и его смесь с углеводородными газами; смесь углекислого газа с углеводородами; вода.

Установки для плазменного напыления включают следующие основные элементы (рис. 1.4): инструмент для плазменного напыления (плазматрон); источник энергоснабжения; систему газоснабжения; систему водяного охлаждения, систему регулирования параметров рабочего режима; систему подачи напыляемого материала (порошка или проволоки). Кроме того, они могут включать рабочую камеру с системой вентиляции и пылеулавлива-

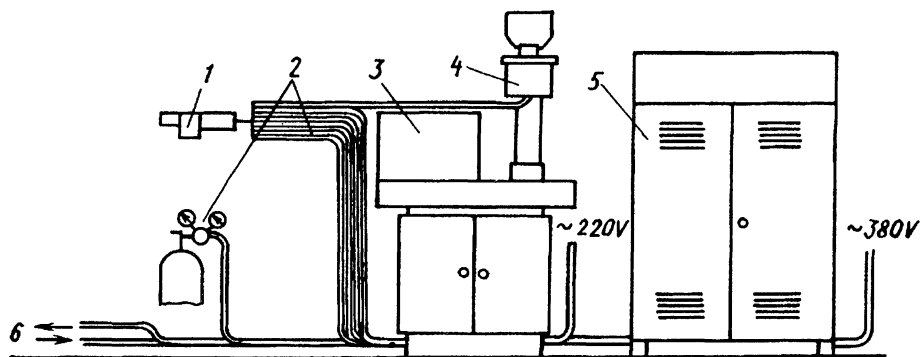


Рис. 1.4. Установка плазменного напыления:

1 — плазмотрон; 2 — система газоснабжения; 3 — система регулирования параметров рабочего режима; 4 — система подачи напыляемого материала; 5 — источник энергоснабжения; 6 — система водяного охлаждения

ния, средства механизации перемещения плазмотрона и детали.

Основным типом плазмотронов, используемых для напыления покрытия, являются дуговые, хотя в последнее время получило распространение напыление с помощью высокочастотных плазмотронов. Среди дуговых плазмотронов наибольшее применение получили струйные с самоустанавливающейся длиной дуги и межэлектродными вставками. По скорости истечения струи плазмотроны

для напыления покрытий подразделяются на дозвуковые и сверхзвуковые.

К особому типу плазмотронов относятся плазмотроны для напыления покрытий на внутренние полости. Они позволяют наносить покрытие на внутренние поверхности труб диаметром 25 мм и более. Техническая характеристика современных отечественных установок для плазменного напыления приведена в табл. 1.7. Они предназначены для получения покрытий с использованием порошка или

1.7. Техническая характеристика установок для плазменного напыления

Параметры	“Киев-7”	УПУ-ЗД	УПУ-8М	УН-126
Мощность плазмотрона, кВт	30...80	30	До 40	До 24
Сила рабочего тока, А	100...315	400...500	100...700	160...300
Плазмообразующий газ:				
основной	Воздух	Аргон-азот	Аргон-азот	Аргон
дополнительный	Пропан-бутан, природный газ	Водород	—	—
Расход плазмообразующего газа, м ³ /ч:				
основного	3,9...12	3...4	1,8...3,0	1...1,5
дополнительного	0,1...2	—	—	—
Вид напыляемого материала	Порошок	Порошок, проволока	Порошок, проволока	Проволока
Диаметр проволоки, мм	—	0,8...1,2	—	1,0...2
Скорость подачи проволоки, м/ч	—	—	18...1325	—
Производительность по напыляемому материалу, кг/ч (не более):				
металл (порошок)	25	4	20	2...8
металл (проволока)	—	8...10	—	—
керамика	10	2	5	—
Источник питания	БЭП-80	ИПН-160/600	ВПН-630	—

проволоки методом плазменно-дугового напыления и могут использоваться как в составе полуавтоматов, так в составе имеющих средств механизации, обеспечивающих надежную защиту обслуживаемого персонала и окружающей среды от шума, аэрозолей и др. Эти установки служат для повышения износостойкости поверхностей изготавливаемых деталей и восстановления изношенных поверхностей деталей в условиях мелкосерийного производства и ремонтного производства.

Полуавтоматы камерного типа состоят из камеры напыления, плазменной установки в сборе, аспирационного устройства. В камере напыления расположены плазмотрон, передняя и задняя бабки для крепления детали, на которую наносится покрытие. Механизмы перемещения плазмотрона и вращения детали вынесены за пределы камеры, что обеспечивает удобство обслуживания и эксплуатации оборудования.

Роботы при плазменном нанесении покрытий применяются в основном при нанесении покрытий на детали сложной формы или при работе в изолированном объеме (например, камеры сгорания газотурбинных двигателей, их лопатки). Используют как специализированные роботы (АР-1, АР-2 фирмы Метко), так и промышленные с необходимыми характеристиками по нагрузке и скоростям перемещения. Примером полуавтомата для плазменного напыления может служить установка И5-ВБ, которая комплектуется плазменной установкой "Кисв-7". Технологические возможности полуавтомата определяются по параметрам комплектующей плазменной установки, приведенным ниже.

Скорость перемещения плазмотрона, м/с:

вдоль оси шпинделя 0,002...0,1

перпендикулярно к оси шпинделя 0,004...0,18

Размеры деталей, мм:

цилиндрических:

длина 0,3...1500

диаметр 20...320

плоских 63×1500×40...160

Масса деталей, кг, не более:

цилиндрических 100

плоских 250

Частота вращения шпинделя, мин⁻¹ 22,5...500

Габаритные размеры

полуавтомата, мм 3850×5900×2500

Автоматизированные комплексы (или линии) в основном построены по модульному принципу и включают: механический модуль-автомат струйно-абразивной обработки; механический модуль-автомат напыления; аппаратный модуль (установку) плазменного напыления; транспортный манипулятор; систему автоматического управления комплексом. Модуль транспортного манипулятора зависит от характера производства и типа напыляемого изделия. Система управления комплекса осуществляет локальное программное управление всеми модулями и управление в целом.

Примером такого оборудования является автоматизированный комплекс оборудования плазменного напыления ОПН-11.

Комплекс ОПН-11 предназначен для нанесения покрытий методом плазменного напыления на наружные поверхности деталей широкой номенклатуры, включает установку плазменного напыления марки УН-1, устройство аспирационное марки А-9000, блок плазменного напыления марки БП-1. Техническая характеристика комплекса ОПН-11 приведена ниже.

Производительность при толщине

покрытия 0,3 мм, м²/ч, не менее 0,8

Производительность по напыляемому

материалу, кг/ч, не более:

металлическому 10

керамическому 5

Размер гранул порошка напыляемых

материалов, мкм 20...100

Наибольшие размеры обрабатываемых

деталей, мм:

типа тел вращения:

длина 600

диаметр 180

плоских:

длина 300

ширина 180

Масса обрабатываемых деталей, кг,

не более 12

Плазмообразующий

газ:

основной Аргон, азот

дополнительный Водород, гелий

Автоматизированные комплексы плазменного напыления разрабатывает и выпускает фирма Плазма-Техник АГ (Швейцария).

Комплексы плазменного напыления в динамическом вакууме отличаются наличием вакуумного модуля, который осуществляет откачку газов из камеры (до 7 Па), подачу инертного газа и поддержание его давления, в требуемых пределах очистку отсасываемых газов от дисперсных частиц перед форвакуумной станцией.

Примером комплекса плазменного напыления в динамическом вакууме служит УН 130 УХЛ4 "КВАРТ" со следующей технической характеристикой.

Производительность по напыляемому

материалу, кг/ч 0,1...15,0

Мощность плазмотрона, кВт 30...60

Расход газов, м³/ч:

аргона, азота 9

гелия 12

Размеры напыляемых изделий, мм:

длина 490

диаметр 570

Площадь, занимаемая комплексом, м² 150

Масса, кг 200

Характеристика промышленных установок для плазменного напыления в динамическом вакууме приведена в табл. 1.8.

Оборудование для детонационного напыления покрытий. Оборудование включает следующие основные элементы: установку для детонационного напыления; пульт управления исполнительными органами установки; пульт газораспределения (рис. 1.5) [1, 3, 8]. В авто-

1.8. Техническая характеристика промышленных установок для плазменного напыления в динамическом вакууме

Показатели	Метко (США)	Электро-Плазма (США)	Плазма-Техник АГ (Швейцария)
Внутренние размеры камеры, мм	1400 (длина), 1400 (диаметр)	1480 (длина), 1340 (диаметр)	2200 (длина), 1500 (диаметр)
Система откачки воздуха	С ротационным поршневым насосом с масляным уплотнением, теплообмен для охлаждения газа	С ротационными насосами, сбором масла и пыли, охлаждением газа	С двумя центробежными насосами, шестеренным насосом, фильтром, охлаждением газов
Манипулирование: обрабатываемой деталью	Вращающиеся раздвижные рейки, управляемые компьютером	—	Вращающийся стол, управляемый компьютером, регулировки углового положения и др.
плазмотроном	Управляемые компьютером вертикально разжимающиеся рейки	Управляемые компьютером вращающиеся раздвижные рейки	Робот фирмы ACEA, имеющий пять степеней свободы, управляемый компьютером
Максимальная масса обрабатываемой детали, кг	45	200	200
Рекомендуемая мощность плазмотрона, кВт	80	120	55

матический комплекс для детонационных покрытий дополнительно могут входить манипуляторы для перемещения как установки, так и напыляемых изделий с блоком управления: рабочие камеры с системой вентиляции и пылеулавливания.

В качестве рабочих газов используются ацетилен, водород, пропан-бутан, природный газ, кислород, а также азот (ГОСТ 9293—74) и сжатый воздух (ГОСТ 9.010—80).

Высокий уровень шума при детонационном напылении обуславливает необходимость

размещения установки, пульта газораспределения и манипулятора для перемещения напыляемых изделий в звукоизолированном боксе. Управление процессом напыления осуществляют из операторской кабины с помощью пульта.

Установки для детонационных покрытий (детонационного напыления) имеют следующие основные функциональные органы: ствол с камерой зажигания; газораспределительный механизм, служащий для дозирования, смешивания и подачи горючей смеси га-

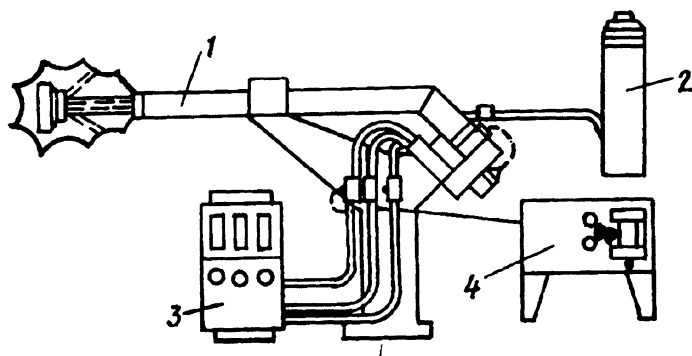


Рис. 1.5. Схема установки детонационного напыления:

1 — ствольная часть; 2 — порошковый дозатор; 3 — пульт управления; 4 — пульт газораспределения

зов и флегматизирующего газа в ствол, порошковый дозатор; воспламенитель горючей смеси газов; систему локализации сгорания горючей смеси газов в стволе; систему охлаждения ствола и других нагреваемых узлов установки; системы контроля процесса напыления и качества напыляемого покрытия.

Стволы детонационных установок различаются формой и размерами камеры сгорания, местом ввода горючей смеси и порошка, способом и местом инициирования горения горючей смеси, конструктивными особенностями системы охлаждения. Обычно применяют стволы с цилиндрической камерой сгорания диаметром 20...30 мм, длиной 1...2 м. Более перспективны конструкции стволов с переменным по длине сечением камеры сгорания.

Порошковые дозаторы установок для детонационного напыления делятся на две группы: с пневматическим и механическим дозированием. Известны конструкции, в которых для приготовления дозы порошка и даже впрыскивания его в ствол используют импульсы давления, возникающие при сгорании горючей смеси в стволе.

Газораспределительные механизмы обычно построены по системе электромагнитных или механических клапанов, обеспечивающих циклическую подачу газов через смесители в ствол. Используется также непрерывная бесклапанная подача газов. С целью обеспечения стабильной надежной работы детонационных установок и безопасности условий труда необходимо локализовать горение в камере сгорания и стволе при выполнении каждого рабочего цикла напыления. Для этого служат герме-

тичные механические клапаны с подачей флегматизирующего газа (азота) в смесительную камеру, огнепреградители (буферные емкости между смесителем газов и стволом, заполняемые перед поджигом горючей смеси флегматизирующим газом).

Пульт управления позволяет осуществлять дистанционное управление исполнительными механизмами детонационной установки, автоматический режим которой может быть обеспечен следующими техническими средствами: механическим или электромеханическим приводом; релейно-контактными устройствами, электронными приборами.

Газораспределительный пульт служит для подачи и контроля расхода компонентов детонационной газовой смеси. Независимо от конструкции пульт включает контрольно-измерительные приборы (ротаметры, манометры) и регулирующие устройства (редукторы, вентили, регуляторы перепада давления). Техническая характеристика газораспределительного пульта АДК "Прометей" приведена ниже.

Рабочие газы Газообразный кислород, ацетилен, азот, воздух

Давление рабочих газов, МПа:

на входе 0,15...0,8

на выходе 0,05...0,14

Расход рабочего газа, м³/ч 2,2...9

Точность поддержания рабочих параметров, %, не менее 5

Габаритные размеры, мм 1400×800×150

Масса, кг 33

Техническая характеристика наиболее известных детонационных установок приведена в табл. 1.9.

1.9. Техническая характеристика детонационных установок для нанесения покрытий

Параметры	УН-102	"Днепр-2", "Днепр-3", "Молния", "Союз", "Гамма"	ДНП-5М1, ДНП-6, ДНП-7	"Корунд" 5811	АДК "Прометей"	"Ка- тунь"
Производительность по напыляемому порошку, кг/ч	1...3	0,4...4	0,8...2,5	1...20	1...3	1,8...7
Коэффициент использования материала, %	40...60	40...60	30...80	50	30...50	—
Скорострельность, цикл/с	1...5	2...10	2...15	3	4...6	1...10
Толщина слоя за цикл, мкм	5...10	5...20	2...12	14	3...10	5...20
Объем ствола, см ³	500	100...500	500...700	600	400	—
Длина ствола, см	150	100...125	45...100	180	150	—
Расход рабочего газа, м ³ /ч:						
ацетилена	2...2,5	1,7...8,3	0,5...4,0	2,5	2,2	—
пропан-бутана	—	1,5...6,0	0,4...2,0	—	—	2...3,5
водорода	—	—	—	—	—	—
кислорода	2,2...2,6	2,0...10,0	0,5...4,0	6	2,6	10...12
азота	4...8	3,6...18	0,12...0,72	10	9,0	10...15 (воздух)

Кроме рассмотренных находит применение следующее оборудование детонационных покрытий.

Детонационный комплекс "Азов", специализированный для упрочнения и восстановления коренных и шатунных шеек коленчатых валов, использует в качестве рабочих газов пропан-бутан, кислород, сжатый воздух. Техническая характеристика комплекса "Азов" приведена ниже.

Диаметр напыляемой детали, мм	20...650
Максимальная длина детали, мм	2400
Масса детали, кг, не более	1000
Эксцентриситет шатунных шеек, мм, не более	150
Толщина наносимого покрытия, мм	1,25
Потребляемая мощность, кВт	3,0

Автоматическая детонационная установка "Обь" обеспечивает высокую степень повторяемости всего процесса благодаря системе стабилизации давления и температуры рабочих газов. Управление циклограммой процесса напыления осуществляется микроЭВМ.

Детонационная установка "Перун-С" — высокопроизводительная стационарная установка, промышленное использование которой особенно эффективно при массовом или крупносерийном производстве изделий с покрытиями. Техническая характеристика установки "Перун-С" приведена ниже.

Скорострельность (частота следования рабочих циклов), Гц	3,3; 6,6
Площадь покрытия за цикл, мм ²	320
Толщина покрытия за цикл, мкм	3...12
Коэффициент использования порошка, %	60
Расход рабочего газа, м ³ /ч:	
ацетилен	1,01...1,2
пропан-бутан	0,9...1,1
водорода	3,2...3,6
кислорода	2,0...2,4
азота	4,6...5,2
сжатого воздуха	4,6...5,2
Потребляемая мощность, кВт	2
Напряжение питания, В	220, 380
Частота, Гц	50
Пределы перемещения трехкоординатного манипулятора, мм:	
вправо—влево	1,6
вперед—назад	0,85
вверх—вниз	0,20

Для размещения установки необходимо наличие звукоизолированного помещения (бокса) с принудительной вентиляцией площадью 15 м².

Установка "Перун-Р" — модифицированная установка, промышленная эксплуатация которой не требует специализированного помещения. Наличие звукоизолированных камер позволяет включать ее в любую технологическую линию в условиях цеха машиностроительного производства.

Малогабаритная детонационная установка "Перун-М" имеет повышенную автономность. В ее корпусе воедино устройство для абразивной обработки и нанесения покрытий,

звукоизолирующая камера, устройство для перемещения обрабатываемых изделий, газогенератор (электролизер), блок управления и контроля. Потребляемая мощность 1 кВт.

Установка эффективна для выполнения исследовательских работ или напыления малогабаритных изделий.

Оборудование для электронно-лучевого нанесения покрытий. Основными его элементами являются тигель с испаряемым материалом и генератор электронного луча — электронно-лучевая пушка (рис. 1.6) [13, 17].

В настоящее время получили распространение два типа электронно-лучевых пушек для испарения материалов: аксиальные, формирующие осесимметричный пучок электронов; плоскочувые, преобразующие первоначальный плоский пучок электронов в цилиндрический. Аксиальные пушки обычно имеют две независимые электромагнитные линзы для фокусировки луча и управления им. Катод в аксиальных пушках выполнен в виде массивной шайбы из вольфрама или тантала и имеет косвенный нагрев. В плоскочувых пушках прямолинейный катод из вольфрамовой проволоки нагревают прямым пропусканием тока. Электромагнитная система преобразования плоского луча в цилиндрический и управления лучом выполнена в виде одного блока [16, 28]. Мощность пушек, применяемых для осаждения жаростойких покрытий, изменяется в достаточно широких пределах в зависимости от типа покрытий и размеров изделий (25...150 кВт), ускоряющее напряжение 20 кВ.

Типичные аксиальные пушки разработаны институтом М. фон Арденне и фирмой Лейбольд-Гересус (Германия). Плоскочувые пушки используются в установках для испарения материалов, созданных фирмой Айрко Темескал (США) и ИЭС им. Е. О. Патона (рис. 1.7) [15].

Современные электронно-лучевые установки для нанесения покрытий рассчитаны на непрерывную работу в течение 10...15 ч и

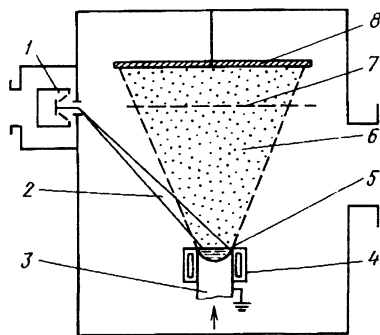


Рис. 1.6. Схема прямого электронно-лучевого испарения из одного источника:

1 — электронно-лучевая пушка; 2 — поток электронов; 3 — испаряемый материал; 4 — водоохлаждаемый тигель; 5 — жидкая ванна; 6 — паровой поток; 7 — заслонка; 8 — подложка

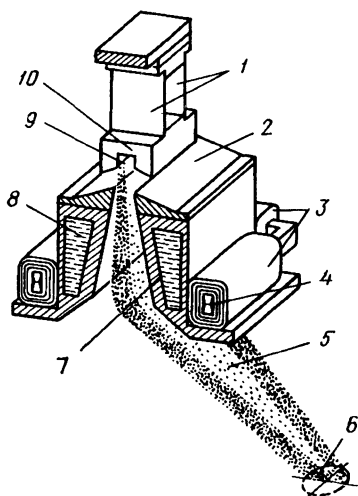


Рис. 1.7. Схема плоскоструйной пушки ИЭС им. Е. О. Патона:

1 — токоподводы; 2 — анод; 3 — магнитопровод; 4 — катушка фокусировки и отклонения; 5 — электронный луч; 6 — фокальное пятно; 7 — лучевой канал; 8 — канал водяного охлаждения; 9 — линейный катод; 10 — фокусирующий электрод

более. В зависимости от характера (циклично-сти) работы они делятся на установки периодического и непрерывного действия и имеют

один или несколько испарителей. Разработан ряд промышленных установок для нанесения защитных покрытий на партии турбинных лопаток. Основными требованиями, предъявляемыми к таким установкам, являются: получение равномерно осажденного по перу лопаток защитного слоя, воспроизводимость химического состава и толщины покрытия, возможность непрерывного ведения процесса испарения в течение длительного времени, обеспечение высокой производительности.

На рис. 1.8 приведена схема специализированной электронно-лучевой установки периодического действия для нанесения защитных покрытий испарением в вакууме из одного источника [26]. Рабочая камера установки разделена на камеру 1 испарения и полость электронно-лучевой пушки 9. Пушка является составной частью испарителя 11, который установлен в нижней части рабочей камеры. Специальными полюсными наконечниками электронный луч изгибается на торце слитка 10. Расплавленный металл разогревается до температуры, при которой скорость осаждения парового потока на подложке достигает 15 мкм/мин. Процесс испарения ведется при разрежении не ниже 10^{-3} Па. В установке предусмотрено раздельное вакуумирование камеры испарения и полости электронно-лучевой пушки механическими и диффузионными насосами.

Рабочая камера объединена с двумя вспомогательными камерами 6, в которых осуществляется предварительный подогрев деталей, собранных в приспособлении. В установке

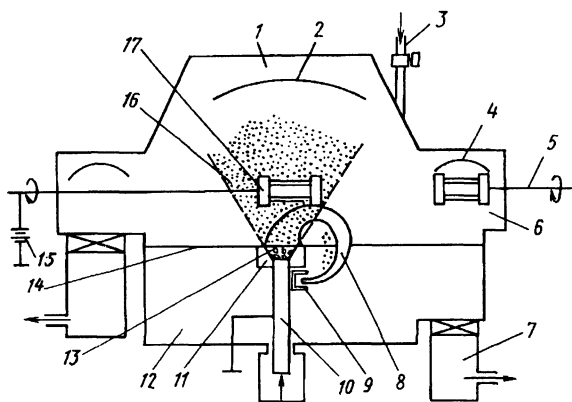


Рис. 1.8. Схема электронно-лучевой установки для нанесения защитных покрытий на лопатки газовых турбин осаждением в вакууме:

1 — камера испарения; 2 — нагреватель; 3 — устройство впуска газа; 4 — устройство предварительного нагрева; 5 — подающий шток; 6 — вспомогательная камера; 7 — вакуумная система; 8 — траектория электронного луча; 9 — электронная пушка; 10 — слиток; 11 — испаритель; 12 — камера электронной пушки; 13 — ванна испаряемого металла; 14 — разделительный экран; 15 — низковольтный источник ионизации парового потока; 16 — паровой поток; 17 — деталь

применен предварительный нагрев элементами сопротивления и непосредственный подогрев изделий в процессе осаждения парового потока 16. Загрузка изделий производится через специальные шлюзовые камеры. Детали, собранные в приспособлении, подающими штоками 5 вводятся во вспомогательную камеру, где они прогреваются перед осаждением покрытия. Одновременно защитный слой наносится на детали, подаваемые в паровой поток из другой вспомогательной камеры.

Рабочая камера оснащена устройством 3 для дозированного впуска инертного газа (аргона). При введении газа в небольшом количестве происходит рассеяние парового потока, в результате чего толщина осажденного слоя получается примерно равной как на открытых, так и на затененных участках лопаток. Одновременно осуществляется частичная ионизация инертного газа и парового потока испаряемого металла путем подачи на покрываемые детали источником 15 отрицательного потенциала (1...2 кВ) по отношению к испарителю. Ионизация способствует получению покрытий с благоприятной дисперсной структурой, лишенной кристаллографических дефектов, которые возникают в конденсированном слое при подаче газа. Мощность электронно-лучевой испарителя с плоскочувствительной пушкой в данной установке составляет 200 кВт.

Производительность установок определяется непрерывностью ведения процесса испарения и согласованием времени выполнения ряда технологических операций (загрузки деталей, нагрев, осаждение покрытия) с операциями охлаждения деталей, извлечения из вспомогательной камеры, загрузки новой партии лопаток. Для решения этих задач в установке ESC-30/300SC (рис. 1.9) фирмы Лейбольд-Геркус предусмотрены четыре шлюзовые устройства (по два с каждой стороны камеры испарения). После подогрева лопаток в промежуточной камере детали вводятся в рабочую камеру, оснащенную прямоугольным испарителем, где на них наносится покрытие. Электронно-лучевой испаритель состоит из водоохлаждаемого медного тигля 3 (120×430 мм), через днище которого снизу вверх одновременно подаются пять слитков и двух аксиальных электронно-лучевых пушек 12 мощностью 150 кВт каждая. Для подогрева изделий в процессе осаждения покрытия применяются дополнительные электронные пушки, которые снабжены отклоняющей системой, разворачивающей лучи на угол более 90° .

В установке ESC-30/300SC лопатки располагают в шахматном порядке точно над испарителем и закрепляют посредством держателей в шпиндельных головках, установленных в параллельных консолях манипулятора. Движение на лопатки передается от привода, расположенного вне вакуумных камер. Боковые консоли манипулятора имеют возможность качения. При трехсменной работе установка выпускает 800 — 1500 лопаток с покрытиями в сутки в зависимости от их типоразмеров.

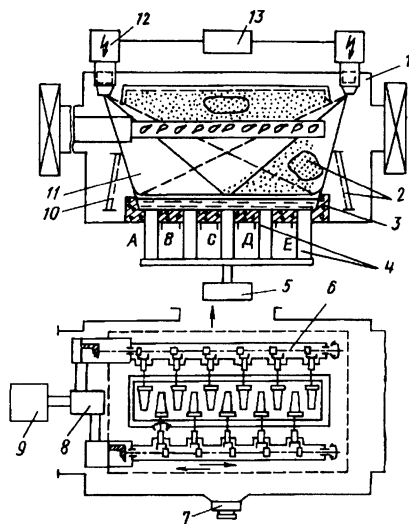


Рис. 1.9. Схема промышленной электронно-лучевой установки ESC-30/300 для нанесения защитных покрытий одновременно на 11 турбинных лопатках:

1 — камера испарения; 2 — сеточный экран; 3 — водоохлаждаемый тигель; 4 — слитки испаряемого металла; 5 — привод подачи слитков в испаритель; 6 — подающие штоки; 7 — смотровая система; 8 — механизм вращения и качения лопаток; 9 — механизм перемещения штоков; 10 — водоохлаждаемый медный экран; 11 — паровой поток; 12 — электронная пушка; 13 — высоковольтный источник питания

Многотигельные испарители с линейным расположением источников применяют в электронно-лучевых установках УЭ-137, УЭ-175М, УЭ-187, разработанных в Институте электросварки им. Е. О. Патона (табл. 1.10)

На рис. 1.10 показана электронно-лучевая установка УЭ-175М периодического действия, предназначенная для нанесения защитных покрытий на лопатки газовых турбин [22]. Мощность установки 350 кВт. Особенностью установки является возможность одновременного испарения нескольких материалов с помощью четырех- или пяти-тигельного электронно-лучевого испарителя и получения не только покрытий типа $\text{Me}-\text{Cr}-\text{Al}-\text{Y}$, но и композиционных покрытий с равномерным или градиентным распределением дисперсных фаз, двухслойных и многослойных покрытий металл—керамика.

Установка состоит из нескольких вакуумных камер, конструктивно соединенных между собой: основной технологической 5, двух шлюзовых 2 и трех камер, в которых расположены пушки 3 для нагрева лопаток. Основная камера разделена вертикальной стенкой на две секции. В задней секции расположены пять электронно-лучевых пушек 6, предназначенных для испарения материалов, в передней — испаритель 4. Основная камера отделе-

1.10. Техническая характеристика электронно-лучевых установок

Параметры	УЭ-187	УЭ-137
Номинальное напряжение питающей сети трехфазного тока (частотой 50 Гц), В	380 ± 20	380 ± 20
Число×мощность (кВт) и тип электронных пушек:		
для нагрева лопаток в камере нанесения покрытий	1×60, ПЭ-103	1×25, ПЭ-101
для предварительного нагрева изделий в каждой из форкамер (по специальному проекту)	1×60, ПЭ-103	—
для испарения кристаллов из цилиндрических тиглей	4×60, ПЭ-105	4×60, УЭ-157
Рабочее ускоряющее напряжение, кВ	20	20
Потребляемая мощность при нанесении покрытий на детали, кВ · А	200	150
Установленная мощность установки, кВ · А	410	280
Разрежение в камере нанесения покрытий, Па	$6 \cdot 10^{-3} \dots 10^{-2}$ $(5 \cdot 10^{-5} \dots 10^{-4})$	$(5 \cdot 10^{-5} \dots 10^{-4})$
Размеры покрываемых деталей (длина×диаметр описанной окружности), мм	500×320	320×200
Размеры испаряемых слитков, мм:		
диаметр	70	70
длина	400...600	240 ± 5
Скорость перемещения штока механизма подачи изделия, м/мин	1...10	1...10
Толщина металлического слоя, мкм, не более	150	150
Толщина керамического слоя, мкм, не более	250	250
Производительность при двухсменной работе (лопатки средних размеров)	20000	8000
Коэффициент использования парового потока, %, не более	20	12
Расстояние от верхнего среза тиглей до оси вращения лопаток, мм	400	300
Расход воздуха, м ³ /ч	1	
Габаритные размеры установки, м	$10,7 \times 7,3 \times 3,9$	$6,7 \times 7,2 \times 3,2$

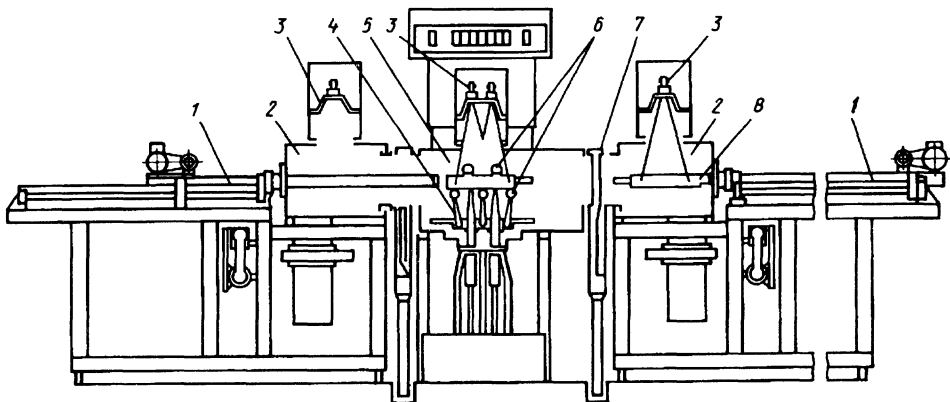


Рис. 1.10. Электронно-лучевая установка УЭ-175 М для совместного испарения металлов и химических соединений и нанесения защитных покрытий осаждением в вакууме

на от шлюзовых вакуумным затвором 7. Лопатки закрепляются на подающих штоках 1 с помощью устройства 8. Автоматическая система управления на базе микроЭВМ "Электроника-60" обеспечивает измерение и контроль толщины покрытий, стабилизацию температу-

ры нагрева деталей, уровня жидкометаллической ванны в цилиндрических испарителях, разрежения в основной рабочей и шлюзовой камерах, программирует электрические параметры электронных пучков, определяет последовательность выполняемых операций. Время

нанесения покрытия и важнейшие технологические параметры процесса — давление остаточных газов в камере, расход испаряемых материалов, температура нагрева, показания датчика контроля массы — фиксируются и печатаются в специальном паспорте.

В линиях для одно- и двухстороннего нанесения покрытий на движущуюся стальную полосу шириной 600 мм со скоростью перемещения до 5 м/с толщина покрытия регулируется в пределах 0,05...5 мкм изменением скорости перемотки ленты [29].

Для нанесения на сварочные материалы (проволоку, ленту) специальных легирующих, модифицирующих, инокулирующих или активирующих покрытий применяется электронно-лучевая установка УЭ-202, разработанная в ИЭС им. Е. О. Патона (рис. 1.11).

В установке применены стандартные плоскочувствительные электронные пушки с поперечным отклонением луча и прямочанальным катодом. Нагрев проволоки или ленты перед нанесением покрытия осуществляется электронной пушкой через вольфрамовый термоблок. Система отклонения электронных лучей — электромагнитная. Ниже приведена техническая характеристика установки УЭ-202.

