

Н. В. ВИНОГРАДОВ

ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

Н. В. ВИНОГРАДОВ

ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

*Допущено Министерством высшего
и среднего специального образования РСФСР
в качестве учебного пособия
для высших технических учебных заведений*



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1961 ЛЕНИНГРАД

Книга предназначена в качестве учебного пособия при изучении курса «Производство электрических машин» студентами энергетических и политехнических вузов. В ней содержится подробное изложение технологии активных частей (шихтованные сердечники, коллекторы, обмотки) и сборки электрических машин общего применения, а также особенности технологии характерных деталей турбо- и гидрогенераторов. Приводятся конструкции и расчеты штампов, инструментов, приспособлений и оборудования электромашиностроительных заводов. Механические детали электрических машин рассматриваются лишь с точки зрения технологичности конструкций.

Книга может служить пособием при работе студентов и прохождении ими производственной практики на электромашиностроительных заводах, а также при курсовом и дипломном проектировании электрических машин.

6П2.12 Виноградов Николай Владимирович
В 49 Производство электрических машин, М.—Л., Госэнергоиздат, 1961, 320 с. с черт.

6П2.12

Редактор В. И. Тихомирова

Техн. редактор К. П. Воронин

Сдано в набор 7/VIII 1961 г.

Подписано к печати 5/X 1961 г.

Т-11341

Бумага 84×108^{1/16}

32,80 печ. л.

Уч.-изд. л. 40,4

Тираж 10 000 экз.

Цена 1 р. 51 к.

Заказ 462

ПРЕДИСЛОВИЕ

Книга представляет собой обработанный цикл лекций, читанных автором в Московском энергетическом институте.

Детали электрических машин можно разделить на два вида: 1) активные части машин (шихтованные сердечники, коллекторы, обмотки) и 2) конструктивные или механические части (валы, станины, крестовины роторов, подшипники и др.).

Инженеры-электромеханики работают на электромашиностроительных заводах в качестве расчетчиков, конструкторов и технологов. Конструкторы создают конструкцию электрических машин в целом, включая активные и механические части. Технологи имеют дело только с активными частями электрической машины. Производством цехов горячей и механической обработки металлов заняты инженеры других специальностей.

В соответствии с этим в курсе «Производство электрических машин» и в настоящем учебном пособии подробно рассматриваются вопросы технологии активных частей электрических машин. Что касается механических частей, то здесь изложены лишь детали, непосредственно связанные с активными частями, и главным образом с конструктивной точки зрения (выбор материала, способ получения заготовки, выбор допусков и посадок, технологичность конструкции и т. п.). При этом учитывалось предварительное изучение студентами курсов «Технология металлов», «Детали машин» и «Технология машиностроения».

В электропромышленности изготавливаются электрические машины широкого диапазона мощностей от долей ватта до сотен тысяч киловатт.

Настоящее учебное пособие в основном базируется на серийных машинах общего применения, производством которых заняты почти все электромашиностроительные заводы и подавляющее большинство технических кадров. Микромашины представляют собой обособленную область электромашиностроения, поэтому в книге рассматриваются в качестве примеров массового производства лишь

детали, сохранившие конструктивное сходство с деталями электрических машин средней мощности. Это касается производства коллекторов на пластмассе, станков для изолировки полюсных катушек, обмоточных станков для роторов и статоров, склеивания пакетов магнитных сердечников и т. п. Что касается турбо- и гидрогенераторов, то принципы их охлаждения, конструкция и технология находятся в настоящее время в стадии творческих поисков. Поэтому пришлось ограничиться рассмотрением особенностей сложившейся технологии характерных деталей турбогенераторов серии ТВ2 и гидрогенераторов для волжских ГЭС. Сюда относятся стержневые обмотки статоров, обмотки роторов, коллекторы с бандажными кольцами, шихтованные сердечники из сегментов и др.

В книге большое место уделено вопросам механизации и автоматизации. Процесс производства электрических машин излагается в его развитии, и в начале каждой главы рассматриваются основные задачи данной области производства.

При составлении книги автор избегал давать готовые рецепты и данные справочного характера по различным вопросам технологии электромашиностроения, например карты технологических процессов, режимы пропитки и сушки, нормы времени и т. п., так как они быстро устаревают. Главное внимание уделено принципам построения технологических процессов и путям их развития.

Структура всякого учебника безусловно имеет важное значение для педагогического процесса. Вследствие большого разнообразия технологических процессов выбор структуры учебного пособия по производству электрических машин представлял особую трудность. В принципе возможны два варианта группировки материала по главам: 1) по технологическим и 2) по конструктивным признакам. В данной книге использованы оба принципа. Так, вопросы штамповки и сборки сердечников, пайки и сварки соединений, пропитки, укрепления в пазах и испытания обмоток объ-

единены в соответствующих главах по принципу единства технологии. Что касается технологии отдельных типов обмоток, то она объединена в соответствующих главах, начиная с заготовительных операций и кончая укладкой обмоток в пазы, так как разбивка этого материала по разным главам по технологическим признакам не дает студентам полного представления о производстве той или иной обмотки. При расположении материала, принятом в книге, не пришлось повторяться, так как для обмоток статора, ротора и якоря даже машин общего применения, не говоря уже о таких машинах, как турбогенераторы, применяются различные намоточные шаблоны, способы намотки катушек, другие принципы изолировки и укладки в пазы. Общие вопросы обмоточного производства выделены в гл. 8. Поскольку механические детали электрических машин рассматриваются с точки зрения их взаимосвязи, оказалось целесообразным гл. 20 поместить непосредственно перед сборкой машин. Автор предвидит, что могут быть и другие мнения по вопросу последовательности прохождения курса, но это не помешает студентам пользоваться данным учебным пособием.