Число тиглей для испарения	6
Скорость перемещения испаряемых слитков, мм/мин	0,2...50
Номинальные размеры слитков, мм:	
диаметр	70
длина	400
Скорость протяжки проволоки (ленты), м/мин	1...30
Протягиваемая проволока:	
число ниток	6
диаметр, мм	0,5...2
Протягиваемая лента:	
число ниток	6
ширина ленты, мм	8...15
толщина ленты, мм	0,1...1,5
Масса катушки одной нитки протягиваемой проволоки, кг, не более	200
Толщина слоя покрытия, мкм	2...50
Число слоев в микрослойных покрытиях	2...3

Максимальная производительность установки в смену (при диаметре стальной проволоки 2 мм), кг	1000
Наибольшая установленная суммарная мощность шести электронных пушек, кВт	320
Рабочее ускоряющее напряжение, кВ	20
Установленная мощность источника питания электронных пушек, кВ · А	250
Рабочее давление в камерах, Па:	

нанесения покрытий, не более	$6,6 \cdot 10^{-4}$
пушек, не более	$6,6 \cdot 10^{-4}$
Габаритные размеры, мм	7200 × 2500 × 2300
Масса установки, т	15
Расход охлаждающей воды, м ³ /ч	15

Электронно-лучевая установка УЭ-193 нового поколения для плавки и испарения материалов в вакууме предназначена для переплавления металлов и получения из них слитков (цилиндрических и плоских), получения композиционных материалов испарением с последующей конденсацией металлов и неметаллов, осаждения покрытий различного функционального назначения путем испарения и последующей конденсации парового потока на изделия с плоской и цилиндрической поверхностью.

В отличие от специализированных установок для плавки и испарения материалов установка УЭ-193 обладает рядом конструктивных особенностей, которые позволяют легко перестраивать оборудование для осуществления технологических процессов (рис. 1.12).

Технологическая вакуумная камера 1 выполнена в виде восьмигранника с люками на каждой грани. На двух боковых гранях установлены камеры 2 с электронными пушками. Технологическая камера и две камеры с электронными пушками имеют индивидуальные системы вакуумной откачки. На передней грани установлена откатная крышка со смотровыми системами. На верхней, нижней и двух боковых гранях технологической камеры в зависимости от функционального назначения устанавливаются механизмы 3 подачи переплавляемого или испаряемого материала, кристаллизаторы и тигли для выплавки слитков и испарения материалов 4, механизмы 5 переме-

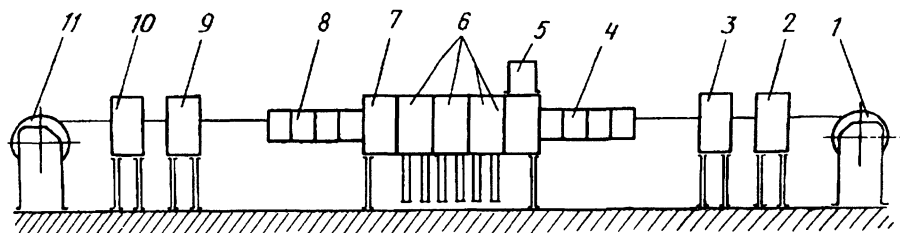


Рис. 1.11. Схема электронно-лучевой установки УЭ-202 для нанесения функциональных покрытий на сварочную проволоку и ленту:

1 — смоточное устройство; 2 — устройство поворота проволоки; 3 — устройство правки проволоки; 4 — входные шлюзы; 5 — камера нагрева; 6 — камеры для нанесения покрытий; 7 — камера охлаждения; 8 — выходные шлюзы; 9 — намоточное устройство

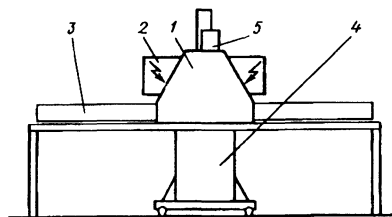


Рис. 1.12. Схема установки УЭ-193

шения заготовок, поверхностей конденсации изделий.

Установка имеет шесть электронных пушек конструкции ИЭС им. Е. О. Патона. Пушки двухэлектродные с линейным прямых канальным термокатодом, система управления электронным лучом — электромагнитная. Силовой полупроводниковый источник питания электронных пушек мощностью 250 кВт имеет тиристорное управление, ускоряющее напряжение 20...25 кВ.

Система управления установкой включает автоматическую стабилизацию тока электронных пучков и ускоряющего напряжения пушек, стабилизацию уровня ванны кристаллизующегося слитка и испаряемого материала, датчики контроля температуры поверхности конденсации и др. Техническая характеристика установки УЭ-193 приведена ниже.

Размер выплавляемых слитков, мм:

диаметр 70...260

длина, не более 700

Размер сплавляемых заготовок, мм, не более:

диаметр 200

длина 1000

Число испарителей 4

Размеры испаряемых заготовок (слитков), мм:
диаметр 70...150
длина, не более 700

Расстояние до поверхности конденсации, мм 300...500

Размер поверхности конденсации, мм, не более:

прямоугольной 800 × 600

круглой (диаметр) 800

цилиндрической (диаметр) 600

Суммарная скорость испарения из четырех испарителей, кг/ч 15

Габаритные размеры установки (без источника питания), мм 8000 × 6000 × 4500

Оборудование для ионно-плазменного нанесения покрытий. Система оборудования для ионно-плазменного нанесения покрытий связана с источником плазмы, выбранным для осуществления технологического процесса [2, 6, 10, 18—21] (рис. 1.13). В систему входят: распылительное (испарительное) устройство 1, предназначенное для создания ионизированного потока пара материала покрытия. В случае применения тлеющего (или дугового) разряда испарение происходит из твердой фазы, при этом распыляется катод (мишень). Для термического испарения из жидкой фазы используется дуговой разряд. При этом испаряется анод, который выполнен в виде тигля, заполненного материалом покрытия. Однако если этот материал при заданном режиме испарения может сублимировать, то испарение происходит из твердой фазы;

рабочая камера 2, предназначенная для монтажа всех систем, поддержания требуемого давления в ходе технологического процесса;

система управления 3 натеканием плазмообразующего газа, предназначенная для создания газоразрядной плазмы определенного химического состава и плотности;

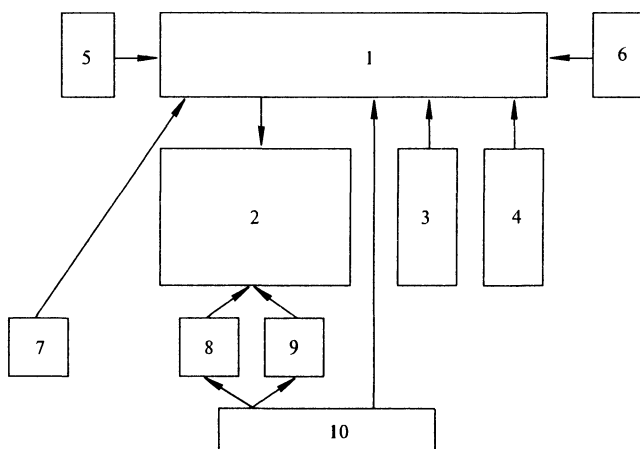


Рис. 1.13. Структурная схема установки для получения покрытий с помощью ионно-плазменного распылительного (испарительного) устройства

система охлаждения 4 газоразрядного устройства и термостатирования рабочей камеры, предназначенная для охлаждения мишени и анода в распылительном устройстве, деталей испарительного устройства при термическом испарении;

источник питания 5 вспомогательного разряда, предназначенный для создания несамостоятельного разряда;

дуговое газоразрядное устройство 6, предназначенное для создания потока ионизированного пара;

устройство 7 подпитки тигля, служащее для пополнения тигля материала и обеспечивающее требуемую технологическим процессом температуру и уровень расплавленного металла в тигле;

устройство 8 перемещения и ориентации покрываемых деталей, предназначенное для повышения равномерности распределения конденсата на детали;

откачной пост 9, предназначенный для создания вакуума в рабочей камере и поддержания определенного давления в процессе нанесения покрытия;

система управления 10 технологическим процессом, настраиваемая на определенный технологический цикл нанесения покрытия.

Ниже рассматривается оборудование для особых способов ионно-плазменного нанесения покрытий (рис. 1.14).

Оборудование для катодного распыления представлено типичной установкой УВН-75П-1 (рис. 1.14, а), которая предназначена для нанесения покрытий на гибридные интегральные схемы. Техническая характеристика установки приведена ниже.

Число распылителей	3
<i>Распылитель на постоянном токе (два)</i>	
Напряжение, кВ	5
Плотность ионного тока, А/см ²	1
<i>Распылитель высокочастотный (один)</i>	
Напряжение, В	3
Частота, МГц	1,76
Предельное давление остаточных газов, Па	$7 \cdot 10^{-5}$
Рабочее давление, Па	1...100

Размеры подложек, мм	60 × 48
Разовая загрузка подложек	100

Оборудование для магнетронного нанесения покрытий подразделяется на установки периодического и непрерывного действия (рис. 1.14, б). Различные сочетания взаимного расположения мишени, магнитной системы и подложки (напыляемой основы) позволяют создавать многообразные типы установок магнетронного нанесения покрытий (магнетронного распыливания) [6]. Для изготовления интегральных схем используют установки серии "Оратория", автоматические линии "Магна". Для нанесения нитридных износостойких покрытий на режущий инструмент применяют установки "Мир" с двумя магнетронами производительностью 200 тыс. изделий в год.

Другими примерами оборудования магнетронного распыливания являются установки непрерывного действия УН-101 для металлизации заготовок печатных плат и УВ-84 для алюминирования стекла в зеркальном производстве (табл. 1.11).

Зарубежные фирмы Бальцерс (Лихтенштейн), Лейбольд (Германия), Ульвак (Япония), Алкатель (Франция) выпускают автоматизированные установки магнетронного распыления со стабилизацией тока и мощности разряда, парциальных давлений рабочего и реактивного газа.

Оборудование для нанесения покрытий ионной бомбардировкой представляет установку "Булат-20", предназначенная для нанесения твердого покрытия на инструмент [11] (рис. 1.14, в). Техническая характеристика установки "Булат-20" приведена ниже.

Число распылителей	3
Диаметр катода, мм	80
Сила рабочего тока, А	80...300
Отрицательный потенциал смещения, В	150...1500
Предельное давление в рабочей камере, Па	$1,3 \cdot 10^{-3}$
Число позиций карусели	24
Потребляемая мощность, кВт · А	50
Длительность рабочего цикла, ч	2...2,5
Размеры деталей, мм	200 × 250

1.11. Техническая характеристика установок для магнетронного распыления

Параметры	УН-101	УВ-84
Число распылителей	2	3
Размеры мишеней, мм	1100×600	1800×200
Сила разрядного тока, А	100	90
Давление в камере напыления, Па	$1,3 \cdot 10^{-2}$	—
Давление аргона в камере, Па	0,4	0,4
Толщина покрытия, мкм	2	0,12
Производительность, м ² /ч	6	150
Потребляемая мощность, кВт	150	220
Размеры обрабатываемых изделий, мм	500×500×12	1660×1300

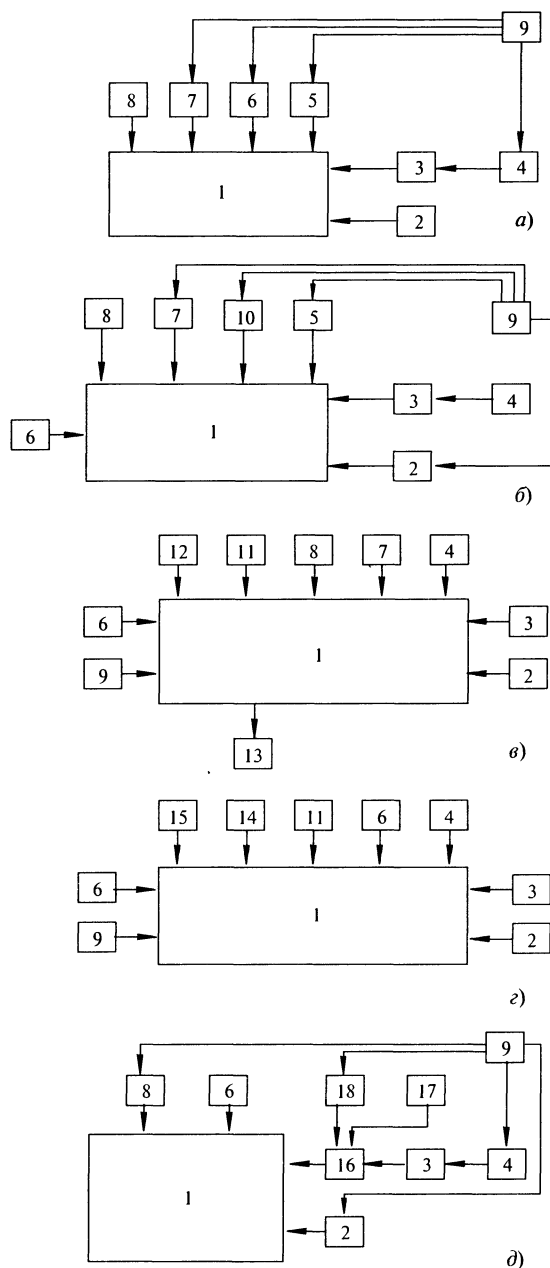


Рис. 1.14. Структурные схемы установок для особых способов ионно-плазменного нанесения покрытий:

а — катодного распыления; *б* — магнетронного распыления; *в* — распыления дугой с холодным катодом; *г* — термического испарения сжатой дугой низкого давления и ионного распыления в плазме дуги с термокатодом; *д* — термоионного; *1* — рабочая камера; *2* — откачной пост (высоковакуумный и форвакуумный насосы); *3* — распылительное (испарительное) устройство; *4* — источник питания распылительного (испарительного) устройства; *5* — система управления натеканием плазмообразующего газа; *6* — устройство перемещения покрываемых деталей; *7* — устройство нагрева деталей; *8* — система охлаждения; *9* — система управления технологическим процессом; *10* — система ионной очистки деталей; *11* — источник питания вспомогательного разряда; *12* — пирометр для измерения температуры нагрева покрываемых деталей; *13* — система защиты микродуг; *14* — газоразрядное устройство с накаливаемым катодом; *15* — система управления натеканием плазмообразующего газа; *16* — система ионизации парового потока; *17* — источник питания системы ионизации; *18* — система управления ионизацией

Оборудование для термического испарения сжатой дугой низкого давления представлено установкой У-304, предназначенной для металлизации элементов керамических конденсаторов (рис. 1.14, з).

Ниже приведена техническая характеристика установки У-304.

Сила тока дуги, А	50...300
Напряжение на дуге, В	20...40
Сила ионного тока, мА	50...500
Давление в рабочей камере, Па	$0,5 \cdot 10^{-2}$
Расход газа, л/мин	$(0,2...1) \cdot 10^{-1}$
Размеры изделия, мм	150 × 150
Потребляемая мощность, кВт · А	30
Длительность рабочего цикла, ч	0,6

Оборудование для ионного распыления в плазме дуги с термокатодом имеет схему, аналогичную рассмотренной выше (рис. 1.14, з). Примером являются установки У-842 и УРМЗ.279.035 [21]. Установка У-842 предназначена для металлизации полосковых плат, а установка УРМЗ.279.035 — для металлизации гибридных интегральных микросхем (табл. 1.12).

Оборудование для термоионного нанесения покрытий представлено автоматической установкой УВН-ЭИП 17/4-001 с групповой обработкой подложек, используемой при изготовлении полупроводниковых схем, СВЧ-транзисторов [2] (рис. 1.14, д). В качестве покрытий напыляют алюминий, медь, титан, кремний. Техническая характеристика приведена ниже.

1.12. Техническая характеристика установок для ионного распыления в плазме дуги с термокатодом

Параметры	У-842	УРМЗ.279.035
Число распылительных устройств	2	1
Диаметр мишени, мм	180	—
Сила тока дуги, А	50...120	30
Отрицательный потенциал на мишени, кВ	0...2	0...2
Сила ионного тока, А	0,2...4	2
Рабочее давление, Па	$0,13...1,3 \cdot 10^{-2}$	—
Размеры изделия, мм	60×48	—
Разовая загрузка	60	200
Потребляемая мощность, кВт	16	10
Длительность рабочего цикла, ч	1,5	3

1.13. Техническая характеристика установок для ручного электроискрового легирования марки “Элитрон”

Параметры	Марка “Элитрон”			
	12	14	22	50
Потребляемая мощность, кВт · А	0,16	0,25	До 0,4	До 3,5
Сила рабочего тока, А	0,3...1,4	0,6...1,6	0,5...3	—
Производительность, см ² /мин	До 3	До 3	До 5	До 10
Толщина слоя покрытия, мм	0,01...0,1	До 0,03	0,01...0,12	0,01...0,2
Параметр шероховатости покрытия Rz, мкм	40	8...25	80	40...160
Габаритные размеры, мм	360×275×160	435×320×170	450×315×170	890×620×415
Масса, кг	12	20	22	160

Электронно-лучевой испаритель

Напряжение, кВ	10
Сила тока, А	1
ВЧ—ионизатор	
Рабочая частота, МГц	27,2
Мощность, кВт	5,5
Напряжение смещения на подложке, кВ	1...4
Плотность ионного тока на подложке, мА/см ²	2

Оборудование для электроискрового легирования. Электроискровое легирование поверхности производится с помощью универсальных и специализированных установок (искровых генераторов), которые относятся к классу электромеханических устройств [23, 24]. Составными частями этих установок являются генератор импульсов тока и электродная коммутирующая система. В качестве материала для легирования используют электроды или порошки. Обобщенная структурная схема установки для ЭИЛ представлена на рис. 1.15.

По качеству поверхности оборудование для электроискрового легирования подразделяется на установки для чистового ($R_z < 80$ мкм) и грубого ($R_z \geq 80$ мкм) легирования, по уровню механизации — на ручные, механизированные и автоматизированные.

Техническая характеристика установок для ручного электроискрового легирования электродами представлена в табл. 1.13.

Механизированные и автоматизированные установки электроискрового легирования в основном являются специализированным оборудованием для упрочнения конкретных видов

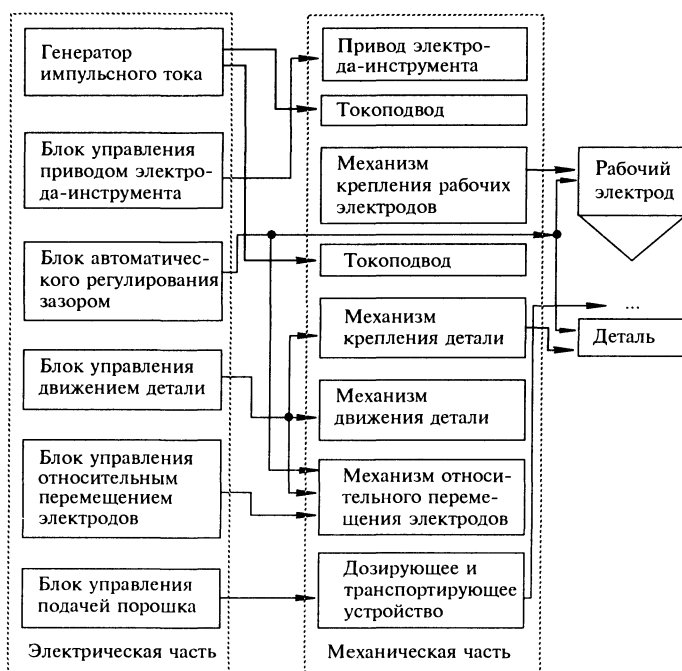


Рис. 1.15. Обобщенная структурная схема установки для электроискрового легирования

изделий. Техническая характеристика механизированных и автоматизированных установок электроискрового легирования из электродов приведена в табл. 1.14.

Для электроискрового легирования из порошков используют установки "Разряд" и "Разряд-М". Потребляемая мощность составляет не более 6 кВт·А, производительность

1.14. Техническая характеристика установок для механизированного и автоматизированного электроискрового легирования марки "Элитрон"

Параметры	Марка "Элитрон"						
	120Б	240А	315	345А	347	410	503
Потребляемая мощность (без станка), кВт·А, не более	2,5	—	50	3,6	8	15	8
Производительность, см ² /мин, не более	5	150 (контак- та/ч)	800	10	10	30	3 (ком- плек- та/ч)
Толщина наносимого слоя, мм, не более	—	10...12	—	0,04	0,2	0,05...0,12	0,05
Параметр шероховатости поверхности Rz, мкм	10...80	—	—	10...40	20...180	30...90	—
Габаритные размеры обрабатываемых деталей, мм:							
диаметр	16...40	—	250...700	275...1430	15...340	280...720	—
длина	275	—	1700... 2500	—	1400	1400	—
Назначение	Для фрез и сверл	Для сере- брения кон- тактов	Для вал- ков про- катных стан- ов	Для зубь- ев круг- лых сег- ментных пил	Для вос- станов- ления тел вращения	Для плоских поверх- ностей	Для штам- пов

2...10 см²/мин, дисперсность используемого порошка 50...200 мкм.

Оборудование для лазерного легирования и модифицирования поверхностей. Для этих целей могут использоваться твердотельные лазеры импульсного действия (обработка малогабаритных прецизионных деталей, например деталей приборов) с энергией в импульсе излучения 3 Дж и выше ("Квант-9", "Квант-10", "Квант-12", "Квант-16", "Квант-41", "Квант-50"), а также СО₂-лазеры непрерывного и импульсно-периодического действия (обработка средних и крупных по величине деталей, применяемых в машиностроении, транспорте и др.) мощностью 100 Вт и более ("Катунь", "Крадамон", "Латус-31", "Комета", ЛТ-1 и др.) [12].

При лазерном легировании в состав технологической оснастки помимо механизмов перемещения детали или луча, сканаторов луча входит дозатор порошка или механизм подачи проволоки (в случае легирования металлическими присадками), либо система подачи легирующего газа (в случае легирования газами, например, азотом, кислородом и др.). В случае легирования смесями газов необходим смеситель с контрольной аппаратурой. Дозаторы порошка и механизмы подачи проволоки аналогичны применяемым для лазерной наплавки, но должны обеспечивать на порядок меньший расход порошка или проволоки.

Оборудование для электронно-лучевого модифицирования поверхностей. Для реализации технологических процессов электронно-лучевого модифицирования поверхностей металлов используют как специализированное оборудование [26], так и установки для электронно-лучевой сварки. Наибольшее распространение для целей модифицирования получили сварочные установки, которые обычно модерни-

зируют для расширения технологических возможностей при модифицировании поверхностей. При этом обеспечивается возможность создания и управления тепловложением на площади, превышающей площадь поперечного сечения электронного пучка. Модернизация сварочных установок заключается в следующем: в электронной пушке либо на ее торце устанавливается малоиндуктивная отклоняющая система; система управления отклонением электронного пучка заменяется на специализированную (быстродействующую, с программным управлением); манипулятор изделия или электронной пушки, а также его система управления иногда дорабатывается или заменяется для обеспечения высоких скоростей перемещения (до 40 мм/с).

Техническая характеристика систем управления установок для электронно-лучевого модифицирования поверхности приведена в табл. 1.15.

Многофункциональная система управления "Промин-1" состоит из микропроцессорного блока, двухканального усилителя сигналов развертки электронного пучка и блока управления приводом. Она обеспечивает в режиме диалога:

программное управление током электронного пучка и фокусирующей линзы электронной пушки, отклонением электронного пучка по двум координатам для одной или двух отклоняющих систем, приводом (шаговым, асинхронным или постоянным тока);

ввод, просмотр, корректировку и хранение в виде библиотек в долговременной памяти программ технологических режимов;

аварийное завершение технологического процесса по специальной подпрограмме;

контроль работоспособности основных узлов системы (дисплея, клавиатуры, таймера,

1.15. Техническая характеристика систем управления установок для электронно-лучевого модифицирования

Показатели	СУ281	"Промин-1"	"Янтарь" (модуль 6)	СУЛ-1Р
Управление электронным пучком: разверткой	Программное растровое с моно- и многоимпульсными режимами		Программное цифровое	Двухкоординатное
током и фокусировкой	Программное		Синхронное	—
Форма раstra	Прямоугольная, круговая, кольцевая		Любая	Прямоугольная
Максимальное число точек в растре	2000	4000	256×256	Развертка аналоговая
Частота выдачи точек раstra, кГц	10	1...2000	1...8000	5 · 10 ⁻⁵ ...0,3
Максимальный угол отклонения электронного пучка, °	±15	±15	±15	—

постоянного и оперативного запоминающих устройств, оптоволоконной системы).

В режиме модифицирования поверхности система формирует высокочастотную растровую развертку электронного пучка. В режиме гравировки программно задается текст надписи, которая будет нанесена электронным пучком на поверхности изделия. При этом воспроизводятся цифры, буквы русского и латинского алфавита.

Специализированные пирометрические системы позволяют осуществлять контроль параметров температурного поля при электронно-лучевом модифицировании поверхностей бесконтактно, через иллюминатор вакуумной камеры. Так, с помощью пирометрических сканирующих систем СКАПИР-01 и СКАПИР-02 можно контролировать распределение температуры при нагреве поверхности металлов в диапазоне температур $300...3000^{\circ}\text{C}$ с точностью 1,5%. При этом пространственная дискретность контроля температуры в точках следующая: 3×3 для системы СКАПИР-01, 50×200 для системы СКАПИР-02.

Оборудование для ионной имплантации. Принцип работы любой установки для ионной имплантации состоит в ионизации в ионном источнике газообразных, жидких или твердых веществ и ускорении ионов в электростатическом поле. После разделения ионного пучка по массе сепарированный пучок ионов направляется на мишень-образец, находящийся в вакуумной камере. Для обеспечения однородности распределения заряда на поверхности проводят сканирование. Дозу имплантации определяют интегратором тока. Установки для ионной имплантации различаются способами ускорения, напряжением, способами фокусировки, источниками питания.

Установка для ионной имплантации включает: ионный источник *I*; системы ускорения и фокусировки ионов, разделения пучка ионов по массе, сканирования пучка *б*; приемную камеру *2* и вакуумную систему (рис. 1.16). Имеется несколько типов ионных источников, основанных на различных принципах ионизации: электронным ударом, фотоионизацией, химической ионизацией.

Источники с ионизацией атомов на разогретой поверхности твердых тел находят применение в исследовательских установках. Основное преимущество источников этого типа — малый разброс ионов по энергиям, основной недостаток — сравнительно малые токи. Такие источники используются при контролируемом нанесении пленок щелочных и щелочно-земельных металлов, для получения пучков малого диаметра, в установках для получения узловых закономерностей при взаимодействии ионов с твердым телом, при анализе материалов.

Источник ионизации электронным ударом типа Нира применяется в масс-спектрометрических устройствах. Сила выходного тока не превышает нескольких микроампер вследствие низкой ионизации (10^{-5}). Разброс по

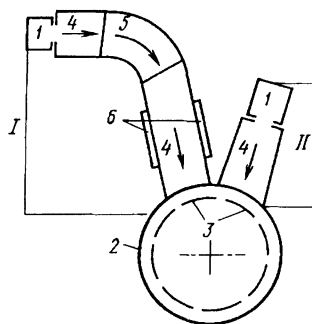


Рис. 1.16. Схема установки для ионно-лучевой обработки с сепарацией (*I*) и без сепарации ионного пучка (*II*):

I — ионный источник; *2* — приемная камера; *3* — обрабатываемые детали; *4* — ионный пучок; *5* — сепаратор; *6* — система сканирования пучка

энергиям составляет $2...3$ эВ. В источниках типа плазмотрона также используется ионизация атомов электронным ударом. Они обеспечивают значительные ионные токи при малом разбросе ионов по энергиям, не превышающем 10 эВ. Основным недостатком — необходимость использования блоков электрического питания, находящихся под высоким потенциалом относительно земли.

В промышленных установках ИЛУ-4 и "Везувий-4" применены источники с дуговым разрядом в парах рабочих веществ. Кроме того, для стабильного поддержания дугового разряда используется также ионизация электронным ударом. Рабочим веществом может быть газ (например, аргон), водород, гелий или пар (например, фосфор). Главным преимуществом дуговых источников является получение ионных пучков с большой силой тока. К недостаткам относятся сложный состав получаемого ионного тока, необходимость специальной стабилизации разряда, разброс ионов по энергиям, неравномерность плотности тока по сечению пучка.

В газоразрядных источниках с горячим катодом типа Пеннинга ионизация молекул и атомов осуществляется электронным ударом. Источники такого типа характеризуются значительным (менее 100 эВ) разбросом ионов по энергиям. В составе пучка находятся ионы материалов электродов, подвергнутых ионной бомбардировке и распылению. Такие источники используются в установках для обработки материалов ионными пучками, нанесения покрытий.

В высокочастотных разрядных ионных источниках электроны получают необходимую энергию для ионизации атомов, ускоряясь в электрическом высокочастотном поле. Разброс ионов по энергиям в таких источниках составлял $50...100$ эВ, а в новых конструкциях он снижен до $1...2$ эВ. Основными недостатка-

ми высокочастотных разрядных источников являются необходимость тщательного экранирования с целью исключения влияния высокочастотных наводок на измерительную аппаратуру, трудность получения ионов металлов, неспособность работать при повышенных температурах, необходимость контроля параметров и управления ими, недостаточно длительный цикл непрерывной работы (50...100 ч). Однако высокочастотные источники характеризуются простотой конструкции и надежностью работы, на изготовление не требуется больших затрат, удобны в эксплуатации, отличаются экономичностью.

Для получения тяжелых ионов можно использовать источники с дуговым разрядом в парах материалов электродов. В установках с такими источниками используются ионные пучки и ускоренная плазма. Плазменные ускорители применяют, например, для высокоскоростного нанесения пленок, откачки газов. Они экономичны, высокопроизводительны, универсальны. В некоторых случаях находят применение лазерные ионные источники, в которых разброс ионов по энергиям составляет 0,2...0,5 эВ, искровые ионные источники, позволяющие получать многозарядные ионы, но отличающиеся невысокой стабильностью ионного тока; источники с тлеющим разрядом, в которых обеспечивается высокая плотность тока, но затруднено измерение энергии ионов и невелика глубина их проникновения.

Высокие энергии сообщаются ионам с помощью систем ускорения двух типов: в одиночном зоре между двумя электродами и в многозарядных ускорительных секциях. Одиночные зазоры надежно работают при ускоряющих напряжениях 40 кВ, но при напряжении свыше 100 кВ в подобной системе ускорения появляются пробои. Более надежны многозарядные ускорительные секции, обеспечивающие постепенный рост энергии ионов в каждом зоре на 15...20 кэВ. Для фокусировки ионов применяют электростатические линзы (одиночные, иммерсионные, диафрагмы с отверстием).

Для получения ионных пучков, содержащих определенный элемент, выполняют сепарацию общего потока, осуществляя взаимодействие движущихся ионов с магнитным и электрическим полями, с одновременным воздействием постоянного и переменного электрических полей. По скоростям поток фильтруют с помощью электростатических анализаторов. Разделение пучка осуществляют с помощью секторных магнитных систем, отклоняющих пучок на 60 или 90°. Разделительная способность секторных магнитов не уступает разделительной способности 180°-ных магнитов. Чтобы разделить ионы по массе, используют фильтр Винна — устройство со скрещенными ортогонально магнитным и электрическим полями. В некоторых масс-спектрометрах и сепараторах применяют квадрупольные

фильтры масс. Преимуществами квадрупольного фильтра масс являются слабая зависимость разрешающей способности от энергетического разброса ионов, возможность анализа при повышенном давлении остаточного газа, крутые фронты пиков. Основной недостаток такого фильтра заключается в наличии возможности прохождения нерезонансных ионов. В некоторых установках применяют монополярные фильтры масс, к недостаткам которых относятся чувствительность к давлению остаточных газов и нестабильность работы.

Однородность имплантации обеспечивает система сканирования. В зависимости от необходимости отклонения пучка в одном или двух направлениях используют либо две параллельные пластины, либо последовательно по ходу движения пучка две пары взаимно перпендикулярных пластин. Имплантация ионов в мишень осуществляется в вакуумной камере. Точное измерение силы тока пучка проводится с помощью калориметра, цилиндра Фаradeя и кулонометра.

Вакуумная система обеспечивает непрерывное поступление газа или паров их ионного источника в приемную камеру с высоким вакуумом (10^{-5} Па), который способствует лучшей фокусировке пучка, уменьшению дозы нейтральных атомов и загрязнения поверхности образцов. Откачку производят диффузионными насосами, турбомолекулярными насосами с соответствующими форвакуумными насосами, геттерным насосом, создающим форвакуум для сорбционных насосов. Тип насоса выбирают с учетом состава и количества газа, а также необходимости получения безмасляного вакуума.

1.5. ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ

Тенденции развития оборудования для нанесения покрытий связаны с расширением сфер и масштабов их практического применения. В связи с этим как в области газотермических, так и вакуумных методов нанесения покрытий наблюдается стремление к созданию высокоавтоматизированных и роботизированных комплексов, обеспечивающих, с одной стороны, высокую производительность установок, а с другой, — высокое качество наносимых покрытий за счет строгого контроля параметров режима напыления. При этом используется блочно-модульный принцип создания таких комплексов, который позволяет оперативно создавать их многообразные модификации. Другая тенденция, в частности газотермического нанесения покрытий, состоит в разработке мобильных установок и сборно-разборных комплексов с целью проведения работ по напылению покрытий по месту без демонтажа конструкций и оборудования и создания стационарных участков и цехов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Бартенев С. С., Фелько Ю. П., Григоров А. И.** Детонационные покрытия в машиностроении. Л.: Машиностроение, 1962. 215 с.
2. **Белевский В. А., Кузьмичев А. И., Мельник В. И.** Электронно-ионные устройства для нанесения тонкопленочных покрытий / Знания. Киев: 1982. 20 с.
3. **Борисов Ю. С., Харламов Ю. А., Сидоренко С. Л.** Газотермические покрытия из порошковых материалов. Киев: Наукова думка, 1987. 544 с.
4. **Габонич М. Д., Плешивцев Н. В., Семашко Н. Н.** Пучки ионов и атомов для управляемого термоядерного синтеза и технологических целей. М.: Энергоиздат, 1986. 248 с.
5. **Гребенюк В. М., Гордиенко А. В., Цапко В. К.** Повышение надежности металлургического оборудования. М.: Металлургия. 1988. 688 с.
6. **Данилин Б. С., Сырчин В. К.** Магнетронные распылительные системы. М.: Радио и связь, 1982. 72 с.
7. **Зверев А. И., Шаривкер С. Ю., Астахов Е. А.** Детонационное напыление покрытий. Л.: Судостроение, 1979. 232 с.
8. **Линник В. А., Пекшев П. Ю.** Современная техника газотермического нанесения покрытий. М.: Машиностроение, 1985. 128 с.
9. **Лончин Г. М., Мачурин Е. С., Молин Б. П.** Термообработка изделий из сплавов железа пучком электронов высокой энергии // Электронная обработка материалов. 1990. № 1. С. 45—47.
10. **Майбел Л., Глэнг Р.** Технология тонких пленок. М.: Сов. радио, 1977. 1430 с.
11. **Металлизация** сталей и сплавов в вакууме / Под ред. Е. П. Пономаренко. Киев: Техника, 1974. 296 с.
12. **Модифицирование** и легирование поверхности лазерными, ионными и электронными пучками / Под ред. Дж. Поута. М.: Машиностроение, 1987. 424 с.
13. **Мовчан Б. А.** Электронно-лучевая плавка и испарение в современных металлургии и машиностроении // Сварка и специальная электрометаллургия. Киев: Наук. думка, 1984. С. 259—264.
14. **Мовчан Б. А., Малащенко И. С.** Жаростойкие покрытия, осаждаемые в вакууме. Киев: Наук. думка, 1983. 232 с.
15. **Мовчан Б. А., Тимашов В. А.** Плосколучевые электронные пушки для плавки и испарения материалов / Рафинирующие переплавы. Киев: Наук. думка, 1975. С. 131—139.
16. **Мовчан Б. А., Тихоновский А. Л., Куратов Ю. А.** Электронно-лучевая плавка и рафинирование металлов и сплавов. Киев: Наук. думка, 1973. 236 с.
17. **Риссел Х., Руге И.** Ионная имплантация / Под ред. М. И. Гусевой. М.: Наука, 1983. 360 с.
18. **Ройх И. Л., Колтунова Л. Н., Федосов С. Н.** Нанесение защитных покрытий в вакууме. М.: Машиностроение, 1976. 368 с.
19. **Фундаментальные** и прикладные аспекты распыления твердых тел / Под ред. Е. С. Малашевой. М.: Мир, 1989. 350 с.
20. **Холленд Л.** Нанесение пленок в вакууме. М.: Госэнергоиздат, 1963. 475 с.
21. **Черняев В. Н.** Технология производства интегральных микросхем и микропроцессоров. М.: Радио и связь, 1987. 464 с.
22. **Шульга А. А., Дудко Г. В., Соловьев А. И.** Поверхностное упрочнение сталей ШХ15 ленточным электронным лучом / Металловедение и термическая обработка металлов. 1988. № 1. С. 54—55.
23. **Электронискровое** легирование металлических поверхностей / А. Б. Гитлевич, В. В. Михайлов, Г. В. Самсонов и др. Кишинев: Штиинца, 1985. 196 с.
24. **Электронискровое** легирование металлических поверхностей / Г. В. Самсонов, А. Д. Верхотуров, В. В. Михайлов и др. Киев: Наук. думка. 1976. 219 с.
25. **Эсбиян Э. М.** Плазменно-дуговая аппаратура. Киев: Техника, 1971. 164 с.
26. **Boone D. H., Lee O., Shafer J. H.** The electron beam coating of turbine components and ion plating / IPAT77: Proc. Conf. Ion Plating and Allied Technigues. Edinburgh, 1977. P. 141—148.
27. **Nesterenkov V. M., Kajdalov A. A., Novikov D. Yu.** Technology and equipment for electron beam Welding of power engineering components / Second Intern. Conf., Power Beam Technology. Stratford upon Avon, 1990. Vol. 26. P. 171—179.
28. **Physical Vapour Deposition** // Airo Tehmescal, Berkily, Calif. USA. 1979. 190 p.
29. **Finlayson D. A.** Vacuum Vapour deposition as a high rate coating process for sheet steel / Vacuum. 1971. № 1. P. 35—39.

Глава 2

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПАЙКИ
МЕТАЛЛИЧЕСКИХ И ПАЙКИ И СВАРКИ
НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

2.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Пайка является уникальным процессом, позволяющим осуществлять соединение всех применяемых в технике металлических и многих неметаллических материалов при различных температурах, в различных средах, с применением разнообразных технологических способов, припоев и т. д.

Естественно, что среди множества технологических факторов, позволяющих обеспечить высокое качество соединения, особое место занимает нагревательное оборудование, обеспечивающее необходимый температурно-временной режим пайки. Передача тепловой энергии от носителя к паяемому изделию может осуществляться теплопроводностью, конвекцией, излучением или комбинацией этих способов. Нагрев соединяемых деталей может

быть общим или локальным, поверхностным или объемным. Все это обуславливает наличие широкой гаммы методов нагрева паяемого изделия, а следовательно, огромное разнообразие устройств, позволяющих реализовать эти способы на практике.

Наиболее широкое распространение в промышленности нашло универсальное оборудование. Прежде всего, это различные паяльники, устройства для газопламенной и индукционной пайки, печи, обеспечивающие протекание процесса пайки на воздухе и в защитных средах, соляные ванны и др. Промышленное применение находит и более специализированное оборудование, позволяющее вести нагрев соединяемых деталей электронным или световым лучом, лазером, дуговым разрядом и др. Следует отметить, что и универсальность, и специализация оборудования варьируются в широких пределах. Выбор конкретного типа оборудования, степени его универсальности или специализации зависит от применяемых технологических процессов, припоев и программы выпуска изделий.

2.2. КЛАССИФИКАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ

Оборудование для пайки можно классифицировать по разным критериям, основным из которых является способ получения тепловой энергии (рис. 2.1).

Электротермическое оборудование (ЭТО), применяемое для пайки, преобразует электрическую энергию в тепловую, а физико-химическое (ФХО) — в тепловую другие виды энергии [11].

В *ЭТО сопротивления* тепловая энергия выделяется при прохождении электрического тока через твердые или жидкие тела. При прямом нагреве паяемого изделия теплота выделяется в паяемых деталях, непосредственно включенных в электрическую цепь. При косвенном нагреве теплота выделяется в специальных нагревателях, включенных в электрическую цепь, и передается от них паяемому изделию по законам теплопередачи. Последняя может осуществляться за счет радиационного нагрева, конвекции газа (воздуха, защитного газа и др.), жидкости (расплавленного металла, флюса, соли и др.), теплопроводности в твердом теле и др.

В *дуговом ЭТО* тепловая энергия выделяется электрической дугой. При прямом нагреве дуга горит между электродом и паяемым изделием, теплота в основном выделяется в дуге; при косвенном дуга горит между электродами, а теплота к изделию передается излучением; при смешанном дуга горит между электродом и паяемым изделием, но значительная часть тепловой энергии выделяется в нагреваемом теле (расплав, шихта); при плазменном нагрев осуществляется в факеле плазмы, образованной при прохождении газа через дуговой разряд; при оптическом дуговом световая энергия дуги, горящей между электродами, пе-

редается к нагреваемому телу посредством оптических систем.

В *индукционных ЭТО* нагрев паяемого изделия происходит в результате выделения энергии высокочастотного электромагнитного тока. Индукционные ЭТО могут быть с магнитопроводом и без него. В первом случае нагреваемое тело охватывает замкнутую магнитную систему, образуя вторичный виток трансформатора, первичная обмотка которого включена в электрическую цепь. В индукционных ЭТО без магнитопровода паяемое изделие помещено непосредственно в электромагнитное поле катушки (индуктора), включенной в электрическую цепь, а нагрев происходит за счет индустрирования вихревых токов.

В *ионных ЭТО* тепловая энергия выделяется при бомбардировке в вакууме паяемого изделия потоком ионов.

В *электронно-лучевых ЭТО* тепловая энергия выделяется при бомбардировке в вакууме паяемого изделия потоком электронов, эмитируемых катодом.

В *лазерных ЭТО* выделение теплоты в нагреваемом теле происходит при воздействии на последнее лазерных лучей.

Физико-химическое оборудование позволяет производить нагрев паяемого изделия за счет теплоты, выделяемой при протекании химических (горение) и экзотермических реакций, за счет энергии, освобождаемой при конденсации жидкости и др. Оборудование, применяемое для пайки, можно классифицировать по следующим признакам: по способу защиты поверхности соединяемых деталей от кислорода воздуха — в вакууме, защитных газах, под флюсом, в жидких теплоносителях и др.; по виду нагрева — поверхностный или объемный, локальный или общий.

2.3. ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ

Нагревательные устройства для пайки являются крупными потребителями электроэнергии [11]. Наибольшее распространение для пайки получили электропечи сопротивления. Мощность их колеблется от долей киловатта до нескольких сотен киловатт. Печи мощностью свыше 20 кВт обычно выполняются трехфазными и подключаются к сетям напряжением 220, 380 и 500 В непосредственно или через трансформаторы. В этом случае коэффициент мощности близок к единице, распределение нагрузки по фазам в трехфазных печах симметричное.

Режим нагрузки зависит от технологического процесса и типа электропечи: в электропечах непрерывного действия непрерывный, в электропечах периодического действия циклический. Чтобы обеспечить заданный температурный режим, мощность периодически снижают, иногда на очень короткое время, частично или полностью отключая нагрузку. Печи для процессов чувствительных к небольшим колебаниям температуры оснащают стабилизаторами напряжения. Внезапные пере-

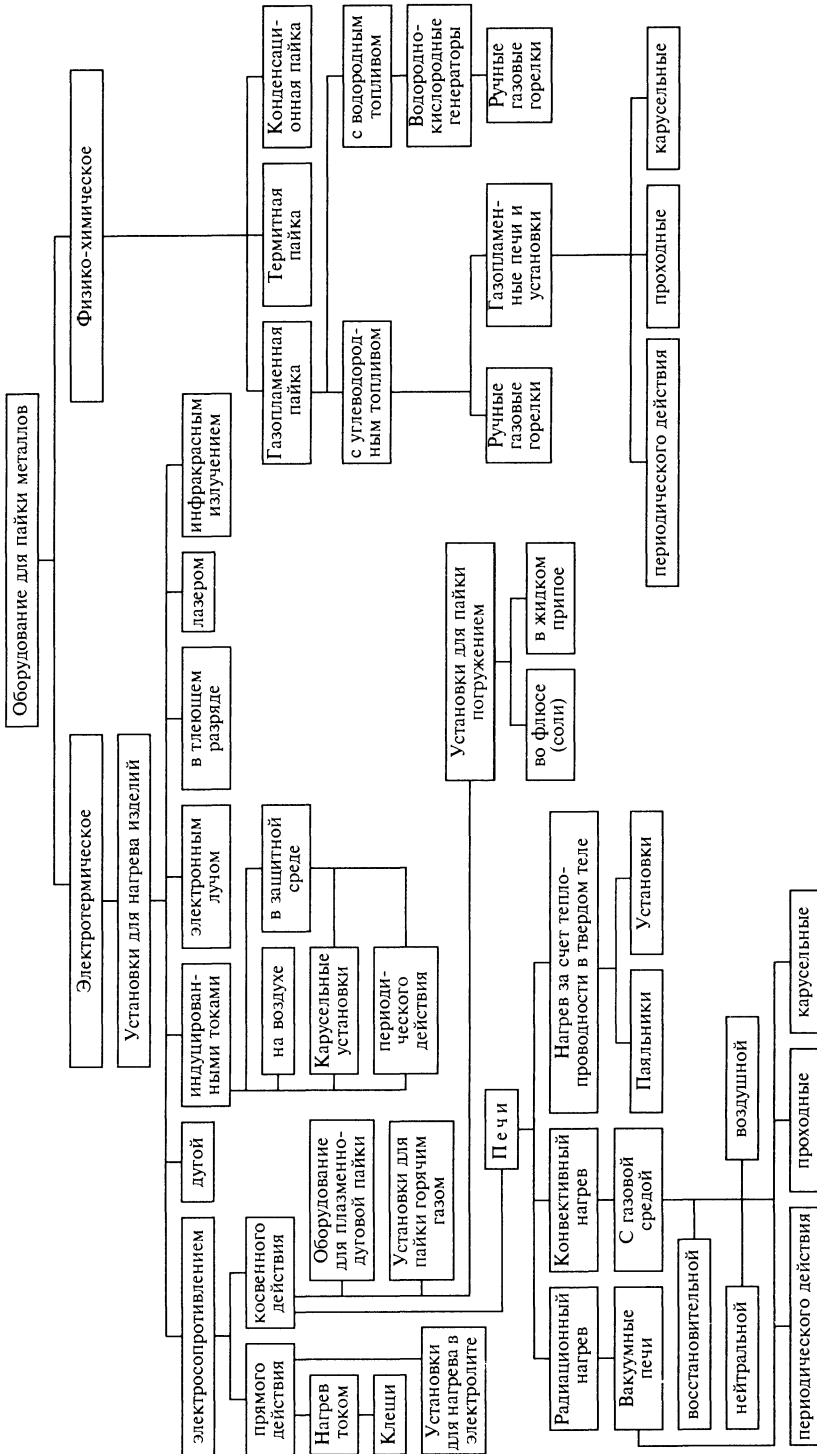


Рис. 2.1. Классификация оборудования для пайки металлов

рывы в питании печей ведут к несоблюдению термического режима пайки. Кроме того, возможны серьезные повреждения агрегата. Вопрос о возможности отключения электропечей сопротивления в часы пик и при аварийных режимах решается с учетом технологического процесса и типа электропечи.

Индукционные печи и устройства на частоту 50 Гц подключают к сетям с напряжением 220, 380 и 500 В непосредственно или через специальные трансформаторы, а к сетям напряжением 6600 и 10000 В — только через трансформаторы.

Большинство электропечей и устройств однофазные, крупные агрегаты состоят из нескольких однофазных. При включении в сеть трех (шести) индукторов создается трехфазная нагрузка. Агрегаты с двумя индукторами можно включать по схеме Скотта. Для включения мощных однофазных индукторов применяют симметрирующие устройства, состоящие из емкости и индуктивности и обеспечивающие равномерное распределение нагрузки по фазам. Симметрирующие устройства увеличивают капитальные затраты и расход электроэнергии и целесообразны в тех случаях, когда несимметрия токов выходит за пределы допустимой. Естественный коэффициент мощности обычно 0,7 и ниже, поэтому его повышают до 0,9 с помощью конденсаторов.

Потребление электроэнергии нагревательными электропечами непрерывного действия весьма равномерно. Нагревательные электропечи периодического действия работают циклично. Характер циклов зависит от технологического процесса и нагреваемого металла. Толчки тока выше номинального отсутствуют. Канальные электропечи работают обычно круглосуточно, и перебои при этом нежелательны. Режим тигельных нагревательных электропечей зависит от работы оборудования цеха, перерывы допустимы. Электропечи и устройства с питанием от электромашинных преобразователей повышенной частоты и от электромашинных источников питания постоянного тока представляют для сетей трехфазную нагрузку. График потребления энергии различен, так как зависит от технологического процесса и числа установок, подключенных к одному генератору. Для нагревательных и закалочных индукционных установок график потребления мало отличается от среднего графика машиностроительных заводов; они малоинерционны и могут отключаться так же, как установки на 50 Гц. Широко используются вентильные преобразователи повышенной и высокой частоты, постоянного тока, пониженной частоты, вентильные преобразователи — регуляторы переменного тока. Регуляторы выполняются трехфазными и однофазными, причем в последнем случае их иногда применяют вместе с симметрирующими устройствами. Наиболее распространены и перспективны тиристорные преобразователи. В качестве источников питания высокочастотных установок широко применяют ламповые генераторы.

Режим работы установок плазменного, электронно-лучевого, электрошлакового и диэлектрического нагрева — спокойный, без перегрузок. График потребления электроэнергии зависит от технологического процесса.

Использование вентильных преобразователей любого типа связано с появлением в сети высших гармонических составляющих, из которых наиболее существенны 5, 7, 11 и 13-я гармоники. В результате в электрических аппаратах и линиях передач возрастают потери, сокращается срок службы изоляции, повышается аварийность кабельных сетей, ухудшается работа системы автоматизации, телемеханики и связи, снижается надежность работы конденсаторов (из-за резонансных явлений на высших гармониках). Если несинусоидальность, обусловленная высшими гармониками, превышает 5 % и возможны резонансные явления на гармониках, необходимо уровень гармоник снижать, используя рациональные схемы электроснабжения и фильтра.

2.4. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПАЙКИ МЕТАЛЛОВ

Оборудование для пайки электросопротивлением. Это группа оборудования наиболее разнообразна и доминирует в практическом использовании. Основной принцип, заложенный в оборудовании, состоит в том, что электрическая энергия превращается в тепловую за счет падения напряжения в основном на участке цепи с высоким сопротивлением. Оборудование для нагрева током широко применяется в серийном производстве, как правило, мелких изделий. Этот способ может быть осуществлен как при прохождении тока перпендикулярно паяемому зазору, так и параллельно ему (рис. 2.2). Нагрев паемых деталей током, проходящим поперек зазора, происходит, главным образом, вследствие возникновения переходного электросопротивления на границе паемых деталей и припоя и может быть более неравномерным и труднорегулируемым. Для такого нагрева наиболее пригоден ток малого напряжения и большой силы, получаемый, например, от сварочных трансформаторов электроконтактных машин.

Переходное электросопротивление при одинаковых силе тока и времени нагрева зависит от площади и плотности прилегания электроконтактов, а следовательно, от давления на детали. После расплавления припоя переходное электросопротивление резко снижается, и дальнейший нагрев происходит за счет электросопротивления материала деталей и жидкого припоя.

Если электрический ток течет параллельно паяльному зазору и металл соединяемых деталей нагревается только теплотой от нагретого электрода, то создаются наиболее стабильные условия для пайки. При этом давление на паемые детали не оказывает особого влияния на их нагрев. При такой разновидности пайки электросопротивлением можно использовать переменный ток небольшого на-

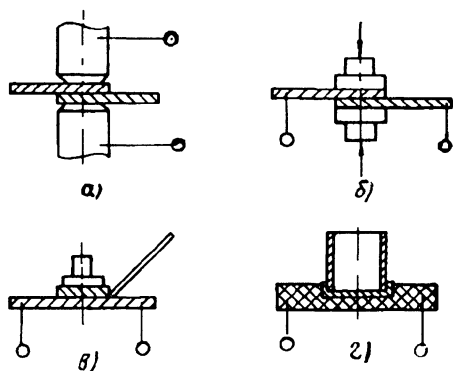


Рис. 2.2. Схемы нагрева при пайке электросопротивлением:

а, б — ток проходит через место соединения деталей;
в — ток проходит через одну деталь; г — ток проходит через нагреватель

пряжения (2,4...10 В). Плотность тока при этом зависит от площади поперечного сечения нагреваемой детали: с увеличением площади поперечного сечения плотность тока снижается.

Пайку на контактных сварочных машинах, когда вследствие высокой скорости нагрева припой, зажатый между паяемыми поверхностями, не успевает окислиться, можно проводить без использования флюса. В массовом производстве паяных изделий машины для контактной точечной сварки комплектуются специальными электродами для пайки электросопротивлением. В зависимости от свойств паяемых материалов и размеров соединяемых элементов подбирают соответствующие электроды. Наибольшее распространение получили угольные электроды марок ЭГ-2, ЭГ-8, а также электроды из вольфрама и жаростойких сплавов.

Пайка электросопротивлением с помощью клещей применяется в монтажных условиях, а также при невозможности перемещения изделия к стационарному нагревательному оборудованию и в случае необходимости соединения элементов в труднодоступных местах. Например, клещи типа УП-8001-Т предназначены для пайки высокотемпературными припоями наконечников к стержням обмоток турбогенераторов электроконтактным нагревом. Клещи имеют графитовые электроды размером $52 \times 40 \times 15$ мм, которые закреплены в медных электрододержателях, самоустанавливающихся по поверхности паяемых деталей. Перемещаются электроды пневмоприводом. Ниже приведены технические данные установки УП-8001-Т.

Напряжение питающей сети, В	400
Номинальная мощность при ПВ-20%, кВт	62
Номинальная сила вторичного тока, А	6300

Пределы регулирования вторичного напряжения, В	7,7...15,4
Номинальное вторичное напряжение, В	9,8
Вылет электродов клещей, мм	180
Максимальное расстояние между электродами, мм	35
Размер графитовых электродов, мм	$52 \times 40 \times 15$
Ход электродов, мм	15
Максимальное усилие сжатия, Н	3000
Габаритные размеры клещей, мм	$500 \times 200 \times 500$
Масса клещей, кг	18,1
Габаритные размеры установки, мм	$2320 \times 900 \times 690$
Масса установки, кг	1200

Для массового производства изделий используют специальные установки для пайки электросопротивлением. Так, установка типа УП-501-Т предназначена для пайки высокотемпературными припоями коллекторных пятачков, а также медных полос сечением менее 100 мм^2 внахлестку. Пайка осуществляется электроконтактным нагревом графитовыми электродами. Техническая характеристика установки УП-501-Т приведена ниже.

Первичное напряжение, В	400
Номинальная мощность при ПВ-50%, кВт	8
Номинальная сила вторичного тока, А	1600
Вторичное напряжение, В	4,2...5,1
Усилие сжатия электродов, Н	100...400
Расход охлаждающей воды, $\text{м}^3/\text{ч}$	0,15

Установки для нагрева в электролите. Пайка в электролитах основана на явлении нагрева катода, погруженного в электролит, при прохождении через него электрического тока. При этом происходит электролиз водного раствора с выделением водорода на катоде. При достижении оптимального напряжения и температуры катода между ним и окружающим тонким слоем водорода и газов устанавливается стационарный электрический режим. Слой газов начинает светиться. Ионы водорода бомбардируют катод (паяемое изделие), их кинетическая энергия вызывает сильный его нагрев. Режим нагрева в электролитах зависит от их состава и температуры, напряжения и плотности тока и времени нагрева.

В качестве электролитов используют водные растворы солей, кислот и щелочей (Na_2CO_3 , Na_2SO_4 , NaOH , KOH , HCl и др.). В качестве электролита используют, например, 10...15%-ные водные растворы Na_2CO_3 при температуре 50...70°C, обеспечивающие стабильный процесс нагрева катода и не вызывающие коррозии нагреваемых стальных деталей.

Для нагрева детали (катода) в электролите плотность тока на ее поверхности должна быть больше, чем на поверхности анода. Следовательно, площадь поверхности нагреваемой детали должна быть несколько меньше площади поверхности анода. В электролитах могут нагреваться твердые проводники: сталь, чугун,

латунь, алюминий, графит и др. На условия нагрева металлов в электролитах влияет их теплопроводность и не влияют магнитные и электрические свойства. Для нагрева стали, алюминия и латуни необходимо достаточно большое напряжение и плотность постоянного тока, т. е. большая мощность генераторов. Так, для нагрева до температуры 800°C стального цилиндра с площадью поверхности 100 см² необходим генератор постоянного тока мощностью 400 кВ·А при напряжении 380 В и массе 400 кг.

При нагреве в электролите плотность тока распределяется неравномерно, особенно при наличии в детали острых кромок и выступающих частей, которые перегреваются и даже оплавляются. Для устранения этого выступающие части детали экранируют. Экран изготавливают из огнестойкого и электроизолирующего материала, например, из огнеупорного кирпича. При этом экран может находиться на расстоянии 2...3 мм от поверхности изделия. Пайка в электролите имеет ряд преимуществ: позволяет соединять разнородные материалы, осуществляется без флюса, легко механизуется, обеспечивает высокую производительность процесса, хорошее качество изделия.

Оборудование с пропуском тока через изделие очень эффективно, но его использование ограничено изделиями простой формы ввиду необходимости равномерного распределения температуры по изделию. Доминирует оборудование, основанное на использовании теплоты специального нагревателя, которая передается изделию излучением, конвекцией или теплопередачей в твердом теле.

Печи. Нагрев в печи имеет ряд преимуществ [5, 7, 8]: равномерность нагрева и возможность точного контроля и регулирования температуры; сравнительную легкость механизации и автоматизации процесса; высокую экономичность при условии непрерывной работы. Экономические и технологические преимущества нагрева в печах особенно очевидны при массовой пайке мелких изделий (причем в ряде случаев пайка совмещена с термообработкой), при пайке изделий с большим числом труднодоступных соединений, например, разного рода теплообменников и изделий сложной формы, требующих равномерного нагрева.

В настоящее время для пайки применяют электрические и газопламенные печи, причем явно доминируют электрические печи самых разнообразных конструкций и назначений: камерные, шахтные, карусельные, с шагающим или выдвижным подом и т. д. По способу преобразования электрической энергии в тепловую различают электрические печи сопротивления и индукционные [11]. В печах сопротивления, которые наиболее часто используются в промышленности, нагрев паемого изделия осуществляется, главным образом, за счет радиационного нагрева.

Максимальная температура нагрева печи зависит в основном от типа используемых нагревателей. Так, металлические нагревательные элементы из жаропрочных и жаростойких сплавов позволяют поддерживать в печи температуру ниже 1100°C, некоторые специальные сплавы обеспечивают нагрев до 1200°C. Существенно повысить температуру нагрева при этом не удается даже при применении защитной атмосферы, так как температура плавления этих сплавов недостаточно высока. Применение силитовых и карборундовых нагревателей позволяет повысить температуру нагрева до 1300°C. Нагрев до 1600...2500°C можно осуществить, применяя нагреватели из тугоплавких металлов (молибдена и вольфрама) или графита. Однако использование этих материалов возможно только в вакууме или инертной среде, так как при нагреве на воздухе они быстро окисляются и разрушаются.

Высокотемпературные нагреватели из дисилицида молибдена осуществляют нагрев на воздухе до температуры 1600°C. Нагреватель, представляющий собой молибденовый стержень, покрытый слоем дисилицида бора и жаростойкой эмали, выдерживает на воздухе температуру 1900°C в течение 15 ч.

На практике применяют печи с восстановительной, нейтральной и разреженной атмосферой. При выборе восстановительной среды необходимо иметь в виду следующее: активность среды, т. е. способность восстанавливать оксиды, определяется концентрацией газа-восстановителя (главным образом водорода) и влаги; активность газовой среды должна быть тем больше, чем химически прочнее оксид, покрывающий основной металл и припой; взрывоопасность среды возрастает с увеличением содержания в ней водорода. Наибольшей взрывоопасностью обладает чистый водород, значительно менее опасен диссоциированный аммиак и, наконец, практически безопасен продукт частичного сжигания диссоциированного аммиака; чистый водород, особенно очищенный и осушенный, имеет значительно большую стоимость, чем другие газовые среды; в случаях, когда применение газовой среды достаточно высокой активности невозможно или нецелесообразно для данного паемого металла и припоя, можно сочетать газовую среду с применением флюса.

Водородные печи (в частности, конвейерные) широко применяют в радиотехнической, электронной и электротехнической промышленности. В других отраслях шире используют специальные печи для пайки в атмосфере диссоциированного аммиака, например, малоуглеродистой стали медью. Такие печи часто снабжают конвейером для непрерывного или периодического перемещения паемых деталей.

Создание разрежения и применение аргона при пайке позволяют снизить парциальное давление кислорода и других активных газов и практически полностью избежать окисления основного металла и припоя, а в ряде

случаев вызвать разрушение имеющихся оксидов. При пайке в вакууме высокотемпературными припоями этому способствует испарение многих оксидов и основного металла.

Вакуумные печи обеспечивают стабильные условия для пайки различных материалов. Они имеют водоохлаждаемую герметичную камеру (с "холодными стенками"), воспринимающую внешнее давление при создании внутри печи разрежения и во многих случаях внутреннее избыточное давление при впуске в печь инертного газа. Вакуумная камера может сочетаться с различными системами откачки воздуха, в которые могут входить диффузионные, адсорбционные или турбомолекулярные насосы (табл. 2.1). Промышленные печи обычно имеют остаточное давление $1 \cdot 10^{-2} \dots 1 \cdot 10^{-3}$ Па.

Нагреватели в вакуумных печах с радиационным нагревом изготавливаются из нихрома, графита, ниобия, молибдена, тантала, вольфрама. При использовании двух последних из названных металлов температура печи может достигать 2500 °С. Следует отметить, что весьма перспективно использование для этих целей некоторых новых графитизированных материалов (графитовая ткань и др.).

Вакуумные печи имеют преимущественно однокамерное исполнение. Они различаются

по способу нагрева (радиационной, высокочастотной, проходящим током, кварцевыми лампами, в тлеющем разряде и др.), по максимальной температуре нагрева, наличии системы приложения усилия сжатия к паяемому изделию и др. Техническая характеристика печей приведена в табл. 2.2. Следует отметить, что большинство печей имеет радиационный нагрев и максимальную рабочую температуру в пределах 1100...1150 °С. Последнее серьезно ограничивает их возможности по пайке жаропрочных материалов на различной основе. Основной недостаток однокамерных вакуумных печей — низкая производительность, обусловленная небольшой скоростью охлаждения в нижнем (менее 600 °С) интервале температур. Иногда этот недостаток устраняется за счет продувки через камеру инертного газа. Однако большой расход последнего и необходимость его очистки делает в большинстве случаев эту операцию нерентабельной.

Существенное увеличение производительности может быть достигнуто за счет использования двухколпаковых печей, имеющих совмещенную вакуумную систему. Однако наиболее радикальное решение — разделение зон нагрева и охлаждения. Обычно идут по пути создания многокамерных печей, которые могут быть проходными и карусельными.

2.1. Вакуумные насосы и агрегаты

Тип	Марка	Предельное остаточное давление, Па	Производи- тельность, л/с
Механические вакуумные агрегаты и насосы			
Плунжерные одноступенчатые агрегаты параллельного действия	НВЗ-20, НВЗ-75, НВЗ-150, НВЗ-300, НВЗ-500, АВЗ-90, АВЗ-180	$13 \cdot 10^{-1}$	20...500
		$13 \cdot 10^{-2}$	90...180
Плунжерные двухступенчатые агрегаты последовательного действия	АВЗ-20Д, АВЗ-63Д, АВЗ-125Д	$6,5 \cdot 10^{-3}$	20...125
Пластинчато-роторные насосы	2НВР-5ДМ, 3НВР-1Д, 3НВР-1ДМ	$13 \cdot 10^{-1}$	1...5
Двухроторные насосы и агрегаты	2ДВН-500, 2ДВН-1500, АВР-50, АВР-150	$5 \cdot 10^{-1}$	500...1500
		10^{-3}	50
		$6,5 \cdot 10^{-2}$	150
Высоковакуумные насосы и агрегаты			
Диффузионные (паромасляные) насосы	2НВДМ-100, 2НВДМ-160, 2НВДМ-250, 2НВДМ-400, 2НВДМ-630	$6,5 \cdot 10^{-5}$	100...630
Диффузионные (паромасляные) агрегаты	АВП100-100, АВП160-250, АВП250-630, АВП400-1600, АВП630-4000	$6,5 \cdot 10^{-5}$	100...4000
Сверхвысоковакуумные диффузионные насосы	НСВДМ-63, НСВДМ-100, НСВДМ-160, НСВДМ-250	$6,5 \cdot 10^{-6}$	63...250
Турбомолекулярные насосы	ТМН-200, ТМН-500, ТМН-1000, ТМН-2500	$7 \cdot 10^{-7}$ (по азоту)	200...2500

2.2. Техническая характеристика вакуумных печей

Модель	Потребляемая мощность, кВт	Рабочая температура, °С	Остаточное давление, Па	Размеры рабочего пространства, мм
Элеваторные печи				
СЭВ-2.4/20МО2	250	2000	10^{-4}	200×400
СКБ-7050	140	2000	10^{-4}	300×300
СЭВ-5.5/16Э-М1	340	1600	10^{-4}	500×500
СЭВ-8.8/16Э-М1	510	1600	10^{-4}	800×800
СЭВ-11.5/16Э-М2	535	1600	10^{-4}	1100×550
Серийные печи				
СНВЛ-1.3.1/16Э-М1	25	1600	0,03	100×100×300
СНВЛ-0,8.0,5/11-М1	1,25	1150	13	80×50
Опытно-промышленные печи				
У-845	150	1250	$6,5 \cdot 10^{-3}$	500×500×500
УДС-5.3,5/12,5-100Т	120	1250	$5 \cdot 10^{-4}$	500×350
У-935	130	2000	$6,5 \cdot 10^{-3}$	200×200×200
Колпаковые электропечи:				
одноколпаковая				
ИО59.010	80	2500	$6,5 \cdot 10^{-4}$	150×150
двухколпаковая				
ЛМ-3206	20	1200	$4 \cdot 10^{-3}$	230×435
ЛМ-410	25	1200	$2,5 \cdot 10^{-3}$	—
СГВ-2.4-2/15-ИЗ	25	1600	$1,3 \cdot 10^{-3}$	200×400
Карусельные печи				
У-925	40	1300	$6,5 \cdot 10^{-3}$	200×200
П-111	40	1100	$6,5 \cdot 10^{-3}$	200×200
П-126	40	1300	$6,5 \cdot 10^{-3}$	350×350

Прходные вакуумные печи применяют, например, в поточной линии для производства испарителей автомобильных воздушных кондиционеров [12]. Каждая печь конвейерного типа включает входной отсек. Процесс полностью автоматизирован за исключением операции снятия изделий с салазок, на которых оно перемещается в печи. Цикл изготовления испарителя в печи составляет 6 мин. Прходные печи — наиболее производительные вакуумные установки. Однако они не получили широкого распространения из-за сложности конструкции и большой площади, необходимой для их размещения.

Более компактны и надежны карусельные вакуумные печи. Карусельная печь показана на рис. 2.3. Загрузка и выгрузка изделия производится на позиции 1, которая имеет индивидуальную систему откачки, в камерах 2 и 3 производится нагрев, а на позициях 4, 5 и 6 — охлаждение изделия. Очередной ход карусели осуществляется по достижении температуры пайки, т. е. по сигналу термопары на позиции 3. Для увеличения производительности нагрев

в печи производится на двух позициях, что в 2 раза сокращает время пребывания изделия на каждой позиции. Если время пребывания на позициях охлаждения изделий недостаточно, предусмотрено охлаждение изделия инертным газом.

Нагрев в печах с воздушной атмосферой применяется, главным образом, при низкотемпературной пайке, когда не происходит интенсивное окисление металла. При высокотемпературной пайке нагрев изделия, как правило, осуществляется в контейнерах, герметизованных сваркой, песчаным затвором и др. В большинстве случаев они продуваются инертным газом, однако известно применение вакуумированных контейнеров. Ввиду относительной простоты и доступности метода пайки в контейнерах получила широкое распространение в промышленности.

Паяльники. Основное назначение паяльника — нагрев до температуры пайки паяльных материалов и соединяемых деталей или их частей. Основные элементы паяльника — нагреваемый наконечник (стержень или брусок),

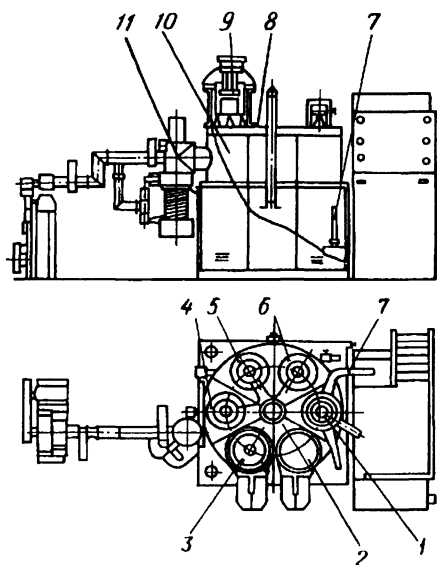


Рис. 2.3. Карусельная вакуумная многокомпозиционная печь для пайки П-126:

- 1 — шлюз; 2 — камера предварительного нагрева; 3 — камера пайки; 4, 5, 6 — камеры охлаждения; 7 — автономная вакуумная система; 8 — поворотный стол; 9 — водоохлаждаемый фланцевый прижим; 10 — основная камера; 11 — вакуумная система установки

имеющий заточку ("жало"), обеспечивающую удобство нанесения припоя и хороший тепловой контакт с нагреваемой поверхностью, и теплоизолирующая ручка. На ручке могут монтироваться: устройства для нагрева наконечника, регуляторы нагрева, устройства подачи и дозирования припоя, устройства отбора припоя с места пайки, устройства, обеспечивающие проведение специфических манипуляций при пайке и др. [8, 9].

Нагрев паяльников возможен как за счет горения углеводородного топлива, водорода, так и за счет превращения электрической энергии в тепловую (ЭТО доминирует в современной промышленности). Нагрев паяльника осуществляется неконтролируемо (большинство бытовых электропаяльников) или с регулировкой температуры наконечника. Температуру нагрева наконечника поддерживают в заданном диапазоне путем периодического включения и отключения нагревательного устройства или постоянным изменением параметров источника нагрева, производимым автоматически по результатам измерений температуры наконечника. Скорость передачи количества теплоты паяльника на припой и паяемую деталь зависит от теплопроводностей материала наконечника, припоя и паяемых деталей, от температуры, от площади поверхности контакта нагреваемой детали и "жала" наконечника. Припой, переходя в жид-

кое состояние, улучшает тепловой контакт стержня и детали.

Важной характеристикой паяльника является масса его наконечника, увеличение которой при прочих равных условиях обеспечивает повышенную стабильность температуры наконечника, что приводит к более интенсивному нагреву при пайке и, в итоге, к повышению производительности процесса. Наконечники паяльников чаще всего изготавливают из красной меди, имеющей высокую теплопроводность, которая должна содержать минимальное количество примесей (особенно водорода), поскольку они являются причиной повышенного изнашивания наконечников. Недостаток медных наконечников — склонность к окислению при нагреве. Медь полностью или частично (например, железный стержень с медной сердцевинкой) заменяют другими металлами (бронзой, никелем, нейзильбером), на ее поверхность наносят защитные слои стойких к окислению металлов (никель, хром, серебро). Замену меди на никель и нейзильбер производят при пайке припоями, содержащими цинк.

Химическая эрозия "жала" может быть уменьшена при изготовлении наконечника из материалов, образующих на поверхности интерметаллиды (например, из хромовой бронзы, содержащей 0,1...5% Sn и 2,5...5% Ni). Широкое применение имеют наконечники остроконечной формы и выполненные в виде молотка. Остроконечные паяльники удобнее при пайке труднодоступных мест. Стержни круглого сечения обеспечивают минимальные тепловые потери и, соответственно, более полную передачу теплоты от нагревателя к паяемым деталям.

Стремление усовершенствовать процесс пайки паяльником, сделать его более производительным, расширить область его применения привело к созданию паяльников специальных конструкций: с терморегуляторами, дозирующими припой, "мгновенного нагрева" и др. Среди них особое место занимают паяльники, предназначенные для бесфлюсовой пайки алюминиевых сплавов. В наконечник такого паяльника встроен небольшой стальной скребок или стальная проволочная щетка, которая, совершая колебательные движения, под слоем припоя соскабливает оксидную пленку с поверхности металла. Кавитационное разрушение оксидной пленки осуществляется с помощью ультразвуковых паяльников с немедленным обслуживанием очищенной от оксидов поверхности.

В настоящее время разработаны паяльники для высокотемпературной пайки, обеспечивающие температуру нагрева до 900°C, источником теплоты в которых служит сжатая плазма. Характеристика ряда моделей паяльников приведена в табл. 2.3.

Совершенствование процессов пайки паяльником привело к созданию постов, содержащих, кроме паяльника, подставки пружинного типа, механизм подачи припоя, вентиля-

2.3. Техническая характеристика паяльников.

Марка	Рабочая температура, °С	Масса, г	Мощность, Вт	Напряжение сети, В	Диаметр, мм	Длина, мм
ПВ-5	300	1...1,5	5	36	3	25
ПВ-10	300	2...3	10	36	4	30
ПВ-15	300	7...8	15	36	5	50
ПВ-30	350	40...45	30	36	8	75
				127		
				220		
ПВ-40	350	50...55	40	36	10	80
				127		
				220		
ПВ-50	350	60...65	50	36	10	90
				127		
				220		
ПВ-75	350	150...160	75	36	15	100
				127		
				220		
ПВ-100	350	350...400	100	36	15	100
				127		
				220		
ПВ-150	350	500...600	150	36	15	100
				127		
				220		
ПВ-300	350	800...900	300	36	15	100
				127		
				220		
Молотковый	350	1000...2000	300	127	15	100
				220		
Дуговой	500	1000	1500...2000	24	45	100
Плазменный	950...1000	50...20	2500	24	10	10

ционные устройства, поддоны с губчатым материалом для очистки жала, регуляторы нагрева с цифровой индикацией показателей.

Оборудование для пайки нагретыми блоками. Известен ряд оригинальных решений для интенсификации процесса нагрева и охлаждения изделий простой формы, например, сотовых панелей, отличающихся простотой исполнения. Так, достаточно широко используются графитовые блоки (плоские и фасонные) для придания панели определенной формы, причем иногда графит выполняет функцию нагревателя. Графитовые обкладки могут контактировать с герметичным контейнером, в котором размещено паяемое изделие, могут размещаться в контейнере, контактируя с изделием непосредственно или через изолирующую прокладку. Такая идея реализована в конструкции вакуумной печи У845 (см. табл. 2. 2).

Известно использование для изготовления сложных конструкций керамических плит или блоков. Нагрев осуществляется электронагревателями, вставляемыми в продольные каналы керамических плит. В эти же каналы при охлаждении продувается газ или воздух.

Оборудование для пайки погружением. Основным элементом такого оборудования является специальная ванна, в которой размещается жидкий теплоноситель (соль, флюс, припой, масло и др.). Футеровка ванны должна обеспечивать возможность длительной работы в контакте с жидким теплоносителем. Разогрев теплоносителя в ванне производится с помощью размещенных в ней электродов или элементов футеровки, используемых в качестве нагревателей. Заданная температура в ванне, как правило, поддерживается автоматически.

Нагрев паяемой детали происходит в результате передачи теплоты от жидкой среды,

нагретой до температуры пайки. Скорость нагрева деталей при таком способе в 3...6 раз больше, чем в воздушных печах. Слой соли или припоя защищает паяемое изделие от окисления как в процессе нагрева в ванне, так и при охлаждении на воздухе после того, как оно вынуто из ванны. Наиболее распространен способ пайки в жидких расплавленных солях, флюсах или припоях. Такой способ высокопроизводителен, так как допускает одновременную быструю пайку большого количества деталей и легко может быть механизирован. Число деталей, погружаемых одновременно в ванну, ограничено объемом ванны и снижением жидкой среды вследствие нагрева погружаемых деталей. Значительное преимущество пайки в соляных и флюсовых ваннах — возможность совмещения этого процесса с нагревом под закалку. Длительность процесса редко превышает 2 мин и обычно контролируется реле времени. Большая равномерность и скорость нагрева значительно снижает рост зерен и степень обезуглероживания. Характеристика соляных ванн приведена в табл. 2.4 [2, 9].

При достаточно большом соотношении масс жидкой ванны и паяемого изделия этот способ позволяет поддерживать температуру расплава с точностью до $\pm 5^\circ\text{C}$, обеспечивая минимальные тепловые деформации паяемых деталей, а следовательно, высокую точность паяемого соединения.

Иногда перед полным погружением паяемого изделия в ванну необходимо нагреть ме-

сто соединения до температуры расплавления припоя. Например, если проволока припоя располагается снаружи у зазора и при полном погружении изделия в ванну припой может расплавиться раньше, чем место спая нагреется до температуры пайки, что приведет к стеканию его с детали. Предварительный подогрев места соединения в этом случае достигается частичным погружением собранной детали на 1...2 мин в соляную ванну таким образом, чтобы припой оставался выше уровня ванны. Когда температура соединения достигает температуры пайки, деталь полностью погружается в ванну. Если припой в виде фольги располагается в зазоре между соединениями деталей, то изделие можно сразу погружать в ванну.

Паять нужно при полном погружении, так как нагрев изделия идет более равномерно, и не происходит окисления части детали, не погруженной в ванну. При опускании в ванну плоских изделий в горизонтальном положении под ними могут образовываться воздушные мешки, что приводит к появлению неосмоленных мест в соединении; поэтому их погружают под некоторым углом к зеркалу ванны.

Пайка погружением в соляных (флюсовых) ваннах имеет следующие недостатки: повышенный расход электроэнергии, связанный с потерей теплоты через зеркало жидкой ванны в результате излучения и конвекционного обмена; необходимость устранения наплывов припоя с изделия после пайки; необходи-

2.4. Техническая характеристика соляных ванн

Тип ванны	Мощность, кВт	Максимальная рабочая температура, $^\circ\text{C}$	Производительность, кг/ч	Размеры рабочего пространства ¹ , мм
C-50	50	600	100	900×600×450
B-10	10	600	30	200×350
B-20	20	600	80	300×535
C-25	25	850	90	380×475
B-30	30	850	130	400×555
C-100	100	850	160	900×600×450
C-35	35	850	30	220×420
C-20	20	850	90	220×460
C-75	75	850	55	340×580
C-45	45	850	200	340×600
CVC-35/13	60	1300	—	150×100×320
CVC-60/13	60	1300	—	150×150×320
CVC-75×2/13Г	150	1300	—	315×630×1600
CVC-100/13	100	1300	320	350×200×320
CVC-75×2/13	150	1300	—	500×360×500
СКБ-5152	120	1300	140	950×250×475

¹ Три параметра — длина, ширина и глубина, а два — диаметр и глубина ванны.

мость удаления воздушных мешков в изделии, особенно при горизонтальном расположении зазоров; существенные остаточные деформации при пайке трубчатых телескопических узлов, например труб велорам; трудность отмычки солей и особенно флюсов после пайки; обеспечивает низкую коррозионную стойкость декоративных защитных покрытий на изделиях, паяных погружением в расплаве солей; значительный расход солей (флюсов) и припой; необходимость рафинирования расплавов жидких ванн от примесей; экологическую вредность процесса.

Особой экологической вредностью отличаются соляные ванны, теплоноситель в которых представляет собой расплав хлористых и фтористых солей щелочных и щелочно-земельных металлов. При их использовании необходимо обеспечить не только безопасные условия для персонала, но и обезвредить стоки после отмычки деталей. Флюсовые ванны, теплоноситель в которых представляет собой расплав оксидов, менее вредны, но технологические возможности их ограничены в основном деталями простой формы. Сейчас наблюдается устойчивая тенденция к замене этого оборудования на менее экологически вредное.

Некоторое распространение в промышленности получил способ пайки в нагретом масле. Силиконовое масло может быть нагрето без защиты до 250°С. В такой ванне осуществляется пайка припоями с температурой плавления около 200°С. При пайке погружением в нагретый глицерин необходимо учитывать, что он имеет температуру вспышки 177°С. Поэтому при более высокой температуре необходимо защищать глицериновую ванну, например углекислым газом, и иметь встроенную противопожарную систему.

При пайке печатных плат применяется разновидность пайки погружением в припой — пайка волной припоя. Сущность этого способа заключается в том, что пайка происходит при соприкосновении места будущего спая с припоём, фонтанирующим над поверхностью жидкой ванны. Волна жидкого припоя, попадая к месту будущего спая, смывает флюс. При этом улучшаются условия нагрева места спайки, поверхность припоя становится чистой от оксидов и загрязнений. Для предотвращения образования натеков припоя в виде мостиков и сосулек изделию при пайке сообщают некоторую вибрацию. Расход припоя в ванне восполняется путем постепенного погружения питающего слитка в ванну с помощью поплавкового регулятора. Последнее поколение оборудования для пайки волной припоя отличается простотой в эксплуатации, экономичностью и высокой производительностью. Так, комплекс с шириной волны 250...350 мм оснащен новой модульной линией для пайки, устройством для промывки, транспортной системой, устройством для обезжиривания и бесконтактной кодировочной систе-

мой, обеспечивает автоматическое управление параметрами пайки.

Оборудование для пайки горячим газом. Нагрев горячим газом нашел применение при низкотемпературной пайке печатных плат, остовов автотракторных радиаторов, для выравнивания вмятин кузовов автомашин. В качестве газа при этом способе используют воздух, аргон, сухой водяной пар и др. При пайке печатных плат газ от магистрали повышенного давления через нагревательное устройство и сопло рабочих головок попадает к местам пайки на плате, где предварительно располагают припой и флюс. Термический цикл пайки регулируется по температуре газа и скорости перемещения платы и рабочей головки.

Для пайки медно-латунных автотракторных радиаторов припой ПОССУ 30-2 в атмосфере сухого водяного пара и продуктов разложения хлористого аммония В. П. Акимовым разработана установка, состоящая из корпуса шахтного типа с расположенным в нем вертикально замкнутым конвейером с кассетами, на которых размещены паяемые остовы радиаторов. Рециркуляция теплоносителя осуществляется с помощью вентилятора. Между газогенератором и вентилятором расположен узел ввода активных добавок.

При низкотемпературной пайке или лужении дефектных мест кузовов автомобилей на них после очистки наносят пасту, размягчаемую в потоке горячего воздуха в течение 15...20 с, растирая ее деревянным шпателем и придавая слою пасты требуемую форму. При этом предотвращается термическая деформация пластмассовых и резиновых деталей, смонтированных на кузове.

Оборудование для дуговой пайки. Нагрев теплотой электрической дуги нашел применение при пайке проводов, узлов приборов и двигателей. Дуга может возбуждаться: между фольгой припоя, заложенной в зазор между соединяемыми деталями и угольными или графитовым электродом; между паяемым изделием и электродом из припоя; между двумя угольными электродами, закрепленными в приспособлении [5]. Источниками питания дуги служат сварочные машины, понижающие трансформаторы или блоки аккумуляторных батарей. Угольные (диаметром 10...12 мм) или графитовые (диаметром 6...8 мм) электроды, применяемые при пайке, должны быть изготовлены из чистого угля или графита. Электроды имеют конусную форму (длина конусной части равна двум диаметрам электрода).

При пайке дугой косвенного действия один из полюсов источника постоянного тока подключают к подставке, соприкасаемой с паяемым изделием, а другой полюс — к электроду. После возбуждения дуги между угольным электродом и фольгой припоя, последний плавится и заполняет зазор. При дуговой пайке цветных металлов используют отрыв капель расплавленного припоя с помощью импульсов высокочастотного электромагнитного поля. Этот метод обеспечивает высокую ста-

бильность массы каплей припоя. В качестве плавящегося электрода применяют медь, серебро, бронзу. Применение дуговой бесфлюсовой пайки алюминия и его сплавов с изменением полярности электрического тока и подачи в зону пайки инертного газа позволяет осуществить преимущественно стыковое соединение.

Оборудование для плазменно-дуговой пайки. Этот метод пока не получил распространения. Перспективно его применение для микроплазменной пайки, которая использует стандартное оборудование, например МПУ-4Ж. С использованием микроплазменного нагрева успешно паяются тонкостенные конструкции (в основном тела вращения) из углеродистой и коррозионно-стойкой стали, титана и др. Пайка осуществляется плазменной дугой обратной полярности при напряжении 15...17 В и силе тока 10...12 А.

Большие возможности у микроплазменного нагрева при ремонтной пайке. Этот процесс может осуществляться с присадкой припоя или без него, если припой имеется вокруг дефектного места. Так, при пайке пластинчато-ребристых теплообменников часто появляются дефекты в местах соединения угловых элементов с матрицей, а также разделительных пластин с проставками. Обычно эти дефекты устраняются газоплазменной пайкой с использованием припоя ПСр-72. При этом изделие часто бракуется. Применение этого метода позволяет устранить многие наружные дефекты теплообменника без распайки соседних мест и без изменения внешнего вида изделия. Процесс чаще всего проводится без дополнительной присадки припоя.

Оборудование для пайки световым лучом. Нагрев концентрированным световым лучом в настоящее время широко используется для низко- и высокотемпературной пайки благодаря бесконтактному подводу теплоты, возможности проводить процесс пайки в требуемой атмосфере независимо от электрических и магнитных свойств материалов, легкости управления теплопоступлением и контролем, возможности механизации и автоматизации.

Установка для пайки световым лучом состоит из модуля лучистого нагрева, источника питания, координатного стола, систем управления и контроля, системы охлаждения [6].

Модуль лучистого нагрева представляет собой эллипсоидный отражатель 2, в одном фокусе которого располагается источник излучения 1 (рис. 2.4). В качестве источника излучения используют дуговые ксеноновые лампы с воздушным охлаждением типа ДКСШ мощностью 0,1...1 кВт и комбинированным (воздушным и водяным) охлаждением типа ДКСР мощностью до 10 кВт.

Дуговая ксеноновая лампа выполнена в виде шарового баллона из кварца, в котором расположены два вольфрамовых электрода. Лампа заполнена ксеноном под давлением 0,4...1 МПа. При работе лампы давление в ней возрастает до 1...3 МПа, что приводит к

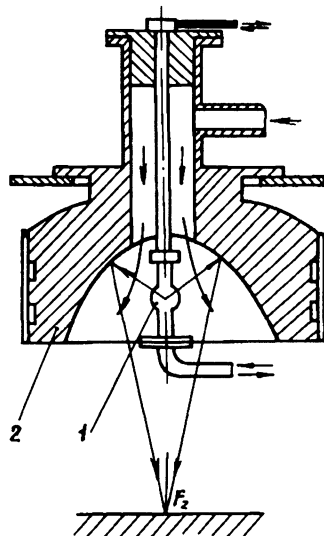


Рис. 2.4. Модуль лучистого нагрева установки для пайки световым лучом

сжатию дуги и формированию высококонцентрированного источника излучения. Спектр излучения лежит в интервале длин волн 0,2...2,4 мкм. Большая часть энергии (50...60%), подведенной к лампе, преобразуется в излучение, спектр которого состоит из 10% излучения ультрафиолетовой области, 35% — видимой области и 55% — инфракрасной. Такой спектр более эффективен для нагрева металла, чем излучение ламп накаливания, так как коротковолновая часть спектра лучше поглощается.

Отражатели выполняются из алюминиевых сплавов, как правило, с водяным охлаждением и позволяют получать удельный тепловой поток менее 6 кВт/см² и площадь пятна нагрева в фокусе 5...10 мм². Электропитание ксеноновых ламп осуществляется от источников питания постоянного тока с напряжением холостого хода не ниже 70 В и падающей внешней вольт-амперной характеристикой. Разряд в лампе возбуждается с помощью высоковольтного высокочастотного блока поджига.

Ряд установок оснащен: механизмами для автоматической подачи припоя; шторками, перекрывающими световой поток на изделие и переключающими лампу на работу в дежурном режиме; системами, обеспечивающими нагрев в требуемой атмосфере.

Оборудование для нагрева индуцированными токами (индукционная пайка). При индукционной пайке нагрев осуществляется в результате выделения энергии в деталях, помещенных в высокочастотное магнитное поле. Важнейшая особенность индукционной пайки — быстрый нагрев паяемых изделий вследствие

2.5. Техническая характеристика источников нагрева индуцированными токами

Модель	Мощность, кВт		Рабочая частота, кГц	Напряжение, кВ	Расход охлаждающей воды, м³/ч (л/мин)	Масса, т
	потребляемая	выходная				
Ламповые генераторы						
В2И1-4/1,76	6,5	4	1,76	(2...6) ± 0,5	0,06	0,24
ВЧГ4-10/0,44	15	10	0,44	(2...7) ± 0,5	1,2	0,93
ВЧГ4-25/0,44	32	25	0,44	(2...7) ± 0,1	1	12
ВЧГ9-60/0,44	85	60	0,44	(3...10) ± 0,25	2,2	1,82
ВЧГ2-100/0,066	141	100	0,066	(3...10) ± 1	3,5	2,6
Тиристорные преобразователи						
СЧИ-100-2,4УХЛИ		100	2,4	0,4; 0,8	1	1,15
ТПЧ-250-2,4		250	2,4	0,8	4	1,55
ИЗТЗ-250/10		250	10	—	6,5	—
Машинные генераторы						
ИЗ1-30/8	50	30	8	0,4	(43)	2,2
ВП2-60-8000	89	60	8	0,8/0,4	(35)	—
ИЗ4-100/8	138	100	8	—	(97,5)	3,17
УП2-100/8	136	100	8	0,8/0,4	(128)	2,55
ИЗ2-100/8	140	100	8	0,8	(120)	4,5
КИН5-250/2,4	—	250	2,4	—	(60)	4
КИН6-250/10К	—	250	10	—	(60)	4
ИЗ2-200/8	280	200	8	0,8	(170)	7

большой удельной мощности, что обеспечивает высокую производительность процесса и возможность его механизации и автоматизации.

Интенсивность индукционного нагрева зависит не только от электрических параметров частоты тока, напряженности поля, эффекта близости и др.), но и от физико-химических свойств материала, формы и размеров каждой из соединяемых деталей. Решающее значение для успешного применения индукционного нагрева при пайке имеют правильный выбор мощности и частоты тока установок, конструкции индуктора и его расположения относительно нагреваемого изделия [5, 8].

Для индукционной пайки используют установки повышенной и промышленной частоты тока, а также специальные. В качестве источников нагрева применяют ламповые, тиристорные и машинные генераторы (табл. 2.5).

Ламповые генераторы преобразуют электрический ток промышленной частоты в ток высокой частоты, поступающий в индуктор, в котором нагревают паяемые изделия (рис. 2.5). Первичная обмотка 1 трансформатора питается переменным током стандартной частоты напряжением 220 или 380 В. Во вторичной обмотке 2 трансформатора напряжение повышается до 8 кВ. После этого переменный ток проходит через газотронный выпрямитель 3 и преобразуется в постоянный

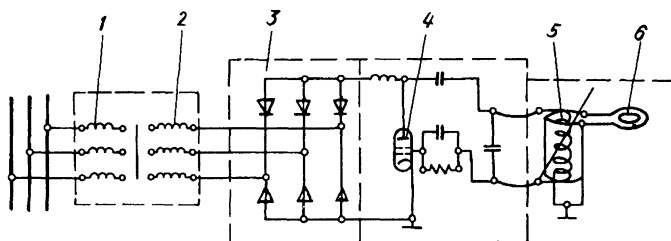


Рис. 2.5. Схема высокочастотного лампового преобразователя

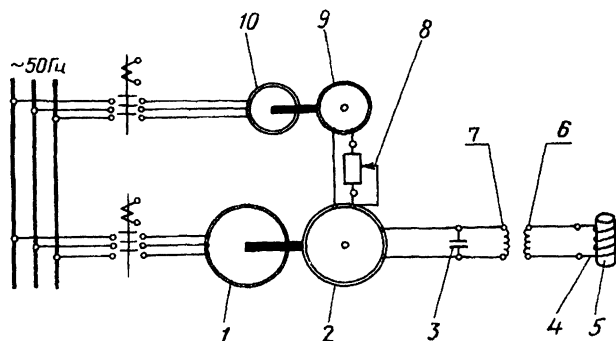


Рис. 2.6. Схема высокочастотного машинного преобразователя

ток высокого напряжения, который подается на анод 4 генераторной лампы, дающий ток высокой частоты. Однако этот ток имеет высокое напряжение и не пригоден для питания индуктора. Поэтому он подвергается преобразованию в высокочастотном трансформаторе 5, после этого поступает в индуктор 6, в котором производится нагрев деталей.

Машинный генератор вырабатывает ток частотой 2...15 кГц и состоит из электродвигателя 1 трехфазного тока и соединенного с ним генератора 2 (рис. 2.6). Параллельно с электродвигателем 1 включен электродвигатель 10 возбуждателя 9, регулируемого реостатом 8. Колебательный контур подключен к генератору 2 и представляет собой конденсаторную батарею 3, соединенную параллельно с первичной обмоткой 7 трансформатора токов повышенной частоты. Вторичная обмотка 6 этого трансформатора, понижающего напряжение, соединена с индуктором 4, в который помещается изделие 5.

Тиристорные преобразователи обладают рядом преимуществ перед электромашинными: лучшими возможностями для регулирования, малой инерционностью; более высоким КПД; более широким диапазоном оптимальных нагрузок без дополнительных согласующих устройств; малыми (на уровне номинальных) пусковыми токами; бесшумностью работы и др.

Структурная схема тиристорного преобразователя представлена на рис. 2.7. В блок ввода

да питания входят устройства коммутации, электромагнитной и тепловой защиты со стороны питающей сети, измерительные трансформаторы, приборы, измеряющие входные параметры. Через него подается питание на выпрямитель. В выпрямителе происходит преобразование переменного напряжения, частотой 50 Гц в постоянное. Блок фильтра разделяет цепи средней частоты и постоянного тока; отдельные элементы фильтра служат элементами инвертора. Функцией инвертора является преобразование постоянного напряжения в напряжение средней частоты. Блок управления, регулирования и защиты обеспечивает управление тиристорами выпрямителя и инвертора, пуск преобразователя, регулирование режима (стабилизацию одного из параметров), а также все виды защиты. Иногда в комплект входит согласующее устройство (трансформатор, автотрансформатор).

Передача энергии от генератора в нагреваемое изделие производится посредством специального устройства — индуктора. Конструкция и размеры индукторов зависят от размеров и конфигурации нагреваемого узла, числа узлов, подвергающихся одновременной пайке, способа их загрузки и выгрузки, электрофизических свойств паяемых изделий, мощности и частоты генератора. Индуктор состоит из провода, иногда снабженного магнитопроводом, токопроводящих шин и контактных колодок для подключения к понижающе-

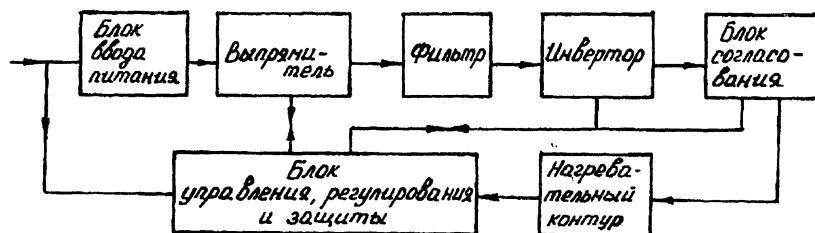


Рис. 2.7. Структурная схема тиристорного преобразователя частоты с нагрузочным контуром

му трансформатору. Для того чтобы индуктор не расплавился (сила тока в нем достигает 2 кА и более), его изготавливают из медной трубки, по которой циркулирует вода [7].

Большое влияние на интенсивность нагрева оказывают зазоры между индуктором и деталью. Уменьшение зазора увеличивает удельную мощность, подводимую к детали, и сужает зону нагрева, однако отклонение положения детали в индукторе при малых зазорах приводит к большой неравномерности нагрева. Поэтому применять зазоры менее 2 мм не рекомендуется.

Условия нагрева при индукционной пайке в значительной мере определяются частотой тока. Глубина проникновения тока (мкм) определяется по формуле:

$$\Delta = 503 \sqrt{\frac{\rho}{\mu f}},$$

где ρ — удельное электрическое сопротивление, Ом·м; μ — относительная магнитная проницаемость; f — частота, Гц.

В этой зоне выделяется наибольшее количество теплоты. В остальных зонах детали нагрев происходит за счет теплопроводности.

Равномерность нагрева увеличивается вследствие уменьшения частоты тока. Однако возникающие при индукционном нагреве силы взаимодействия электромагнитного поля индуктора и поля нагреваемого изделия направлены на отталкивание детали от индуктирующего провода. Эти силы зависят от частоты и мощности, подводимой к деталям для их нагрева. Поэтому, выбирая низкие частоты и режимы для получения равномерного нагрева, надо учитывать, что нижний предел частоты и мощность нагрева могут быть ограничены не только фактором снижения КПД, но и необходимостью удерживать собранные под пайку детали от смещения во время нагрева. Наиболее часто пайку проводят при высоких частотах (1 кГц ... 1,75 МГц). Индукционная пайка с использованием токов частотой 50 Гц применяется только для крупногабаритных изделий и встречается крайне редко.

Для обеспечения более равномерного нагрева между индуктором и паяемой деталью иногда помещают металлический экран, приближенно повторяющий контур детали. В этом случае вихревыми токами нагревается экран, который затем отдает теплоту паяемой детали. Роль экрана может выполнять и герметичный контейнер.

С помощью индукционного нагрева возможна пайка на воздухе, в вакууме, в восстановительной или инертной среде (в печах, стеклянных, кварцевых ампулах или при косвенном нагреве в металлическом контейнере).

В ИЭС им. Е. О. Патона разработаны установки высокочастотного нагрева П141А и П156 для пайки изделий из алюминия с коррозионно-стойкой сталью на воздухе. Установка П141А поворотного типа предназначена для пайки слоя из алюминия технической чистоты

(АД0, АД00, АД1М) к корпусу кастрюли из коррозионно-стойких сталей (12Х18Н9, 10Х14АГ15, 08Х22Н6Т, 12Х18Н10Т, 08Х18Н10Т, 17Х18Н9, 08Х13, 15Х25Т, 12Х17). В состав установки входят: поворотный стол, обеспечивающий сборку, возвратно-поступательное перемещение (поворот на 180°) одновременно двух изделий в горизонтальной плоскости по циклу; механизмы перемещения собранных деталей в зону нагрева, пайки, охлаждения; два блока ВЧ — нагрева собранных изделий; пульт и блок управления работой установки. Установка обеспечивает одновременную пайку двух изделий, обслуживается одним оператором.

Универсальная установка П156 ВЧ-нагрева карусельного типа предназначена для сборки и пайки алюминиевых деталей к корпусу фритюрницы из алюминия марки АД00, а также сборки и пайки корзинки (сетки к обручу) изготовленных из коррозионно-стойких сталей (12Х18Н9, 08Х22Н6Т, 18Н10Т) для загрузки пищевых продуктов. В состав установки входят: многопозиционный стол, обеспечивающий сборку, фиксацию и перемещение деталей изделий по циклу; пульт и блок управления. В установке реализован цикл изготовления однотипных (алюминиевых или стальных) паяных изделий. Переход от одного типа изделий к другому осуществляется несложной переналадкой установки. При этом для каждого типа изделий предусмотрены соответствующие нагревательные блоки ВЧ-нагрева и механизмы перемещения деталей в технологическом цикле его изготовления. Установку обслуживает один оператор.

В качестве источника для нагрева и пайки изделий в установках П141А и П156 использован высокочастотный ламповый генератор типа ВЧГ1-60/0,066 УА (ТУ16—525.839.73). Возможно использование ламповых ВЧ-генераторов другого типа с потребляемой мощностью более 60 кВт.

Оборудование для пайки электронным лучом. Процесс нагрева электронным лучом основан на использовании кинетической энергии электронов, быстро движущихся в глубоком вакууме. Сжатый в магнитных и электростатических фокусирующих линзах, поток электронов перемещается с большой скоростью от катода к аноду в сильном электрическом поле. Кинетическая энергия электронов при соударении с поверхностью детали-анода превращается в тепловую, что приводит к ее нагреву. Нагрев под пайку электронным лучом осуществляется в специальных вакуумных камерах ($1,33 \cdot 10^{-2}$... $1,33 \cdot 10^{-4}$ Па). Для пайки, как правило, применяют сканирующий или расфокусированный пучок электронов [9].

Процесс пайки на электронно-лучевых установках характеризуется высоким КПД процесса. Концентрация энергии в луче позволяет предельно сократить продолжительность взаимодействия расплавленного припоя с паяемыми материалами, не повлияв на их свойства. Пайку изделий из керамики и тугоплавких ме-

таллов с местным нагревом (с фокусированным электронным лучом) производят с применением электронно-лучевых установок с пушкой типа У50А. Для пайки узлов медицинского инструмента с нагревом сканирующим потоком электронов применяют установку ЭЛУ-4 с пушкой ЭЦ-60/10. Для исключения перегрева и оплавления кромок изделия, а также равномерного прогрева зоны соединения, электронный пучок колеблется в результате подачи импульсов синусоидальной или пилообразной формы от генератора НГПК-3М на отклоняющую систему пушки [8].

Сканирующим электронным лучом паяют также трубки теплообменников с трубной доской из коррозионно-стойкой стали никелевыми припоями или припоем ВПр2 на установке ЭЛН-11. Так можно нагревать лишь поверхность трубной доски и концы трубок, что предотвращает стекание припоя в межтрубную полость.

Установка "Луч-3" предназначена для пайки трубчатых конструкций из высокоактивных металлов и сплавов с нагревом кольцевым электронным пучком, получаемым в высоковольтном тлеющем разряде при температуре ниже 2000 °С. На кольцевой алюминиевый катод нагревателя, размещенный изолированно между двумя дисковыми анодами, подается высокое напряжение отрицательной полярности относительно земли. В концах анода, образующих шель для прохождения пучка, расположены электромагнитные катушки, обеспечивающие отклонение пучка при настройке на место соединения. Разогрев в зоне пайки происходит локально. Мощность нагрева регулируется подачей плазмообразующего газа (аргона, гелия) в область горения тлеющего разряда, время регулирования не превышает 0,5 с.

Существенными недостатками способа нагрева электронным лучом являются сложность установок из-за наличия вакуума и управляющих устройств высокой точности и их высокая стоимость.

Оборудование для пайки в тлеющем разряде. Нагрев паяемых изделий в поле тлеющего разряда обусловлен превращением кинетической энергии положительных ионов в тепловую при бомбардировке катода. Нормальный тлеющий разряд осуществляется в вакуумных камерах в нейтральной или восстановительной атмосфере при давлении газа в камере 2,66...26,6 кПа и силе тока разряда 3...20 А. Как правило, камеру сначала откачивают до давления 13,3 Па, затем заполняют аргоном до давления примерно 133 Па и снова откачивают. Благодаря такой последовательности операций достигаются низкие парциальные давления составляющих воздух газов.

Устойчивый к коротким замыканиям источник питания тлеющего разряда с крутопадающей вольт-амперной характеристикой должен иметь: устройство блокирования случайных возникающих сварочных дуг; возможность регулирования напряжения на межэлектродном промежутке — 100...1000 В; осуществлять

точное и раздельное регулирование силы тока и разрядного напряжения при работе в режиме ПВ-100%.

Нагрев в тлеющем разряде эффективен при сравнительно простой форме изделий. При наличии острых углов, выступающих частей трудно добиться равномерного нагрева. Для этого применяются специальные меры, например, изменение формы анода. Основной проблемой при пайке в тлеющем разряде является опасность перехода тлеющего разряда в дуговой, особенно при появлении паров припоя.

Важнейшими преимуществами тлеющего разряда являются: эффективность не только в стадии нагрева изделия, но и в стадии очистки поверхности изделия и припоя, что позволяет активировать поверхности соединяемых материалов; снижение расхода энергетических и материальных ресурсов; уменьшение габаритных размеров, сложности и стоимости оборудования; повышение его надежности, универсальности, производительности и экономичности; возможность соединения широкого класса материалов и различных их сочетаний.

Оборудование для пайки лазером. Лазерный нагрев обеспечивает высокую концентрацию энергии на очень малой поверхности изделия и высокие скорости нагрева (при плотности 10^5 Вт/см² скорость нагрева 10^4 ... 10^5 °С/с; при импульсном режиме на границе круга 250 мкм градиент температуры 10^3 ... 10^5 °С/см). Наиболее целесообразна пайка лазером разнотолщинных деталей при соотношении толщин 1 : 50 и более, особенно, если массивная деталь изготовлена из более легкоплавкого материала.

Лазерное излучение подвергается фокусировке простыми оптическими средствами, оно проникает сквозь прозрачные вещества (стекло, кварц и др.) и может быть непосредственно направлено к месту пайки изделия, находящегося в изолированном, например, стеклянном контейнере, наполненном аргоном, или вакуумированном до требуемой степени остаточного давления. Для управления интенсивностью лазерного излучения изменяют длительность воздействия, площадь пятна нагрева (фокального пятна), выходную энергию.

Лазерная установка (рис. 2.8) представляет собой комплекс оптико-механических и электрических приборов, основным звеном которого является оптический квантовый генератор [3]. Оптические системы в лазерных установках для обработки материалов выполняют разнообразные функции: передачу лазерного излучения в зону пайки и формирование светового пучка необходимых плотности, мощности и конфигурации; наводку излучения в заданный участок, контроль за ходом процесса, оценку результатов.

Оптическая система может содержать световолоконную оптику и голограммы, которые содержат информацию о числе элементарных лучей разложения пучка и о точках их фокусировки. Координатные устройства должны

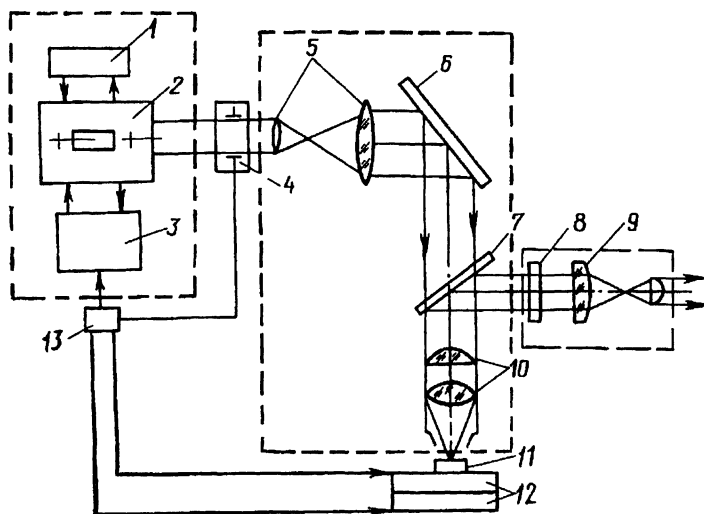


Рис. 2.8. Структурная схема лазерной технологической установки:

1 — система охлаждения; 2 — излучатель; 3 — источник питания; 4 — устройство регулирования и модуляции излучения; 5 — объектив; 6 — отклоняющее зеркало; 7 — ответвитель пучка; 8 — светофильтр; 9, 10 — объективы; 11 — сопло; 12 — обрабатываемая деталь; 13 — координационный стол с приводом; 14 — система управления

обеспечить фиксацию детали на рабочем столе и точность перемещения лазерного луча относительно детали с необходимой скоростью.

Лазерной пайкой получают мелкие конденсаторы, элементы печатных плат, бумажные конденсаторы, токопроводящие пластины, токоприемники на цоколе лампы, соединения контактов интегральных схем и др.

Оборудование для пайки инфракрасным излучением. Радиационные нагревательные установки обычно представляют собой объединенные в единую конструкцию рефлекторы и излучатели. В качестве источника излучения широко используются галогенные лампы (вольфрамовая спираль, размещенная в кварцевой трубчатой колбе). Электропитание ламп осуществляется переменным током промышленной частоты. Например, кварцевая трубчатая лампа накаливания НИК-220-1000 Вт заполняется аргоном под давлением 60 Па и йодом в количестве 1...2 мг. Наличие паров йода обеспечивает стабильность энергетического и светового потоков. Наряду с аргоноидными лампами применяют лампы с ксеноно-йодным наполнением типа КИМ и КГТ.

Для наиболее полного использования мощности ламп используют водоохлаждаемые рефлекторы из коррозионно-стойкой стали, рабочая поверхность которых покрыта серебром или чистым алюминием, а также тугоплавкими и благородными металлами, включая золото.

Нагрев инфракрасным излучением пригоден для пайки металлов и сварки пластмасс и

имеет следующие преимущества: не требуется соприкосновения с соединяемыми деталями; возможна точная дозировка подводимой теплоты; допускается использование любой атмосферы, в том числе инертных газов или вакуума; излучение может проходить через тонкий слой стекла или кварца без значительных потерь теплоты.

Интерес представляют установки для пайки сотовых панелей, в которых используются кварцевые лампы инфракрасного излучения. Известен метод пайки "нортобрейз", основанный на комбинации радиационного нагрева кварцевыми лампами и электронного управления процессом. Цикл пайки программируется и контролируется с помощью термопар. Этот метод широко применяется для пайки сотовых панелей из коррозионно-стойких сталей, титана, ниобия, молибдена. Цикл нагрева составляет 2...5 мин вместо 3...15 ч при традиционном печном нагреве. Высокой эффективностью отличается применение нагрева инфракрасным излучением в электронике.

Для локального нагрева используют малогабаритные лампы типа КГМ и КИМ. На базе кварцевой галогенной лампы КГМ-220-1000 разработан малогабаритный паяльник. Фокусировка излучения осуществляется с помощью отражателя, имеющего медную зеркальную поверхность с защитной кремнийорганической пленкой. Корпус паяльника охлаждается водой. При мощности лампы 1 кВт отражатель позволяет получать плотность энергии 120 Вт/см² и максимальную температуру в

зоне пайки 1280 °С. С помощью этого паяльника можно осуществлять ручную высокотемпературную пайку в вакууме или в защитных газах через прозрачное окно контейнера или печи [1].

При пайке с нагревом инфракрасным излучением необходимо учитывать неблагоприятные воздействия паров легко испаряющихся компонентов припоев и флюсов (помутнение зеркала рефлектора и кварцевых колб ламп), вследствие чего ресурс ламп может сокращаться. По этой же причине недопустимо стекание излишков флюса на поверхность рефлектора. В этих случаях необходимо строго дозировать количество флюса или использовать сменные кварцевые пластины-экраны.

Физико-химическое оборудование. В этом случае тепловая энергия получается за счет реакции горения (углеводородного, водородного или иного вида топлива), экзотермических или конденсационных реакций. Такая пайка имеет ограниченную область применения.

При газопламенной пайке изделие нагревается при непосредственном контакте с раскаленными газами пламени. В зависимости от требуемой температуры и интенсивности нагрева применяют различные горючие газы в смеси с кислородом или воздухом (ацетилен, метан, пропан, бутан, водород, природный газ, пары бензина и др.). Очень широко используется ацетилено-кислородное пламя. Его получают с помощью обычных сварочных или специальных горелок, обеспечивающих более равномерный нагрев. В последнее время все больше применяют городской газ или пропан. В ряде случаев целесообразно использовать газозоо-воздушную смесь, приготовленную централизованно, что позволяет упростить оборудование поста пайки и облегчить регулировку пламени.

Пламя до некоторой степени защищает нагреваемый металл от окисления, однако полностью предотвратить его не может. Поэтому при газовой пайке часто применяют флюсы в виде порошка или пасты. Газообразные флюсы подаются непосредственно в пламя. Газовое пламя, обеспечивая достаточно высокие скорости нагрева, менее чувствительны к форме, различию материалов и толщин нагревае-

мых изделий, чем индукционный и электроконтактный нагрев.

Нагрев газовым пламенем применяют при пайке как легкоплавкими, так и высокотемпературными припоями. Несмотря на ряд недостатков, нагрев газовым пламенем остается незаменимым методом не только при ручной пайке в единичном производстве и при ремонте, но и в массовом механизированном производстве. В этом случае для газопламенного нагрева используют специализированные установки, например, карусельные и конвейерные. Карусельные установки для газопламенной пайки предлагают в широком ассортименте фирмы различных стран, в основном японские и японо-американские. Наиболее типичны двенадцатипорционные установки, хотя число порций может варьироваться широко. Так, установка для пайки алюминия на воздухе включает порции нанесения флюса и припоя, нагрева изделия под пайку и окисления. Движение карусели непрерывно.

Существуют полностью автоматизированные и даже роботизированные установки с программируемыми циклом передвижения горелок к изделию и ориентированные по нему, зажиганием горелки, выполнением всего цикла пайки, исключением горелок и возвращением их в исходную позицию. Эти установки очень эффективны в условиях единичного и мелкосерийного производства.

При экзотермической пайке нагрев, а иногда и образование припоя, осуществляется в результате экзотермической реакции или агрегатного превращения специальных твердых, жидких или газообразных веществ. Экзотермическая смесь может быть внесена при сборке в виде таблеток, пластинок или нанесена на паяемую поверхность как краска. Смесь, продукты реакции которой образуют припой, затекающий в зазоры, обычно состоит из порошков металлов, оксидов и галогенидов щелочных металлов и др. Недостаток этого способа — сильное коробление паяемого металла при малой его толщине после нагрева тепловой экзотермической реакции.

Термитные шашки (табл. 2.6) [2] применяют для пайки телескопических соединений трубопроводов из коррозионно-стойкой стали

2.6. Термитные шашки для пайки стальных трубопроводов (высота 25 мм)

Марка	Диаметр, мм	Масса, г	Температура нагрева, °С, менее	Диаметр паяемого трубопровода, мм
П41-01-14	8,5	33	1050	6
	10,5			8
	11,5			10
	13,5			12
П43-02-13	8,6	21	1250	6
	10,6			8
	12,6			10
	14,6			12

12Х18Н10Т диаметром 6...12 мм с толщиной стенки 1 мм. Для концентрации теплоты в процессе горения термитной шашки и защиты обслуживающего персонала от воздействия лучистой энергии применяют специальное теплозащитное устройство, состоящее из разъемного тонкостенного кожуха, футерованного изнутри теплозащитным материалом, обладающим повышенной теплостойкостью и прочностью при многократном нагреве, а также образующим активную среду для пайки. Теплозащитное устройство имеет ввод, через который вставлен воспламенитель термитной смеси (нихромовая спираль, либо электрический запальник). Термитная смесь поджигается дистанционно током низкого напряжения (12...36 В), подаваемым на спираль или воспламенитель.

В устройстве предусмотрен также ввод для подачи аргона, защищающего наружные поверхности трубопровода и припоя в процессе нагрева от окисления. С целью устранения непосредственного воздействия продуктов сгорания шашки на соединяемые поверхности трубопроводов установлен металлический экран в виде толстостенной муфты (рис. 2.9).

При конденсационной пайке нагрев деталей происходит в результате выделения скрытой теплоты испарения. На рис. 2.10 приведена одна из схем установки, в которой происходит конденсационная пайка.

На дно установки заливают специальную жидкость с низкой температурой испарения. Жидкость химически инертна по отношению к материалам, контактирующим с ней, и химически стабильна (не разлагается) при пайке. Количество теплоты, выделяемой при конденсации паров жидкости на поверхности деталей, достаточно для расплавления припоя, но недостаточно для ухудшения свойств паяемого материала. Жидкость не имеет запаха, не токсична и не воспламеняется при пайке, плотнее воздуха и не вытекает из камеры пайки, имеет ту же температуру, что и кипящая жидкость. Такими свойствами обладает перфтортриамиламин (флюоринерт ГС-70) с температурой кипения и конденсации 215 °С.

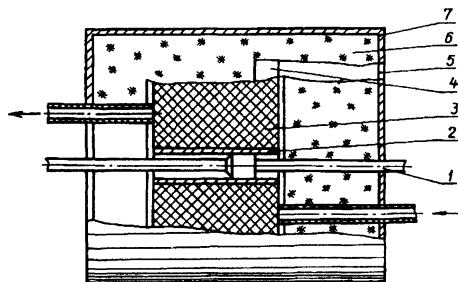


Рис. 2.9. Схема устройства для экзотермической пайки трубопроводов:

1 — трубопровод; 2 — защитный экран; 3 — воспламенитель; 4 — термитная шашка; 5 — электропроводка; 6 — футеровка; 7 — кожух

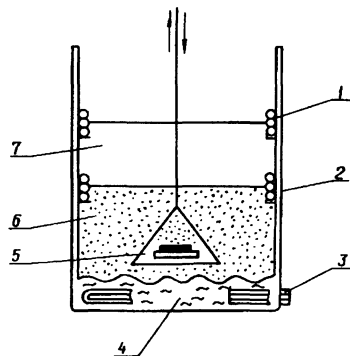


Рис. 2.10. Схема установки для конденсационной пайки:

1 — вторичный змеевик; 2 — первичный змеевик; 3 — иммерсионный нагреватель; 4 — испаряющаяся жидкость; 5 — паяное изделие; 6 — рабочая зона пайки; 7 — верхний паровой слой

Нагрев паяемых деталей происходит быстро, без изменения их размеров и формы. Простые мелкие детали нагреваются за 10...15 с, а массивные (до 10 кг) за 30...90 с. Размер зоны с рабочим паром по высоте фиксируется расположением охлаждающего змеевика, конденсирующего пар на заданном уровне.

Для снижения потерь рабочего пара ГС-70 в результате диффузии или конвекции над зоной пайки располагают пар другого инертного вещества — трихлоротрифлуоретана (Р113) с температурой плавления 88 °С и более низкой плотностью, чем рабочий пар. В зоне пайки содержание воздуха настолько мало, что окисление паяемого материала не происходит. Однако при необходимости возможна пайка с достаточно легкоплавким флюсом.

2.5. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПАЙКИ И СВАРКИ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ТУГОПЛАВКИХ МАТЕРИАЛОВ

Для получения неразъемного соединения керамических материалов применяют различные технологические процессы пайки, из которых наибольшее распространение получили: пайка расплавленного (размягченного) стекла с твердым металлом; высокотемпературными припоями с предварительной металлизацией керамики (многоступенчатый способ); адгезионно-активными припоями. Пайку неметаллических материалов осуществляют на том же оборудовании, что и пайку металлов, в частности, в печах сопротивления и индукционных печах с контролируемой атмосферой — нейтральной, восстановительной и в вакууме. В установках с индукционным нагревом, который не позволяет проводить прямой нагрев диэлектрических керамических материалов, все варианты оснастки содержат тонкостенный цилиндрический экран из молибдена, графита или другого тугоплавкого материала. Экран служит для нагрева излучением

расположенных внутри него керамических деталей. Для каждого конкретного узла необходимо подбирать индуктор и оснастку с экранами, настраивать генератор, что не всегда обеспечивает равномерный нагрев изделия. Для керамических материалов наиболее перспективны установки с радиационным нагревом, как обеспечивающие более равномерный нагрев одновременно большого числа деталей и регулирование температуры и имеющие источник питания низкой стоимости.

В производстве электровакуумных приборов применяют конвейерные вакуумно-водородные электропечи с шлюзованием паяемых изделий. Например, печь типа ИО.59.012 обеспечивает производительность 20 изделий/ч. Другие вакуумно-водородные электропечи предназначены для проведения совмещенных процессов спекания керамических материалов и их пайки с металлической арматурой. Для пайки высокоточных и сложных по конструкции изделий применяют специальную оснастку. В результате создаются условия для сохранения геометрических размеров паяемых изделий.

Несмотря на всевозможные технологические и конструктивные преимущества, пайка не всегда обеспечивает требуемые свойства соединений неметаллических материалов. Неравномерный по толщине и составу слой припоя может вносить дополнительные внутренние напряжения, что существенно снижает термостойкость соединения. Напыление компонентов припоя на диэлектрические материалы вызывает снижение электрической прочности и связанные с этим утечки или пробой паяных узлов из порошкового материала.

Значительную часть изделий, содержащих элементы из неметаллических материалов, выполняют с помощью диффузионной сварки [4, 10]: полупроводников, стекла, керамики с металлами и сплавами. Они отличаются большей надежностью и качеством соедине-

ний, высокими эксплуатационными характеристиками. Диффузионную сварку керамики с металлом применяют в основном для торцовых соединений. Параметрами, определяющими процесс сварки, являются температура нагрева изделий, давление, время сварки и среда, в которой производят сварку (вакуум, водород, формирующий газ). В технологическом цикле сварки последовательно выполняют следующие операции: получение в камере заданного вакуума (газовой среды) и контроль за его состоянием; нагрев свариваемых деталей с заданной скоростью и выход на заданную температуру сварки при заданном предварительном сжатии свариваемых деталей; создание заданного сварочного давления и поддержание его в процессе изотермической выдержки и охлаждения; проведение изотермического нагрева и поддержание его на заданном уровне; охлаждение свариваемых деталей с заданной скоростью.

Для диффузионной сварки керамических материалов используют универсальные и специализированные сварочные установки, а также различное оборудование для горячего и изостатического прессования. Установка СДВУ-50/006 предназначена для диффузионной сварки изделий любой формы размером $200 \times 250 \times 400$ мм из различных металлических и неметаллических материалов. На установке предусмотрено применение индукционного, радиационного и контактного способов нагрева соединяемых деталей. Установка оснащена электромеханической передачей усилия сжатия до 100 кН.

Установка для сварки изделий из порошковых материалов (рис. 2.11) модернизирована и изготовлена на основе установки СДВУ-17, работает в комплекте с высокочастотным генератором мощностью 60 кВт. Стойки 3 имеют свободное перемещение по направляющим 1 рамы 2, что позволяет с помощью обычных болтовых соединений осуществлять жесткое крепление кварцевой трубы любой длины на

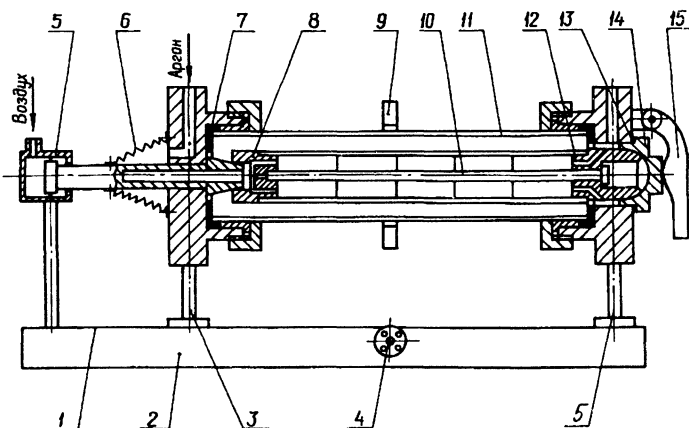


Рис. 2.11. Установка для сварки изделий из порошковых материалов

направляющей 1. Втулки, подготовленные к сварке, собирают последовательно (по длине) друг за другом на стержень 10, стягивают гайками-упорами 8 и 12 (для облегчения центрирования).

Собранные элементы помещают внутрь кварцевой трубы 11 и упорами прижимают к толкателю 7. Один из концов собранной трубы удерживается сферической частью упора 12 в крышке 14. Крышка уплотняется резиновым кольцом 13 и прижимается эксцентриком 15. На другом конце кварцевой трубы смонтирован сильфонный вентиль 6 для поджатия свариваемых деталей. После загрузки в пневматическую камеру 5 через регулятор давления, обеспечивающий регулировку давления (до 60 МПа), подводится сжатый воздух, который с помощью толкателя 7 передает давление на свариваемую трубку из порошкового материала. Усилие сжатия поддерживается в процессе сварки постоянным. Нагрев зоны шва осуществляется токами высокой частоты через одновитковый индуктор 9, расположенный на внешней стороне кварцевой трубы. После окончания сварки одного шва стойки 3 передвигаются с помощью маховика механизма подачи 4 относительно индуктора 9 на следующий шов.

Установки П133 и П114 предназначены для диффузионной сварки в вакууме секционированных трубок из порошкового материала электронных ускорителей диаметром 200...350 мм. Эти установки содержат печи сопротивления с экранной теплоизоляцией, безмасляные средства откачки, системы сжатия с электромеханическим (П133) и гидравлическим (П114) приводами, системы управления работой установок в ручном и полуавтоматическом режимах. Конструктивная особенность установок состоит в том, что элементы печи сопротивления (нагреватели, экраны и токоподводы) смонтированы на двух открывающихся боковых дверях вакуумной камеры. Благодаря этому обеспечивается свободный доступ ко всем внутренним элементам вакуумной камеры, упрощается процесс сборки и проверка качества сборки свариваемых деталей и оснастки, их фиксация между опорными элементами системы сжатия.

Для диффузионной сварки силовых полупроводниковых приборов создан конвейерный комплекс УДС-5. Основными элементами комплекса являются рабочая и две шлюзовые вакуумные камеры, проходная электропечь, гидравлический пресс, холодильник, механизмы перемещения свариваемых деталей, системы откачки воздуха, водяного охлаждения и измерения основных параметров сварки. Сварочный цикл комплекса автоматизирован полностью.

Соединение неметаллических тугоплавких материалов между собой и с металлами может быть осуществлено и другими известными

способами сварки: дуговой и электронно-лучевой сваркой (с подогревом керамического или узла из порошкового материала до температуры, при которой материал становится электропроводным и нечувствительным к термоудару), сваркой трением (преимущественно через пластичную алюминиевую прослойку). В этих случаях используют соответствующее сварочное оборудование, оснащенное специальными устройствами, источниками нагрева, оснасткой и др. Для сварки керамических материалов перспективно применение также энергии излучения СВЧ, лазера, электрического взрыва проводника, взрывного компактирования, самораспространяющегося высокотемпературного синтеза и пр.

2.6. ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ

— Основное направление развития оборудования для пайки — механизация и автоматизация технологических процессов. Для газопламенной и индукционной флюсовой пайки можно добиться высокой степени автоматизации всех технологических операций: нагрева, нанесения припоя и флюса (чаще всего пасты, включающей оба компонента), очистки после пайки и др. Все большее распространение получают установки с программным управлением. Основной род установок — конвейерные и карусельные. Перспективны разработки установок как широкого профиля, так и узкоспециализированных, например, установок для газопрессовой пайки.

— Перспективно развитие компактных источников для получения кислородно-водородного пламени за счет электролиза воды. Кроме замены дефицитного ацетилена можно существенно изменить процесс газопламенной пайки, ввиду более легкого программного дозирования количества теплоты. Такие источники могут быть применены для деталей различных размеров, в том числе миниатюрных. Эффективно применение новых источников теплоты: светового, лазерного, инфракрасного излучения, причем как при высокотемпературной, так и при низкотемпературной пайке. Программное управление технологическим процессом при этом легко реализуется.

— Автоматизированные технологические линии с использованием низко- и высокотемпературной пайки как ведущего технологического процесса, например для узлов радио и электронной промышленности, различного рода теплообменников (например, автомобильных и тракторных радиаторов и др.) должны быть оснащены оборудованием не только для пайки, но и для подготовительных и вспомогательных операций.

— При увеличении производства изделий из новых материалов, в том числе неметаллических, значительно возрастает потребность в оборудовании для пайки в различных защитных средах, особенно в вакууме. Перспективно применение установок со сложными техноло-

Глава 3

**ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ
НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ И
ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ
СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И НАПЛАВКИ****3.1. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО
КОНТРОЛЯ**

Многообразие физических методов неразрушающего контроля качества сварных соединений, широкий ассортимент сварных изделий и специфичность требований технических условий на них, объем производства и квалификация персонала предопределяют необходимость в широком выборе средств контроля с целью получения наибольшей технико-экономической эффективности от их применения.

В соответствии с классификацией методов неразрушающего контроля (НК) можно выделить оборудование для радиационного, ультразвукового, магнитного, вихрекового, капиллярного контроля, контроля герметичности. Широко применяются ультразвуковые, магнитные, вихрековые и радиоволновые толщиномеры.

Радиационный контроль. При радиационном контроле сварных соединений в качестве источников проникающего излучения используются рентгеновские аппараты, гамма-дефектоскопы, ускорители заряженных частиц и другие устройства. Стационарные, передвижные и переносные рентгеновские аппараты подразделяются на кабельные и моноблочные. В кабельных аппаратах генератор высокого напряжения и рентгеновская трубка выполнены как отдельные блоки, соединенные между собой высоковольтным кабелем, а в моноблочных они находятся в одном корпусе [2, 8, 10, 11].

В зависимости от анодного напряжения рентгеновские аппараты могут быть непрерывного действия и импульсные. В импульсных аппаратах под воздействием импульса высокого напряжения образуется мощный импульс излучения. Эти аппараты, благодаря малым размерам, обладают повышенной технологической маневренностью, что позволяет использовать их в условиях монтажа.

Техническая характеристика рентгеновских аппаратов непрерывного действия приведена в табл. 3.1, а импульсных — в табл. 3.2. В табл. 3.2 также приведены сведения о специализированных аппаратах "Рейс-100И" и "Сирена-3". Аппарат "Сирена-3" способен перемещаться со скоростью 20 м/мин внутри трубы на расстояние до 36 м. На рис. 3.1 показан рентгеновский аппарат РАП-150/300.

Для дефектоскопии сварных соединений в условиях монтажа чаще всего используются гамма-дефектоскопы, состоящие из следующих основных блоков: радиационной головки с источником излучения, коллимирующей насадки, ампулопровода, механизма управления (ручного или электромеханического). Дефектоскопы с электромеханическим

гическими процессами, например, с ионной очисткой изделий перед пайкой, нанесением после этого покрытий и др. оборудования для пайки как на воздухе, так и в вакууме. В частности, большие перспективы имеют карусельные вакуумные установки (типа У-925, П-126).

— Большие возможности имеются в разработке вспомогательного оборудования: для нанесения припоев, очистки поверхности изделий перед пайкой и после нее для получения порошков припоев, аморфных лент, паляльных паст и др. Унификация узлов и агрегатов позволит компоновать новые установки из имеющихся компонентов. Одной из неотложных задач являются стандартизация и создание банка данных по оборудованию на современном уровне, когда эти данные можно анализировать с помощью компьютера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белов А. А., Булебутенко В. С. Лучевой высокотемпературный паяльник с кварцевой лампой накаливания // Свароч. производство. 1983. № 7. С. 40.
2. Гржимальский Л. Л., Ильевский И. И. Технология и оборудование пайки. М.: Машиностроение, 1979. 240 с.
3. Григорьянц А. Г., Соколов А. А. Лазерная обработка неметаллических материалов. М.: Высшая школа, 1988. 191 с.
4. Казаков Н. Ф. Диффузионная сварка материалов. М.: Машиностроение, 1976. 312 с.
5. Лашко С. В., Лашко Н. Ф. Пайка металлов. М.: Машиностроение, 1988. 376 с.
6. Никифоров Г. Д., Опарин М. И., Федоров С. А. Сварка и пайка световым лучом. М.: Машиностроение, 1979. 40 с.
7. Проектирование технологии пайки металлических изделий / С. В. Лашко, Н. Ф. Лашко, И. Г. Нагапетян и др. М.: Металлургия, 1983. 280 с.
8. Справочник по пайке / Под ред. И. Е. Петрунина. М.: Машиностроение, 1984. 400 с.
9. Справочник по пайке / Под ред. С. Н. Лоцманова. М.: Машиностроение, 1975. 407 с.
10. Теория, технология и оборудование диффузионной сварки. / В. А. Бачин, В. Ф. Квасницкий, Д. И. Котельников и др.; Под общ. ред. В. А. Бачина. М.: Машиностроение, 1991. 352 с.
11. Электротермическое оборудование / Под общ. ред. А. П. Альтгаузена. М.: Энергия, 1988. 416 с.
12. Pond J. Aluminium evaporators for automobile air conditions mass produced by fluxless brazing in continuous vacuum furnace // Industrial Heating. 1973. N 2. P. 212—218.

3.1. Техническая характеристика рентгеновских аппаратов непрерывного действия

Тип	Тип рентгеновской трубки	Анодное напряжение, кВ	Сила анодного тока, мА	Радиационный выход на расстоянии 0,5 м, 10^4 Кл/(кг · с)	Потребляемая мощность, кВ · А	Размеры рентгеновского излучателя, мм	Масса излучателя, кг
РУП-120-5-1	0,4БПМ2-120	50...120	5	0,6	1	300×250×540	45
РАП-150-ЗДФ	0,4БПМ2-120	0...150	3	0,6	0,5	540×240×220	20
РАП-150-7	0,3БПВ6-150	35...150	2	2,16	4	∅ 270×900	35
РАП-160-6П	0,7БПК2-160	50...160	6	0,15	2,5	∅ 300×805	35
РАП-150/300	0,3БПВ6-150	35...150	2	2,6	4	∅ 270×900	35
	1,5БПВ7-150	35...150	10	0,388	4	∅ 270×880	40
	1,2-ЗБПМ5-300	100...300	4 и 10	6	8	960×312×312	75
РУП-200-5-2	0,7БПМ3-200	70...200	5	0,645	2	270×450×750	88
РАП-220-5Н	0,8БПК5-220	40...220	5	0,645	2,5	∅ 310×1140	62
РАП300-5Н	1БПК3-300	100...300	5	0,645	3	∅ 300×1250	70
РАПС-1М	РТР-2М	30...300	2	0,645	2	750×180×180	10
РАП-320-15	3,4БПМ7-320	80...320	15	6,9	10	1285×430×360	310
РАП-400-5-1	1,5БПВ2-400	250...400	5	5,15	4	∅ 550×980	600
	1,5БПВ3-400	250...400	5	5,15	4	∅ 550×980	600
РТД-1	1,5БПВ12-13-1000	250...1000	1,5	1,3	4,5	∅ 1000×2500	1600

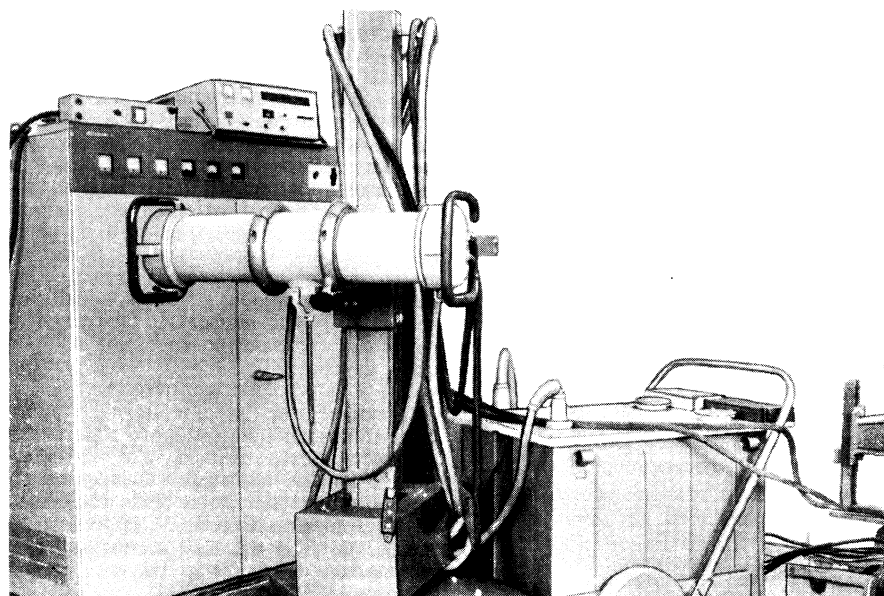


Рис. 3.1. Рентгеновский аппарат РАП-150/300

приводом имеют дистанционный пульт управления. В зависимости от вида и назначения дефектоскопы комплектуются также штативами, транспортными или самоходными те-

лежками. Техническая характеристика гамма-дефектоскопов приведена в табл. 3.3.

В качестве высокоэнергетических источников тормозного рентгеновского излучения,

3.2. Техническая характеристика импульсных и специализированных рентгеновских аппаратов

Тип	Средняя энергия ионизирующего излучения, кЭВ	Толщина контролируемой стали, мм	Диаметр фокусного пятна, мм	Продолжительность устанавливаемой экспозиции, с	Потребляемая мощность, В · А	Размеры рентгеновского блока, мм	Масса аппарата, кг
МИРА-1Д	60...80	10	23	5...60	300	620×340×205	10
МИРА-2Д	10...120	20	3	5...60	400	300×250×120	15
МИРА-3Д	160	30	2	5...60	450	600×160×300	22
“Нора”	300	40	3	50...750	300	470×120×265	18
МИРА-4Д	250...300	60	4	5...60	300	765×400×375	50
МИРА-5Д	400...500	80...100	4	5...60	300	850×440×430	100
“Кавказ-300”	150...300	20	4	5...40	100	120×60×40	100
“Арина-02”	150	25	2,5	10...400	200	460×120×175	12
“Арина-2”	300	50	4,0	10...400	700	∅ 260×850	43
ПИР-240	240	16	2,5	5...200	80	77×50×28	60
ПИР-600А	600	38	3	5...200	150	110×59×43	150
“Сирена-3”	250	25	3	50...400	300	∅ 530×1420	33
“Рейс-100И”	100	20	0,1	1...999	70	373×95×104	4

3.3. Техническая характеристика гамма-дефектоскопов

Гамма-дефектоскоп	Источник излучения	Активность источника, $3,7 \cdot 10^{10}$ Бк	Особенности
“Гаммарид”: 170/400	Тулий-170	400	Переносной, без ампулопровода
	Селен-75	8	
60/40	Кобальт-60	10	Передвижной, шланговый
192/120	Иридий-192	120	Передвижной, шланговый с электропроводом
192/120Т	Иридий-192	120	Переносной, шланговый для трубопроводов
	Цезий-137	6	
	Иридий-192	120	Для контроля магистральных трубопроводов в составе автоматизированных комплексов
192/120К	Цезий-137	6	
РИД-187/213	Кобальт-60	32	Передвижной, переналаживаемый штатив, контроль АЭС
	Иридий-192	16	
РД-20Р	Кобальт-60	150	Для радиометрического контроля толстостенных изделий

обеспечивающих радиографический контроль сварных соединений, литья и проката толщиной до 500 мм по стали, используют ускорители, сообщающие электронам кинетическую энергию в диапазоне 1...100 МэВ. Отечественной промышленностью выпускаются три типа ускорителей — линейные, бетатроны и микротроны. Техническая характеристика некоторых из них представлена в табл. 3.4.

Радиография основана на регистрации ионизирующих излучений с помощью серебросо-

держащих детекторов на прозрачной и непрозрачной основах (рентгеновских пленок, бумаг). В последние годы находит применение электрорадиография, которая основана на использовании полупроводниковых детекторов (пластин или цилиндров), сенсibiliзируемых и обрабатываемых после экспонирования в специальной компактной аппаратуре. При этом изображение получают на обычной писчей бумаге. Получили распространение

3.4. Основные технические характеристики источников рентгеновского излучения на основе бетатронов

Тип	Пределы регулирования энергии, МэВ	Мощность экспозиционной дозы, 10^4 Кл/(кг · с)	Потребляемая мощность, кВт · А	Масса электромагнита, кг
МИБ-6	3...6	0,12	3,5	100
Б-18	5...18	0,775	5	350...500
Б-25/10	5...25	1,7	15	2500
Б-30	5...30	6,45	40	5000
Б-35/8	12...35	10,8	35	5000
Б-35-1000И	10...35	43,1	30	4500
СБСИ-2-25М	25	64,5	90	14000

3.5. Техническая характеристика радиационных интроскопов

Тип	Источник излучения	Радиационный преобразователь	Передающая телевизионная камера	Разрешающая способность	Скорость контроля, м/мин	Видеоконтрольное устройство	Чувствительность, %
Дефектоскоп 1, 2, 3	Рентгеновские аппараты разные	Рентгеновидикон ЛИ473, ЛИ444, ЛИ447	КТП-68-1,2	Различается проволока диаметром 20 мкм из вольфрама	0,3	ВК-29 с кинескопом 47 см; ВК-23 с кинескопом 23 см и фотопроставкой	2...3
РИ-60ТК	Рентгеновский аппарат РАП-150/300	Рентгеновский электронно-оптический преобразователь (РЭОП) типа УРИ-П или ЗОКС	КТП-73	1,5...2,5 линий/мм	3,0	ВКУ с кинескопом 50 см; фотоканал с РЭОП	2...4
Интроскоп	Линейные ускорители электронов, бетатроны, микротроны	Сцинтилляционный монокристаллический экран диаметром 150 и 200 мм	КТП-62	Различается проволока диаметром 250 мкм из вольфрама	1...2	ВК-29 и ВК-23 с фотопроставкой	3

электрорадиографические аппараты типа ЭРЕНГ-2, АРЕКС-2М, ЭРГА-03.

Для непрерывного контроля сварных швов применяют интроскопы, состоящие из рентгеновского аппарата, электронно-оптического преобразователя и видеоконтрольного устройства. В процессе контроля изделие равномерно перемещают между рентгеновской трубкой и приемником излучения (электронно-оптическим преобразователем). Такой контроль обеспечивает чувствительность 3...4%

при просвечивании стали толщиной до 30 мм, с устройствами накопления 1,0...1,5%.

Техническая характеристика некоторых радиационных интроскопов приведена в табл. 3.5. Новые возможности в определении распределения плотности, структуры пространственного армирования открываются с использованием различных радиационных томографов. В табл. 3.6 приведены технические данные радиационных томографов объединения "Спектр". Томографический снимок — это

3.6. Техническая характеристика томографов объединения “Спектр”

Параметры	ВТ-1200	ВТ-300/1	ВТ-50
Максимальный диаметр объекта контроля, мм	1500	400	50
Диаметр рабочего поля томографа, мм	1200...100	300...25	50...1,28
Эффективная толщина контролируемого слоя, мм	8...0,5	4...0,5	0,1...0,02
Предел пространственного разрешения, пер/см, не менее	10	20	200
Геометрическая чувствительность, мкм	100	50	5
Чувствительность к локальным дефектам в виде: пор, мм ²	20	0,3	$3 \cdot 10^{-5}$
металлических включений, мм ²	1	0,03	$3 \cdot 10^{-6}$
Чувствительность к трещинам, мкм	100	50	5
Максимальное анодное напряжение рентгеновской трубки, кВ	400	400	150
Время сканирования, мин	5...20	2...10	5...12
Угловой интервал, °	0,375	0,375	0,375

изображение среза изделия в интересующей плоскости.

Ультразвуковой контроль. Широкое распространение в промышленности и строительстве получили импульсные ультразвуковые дефектоскопы (УЗД), предназначенные для обнаружения внутренних дефектов в материалах и сварных соединениях, работающие в диапазоне частот 0,02...30 МГц [3, 6, 9, 10]. В общем случае УЗД включает: генератор электрических импульсов ультразвуковых частот; блок синхронизации и развертки; усилитель; блок индикации; блок автоматической сигнализации о наличии дефекта; блоки временной регулировки чувствительности и питания.

В зависимости от области применения УЗД подразделяют на дефектоскопы общего назначения и специализированные. По целевым функциям дефектоскопы классифицируют на четыре группы: 1) только для обнаружения дефектов (пороговые УЗД); 2) для нахождения дефектов, измерения глубин их залегания и измерения отношений амплитуд сигналов от дефектов; 3) для обнаружения дефектов, измерения глубин их залегания и эффективной площади дефектов; 4) для обнаружения дефектов распознавания их формы или ориентации, измерения глубин залегания, условных размеров.

Основные характеристики отечественных дефектоскопов общего назначения приведены в табл. 3.7. С их помощью осуществляется ручной контроль сварных соединений эхометодом, теневым и зеркально-теневым методами. Наиболее распространенный импульсный ультразвуковой дефектоскоп УД2-12 показан на рис. 3.2. Эти дефектоскопы позволяют определять глубину залегания дефектов по цифровому индикатору и оценивать условные размеры дефектов путем измерения отношений амплитуд сигналов, отраженных от дефектов.

Дефектоскоп УД2-12 дополнительно позволяет осуществлять ручную настройку на 12 программ работы и автоматическую настройку на заданный режим всех параметров контроля. Для ввода ультразвуковых волн в металл применяются преобразователи различного рода: прямые, наклонные, раздельно-совмещенные, с постоянным и переменным углами ввода, матричные и др.

Основным преимуществом компьютеризированных систем перед обычными ультразвуковыми приборами является существенное повышение объективности и достоверности результатов исследования, которое достигается благодаря следующим новым возможностям оборудования: автоматической регистрации траектории сканирования преобразователя с одновременной записью всех сигналов, поступающих на приемное устройство от объекта; регистрации параметров настройки для последующего воспроизведения анализа и докумен-

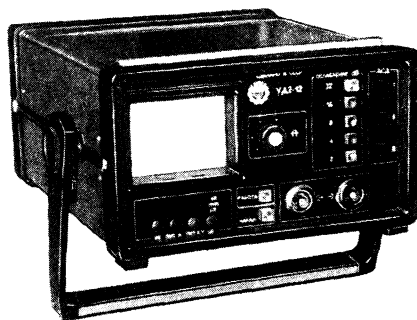


Рис. 3.2. Импульсный ультразвуковой дефектоскоп УД2-12

3.7. Техническая характеристика ультразвуковых дефектоскопов

Тип	Номинальная частота, МГц	Регулировка усиления, дБ	Глубина прозвучивания по диапазону развертки для стали, мм	Потребляемая мощность от сети, В · А	Питание от сети и автономное, В	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
ДУК-66ПМ	1,25; 2,5; 5,0; 10,0	79	1200	40	220; 9	260×160×425	9,5
УД-10П	0,6; 1,25; 2,5; 5,0; 10,0; 25,0	0...40	5000	55	220; 24	345×195×470	12
УД-11ПУ	1,25; 2,5; 5,0; 10,0	0...62	2...180	30	220; 12	190×280×350	7
УД2-12	1,25; 1,8; 2,5; 5,0; 10,0	0...100	1...999	20	220; 36; 12	170×280×250	8,4
УД-11УА	1,25; 2,5; 5,0; 10,0	40	2...180	110	220	490×215×510	25
УД2-13	2,5	0...30	2...50	7,5	24; 36	60×170×155	1,5
УД2-15	2,5; 5,0	0...120	1000	7,5	12; 24	120×250×340	6,4
УД-23УМ	0,2; 0,4; 0,6; 1,25	0...40	3...200	30	220; 36; 12	170×280×350	9
УД2-17	1,25; 1,8; 2,5; 5,0; 10,0	0...110	1...999	10	220; 12	175×260×360	7

тирования; получению изображения дефекта в трех ракурсах (виды сверху, с торца и сбоку).

Компьютеризированная система П-скан (Дания) состоит из трех основных частей: набора специальных сканирующих устройств, позволяющих фиксировать местоположение и траекторию сканирования преобразователя; переносного программируемого процессора PSP-3 для сбора первичной информации о состоянии контролируемого объекта; персонального компьютера и программного обеспечения для последующего анализа полученных данных и документирования.

В ходе сканирования данные о местоположении преобразователя поступают с датчиков в память процессора. В каждой точке, соответствующей заданному шагу сканирования, в память процессора заносятся максимальные значения огибающей эхо-сигналов вдоль луча. Эта информация представляется на дисплее процессора в виде трехмерного изображения, контролируемого объема в проекциях сверху (*TOP*), сбоку (*SIDE*) и с торца (*END*). Для отсечки сигналов малой амплитуды, связанных с отражениями от структуры металла, на дисплее в виде черных точек отображаются только те эхо-сигналы, которые превышают заранее установленный уровень отображения.

Таким образом, в ходе сканирования при правильно выбранном уровне отображения

оператор может видеть области контролируемого участка, которые были прозвучены, и области, в которые акустические волны по каким-то причинам не попали. Такая форма регистрации данных позволяет оператору проводить контроль и в необходимых случаях принимать дополнительные меры по более тщательному сканированию, а также улучшению акустического контакта. По окончании сканирования все данные переносятся из памяти прибора на гибкий магнитный диск. При этом одновременно производится автоматический перенос данных в долговременную память всех режимов настройки.

В необходимых случаях с помощью встроенного в процессор PSP-3 печатающего устройства можно выполнить распечатку с результатами контроля. Для полного анализа данных и подготовки заключительной формы отчета о проведенном обследовании применяется персональный компьютер. В этом случае в качестве исходной информации используются данные, записанные при контроле на гибкий магнитный носитель. Форма изображений результатов аналогична форме изображений на дисплее процессора PSP-3, однако информативность графических изображений значительно увеличена.

Делается цветовая кодировка сигналов, статистическая обработка данных. Компьютер

обеспечивает цветовую кодировку в двух режимах: "кодировка изображения" и "кодировка уровней". В первом режиме цвет изображений соответствует номеру временного интервала на звуковом луче, в котором находятся данные эхо-сигналы. Такие интервалы могут соответствовать, например, зонам контроля прямым и однократно отраженным лучами. Этим зонам может быть максимум четыре для данного контролируемого объема и для их кодировки используется четыре цвета. В режиме "кодировка уровней" восемь градаций цвета соответствуют амплитуде эхо-сигнала независимо от того, в каком временном интервале он находится, и используются для оценки величины дефекта. Результаты обследования представляются в виде цветных распечаток, аналоговых изображений на дисплее компьютера.

В зависимости от назначения, обусловленного методикой контроля, различают прямые, наклонные (призматические) и раздельно-совмещенные ультразвуковые преобразователи. Прямые преобразователи типа П111 в основном используют для выявления несплошностей в материалах и сварных швах со снятым валиком усиления теневым или эхо-импульсным методом. Наклонные преобразователи типа П121 и П122 служат для контроля сварных соединений как теневым, так и эхо-импульсным методами с вводом ультразвуковых волн в зону сварного шва через стенку изделия под углом к поверхности. Раздельно-совмещенные преобразователи типа П112 эффективны для выявления расслоений в материале сварных соединений, пор и шлаковых включений в швах, а также несплавов в слоистых материалах, получаемых сваркой трением и взрывом.

Для ультразвукового контроля в иммерсионном варианте, когда изделие погружается в

ванну и ввод ультразвуковых волн осуществляется через толстый слой жидкости, применяют иммерсионные преобразователи типа П211, П311 и П312.

При механизированном и автоматизированном контроле сварных соединений и наплавки чаще всего используют щелевой (полумиммерсионный) ввод УЗ-колебаний и прием отраженных сигналов через локальную жидкостную ванну. Для создания такой ванны в зазоре (щели) между преобразователем и поверхностью изделия применяют уплотняющие устройства всевозможных конструкций. Преобразователи, снабженные устройствами для создания щелевого зазора и локализации контактной жидкости, получили название ультразвуковых искательных головок. Такая искательная головка обеспечивает возможность контроля сварных соединений с прямолинейной, вогнутой, выпуклой или переменного профиля поверхностью без подгонки и притирки уплотняющего элемента по изделию.

По уровню механизации оборудование можно подразделить на средства малой механизации и автоматизированные системы. К средствам малой механизации относится тележка-дефектоскоп НК-120 для УЗК сварных швов полотнищ из листовой стали (например, заготовок рулонированных резервуаров). Тележка представляет собой платформу с расположенными по продольной оси катками, профиль которых зеркально повторяет профиль валика усиления сварных швов сваренного полотнища. Перемещаясь по сварному шву, дефектоскоп контролирует его с помощью двух или четырех преобразователей, расположенных по обе стороны от валика усиления.

Примером автоматизированной установки является установка НК-106 (рис. 3.3), предна-

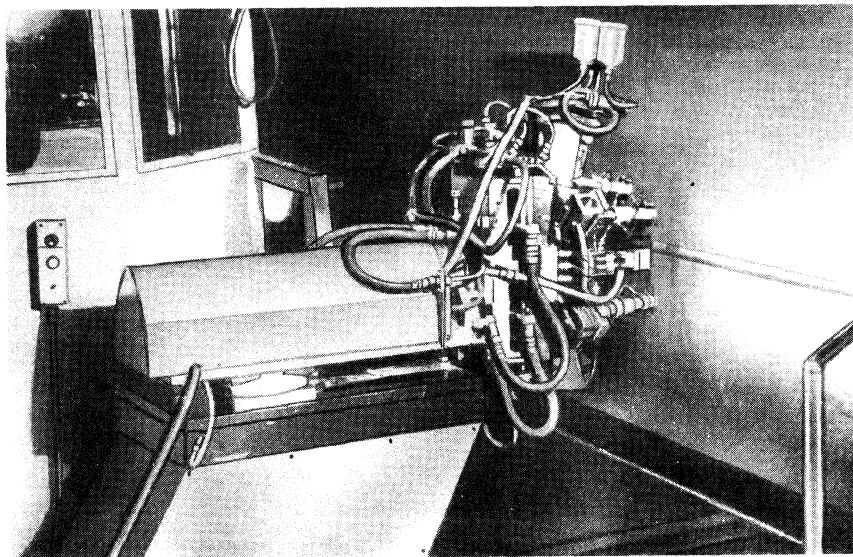


Рис. 3.3. Автоматизированная установка НК-106 для ультразвукового контроля продольных сварных швов газонефтепроводных труб большого диаметра

значенная для ультразвукового контроля сварных швов газонефтепроводных труб большого диаметра в потоке сварочных станков. Отличительными особенностями установки НК-106 являются: система отслеживания поверхности трубы; механоакустический блок, обеспечивающий возможность осуществлять контроль по прямой, К-образной и Ж-образной схемам. Контроль проводится при расположении сварных швов в горизонтальной плоскости за один проход.

Для контроля качества сварки взрывом биметаллических труб и триметаллических колец созданы автоматизированные установки НК-147, НК-148 с раздельно-совмещенными преобразователями. Контроль осуществляется при вращении изделий и прямолинейном движении искательной головки, т. е. при относительном перемещении головки по спиральной траектории с шагом 8 мм. Компьютер, согласно заданной программе, управляет работой приводов, обрабатывает и выдает на экране дисплея информацию о качестве акустического контакта, наличии дефектов и их координатах, осуществляет распечатку информации в цифровом виде и управляет работой отметчика дефектов.

Ультразвуковой контроль наплавки чаще всего применяется в энергетическом машиностроении и для контроля элементов буровой техники. При контроле наплавки контролируется зона сплавления основного и наплавленного металла и непосредственно наплавленный слой изделия. При ультразвуковом кон-

троле наплавки обычно применяют прямые или раздельно-совмещенные преобразователи.

Контроль проводится как со стороны основного металла, так и со стороны наплавленного слоя. Например, в Институте электросварки им. Е. О. Патона разработаны установка (НК-103) и технология автоматизированного ультразвукового контроля цапф лап буровых долот.

Для контроля кольцевых швов сваренных газо- и нефтепроводов диаметром 720...1420 мм в полевых условиях предназначено полуавтоматическое устройство НК-143 "Спутник" (рис. 3.4), транспортная часть которого разработана на базе устройства для газовой резки труб "Орбита-2". Устройство устанавливается на трубу и крепится с помощью разъемных поясов, являющихся направляющими для самоходного механоакустического блока. Два многоэлементных преобразователя подвешены шарнирно в вилках амортизаторов и располагаются по обе стороны сварного стыка.

Одним из видов неразрушающего контроля является сопоставление скоростей звука с целью определения напряженного состояния материала. Так, прибор НЗМ001 предназначен для ручного контроля эхо-импульсным методом механических напряжений или механических усилий. Этим прибором проверяются детали с диаметром не менее 8 мм и длиной 20...4500 мм. Отношение длины к диаметру должно быть не более 7. Контроль напряжений осуществляется от 7 МПа до предела текучести материалов со скоростями распространения продольных ультразвуковых колебаний

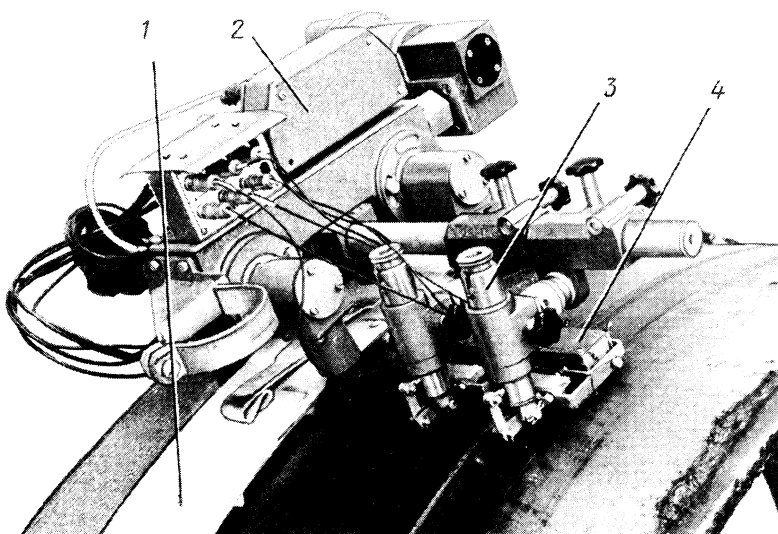


Рис. 3.4. Полуавтоматическое устройство НК-143 "Спутник" для ультразвукового контроля кольцевых неповоротных сварных швов трубопроводов:

1 — разъемный пояс; 2 — самоходная каретка; 3 — амортизаторы; 4 — мозаичные пьезопреобразователи

2500...7000 м/с, с затуханием не более 0,3 дБ/см на частоте 5 МГц.

Определение механических напряжений проводится путем измерения приращения или относительного изменения времени распространения УЗК, вызванного изменением прикладываемых механических усилий. Блок с индикацией аналогового сигнала и цифровой информации позволяет обеспечивать большую точность и воспроизводимость результатов измерений. Микропроцессорный блок обеспечивает обработку измерений и их запоминание. В памяти могут храниться параметры упругих характеристик материалов, тарифовые данные и другие характеристики, необходимые для обработки результатов акустических измерений. Объем памяти позволяет запоминать данные не менее, чем для 128 материалов.

Наличие встроенного аналого-цифрового преобразователя позволяет автоматически учитывать в процессе контроля влияние различных внешних воздействий, например: геометрических размеров, температуры. Имеется возможность подключения к прибору внешних регистрирующих, запоминающих устройств и ЭВМ.

Магнитный и вихретоковый контроль. Оборудование для магнитного и вихретокового контроля характеризуется наличием полезающих устройств и средств обнаружения магнитного поля рассеяния дефекта. При этом используется широкий спектр частот, начиная от постоянного магнитного поля до переменных полей с частотами десятков мегагерц [4, 7].

Магнитные дефектоскопы предназначены для контроля качества сварных соединений изделий из ферромагнитных материалов. По способу регистрации дефектов их можно разделить на магнитопорошковые, магнитографические, феррозондовые, индукционные и др. Намагничивание изделий при контроле производится в результате приложения внешнего магнитного поля или пропускания через деталь электрического тока. К основным узлам дефектоскопов для магнитопорошкового контроля относятся: источники тока; устройства подвода тока, полюсного намагничивания (соленоиды, электромагниты); средства нанесения на контролируемую деталь суспензии; осветительные устройства; измерители тока.

Набор средств, имеющихся в стационарных универсальных установках, позволяет производить циркулярное, полюсное и комбинированное намагничивание, что обеспечивает надежный магнитопорошковый контроль как в приложенном поле (для деталей из магнитомягких материалов), так и способом остаточной намагниченности (для изделий из магнитотвердых материалов).

Для магнитопорошкового контроля изделий из ферромагнитных материалов широкое распространение получили переносные и передвижные дефектоскопы, например, ПМД-70, МД50 и др. В качестве индикаторных средств используются как магнитные, так и магнито-

люминесцентные порошки, пасты и суспензии. Эффективно применение для экспресс-контроля магнитопорошковых дефектоскопов типа "МАГЭКС", в комплект которых входят малогабаритные намагничивающие устройства, источником магнитной энергии в которых служат высокоэффективные постоянные магниты. Масса таких устройств 1...2 кг, они позволяют намагничивать изделия по участкам (МЭ-1), непрерывно протяженные участки (МЭ-2), например, протяженные стыковые сварные соединения, а также изделия сложной геометрической формы с возможностью независимой регулировки межполюсного расстояния и напряженности магнитного поля (МЭ-3). Общий вид устройств приведен на рис. 3.5. Техническая характеристика некоторых магнитопорошковых дефектоскопов приведена в табл. 3.8.

При магнитографическом контроле поля рассеяния дефектов фиксируются на магнитную ленту, накладываемую на поверхность сварного шва. Намагниченность ленты определяется приложенным магнитным полем и полями рассеяния дефектов. Информация о дефекте считывается с помощью магнитографического дефектоскопа, имеющего лентопротяжное устройство, индукционную головку и осциллографический индикатор. Для воспроизведения записи ленту перемещают вдоль вращающейся индукционной головки. Возникающий в головке электрический сигнал пропорционален величине поля рассеяния дефекта.

Для намагничивания контролируемых сварных швов применяют передвижные намагничивающие устройства типа ПНУ, УНУ, МУН и др. Для магнитографического контроля используется несколько типов магнитографических дефектоскопов (МД-9, МД-11, МГК-1, МДУ-2У, УВ-30Г, МД-40Г и др.) и полуавтоматических установок на их основе. В дефектоскопе МДУ-2У применена теневая и импульсная индикации сигналов от дефектов. Верхняя часть экрана трубки отведена для теневой индикации с размером кадра

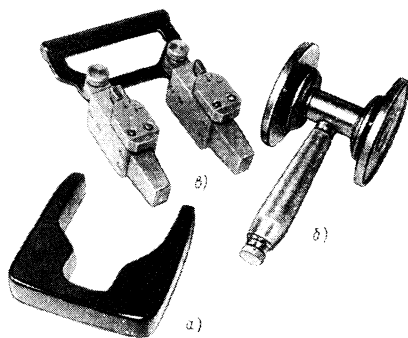


Рис. 3.5. Намагничивающие устройства, выполненные на основе постоянных магнитов:

а — МЭ-1, б — МЭ-2, в — МЭ-3

3.8. Техническая характеристика некоторых магнитопорошковых дефектоскопов

Тип (исполнение)	Максимальная сила тока намагничивания, А	Мощность, кВт	Прочие параметры ¹	Габаритные размеры, мм	Объект контроля
ПМД-70 (переносной)	1000	0,25	Диаметр соленоида 88, расстояние между полюсами электромагнита 75	660×500× ×260	Детали машин без их разборки
МД-50П (передвижной)	5000	2,5	Площадь намагничивающего кабеля 4, 10 и 50	1100×780× ×620	Крупные детали и узлы без разборки механизмов
УМДЭ-2500 (универсальный)	4000	20	То же	1800×1500× ×800	Детали длиной менее 900 мм, диаметром до 870 мм
У-604-8	10000 (однополупериодный) 7500 (переменный)	40	Диаметр соленоида 110 и 220, площадь намагничивающего кабеля 70, наибольшее расстояние между полюсами 1725	2800×950× ×1775	Крупногабаритные детали
У-601-64 (передвижной)	3200	16	Наибольшее расстояние между полюсами 680	1120×775× ×1130	Детали машин
ПМ-3М	3200	9	Наибольшее расстояние между полюсами 680	640×330× ×210	Детали, контроль которых выполняется в полевых условиях
МАГЭКС (переносной): 1	—	6...10*	Межполюсное расстояние — 85, эффективная зона намагничивания 85×85, масса 1 (намагничивание по участкам)	120×120× ×25	Детали средних размеров, участки крупногабаритных изделий
2	—	4...7*	Межполюсное расстояние 80, эффективная зона намагничивания 80×80, масса 1,6 (непрерывное намагничивание)	210×210× ×95	Протяженные участки металлоконструкций, обечайки, стыковые сварные соединения
3	—	0...20*	Межполюсное расстояние регулируется 0...100, масса 1,5	190×130× ×60	Детали сложной геометрической формы, участки длиной любых габаритных размеров

* Максимальная напряженность магнитного поля в центре воздушного зазора между полюсами, кА/м.

¹ Размеры, мм; площади, мм²; масса, кг.

35 × 140 мм, а нижняя — для импульсной с размером кадра 70 × 120 мм.

В дефектоскопе МД-40Г осуществляется воспроизводство магнитограмм на электрохимической бумаге и аналоговая запись сигналов, полученных от преобразователей. Принцип действия дефектоскопа основан на построении считывании с магнитной ленты полей, зафиксированных в процессе контроля, с последующей обработкой и частотной селекцией сигналов. Для магнитографического контроля применяют различные магнитные ленты (МК-1,

МК-2, МКУ, Агфа и др.), отличающиеся магнитными свойствами, размерами и пр.

Дефектоскопы, у которых в качестве входного преобразователя используются индукционные и феррозондовые преобразователи, находят применение для автоматизированного контроля качества изделий из ферромагнитных материалов. Так, индукционный дефектоскоп типа ДИТ-1К предназначен для проверки труб диаметром 20...102 мм при скорости движения менее 4 м/с. Максимальная толщина стенки контролируемой трубы 6 мм. Особен-

ностью дефектоскопа является использование бесконтактной поперечной системы намагничивания. Прибор обнаруживает поверхностные дефекты глубиной более 0,22 мм, а также подповерхностные дефекты труб.

Для контроля качества холоднотянутых и холоднотянутых труб диаметром 20...102 мм предназначен индукционный дефектоскоп ДК-1М, а для контроля холоднотянутых полос — дефектоскоп МД-90И. На основе феррозондовых преобразователей созданы установки УФКТ-1М и МД-10Ф для контроля качества ферромагнитных изделий. С их помощью выявляются трещины, волосовины, раковины в стенках труб. Феррозондовый дефектоскоп типа МД-10Ф предназначен для контроля качества бесшовных труб диаметром 20...146 мм с толщиной стенки менее 12 мм. В дефектоскопе имеются восемь вращающихся вокруг трубы феррозондовых преобразователей, сигналы которых, пропорциональные изменению магнитного поля дефектов, обрабатываются и регистрируются восьмиканальной аппаратурой с осциллографическим индикатором и блоком автоматики. Дефектоскоп управляет работой устройства сортировки труб.

Для полуавтоматического контроля качества поверхности и сварных соединений толстолистовых ферромагнитных изделий разработаны феррозондовые установки "Радан-1М" и "Магнетон-2М". Ряд феррозондовых магнитных дефектоскопов предназначен для контроля качества рельс, уложенных в пути. Работа дефектоскопов типа МРД-52, МРД-66, МРД-72 основана на намагничивании в продольном направлении постоянным магнитом контролируемого участка рельса и считывании феррозондом поля дефекта. Магнитный контроль применяется для обнаружения поверхностных дефектов наплавленного слоя.

Вихретоковые дефектоскопы используют для контроля поверхности электропроводящих материалов путем возбуждения в них вихревых токов и регистрации изменения их полей дефектами. Так выявляют поверхностные и подповерхностные дефекты в сварных соединениях, измеряют геометрические размеры, определяют электрические и магнитные характеристики материалов. В дефектоскопах, как правило, реализованы амплитудно-фазовый и амплитудно-частотный способы контроля. Преобразователи дефектоскопов выполняются проходными или накладными, в зависимости от формы изделия контроля (листы, прутки, трубы, проволока и др.). Известны вихретоковые дефектоскопы ВД-40Н, ВД-43Н, ЭДМ-65, ВД-30НД, ДНМ, ППД-1М, ВД-20НСТ, ВД-87НД, ВИЭТ-11Д, ВД-87НСТ и др. Чувствительность ферромагнитных материалов этих приборов позволяет выявлять дефекты с глубиной 0,1 мм и протяженностью 0,5 мм.

Вихретоковый метод можно применять также и для поиска поверхностных дефектов в наплавленном слое изделий.

Контроль герметичности. Контроль герметичности сварных соединений осуществляется с помощью течеискателей и различного рода вакуумного и пневматического оборудования: вакуумных насосов, компрессоров, газовых баллонов, редукторов, баков, вакуумных камер, манометров, вакуумметров и т. д. [12]. Большое распространение получили газоаналитические течеискатели, избирательно регистрирующие утечки или натекания того или иного пробного газа (гелия, фреона, метана, водорода, закиси азота и т. д.) [10].

Масс-спектрометрические гелиевые течеискатели ПТИ-10, СТИ-11, ТИ1-14, ТИ1-15 обладают наибольшей чувствительностью и применяются в электронной технике, авиации и космонавтике, атомной и тепловой энергетике и пр. Галогенные, электронно-захватные, плазменные течеискатели ГТИ-6, БГТИ-7, 13ТЭ-9-001, ПТ-2 позволяют обнаружить утечки электроотрицательных газов (хладонов, эль-газов и др.).

Наиболее простым и объективным методом контроля герметичности является пузырьковый. При этом в изделие создается избыточное давление газа, изделие погружается в жидкостную ванну или на контролируемые участки наносится пленка пенообразующего раствора. Появление пузырьков свидетельствует о наличии утечек. Сварные швы листовых незамкнутых конструкций проверяются на герметичность с помощью накладных вакуумных камер и вакуумных насосов.

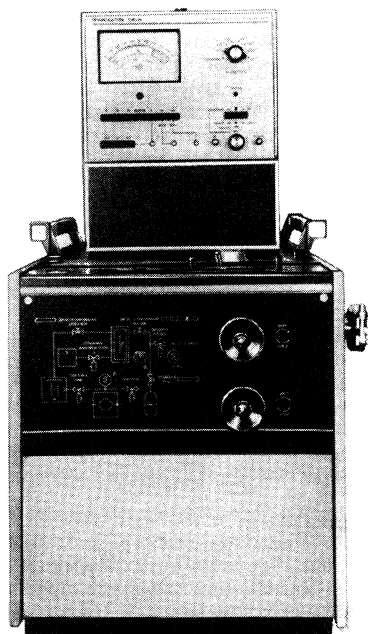


Рис. 3.6. Гелиевый масс-спектрометрический течеискатель ТИ1-14

3.9. Техническая характеристика теченскаателей

Тип	Принцип действия	Пробный газ	Порог чувствительности, $\text{м}^3 \cdot \text{Па/с}$	Потребляемая мощность, В · А	Напряжение, В	Масса, кг	Габаритные размеры, мм
ПТИ-10	Масс-спектрометрический	Гелий	$5 \cdot 10^{-13}$	1000	380	215	1470×675×620
СТИ-11			$5 \cdot 10^{-15}$	1100		260	1245×700×1325
ТИ1-14			$7 \cdot 10^{-13}$	750		75 20	400×670×470 270×325×340
ГТИ-6	Галогенный	Хладон и галогеносодержащий	10^{-7} 10^{-9}	75	220	10	360×160×200
БГТИ-7			$5 \cdot 10^{-7}$	40	12	9	90×305×330
ВТЭ-9-001	Электронно-захватный		$7 \cdot 10^{-10}$	20	220	4	295×255×125
ТП-2	Плазменный		10^{-9}	10	220	3,5	280×100×270
ТП-7101М	Катарометрический	Гелий, водород и др.	$2 \cdot 10^{-6}$	20	12	4	210×260×210
БРИГ-103	Манометрический	Любой	$5 \cdot 10^{-4}$	140	220	20	730×370×550
ПТ-12Д	Акустический	»	10^{-2}	1	9	2	110×110×130

Гелиевый масс-спектрометрический теченскаатель ТИ1-14 показан на рис. 3.6. Техническая характеристика теченскаателей представлена в табл. 3.9.

Капиллярный контроль. Капиллярные дефектоскопы представляют собой совокупность приборов и вспомогательных средств, которыми с помощью набора дефектоскопических материалов осуществляют технологический процесс контроля сварных соединений, наплавки или поверхности металла. Аппаратура капиллярного контроля строится, как правило, в виде агрегатных комплексов средств, взаимосвязанных по функциональному назначению, конструкции, параметрам [1]. Для капиллярной дефектоскопии могут использоваться источники ультрафиолетового излучения, портативные дефектоскопические комплекты, стационарные лабораторные и цеховые установки, а также механизированные дефектоскопические линии массовых производств.

Стационарная установка КД-20Л предназначена для облучения ультрафиолетовым светом изделий, обработанных люминесцентными материалами, при массовом производстве. Передвижная установка КД-21Л предназначена для контроля швов и поверхности крупногабаритных изделий по участкам. Отличительными особенностями установки являются возможность широкой переориентировки потока

ультрафиолетового излучения и отсутствие теплового воздействия источника на оператора. Аэрозольный комплект многократного пользования КД-40ЛЦ предназначен для выполнения контроля в полевых, цеховых и лабораторных условиях, а также для повторного заполнения аэрозольных баллонов дефектоскопическими материалами. Аэрозольные баллоны кроме дефектоскопического материала содержат сжиженный газ пропелент. Он служит для создания давления в баллоне и распыления материала. При нормальном давлении пропелент испаряется и дробит дефектоскопический материал на мельчайшие частицы.

Для осмотра сварных швов в процессе контроля предусмотрен переносной ультрафиолетовый облучатель КД-33Л.

Ультразвуковые, радиоволновые, магнитные и вихретоковые толщиномеры. Для измерения толщин стенок труб, резервуаров, корпусов судов и других видов металлоконструкций широкое распространение получили ультразвуковые толщиномеры. В табл. 3.10 показана техническая характеристика ультразвуковых толщиномеров с диапазоном измерений 0,25...1000 мм. Погрешность измерений зависит от толщин и составляет ориентировочно: (0,5...10) $\pm 0,02$; (10...20) $\pm 0,03$; (20...50) $\pm 0,05$ мм. Толщиномеры снабжены блоками памяти, которые могут сохранять до 1800 результатов измерений. Через блок интерфейса они могут подключать-

3.10. Техническая характеристика ультразвуковых толщиномеров

Параметры	УТ-93П	УТ-96	УТ-97	УТ-98	УТ-99	ЭМАТ-1
Диапазон измерений, мм	0,6...1000	0,8...300	0,5...1000	0,5...50	0,25...15	0,7...99,99
Погрешность измерения, мм	±0,1	±0,1	±0,1 (в поддиапазоне 0,5—300 мм) ±0,001X (в поддиапазоне 100—1000 мм)	±0,05	±0,02	0,05
Время непрерывной работы от автономного источника питания, ч	300	25	300	100	100	40
Диапазон рабочих температур, °С	-10...+50	-40...+50	-10...+50	-10...+50	-10...+50	-10...+50
Масса прибора с источником питания, кг	0,45	3,5	0,5	0,5	0,5	0,7
Исполнение	Пылеводозащищенное	Взрывозащищенное, пылеводозащищенное		Пылеводозащищенное		
Характеристика контролируемой поверхности	Грубообработанная, корродированная			Грубообработанная, корродированная, гнутая, сложного профиля	Гладкая, некорродированная	Грубообработанная
Минимальный радиус кривизны контролируемой поверхности, мм	3	10	3	5	20	15
Ввод ультразвуковых колебаний	Контактный					Бесконтактный

ся к печатающему устройству или ЭВМ. Для объектов, на которые нельзя наносить контактные жидкости, разработаны электромагнитно-акустические бесконтактные толщиномеры, например, ЭМАТ-1.

Для оценки толщины и пористости диэлектрических покрытий применяют радио-волновые, магнитные и вихретоковые толщиномеры (табл. 3.11).

3.2. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

Оборудование для технической диагностики на основе акустической эмиссии (АЭ) включает: одно- и многоканальные приборы; преобразователи; вспомогательные устройства. Эти средства позволяют определять тех-

ническое состояние объекта и прогнозировать его остаточный ресурс как непрерывно, так и периодически. Как правило, результаты анализа и документирование обеспечиваются в реальном масштабе времени. Это оборудование применяется при изготовлении и эксплуатации нефте- и газопроводов, энергетических установок, транспортных средств, крупных сосудов высокого давления и пр.

Оборудование для технической диагностики на основе акустической эмиссии классифицируется в зависимости от назначения, канальности, габаритных размеров, условий эксплуатации. Оно позволяет определять наличие течей, развивающихся дефектов. Определение дефектных мест, оценка их по степени опасности, прогнозирование разрушающей нагрузки производится по специальным алгоритмам.

3.11. Техническая характеристика радиоволновых, магнитных, вихрековых толщиномеров

Параметры	СД-10АМ	ИМПОК-1А	МТ41НЦ	ЭХО-300/001	АГАТ-2	И-522-87
Принцип	Радиоволновой	Магнитный, феррозондовый	Вихре-токовый	Ультразвуковой	Радиационный	Потенциальный
Пределы измерений, мм	0,1...10	0,15...10	0,02...20	10...300	2...20	-
Рабочая частота	33 ГГц	1 Гц	400 Гц	10 кГц	Ат-241	
Порог чувствительности, мм	0,09	0,15	0,02	0,2	0,3	5,0...300 Å
Площадь минимального отражателя, см ²	0,8	1,5	0,02	10	120	140
Разрешающая способность, мм	9	5	1	50	100	70
Производительность контроля, м/с	0,3	5	0,2	0,01	0,1	0,1
Зазор между преобразователями, мм	Менее 5	Менее 50	0	10...300	0,5	0
Свойства покрытия	Диэлектрик	Ферромагнетик	Диэлектрик	Газ	Плотность, не более 20 г/см ³	Адсорбированные загрязнения, тонкие оксидные пленки
Свойства изделия	Металл		Электропроводность	Жидкость, твердое тело	Двухслойная структура	Металл
Масса, кг:						
преобразователя	0,8	0,1	0,1	0,1	1,0	0,8
электронного блока	6,0	25	1,5	8	4,5	—

Обычно число каналов системы (8, 16, 32, 48...256 и т. д., наращиваемые до необходимого числа) зависит от сложности задачи.

Различают переносные и лабораторные установки, а также установки специального назначения для эксплуатации в воде и других средах. Суммарная электрическая мощность (0,5...40 кВт) зависит от размеров и канальности АЭ-блоков и используемых ЭВМ. Широко распространен одноканальный индикатор течей 5110 фирмы РАС (США) и двухканальный 5120.

Четырехканальный АЭ-прибор "Defectofon NEZ-220" (Венгрия) управляется с помощью микропроцессора Z-80. Режимы работы и измерений производятся по значениям выходных сигналов логарифмических усилителей. Обработанные результаты измерений микропроцессор передает на выходные блоки: управ-

ляет цифровым индикатором, находящимся на передней панели, световыми диодами, звуковой сигнализацией, записью данных в память, а также пересылает данные на внешнюю ЭВМ. В случае сбоя в работе можно проверить управляющую программу в Z-80 путем замены ее специальной поверочной программой. Прибор комплектуется четырьмя АЭ-датчиками производства ИЭС им. Е. О. Патона. В связи с относительно высокой стоимостью разработки и изготовления АЭ многоканальных систем одним из основных требований к ним является универсальность. Поэтому основное аппаратное и программное ядро системы должно быть инвариантно относительно решаемых задач, а наиболее совершенные ее модификации должны обеспечивать диагностику и прогнозирование несущей способности конструкции с автоматическим при-

нятием решения в реальном масштабе времени.

Одним из основных технических требований к универсальной многоканальной системе является требование применимости состава оборудования. Это означает, что форматы сообщений, аппаратура сопряжения устройств и логика управления ими, а также конструктивные характеристики системы должны быть такими, чтобы присоединение нового устройства к данной системе не вызывало никаких изменений кроме изменений в программном обеспечении. Таким образом, можно расширять и модернизировать систему по мере выявления новых требований или разработки новых более совершенных устройств, тем самым предотвращая ее нормальное старение.

Одним из примеров подобного решения является многоканальная система АФ-33, построенная по модульному принципу. Модуль состоит из восьми групп (по четыре канала каждая). При необходимости контроля крупных объектов к одной ЭВМ подключается требуемое число модулей, ограничение связано только с емкостью оперативной памяти ЭВМ. В зависимости от размеров контролируемого изделия система АФ-33 может содержать 4 — 384 каналов.

В ИЭС им. Е. О. Патона разработана АЭ-система ИИСТД-1 для измерения и оценки параметров акустической эмиссии, возникающей при деформировании материала и предшествующей их разрушению. Система обеспечивает: вычисление местоположения источников АЭ; определение диагностических, энергетических и статистических характеристик процессов АЭ из разных источников; оперативное отображение и документирование информации. Информация поступает по 48 каналам. При нагружении испытываемой конструкции возникающие в зоне контроля всплески АЭ преобразуются в электрические сигналы, усиливаются, селективируются и поступают в устройства измерения относительных задержек прихода волны. Одновременно измеряется амплитуда и энергия приходящего сигнала. Полученная информация формируется в сообщении, передаваемое в ЦВМ через устройство связи системы. Рассчитывается место всплески АЭ, уточняется влияние амплитуды и энергии всплески, локализуется зона эмиссии. В каждой из локализованных зон эмиссии фиксируются интенсивность последней и количество всплесков АЭ.

В процессе испытаний информация о состоянии объекта может индицироваться на видеоконтрольном устройстве и распечатываться в виде таблиц и графиков. Математическое обеспечение системы включает программы: диспетчера, рабочие и ввода информации. В системе предусмотрен аппаратный и про-

граммно-тестовый контроль проверки ее работоспособности.

3.3. ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ

— Развитие неразрушающих методов контроля тесно связано с научно-техническим прогрессом сварки и материаловедения. Пока нельзя обеспечить гарантированное качество ответственных сооружений и сварных конструкций без использования средств неразрушающего контроля. Совершенствование средств неразрушающего контроля происходит в соответствии с достижениями в области электроники, приборостроения, вычислительной техники. Новые возможности в дефектоскопии открываются с разработкой различных компьютеризированных систем. С помощью ЭВМ обрабатываются большие объемы информации и обеспечивается высокая достоверность результатов исследований, визуализируются дефектные зоны.

— Для многих технологий свойственны дефекты с малым раскрытием (оксидные пленки, слипания, структурные пятна), выявление которых внутри соединения требует сложных методик, характеризующихся повышенной чувствительностью, большим числом измерений и особыми алгоритмами обработки информации. При этом производится запись информации на уровне структурных шумов материала и выбор браковочных порогов, адаптированных к структуре, что можно выполнить только с использованием вычислительной техники.

— Распространение в промышленности изделий из композитных материалов, керамики и пластмасс потребует разработки низкочастотных и особовысокочастотных ультразвуковых дефектоскопов, акустических микроскопов, распространения микрофокусных аппаратов и на их основе рентгеновских микроскопов. Новые возможности открываются с созданием специальных волоконно-оптических преобразователей.

— В области наплавки и защитных покрытий возможно создание систем, измеряющих толщину слоя, его адгезию, пористость, твердость, шероховатость, химический состав, наличие внутренних дефектов и статистическое представление результатов исследований.

— Дальнейшее развитие получают комплексные системы неразрушающего контроля в технической диагностике ответственных сварных объектов, с повторяющимися отдельными видами неразрушающих испытаний. Приближаются по значимости ультразвуковые и радиационные виды неразрушающего контроля. В области радиационной техники найдут распространение промышленные вычислительные и аналоговые томографы, которые по-

звolyт послойно исследовать объекты переменной плотности, найдут широкое распространение высокочастотные и импульсные рентгеновские аппараты, малогабаритные рентгеновские трубки из порошкового материала. Для массовых металлоконструкций просвечивание будет производиться преимущественно с помощью рентгентелевизионных систем с автоматическим анализом и накоплением результатов контроля. В радиографии получат применение малосеребряные детекторы, электрорентгенография с использованием детекторов на гибкой основе.

— Для электронных плат, для исследования керамики найдут применение рентгентелевизионные микроскопы с использованием микрофокусных аппаратов, электронно-оптических преобразователей, волоконной оптики.

— Большие возможности открыты для ультразвукового контроля при использовании компьютерных систем, позволяющих анализировать результаты всех исследований, обеспечивать визуализацию дефектов в трех ракурсах, объединять результаты различных видов прозвучивания, различных алгоритмов обработки информации. Качественно новая информация, получаемая от подобных систем, изменит подходы к понятиям допустимости дефектов, эталонирования и стандартизации. Ультразвуковые преобразователи с регулируемой диаграммой направленности, принудительным удержанием магнитной контактной жидкости, бесконтактные магнитоакустические и высокочастотные дефектоскопы позволят создать новые методы акустических испытаний. Новые возможности открываются с использованием акустических микроскопов, работающих на диапазоне частот 20...100 МГц. Ультразвуковые твердомеры и толщиномеры должны иметь запоминающие устройства и другие средства автоматизации исследований.

— При магнитном контроле целесообразно применение портативных самарий-кобальтовых намагничивающих устройств, экологически безопасных суспензий. Намагничивающие устройства на основе высококоэрцитивных постоянных магнитов обеспечивают контроль во всех пространственных положениях, с плавной регулировкой напряженности магнитного поля. Для экологически чистого и быстрого магнитного контроля эффективно применение магнитных линз, аппликаторов, малогабаритных ультрафиолетовых излучателей и др.

— Новые пробные материалы с высокой проникающей способностью и выявляемостью дефектов без применения опасных для человека веществ создаются для контроля проникающими веществами. В области течеискания найдут применение разногазовые масс-

спектрометрические течеискатели, потокометрические течеискатели. Получат применение экологически чистые и пожаробезопасные наборы для капиллярной дефектоскопии в аэрозольной упаковке. Пожаробезопасной будет и керосиновая проба, распространенная в сварочном производстве. Вихретоковый, тепловой, электропотенциальный, термоакустический, магнитооптический методы контроля получат свое развитие с применением компьютеризированных систем, расширяющих технологические возможности каждого из этих методов.

— Создание теоретических основ и средств технической диагностики является сравнительно новой отраслью научных и прикладных исследований и оно развивается на базе последних достижений в области физики металлов, их прочности, электроники, вычислительных машин и математики.

— Развитие и внедрение современных приборов и систем АЭ-диагностики, в первую очередь, зависит от решения расчетных и экспериментальных задач по расшифровке акустико-эмиссионных механизмов, что обеспечивает метрологическую аттестацию АЭ-техники и достаточную достоверность результатов контроля.

— Одна из важных проблем — разработка методических рекомендаций и нормативно-технической документации с учетом специфики производства, условий эксплуатации и типов контролируемых конструкций. Особое место занимает создание методик прогнозирования разрушения сварных конструкций.

— В дальнейшем ожидается расширение масштабов применимости средств технической диагностики, создание малогабаритных приборов и мобильных транспортируемых систем, предназначенных для периодического, разового и непрерывного контроля. При этом основное внимание целесообразно уделить повышению их надежности, снижению энергоемкости и стоимости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боровиков А. С., Прохоренко П. П., Дежкунов Н. В. Физические основы и средства капиллярной дефектоскопии. Минск: Наука и техника, 1983. 216 с.
2. Вавилов С. П. Импульсная рентгеновская техника. М.: Энергия, 1981. 120 с.
3. Выборнов Б. И. Ультразвуковая дефектоскопия. М.: Металлургия, 1985. 256 с.
4. Дорофеев А. Л., Казаманов Ю. Г. Электромагнитная дефектоскопия. М.: Машиностроение, 1980. 230 с.
5. Иванов В. И., Белов В. М. Акустикоэмиссионный контроль сварки и сварных соединений. М.: Машиностроение, 1981. 184 с.

6. Пасси С. Х., Чегоринская О. Н., Шумига Л. Н. Информация об основных средствах ультразвукового неразрушающего контроля серийного производства / Дефектоскопия. 1984. № 8. С. 79—95.
7. Козлов В. С. Техника магнитографической дефектоскопии. Минск: Вышэйш. школа, 1976. 256 с.
8. **Неразрушающий** контроль качества сварных конструкций / В. А. Троицкий, В. П. Радько, В. Г. Демидко, В. Т. Бобров. Киев: Техніка, 1986. 159 с.
9. **Неразрушающий** контроль рельсов при их эксплуатации и ремонте / А. К. Гурвич, Б. П. Довнар, В. Б. Козлов и др. М.: Транспорт, 1983. 318 с.
10. **Приборы** для неразрушающего контроля материалов и изделий / Под ред. В. В. Ключева. М.: Машиностроение, 1986. 488 с.
11. **Рентгенотехника**. Т. 2/ Под ред. В. В. Ключева. М.: Машиностроение, 1980. 431 с.
12. **Справочник** по оборудованию для дефектоскопии сварных швов / В. А. Троицкий, А. С. Боровиков, В. С. Радько и др. Киев: Техніка, 1987. 126 с.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

А

Автомат для дуговой сварки и наплавки без внешней защиты дуги и под флюсом плавящимся электродом 68

— в защитных газах плавящимся электродом 68

Автомат подвесной 68

— для сварки трехфазной дугой 66

Автоматизация комплексная 32

— основных работ при дуговой сварке 66

— сборки под сварку 145

— сварочного процесса — Задачи 17

— технологических операций дуговой сварки 28

— установок для электронно-лучевой сварки 360

— частичная 39

Автоматизированная система управления производством АСУП 45

— процессом электрошлаковой сварки 162

Автоматы сварочные — Классификация 67—69

— для электрошлаковой сварки и наплавки 153—156

Адаптация геометрическая 118

— комбинированная 135

— начальная 136

— сварочных роботов 136

— текущая 136

— технологическая 118

Анализ сварочных процессов 15

Аппарат для автоматической вибродуговой наплавки 74

— дуговой сварки 66

— электрошлаковой сварки и наплавки 152

Аппарат для дуговой сварки с принудительным формированием шва 77

— для механизированной дуговой сварки 64

— для механизированной электрошлаковой сварки 151

— для микроплазменной сварки 376

Аппарат рентгеновский — Характеристика 466

— импульсный 467

— специализированный 467

Аппаратура капиллярного контроля 476

— контроля и управления сварочным оборудованием — Функции 140

— электронно-лучевая для работы в космосе 392

Ацетилен — Снабжение рабочих постов 282

Б

Баллоны для газа 279

Бетатрон 468

Блок графитовый для пайки 452

— микропроцессорный 473

— плазменного напыления 427

— управления 439

Блюминг одноклетевой двухвалковый реверсивный 258

В

Вакуум динамический 427

Ванна соляная для пайки погружением 452

Вентиль баллонный 280

Видеоэксенсор 138

Возмущения процесса сварки 14

Вращатель 81

— горизонтальный 81, 130

— двухпозиционный с программным управлением 128

Вращатель универсальный 81, 127

— программно-управляемый 127

Выпрямитель 403

Выпрямитель многопостовой 60

— для механизированной сварки 60

— для ручной сварки с регулированием силы тока балластным реостатом 60

- с тиристорным регулированием 60

Выпрямитель однопостовой 56

- для механизированной сварки 56
- для ручной дуговой сварки 56
- универсальный инверторный 58
- тиристорный 58

Г

Газопитание комбинированное 281

- сварочных постов 280

Газопровод 287 — Определение длины 289

Газорегулирование 421

Газоснабжение цехов (участков) 282

Газы-заменители — Снабжение рабочих постов 283

Гамма-дефектоскоп 467

Генератор ацетиленовый 289

- высокой частоты 415
- ламповый индукционной пайки 456
- электролизно-водный 292

Гибкая производственная система для дуговой сварки 146

Гибкий автоматизированный участок 214

Головка распылительная закрытая 425

- открытая 425

Головка сварочная для контактной сварки труб 387

- малогабаритная 387

Гомограф 473

Горелка 301

- для газопорошковой наплавки 303
- многопламенная при газопрессовой сварке 254

Горелка ручная безынжекторная 302

- инжекторная 302

Горелка сверхзвуковая камерного типа 425

- сварочная 301

Горелка специализированная 301

- для пайки, нагрева и поверхностной очистки 303

Горелка универсальная 301

Горн 256

Д

Детектор 467

Дефектоскоп 469

- вихретоковый 475
- импульсный ультразвуковой 469
- индукционный 474

- магнитопорошковый 473

- ультразвуковой 469

- феррозондовый 475

- с электромеханическим приводом 466

Дефектоскопия сварных соединений 465

Диагностика 477

Диагностирование высоковольтного источника питания 362

Диэлектрик жидкий 333

Дозатор порошка 303, 429

З

Задачи геометрической адаптации (см. корректировка программы перемещения)

- оптимального проектирования 25

Зажатие электрода при резке 402

Зажимное устройство стыковой машины 191

Зажимной механизм машин для сварки трением 233

Зарядное устройство в установке для ударной конденсаторной сварки 378

Затвор постовой 295

- центральный 295

Зачистка горячего проката 318

- мест сварки и швов 392

Защита электронная электродов 417

Защитные приспособления 63

Звенья с вращательным движением 119

- с прямолинейным перемещением 119

И

Игла-пуансон 236

Излучение инфракрасное 460

- лазерное 459

Измерение параметров автоматическое 31

- результирующих отклонений 118

- соединения — Триангуляционный метод 137

Измеритель силы сварочного тока 222

- усилия зажатия 225

Изолятор высоковольтный сварочной пушки 331

Имплантация ионная 441

Индикатор течей 478

Индуктор 458

Инструмент нагревательный 320

- для резки 320
- сварочный для роботизированной точечной сварки 208
- сварщика 61

- Интеграция** однородных операций 36
- операций — Оценка эффективности 37
 - с параллельным выполнением элементов операций 36
 - с последовательно-параллельным выполнением операций 37
 - производственного процесса 36
 - разнородных операций 36

Интенсивность нагрева при индукционной пайке 458

Интроскоп — Характеристика 468

- радиационный 468

Испаритель многотигельный 432

- электронно-лучевой 438

Испытание сварочного оборудования — Классификация 47

- Методы 48—50

Испытания гидравлические 48

- пневматические 48
- стендовые источников питания 48

Источник нагрева 13

Источник питания — Классификация 54 — Режимы работы 55

- при воздушно-дуговой резке 403
- при воздушно-дуговой сварке 404
- при дуговой конденсаторной сварке 384
- при дуговой наплавке 54
- при дуговой сварке 13, 54
- при дуговой термической резке 54
- при контактной сварке 388
- контактной стыковой машины 188
- при плазменном напылении 426
- плазмотрона 370
- при сварке контактными плавлением 388
- сварочного поста 281
- ультразвукового преобразователя 239
- установки для дуговой конденсаторной сварки 384
- электронной пушки 335
- при электронно-лучевой сварке 362
- при электрошлаковой сварке 149

К

Камера вакуумная 434

- взрывная 267 — Расчет на прочность 268
- напыления 427
- для пайки в тлеющем разряде 459
- предварительного сжигания газа 422

Камера сварочная вакуумная 341

- прямоугольная 342

- специализированная 341
- трубчатая 269
- универсальная 341
- цилиндрическая 342

Кантователь двухстоечный 81

- цепной 81

Катод газоразрядный сварочной пушки 334

Клапан обратный 296

- постовой 296

Классы оборудования для сварки 33

Клещи — Типы 208

- со встроенным трансформатором 208

Колонна сварочная 83

Комплекс автоматизированный лазерный технологический АЛТК 396

- автономный для точечной сварки 213
- детонационный 430
- с клещами одного типа 214
- для контактной сварки 213
- плазменного напыления 427
- робототехнологический для дуговой сварки 141
- для стыковой сварки 198
- для точечной шовной и рельефной сварки 184
- для электронно-лучевой сварки 341

Комплексная механизация и автоматизация сборочно-сварочных работ 32

- сварочного производства 31

Комплексно-автоматизированное производство — Понятие 53

Комплект модулей 27, 124

Контактор тиристорный 219

Контроллер сварочного оборудования 141

- программируемый 210
- свободно программируемый 141

Контроль взрывом 472

- геометрических параметров электронного пучка 361
- герметичности 475
- импульсный 469
- капиллярный 476
- кольцевых швов 472
- магнитный и вихрековый 473
- магнитографический 474
- магнитопорошковый 473
- основных параметров контактной сварки 222
- параметров процесса ЭШС 161
- положения фокуса электронного пучка 363

- за процессом электронно-лучевой сварки 360
- пузырьковый 475
- радиационный 465
- сварных соединений, полученных контактной сваркой 222
- сварочного зазора 160
- теневой 471

Контроль ультразвуковой 469

- наплавки 472

Корректировка программ перемещений 133**Коэффициент готовности установки 40**

- относительного увеличения производительности 41
- простоя установки 40
- увеличения производительности 37

Л**Лазер — Требования 396**

- технологический ТЛ 396

Лампа дуговая ксеноновая 455

- кварцевая трубчатая для пайки 460

Легирование поверхностей лазерное 440

- электроискровое 438

Линия автоматическая для резки 321

- поточная 321
- термической листов 322

Линия комплексно-механизированная 322

- роботизированная 214
- сборки—сварки автомобиля 215
- технологическая — Транспортные средства 323
- для фасонной резки труб 323

Луч электронный сканирующий 458**М****Манипулятор 119, 346**

- двухкоординатный 127
- сварочного инструмента 125
- сварочной горелки и изделия 142
- для термокомпрессионной сварки 238
- транспортный 427

Манипулятор-расширитель 119**Маркер порошковый 312****Материалы керамические — Пайка 462**

- неметаллические тугоплавкие — Сварка 463
- полимерные — Сварка 404
- порошковые — Пайка 463

- присадочные 414

Машина для инерционной сварки 232

- конденсаторная 177

Машина для кислородной резки с линейным управлением 312

- с фотокопировальным управлением 312

Машина контактная 166, 186 — Классификация 167 — Обозначение 166 — Пневматическая схема 174

- однофазная 168
- с пневмоприводом 167
- для сварки оплавлением 187
- для сварки сопротивлением 188
- для стыковой сварки 186
- для точечной, шовной и рельефной сварки 166
- трехфазная 169

Машина многоэлектродная 184**Машина плазменная портального типа 374****Машина переносная 315****Машина подвесная — Параметры 173****Машина-полуавтомат с гидроприводом — Характеристика 264****Машина портальная для кислородной резки 309****Машина рельефная — Параметры 172****Машина для сварки тавровых соединений 265****Машина для сварки трением — Классификация 231 — Требования 230 — универсальная и специализированная 233****Машина специальная для точечной шовной и рельефной сварки 184****Машина стационарная для резки 306****Машина стыковая — Основные узлы 191 — Типы 193**

- для сварки инструмента — Характеристика 197
- для сварки оплавлением — Характеристика 195
- для сварки сопротивлением — Характеристика 194
- специализированная — Характеристика 196
- для холодной сварки 264

Машина для сварки точечной 259 — Нагрузочная характеристика 174 — Характеристика 262

- низкочастотная 76
- переменного тока 176 — Параметры 171
- подвесная 179
- постоянного тока 177 — Параметры 172

Машина шарнирная 314
— для резки 306

Машина шовная 181 — Параметры 173 — Характеристика 263

Металлизатор электродуговой 424

Металлизация электродуговая 421

Метод вихретоковый 475
— пузырьковый 475

Методы обучения роботов и их комплексов 131
— программирования манипуляционных систем 131
— текущей адаптации 134
— установочной (начальной) адаптации 134
— эксплуатации сварочного оборудования 42

Механизация комплексная 32
— основных работ дуговой сварки 30

Механизированное производство — Понятие 53

Механизированные и автоматические линии — Классификация 99

Механизм переносных перемещений рабочего органа 120

Механизм подачи корпусов к месту сварки 237
— и отрезки проволоки 237
— присадочных материалов 346
— сварочной проволоки 139

Механизм подающий 386

Механизм сближения стыковой машины 19

Механизм создания контактной силы для термокомпрессионной сварки 236

Механизм соударения сварочной головки при ударной конденсаторной сварке 380

Механизмы робота — Требования 126

Микропроцессор системы управления 19

Микропроцессорные системы локального управления 361

Микросварка конденсаторная 247
— контактная 247

Микротрон 467

Модель сварочного процесса 16
— детерминированная 16
— статистическая 16
— стохастическая 16

Модифицирование поверхностей 440
— лазерное 440
— электронно-лучевое 443

Модули машин для резки прибылей, слитков и скрапа 318

Модуль-автомат напыления 427

Модуль вакуумный 437
— гибкий автоматизированный 324
— лучистого нагрева 399, 455
— производственный для точечной сварки 213

Молот ковочный паровоздушный 256
— пневматический 256

Н

Нагрев газовой струи 419
— газовым пламенем 461
— индукционный 458
— экзотермический 461
— в электролите 447

Нагреватель высокотемпературный 448
— карборундовый 448
— силитовый 448
— универсальный 404

Надежность оборудования — Повышение уровня 40 — Статистическая информация 43

Намагничивание контролируемых сварных швов 473

Нанесение покрытий 11 — Классификация 419
— антикоррозионных 423
— ионной бомбардировкой 436
— магнетронное 436
— термоионное 438
— термическое 438
— электронно-лучевое 430

Наплавка — Требования 11
— дуговая — Общие сведения 52
— лазерная 395
— плазменная 372
— электронно-лучевая 327
— электрошлаковая — Общие сведения 148

Напыление плазменно-дуговое 427

Неповоротный стол 61

О

Оборудование вспомогательное для механизированных работ 320
— для производства ацетилена 321
— для резки 320
— для ручных работ 320
— для стыковой сварки 197
— для точечной, шовной и рельефной сварки 166

Оборудование для газопитания рабочих постов 278

- загрузочно-разгрузочное 206
- для зачистки горячего проката 318
- для контроля (см. по видам контроля)
- общего назначения 306
- для нанесения покрытий (см. по видам процессов)

Оборудование для пайки (см. по видам пайки)

- неметаллических материалов (см. по материалам)

Оборудование периферийное для контактной сварки 206

- для резки (см. по видам резки)

Оборудование для сварки (см. по видам сварки)

- Классификация 53 — Показатели 12
- механическое 80

Оборудование для технической диагностики (см. диагностика)**Оборудование физико-химическое** 461**Оборудование для электронно-лучевой сварки** — Классификация 328**Оборудование электротермическое ЭТО** 444

- дуговое 444
- индукционное 444
- ионное 444
- лазерное 444
- сопротивления 444
- электронно-лучевое 444

Огнепреградитель 294

- баллонный 294
- высокого давления 294
- сетевой 294

Оснастка режущая кислородная 325**Откачка безмасляная** 343

- в высоком вакууме 343
- дифференциальная 343

Отражатель 455

- металлический короткофокусный 399

Отрезка прибылей 318

- труб в поточном производстве 318

Охлаждение горелки 140**Очистка сопла горелки** 140**П****Пайка** 446

- волной припоя 457
- газопламенная 464
- горячим газом 454

— дуговая 454

— индукционная 455

— инфракрасным излучением 460

— керамических материалов 463

— конденсационная 462

— лазером 459

— металлов 446 — Классификация 444

— нагретыми блоками 452

— неметаллических материалов 466

— плазменно-дуговая 455

— погружением 452

— ремонтная 455

— световым лучом 455

— в тлеющем разряде 459

— экзотермическая 461

— электронным лучом 458

— электросопротивлением 446

Параметры процесса сварки 14**Паяльник** 450

- для высокотемпературной пайки 451

Печь вакуумная 450

- колпаковая 453
- камерная 254
- карусельная 453
- элеваторная 453

Печь водородная 448

- газопламенная 448
- индукционная 448
- методическая и полуметодическая 255
- муфельная 255
- для пайки 448
- пламенная 254
- с шагающим или выдвижным подом 448
- шахтная 448

Пистолет сварочный 204**Плазмотрон** 370 — Техническая характеристика 377

— дозвуковой 426

— дуговой 426

— сверхзвуковой 426

Пламегаситель 296**Погрешности динамические** 307**Подготовка заготовок и сварочных материалов** — Повышение качества 46**Показатели оборудования эргономические** 42**Покрытие газопламенное** 424

— детонационное 428

— ионно-плазменное 435

— плазменное 426

— электронно-лучевое 430

- Полуавтомат** для дуговой сварки и наплавки в защитных газах плавящимся электродом 64
- для плазменного напыления 427
 - портативный 414
 - для сварки и наплавки без внешней защиты дуги и под флюсом плавящимся электродом 66
 - для стыковой холодной сварки — Циклограмма 259
 - шланговый для дуговой сварки — Классификация 63
- Полуклеши** 208
- Портал сварочный** 83
- Пост газообразный ацетилена** 297
- газов-заменителей 299
 - кислорода 299
- Преобразователь** вентильный 449
- дефектоскопа 478
 - для высокочастотной сварки 243
- Преобразователь тиристорный** 446, 456
- индукционной пайки 456
 - ультразвуковой 238
 - феррозондовый 475
- Прерыватель тиристорный** 218
- Пресс** 410
- гидравлический 415
 - ковочный гидравлический 258
 - пневматический 415
 - рычажный 415
 - сварочный порталный 417
 - электромеханический 415
- Привод вращения сварочных роликов** 179
- Приводы машин для сварки трением** 231
- Прикладное программное обеспечение систем управления** 211
- Принцип агрегатно-модульный** 25
- Принципы проектирования** 20
- Приспособление** для нагрева при газопрессовой сварке 254
- для резки 320
 - для сжатия при газопрессовой сварке 254
- Приспособления** 181
- защитные при ручной дуговой сварке 182
- Проволока сварочная** 386
- Программатор режимов электронно-лучевой сварки** 361
- Программирование режимов сварки** 361
- Проектирование оборудования** — Классификация 11 — Основные требования 11
- автоматизированное 22
- Производительность** поточной линии 100
- установки — Влияние числа головок 40
 - Теоретическая 40
- Производственная среда** 129
- Пульс управления** 429
- выносной 377
 - дистанционного 429
 - переносной 372
- Пучок ионный** — Получение 441
- Пушка** аксиальная 430
- плосколучевая 430
 - электронная 328
 - электронно-лучевая 394

Р

- Рабочее место** комплексно-механизированное 92
- роботизированное 97
- Рабочее место электросварщика при ручной дуговой сварке** 61
- Рабочий инструмент** для ручной дуговой сварки 61
- для термокомпрессионной сварки 236
- Рабочий орган сварочного робота** 121
- Радиография при пайке** 467
- Разметка грунтованного листа** 322
- Разряд тлеющий** 459
- Разрядник искровой** 272
- Рампа перепускная** 297
- для аргона, азота и гелия 298
 - ацетиленовая 297
 - кислородная 298
 - пропан-бутановая 297
- Разрядник-тригatron** 272
- Распыливание ионное** 438
- катодное 436
- Регистрация основных параметров** 22
- Регулирование** глубины провара 105
- сварочного тока безынерционное 376
 - уровня жидкой металлической ванны 162
- Регулятор** 219 — Статические и динамические свойства 103
- автомата для дуговой сварки 101
 - автоматический 102
- Редуктор** газовый 300
- баллонный 300
 - для инертных газов 300
 - рамповый 300
 - сетевой 299
 - специальный 300

Резак 304, 403

- с винтовым зажимом 402
- вставной 304
- клиновой 402
- с пневмозажимом 402
- для ручной разделительной резки поковок, отливок и прибылей 305
- рычажно-плунжерный 402
- специальный 304
- универсальный 304
- цанговый 402
- цилиндрический 402

Резка бескислородная 391

- взрывом 266
- воздушно-дуговая ВДР 403
- кислородная 390
- лазерная 397
- металлов в воде 391
- в металлургическом производстве 317
- механизированная 306
- при непрерывной разливке стали 318
- плазменная 373
- плазменно-дуговая 392
- подводная электропорошковая 390
- поковок и слитков 318
- прокатных и сварных балок 316
- ручная газовая 277
- термическая 306
- в тяжелом машиностроении 318
- фасонная 315
- экзотермическая 392
- электронно-лучевая 327

Ремонтопригодность сварочного оборудования 44**Рефлектор водоохлаждаемый** 460**Робот** — Классификация 204 — Угловая система координат 119 — Характеристика 205

- для дуговой сварки 117
- для контактной сварки 202 — Классификация 203
- лазерный ЛР 396
- модульный 119, 126
- промышленный 117
- сварочный 118
- специализированный 119
- универсальный 119, 123

Роботизация сварочного производства 118

- точечной контактной сварки в автомобилестроении 202

Робототехнологический комплекс для дуговой сварки 141**Рольганг подъемный** 324**Рукав для газопламенной обработки** 299

- газоразборный 298

С**Сборочно-сварочный робототехнологический комплекс** 144**Сварка** — Требования 11

- взрывом 266
- под водой сухая 391
- высокочастотная 243, 415
- газопрессовая 253
- давлением 11 — Классификация 166 — Энергоснабжение 168
- диффузионная 265

Сварка дуговая 52, 138 — Общие сведения 52

- роботизированная 138
- управляемая магнитным полем 240

Сварка инфракрасным излучением 417**Сварка контактная** 202

- стыковая — Вспомогательное оборудование 197 — Классификация 187
- точечная роботизированная 207

Сварка контактным оплавлением 385

- кузнечная 254
- лазерная 395
- магнитно-импульсная 271
- мокрая механизированная 390
- нагретым газом 404

Сварка в космосе — Требования к оборудованию 392**Сварка нагретым инструментом** 405

- ленточная 411

Сварка однопроводная несколькими головками —**Повышение производительности** 38**Сварка плавлением** 11

- без плавления 11
- плазменная 370
- прессовая дуговая 240
- прокаткой 256
- раструбовая 405
- световым лучом 399
- специальная 230
- стыковая 186 — Классификация 187 — Характеристика 264
- тавровых соединений 263
- термитная 399
- термоимпульсная 409
- термокомпрессионная 236
- точечная 261 — Характеристика оборудования 262

- трением 230
- трением вращения 414
- ультразвуковая 238, 415
- холодная 259
- шовная 263
- экструзионная 411
- электронно-лучевая 327 — Энергетический комплекс — Электромеханический комплекс 341
- электрошлаковая — Классификация 148
- Сваркопайка** 400
- Связь** параметров процесса корреляционная 13
 - функциональная 13
- Синхронизатор механизмов зажатия машин для сварки трения** 235
- Система автоматизированного проектирования САПР** 22 — Классификация 22 — Комплекс технических средств 23 — Организационное обеспечение 24 — Прикладные программы 23 — Программное и информационное обеспечение 22 — Техническое обеспечение 23
- Система автоматического регулирования с обратной связью** 104
- Система автоматического управления модуля резки труб** 325
- Система наблюдения** термокомпрессионной сварки 238
 - электронно-лучевой сварки 346
- Система откачная** 343
- Система программного управления формированием швов** 106
- Система транспортировки и фокусировки излучения СТФИ** 397
- Система управления** децентрализованная 368
 - замкнутая 18
 - плазмотроном 372
 - промышленными роботами 131
 - разомкнутая 18
 - режимом роботизированной точечной контактной сварки 209
 - робототехнологическим комплексом 210
- Сканирующее устройство** 112
- Скорость движения ацетилена в газопроводе** 288
- Следящая система** с пневматическим датчиком 113
 - с телевизионным датчиком 111
 - с тепловым датчиком 113
 - с фотоэлектрическим датчиком 111
 - с электромагнитным датчиком 112
 - с электромеханическим датчиком 111

- с электроразрядным датчиком 111
- Следящие устройства и системы** — Классификация 108
- Смесь** термитная 400
 - экзотермическая 461
- Смещение электродов при контактной сварке** 167
- Снабжение сварочных постов кислородом** 284
- Специализация сварочного производства** 47
- Средства** геометрической адаптации при точечной контактной сварке 209
 - технологической адаптации при роботизированной точечной контактной сварке 209
- Стабилизация состава шлаковой ванны** 159
- Стан** вакуумный прокатный 259
 - горячей прокатки 258
 - толстолистовой 258
- Станок иглофрезерный** 322
- Статическая характеристика системы автоматического управления** 15
- Ствол детонационной установки** 429
- Стол** для машинной резки 320
 - поворотный пятипозиционный 350
- Структурированное освещение** 137

Т

- Такт выпуска поточной линии** 100
- Тележка-дефектоскоп** 471
- Тенденция развития** (см. по видам операций)
- Термокатод сварочной пушки** 334
- Техническое обслуживание оборудования** — Совершенствование организации 43
- Технологичность сварных конструкций** — Повышение уровня 46
- Теченскатель** 476
 - гелиевый масс-спектрометрический 476
- Толщиномер** 477
 - ультразвуковой 477
- Торцеватель** 410
- Точность** воспроизведения заданного контура 307
 - вырезаемых деталей и заготовок 307
- Трактор сварочный** 55
 - для автоматической сварки под флюсом 56
 - с плавным регулированием напряжения 150
 - для роботизированной контактной сварки — Варианты размещения 207
 - для ручной дуговой сварки 55

- со ступенчатым регулированием напряжения 150

Трансформатор упругих колебаний 415

У

Узлы унифицированные 90

Унификация и агрегатирование 25

Унификация изделий 25

- оборудования 25
- присоединительных элементов и размеров 25
- сборочных единиц 26

Унифицированные сварочные полуавтоматы 26

Управление звеньями манипуляционной системы 130

- контурное 130
- манипулятором для электронно-лучевой сварки 362

Управление параметрами процесса дуговой сварки 101

- электрошлаковой сварки 158

Управление переносом металла импульсное 105

- позиционное манипуляторными системами 131
- положением электронного пучка 363
- процессом автоматическое 15
- распределением количества теплоты в зоне сварки 159
- роботом 129
- робототехнологическим комплексом 129
- установкой для электронно-лучевой сварки с помощью ЭВМ 366

Уровень гибкости — Способы повышения 29

- механизации 30

Установка ацетиленовая 289

Установка высокочастотная комплексная 245

- с ламповым генератором 246
- с электромашинным преобразователем 245

Установка детонационная 428

- диффузионной сварки в вакууме — Характеристика 266
- для дуговой конденсаторной сварки 256
- для индукционного нагрева 256
- для кислородно-флюсовой резки 305
- для контактной микросварки специализированная 242
- лазерная 459
- магнитно-импульсная 271
- для микроплазменной сварки 374

- для микросварки 348

- многопозиционная для сварки круговых швов 89

- для нагрева в электролите 447

- для плазменной наплавки 373

- для плазменной резки 373

- для плазменной сварки 372

- разделения воздуха 285

- специализированная 355

- для ударной конденсаторной сварки 379

Установка для электронно-лучевой сварки с выводом пучка в атмосферу 328

- в высоком вакууме 320, 350

- в низком вакууме 328

- средних размеров 353

- крупногабаритных изделий 359

- малогабаритных изделий 351

- универсальная 353

Установка для электрошлаковой сварки круговых швов и наплавки поверхностей тел вращения 87

- плавящимся мунштуком 157

- прямолинейных швов 157

- швов сложной формы 91

Устройство видеосенсорное 136

- зачистки сварочных роликов 180

- для контактного подвода тока при высокочастотной сварке 244

- модуляции мощности источников нагрева 160

- предохранительное 294

Устройства прямого копирования двухкоординатное 110

- для направления сварочного инструмента 109

Устройство создания управляющего магнитного поля 242

Устройство шлюзовое 358

Участок комплексно-механизированный 92, 95

- правки 321

- резки 322

- роботизированный 97

Ф

Фланцerez 318

Флюс газообразный 461

Форма огнеупорная 399

Формализованное представление сварочного процесса 16

Ц

- Центратор** 405
— компактный 407
Цикл пайки 460
— передвижения горелок 461
Циклограмма обслуживания установки 44

Ш

- Шкаф управления** 390
Штамп для точечной холодной сварки 259

Э

- Экран** 462
Эксплуатация оборудования — Совершенствование организации 43
Экструдер шнековый 411
Электрод графитизированный 404
— дисковый 404
— подпружиненный 386
— прямой 182
— угольный 447
— штучный 389
Электрододержатель 62
— ручной 386
Электроды — Материалы 183
— контактной стыковой машины 198
— неплавящиеся 77
— плавящиеся 70
— шовных машин 182
Электронный пучок — Особенности формирования 329 — Оценка качества 330 — Расчет параметров 329
Электропечь вакуумно-водородная 463
— канальная 446
— тигельная 446
Электропривод многокоординатный 316
— для электронно-лучевой сварки 345
Электростанция передвижная — Характеристики 190
Эмиттер плазменный 335
Энергоблок сварочной пушки 339
— для электронно-лучевой сварки 341
Эргономика оборудования — Показатели 42
Эффективность нагрева световым лучом 399
— в тлеющем разряде 459
Эффективность сварки несколькими головками 45

ПРИЛОЖЕНИЕ

ГОСТ 21694—94 "Оборудование сварочное механическое. Общие технические условия" распространяется на механическое сварочное оборудование общего применения (далее — оборудование), предназначенное для установки и перемещения свариваемых изделий, сварочного оборудования и сварщиков при выполнении сварки и изготовляемое для потребностей экономики страны и для экспорта.

Стандарт не распространяется на оборудование с программным управлением.

Ниже приведены обязательные требования, предъявляемые к этому оборудованию.

1. ТИПЫ, ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ И РАЗМЕРЫ. Типы, основные параметры и размеры оборудования должны соответствовать стандартам и техническим условиям на конкретные его виды.

2. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ. Оборудование следует изготавливать в соответствии с требованиями настоящего стандарта, стандартов и технических условий на конкретные его виды по рабочим чертежам, утвержденным в установленном порядке.

2.1. Климатическое исполнение оборудования УХЛ4 и 04 по ГОСТ 15150. Группа условий эксплуатации в части воздействия механических факторов М6 по ГОСТ 17516.

2.2. Параметр шероховатости Ra поверхности резьбы по ГОСТ 2789 не должен быть более 3,2 мкм для цилиндрической и 2,5 мкм для конической.

2.3. Вмятины, вырывы и заусенцы на поверхности резьбы не допускаются.

2.4. Поверхностный слой цементированных и закаленных деталей должен соответствовать следующим требованиям:

неравномерность твердости не должна превышать 4 HRC ;

содержание углерода в поверхностном слое от 0,8 до 1,1 %;

микроструктура цементированного слоя должна представлять собой скрытоигольчатый или мелко- и среднеигольчатый мартенсит не более 6-го балла по ГОСТ 8233; карбидная сетка не допускается;

допускаются отдельные карбидные включения.

2.5. Применение пружинных шайб внутри корпусов редукторов не допускается.

2.6. Открытые торцы валов должны выступать за плоскость охватывающей детали на расстояние не менее размера фаски.

2.7. Присоединительные фланцы трубопроводов должны быть прижаты равномерно. Перекос фланца в направлении противоположащих по диаметру шпилек не должен превышать 0,3 мм на каждые 100 мм расстояния между шпильками.

2.8. Биение маховиков и штурвалов не должно превышать 1 мм, если в стандартах,

технических условиях на конкретные виды оборудования или в конструкторской документации не установлены более жесткие требования.

2.9. Общие технические требования и методы испытаний электрооборудования по ГОСТ 27487.

2.10. В трубопроводах для цепей управления и сигнализации должны быть предусмотрены запасные провода: при общем числе проводов в одной трубе 4—7 один запасной провод, 8—12 два, 13—21 три, свыше 21 добавляют по одному на каждые 10 проводов.

2.11. Оборудование, предназначенное для установки свариваемого изделия, должно быть оснащено устройствами, обеспечивающими надежный токоотвод непосредственно от изделия или рабочего органа (планшайбы, крестовины, плиты стола сварщика и т. п.), несущего свариваемое изделие.

Падение напряжения в системе отвода сварочного тока при номинальной силе тока не должно превышать 2 В.

2.12. Гидравлическое оборудование по ГОСТ 16514, ГОСТ 16517, ГОСТ 17411, пневматическое по ГОСТ 15608 и ГОСТ 18460.

2.13. Температура масла в баке гидросистемы во время эксплуатации не должна превышать 70 °С, если в технических условиях на конкретные виды оборудования или конструкторской документации не установлены более жесткие требования.

2.14. Все необработанные поверхности деталей оборудования, его принадлежностей и приспособлений должны иметь лакокрасочные покрытия с грунтовкой и шпатлевкой. Детали из меди, медных сплавов и пластмасс не окрашивают.

2.15. Внешний вид лакокрасочных покрытий оборудования, принадлежностей и приспособлений к нему по V классу ГОСТ 9.032.

Внешний вид лакокрасочных покрытий внутренних поверхностей корпусных деталей и наружных поверхностей деталей, находящихся внутри них, по VI классу ГОСТ 9.032.

2.16. Средний ресурс до первого капитального ремонта, среднюю наработку на отказ, массу и потребляемую мощность указывают в технических условиях на конкретные виды оборудования.

2.17. Критерии отказов и предельных состояний устанавливают в технических условиях на конкретные виды оборудования.

2.18. Электрооборудование должно соответствовать требованиям настоящего стандарта, стандартов и технических условий на конкретные виды оборудования при изменении напряжения питающей сети на входных зажимах в пределах +10% номинального значения.

2.19. Оборудование укомплектовывают принадлежностями, инструментом, сменяемы-

ми и запасными частями, обеспечивающими работу оборудования в соответствии с техническими условиями.

2.20. К оборудованию следует прилагать руководство по эксплуатации.

2.21. На оборудовании должны быть укреплены фирменная и паспортная таблички по ГОСТ 12971.

На фирменной табличке должна быть нанесена следующая информация:

страна-изготовитель;
товарный знак предприятия-изготовителя или объединения;
наименование предприятия-изготовителя или объединения.

Паспортная табличка должна содержать:

обозначение модели изделия;
заводской номер;
год выпуска.

Допускается совмещать сведения фирменной и паспортной табличек в одной.

2.22. Транспортная маркировка по ГОСТ 14192.

На ящиках должны быть нанесены манипуляционные знаки "Верх", "Место строповки", "Центр тяжести".

2.23. На принадлежностях к оборудованию, его сменяемых и запасных частях должны быть нанесены их обозначения.

2.24. Прилагаемая к оборудованию документация должна быть запечатана в водонепроницаемый пакет и упакована вместе с оборудованием или основным его блоком.

3. ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ. Общие требования безопасности к конструкции оборудования по ГОСТ 12.2.003 и ГОСТ 12.2.007.0, эргономики по ГОСТ 12.2.049.

3.1. По способу защиты человека от поражения электрическим током оборудование должно соответствовать классу I по ГОСТ 12.2.007.0, если при подключении оборудования используют однофазное напряжение, и классу 01, если не используют однофазное напряжение.

3.2. Степень защиты шкафов и ниш для аппаратуры управления по ГОСТ 14254 должна быть:

невентилируемых, с уплотнениями IP53;
с жалюзи IP32;
с элементами большой рассеиваемой мощности IP22.

3.3. Защитные меры к электрооборудованию механического сварочного оборудования по ГОСТ 27487.

3.4. Внутри всех подвижных или гибких проволок должен быть провод защитного заземления, если электрооборудование работает при напряжении переменного тока свыше 42 В и постоянного тока свыше 110 В.

3.5. Устройство местного освещения, если оно предусмотрено конструкцией, должно обеспечивать освещенность рабочего места, указанную в табл. 1.

Напряжение сети местного освещения не более 24 В.

Таблица 1

Характеристика зрительной работы	Наибольший размер объекта различения, мм	Освещенность, лк
Малой точности	Св. 1 до 5 включ.	200
Грубая (очень малой точности)	Св. 5	150

3.6. Требования безопасности к гидроприодам по ГОСТ 12.2.040.

3.7. Требования безопасности к пневмоприодам по ГОСТ 12.2.101 и ГОСТ 12.3.001.

3.8. Столы и площадки сварщика должны быть оборудованы устройствами, удаляющими вредные вещества из зоны их образования до уровня допустимой концентрации.

3.9. Уровни звукового давления, звука и эквивалентный уровень звука на рабочем месте оператора не должны превышать значений, указанных в табл. 2.

Уровни звуковой мощности конкретного оборудования и шумовые характеристики на рабочем месте оператора устанавливают в технических условиях на это оборудование.

Таблица 2

Уровень звукового давления, дБ, в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровень звука и эквивалентный уровень звука, дБ (А)
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

3.10. Уровень вибрации на рабочем месте при работе оборудования не должен превышать норм, установленных в разделе 2 ГОСТ 12.1.012.

3.11. Оборудование, не закрепленное на фундаменте, должно быть устойчивым. Коэффициент грузовой устойчивости оборудования, определяемый как отношение момента относительно ребра опрокидывания, создаваемого массой частей оборудования без учета инерционных сил и уклона рельсового пути или фундамента в сторону опрокидывания, к моменту, создаваемому рабочим грузом относительно того же ребра, должен быть не менее 1,3.

Рабочим грузом оборудования для установки и поворота свариваемых изделий являются собственно изделие и оснастка, создающая наибольший момент. Рабочим грузом оборудования для перемещения сварочных автоматов и сварщиков являются последние.

3.12. В механизмах, передающих крутящий момент, не допускается применять прессовые посадки без дополнительных креплений.

3.13. неподвижные оси, служащие опорой для несущих элементов оборудования, должны быть зафиксированы. Болтовые, шпоночные и

клиновые соединения должны быть предохранены от самопроизвольного разъединения.

3.14. Механизмы наклона и поворота оборудования должны исключить самопроизвольное перемещение или поворот установленных для сварки изделий и обеспечить надежный тормозной момент.

3.15. Механизмы вертикального перемещения должны иметь страховочные устройства, срабатывающие в случае разрушения несущего элемента.

3.16. Скорость передвижения напольного оборудования должна быть не более 0,5 м/с.

3.17. Оборудование с электроприводом, передвигающееся по рельсовому пути, должно иметь конечные выключатели привода передвижения. Рельсовый путь и направляющие для передвижения сварочных автоматов должны иметь ограничители максимального хода.

3.18. Усилие на рукоятках, рычагах и маховиках — по ГОСТ 21752 и ГОСТ 21753.

3.19. Движущиеся части оборудования и сварочная проволока, если они являются источниками опасности, должны быть ограждены или снабжены другими средствами защиты по ГОСТ 12.2.003.

3.20. Сигнальные цвета и знаки безопасности, наносимые на оборудование, — по ГОСТ 12.4.026.

3.21. Уровень радиопомех, создаваемых при работе оборудования, не должен превышать значений, установленных Нормами допускаемых промышленных радиопомех (Нормы 8—72).

4. **ПРАВИЛА ПРИЕМКИ.** Для проверки соответствия оборудования требованиям настоящего стандарта, стандартов и технических условий на конкретные виды оборудования предприятие-изготовитель должно проводить типовые, приемо-сдаточные, периодические и сертификационные испытания.

4.1. Приемо-сдаточным испытаниям следует подвергнуть каждую единицу оборудования на соответствие требованиям 2.14, 2.15, 2.19—2.24, 3.14, 3.15, 3.17, 3.19.

4.2. Периодические испытания проводят раз в год на соответствие всем приведенным требованиям, кроме 2.16.

4.3. При сертификационных испытаниях обязательно является проверка оборудования на соответствие требованиям 3.1, 3.2, 3.5, 3.9—3.11, 3.15—3.17, 3.19, 3.20.

4.4. Средний ресурс до первого капитального ремонта и среднюю наработку на отказ подтверждают один раз в три года в соответствии с методикой, разработанной для конкретного вида оборудования.

4.5. Если при периодических испытаниях хотя бы один из параметров испытуемого оборудования не будет соответствовать приведенным требованиям, необходимо выяснить причину несоответствия, ввести изменения в конструкторскую документацию, технологию изготовления и доработать изделие до приемочного уровня.

5. **МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ.** Соответствие оборудования рабочим чертежам и требовани-

ям 2.2, 2.5—2.10, 2.12, 2.14, 2.15, 2.19—2.24, 3.4, 3.6—3.8, 3.12, 3.13, 3.15, 3.17—3.20 проверяют внешним осмотром и средствами измерений, обеспечивающими требуемую рабочими чертежами точность.

Требования 2.13, 3.16 проверяют по техническим условиям на конкретные виды оборудования.

5.1. Глубину и насыщение цементированных слоев деталей (2.4) следует проверить на поперечных микрошлифах по микроструктуре.

Оценивание микроструктуры по ГОСТ 8233.

5.2. Методы испытаний электрооборудования по ГОСТ 27487.

5.3. Падение напряжения в системе отвода сварочного тока (2.11) измеряют вольтметром класса точности не ниже 1.0 по ГОСТ 8711 в соответствии с ГОСТ 28944.

5.4. Измерение освещенности (3.5) проводят люксметром при номинальном напряжении питающей сети. Погрешность средств измерений не более $\pm 20\%$.

5.5. Измерение шумовых характеристик оборудования (3.9) проводят ориентировочным методом по ГОСТ 12.1.028. Режимы измерения по ГОСТ 28944 (3.2.3), или они должны быть указаны в технических условиях на конкретные виды оборудования.

5.6. Измерение вибрационных характеристик оборудования (5.11) по ГОСТ 12.1.012 (приложение 9).

Режим работы оборудования по ГОСТ 28944 или он должен быть приведен в технических условиях на конкретное оборудование.

5.7. Измерение уровня радиопомех (3.21), создаваемых при работе оборудования, по ГОСТ 16842.

Режим работы оборудования по ГОСТ 28944, или он должен быть приведен в технических условиях на конкретные виды оборудования.

5.8. Проверка степени защиты (3.2) по ГОСТ 14254.

5.9. Механизмы оборудования испытывают под нагрузкой, превышающей номинальную на 25% (3.11, 3.14).

5.10. Испытания для определения показателей надежности (2.16, 2.17) по ГОСТ 28944.

5.11. Измерение кинематических параметров и размеров технологической зоны по ГОСТ 28944.

5.12. Оценка и представление результатов испытаний по ГОСТ 28944.

6. **ГАРАНТИИ ИЗГОТОВИТЕЛЯ.** Изготовитель гарантирует соответствие оборудования требованиям настоящего стандарта при соблюдении условий эксплуатации, транспортирования и хранения, установленных настоящим стандартом, стандартами и техническими условиями на конкретные виды оборудования и руководством по эксплуатации.

Гарантийный срок эксплуатации оборудования следует устанавливать в технических условиях на конкретные виды оборудования.

Его продолжительность должна быть не менее 12 мес со дня ввода оборудования в эксплуатацию.

СПРАВОЧНОЕ ИЗДАНИЕ

Лебедев Владимир Константинович, Кучук-Яценко Сергей Иван
Чвертко Анатолий Иванович и др.

МАШИНОСТРОЕНИЕ. ЭНЦИКЛОПЕДИЯ

Том IV—6 Оборудование для сварки

Лицензия ЛР № 080003 от 12.09.96

Редактор З. М. Рябкова

Оформление художника Т. Н. Погореловой

Художественный редактор Т. Н. Галицына

Технический редактор Е. П. Смирнова

Корректоры: Л. Е. Сонюшкина, Л. А. Ягупьева

Сдано в набор 30. 08. 97. Подписано в печать 17.05.99.

Формат 70 × 100 1/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.

Печать офсетная. Усл. печ. л. 40,3.

Уч.-изд. л. 58,16. Тираж 1000 экз. Заказ 562.

Издательство "Машиностроение",

107076, Москва, Б-76, Стромынский пер., 4.

Отпечатано в АООТ "Политех-4"
129110, Москва, ул. Б. Переяславская, 46