Курс «Производство электрических машин» изучают лишь студенты специализации «электрические машины», однако знание основных

технологических требований необходимо при каждом курсовом проектировании электрических машин, которым занимаются студенты многих специальностей.

В соответствии с Законом об укреплении связи школы с жизнью и о дальнейшем развитии народного образования в СССР студенты первых и старших курсов проходят длительную работу на заводах. Они прикреплены на весь период работы к одному цеху, отделу, а иногда даже к одному рабочему месту. Настоящая книга или отдельные ее главы могли бы помочь студентам овладеть опытом работы в данной специальности, расширить их кругозор и еще более повысить эффективность работы на электромашиностроительном заводе.

Книга составлена на основе опыта работы отечественных и зарубежных электромашиностроительных заводов. Основные источники приведены в библиографии.

Автор выражает благодарность М. В. Латманову — доценту Ленинградского политехнического института имени М. И. Калинина за весьма ценные замечания, сделанные им при рецензировании рукописи, а также многим работникам электропромышленности, с которыми автор консультировался по отдельным вопросам.

Автор

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3	3-21. Штамповка сегментов	6
		3-22. Штамповка листов полюса	6
		3-23. Технологичность конструкции листов сердечников	64
Глава первая.		3-24. Контроль электротехнической стали и штамповки листов сердечников	67
Характеристика и развитие технологии электромашиностроения		3-25. Штамповка мелких деталей	68
1-1. Развитие электромашиностроения	9	3-26. Гибочные штампы	69
1-2. Характеристика технологии электромашиностроения	12	3-27. Вытяжные штампы	69
		3-28. Выдавливание деталей на оправке роликом	70
		3-29. Штамповочные операции	71
		3-30. Техника безопасности в штамповочных цехах	72
		Глава четвертая	
		Шихтованные сердечники	
2-1. Типы производств	14	4-1. Типы сердечников	73
2-2. Задачи и содержание технической подготовки производства	15	4-2. Основные задачи технологии сердечников	74
2-3. Конструкторская подготовка производства	16	4-3. Заусенцы и борьба с ними	75
2-4. Стандартизация, нормализация и унификация	16	4-4. Явление наклепа и отжиг листов	75
2-5. Технологическая подготовка производства	17	4-5. Изоляция листов	76
2-6. Маршрутная технология	19	4-6. Размеры пазов в штампе и „в свету“	78
2-7. Карты технологических процессов	19	4-7. Ориентировка листов по знаку и шихтовка	79
2-8. Типизация технологических процессов	20	4-8. Пакетирование сердечников	81
2-9. Технологическая оснастка	21	4-9. Выбор баз для шихтовки сердечников статора	82
2-10. Проектирование технологической оснастки	22	4-10. Сердечники со скошенными пазами	83
2-11. Производственные цехи электромашиностроительного завода	22	4-11. Склеенные сердечники микродвигателей	85
2-12. Пример технологической подготовки производства асинхронного двигателя	22	4-12. Заливка статора в алюминиевую оболочку	85
		4-13. Металлокерамические сердечники	86
		4-14. Прессовка сердечников	87
		4-15. Веер зубцов	88
		4-16. Расчет прессовки сердечников	90
		4-17. Обработка пазов	92
		4-18. Роторные втулки	92
		4-19. Шихтовка сердечников из сегментов	93
		4-20. Сборка разъемных сердечников гидрогенераторов	95
		4-21. Сборка сердечников турбогенераторов	99
		4-22. Сборка сердечников полюсов	101
		4-23. Контроль сердечников	103
		Глава пятая	
		Коллекторы со стальными корпусами	
3-1. Типы штампованных деталей	31	5-1. Типы коллекторов	104
3-2. Основные задачи технологии штамповки листов сердечников	31	5-2. Основные задачи технологии коллекторов	104
3-3. Электротехническая сталь	32	5-3. Коллекторные пластины	105
3-4. Применение марок электротехнической стали	32	5-4. Штамповка и правка коллекторных пластин	107
3-5. Нормальные диаметры статоров и якорей	33	5-5. Калибровка коллекторных пластин	109
3-6. Использование электротехнической стали	35	5-6. Петушки коллекторных пластин	110
3-7. Снижение отходов электротехнической стали	36	5-7. Фрезерование коллекторных пластин	111
3-8. Раскрой листов	40	5-8. Коллекторный миканит	114
3-9. Типы эксцентриковых прессов	41	5-9. Сборка пластин в кольцо	114
3-10. Расчет вырубных усилий	42	5-10. Цилиндрические прессовочные кольца	115
3-11. Зазоры между матрицей и пуансоном	44		
3-12. Срок службы штампов	45		
3-13. Типы вырубных штампов	46		
3-14. Простые вырубные штампы	47		
3-15. Совмещенные (компаундные) штампы	48		
3-16. Последовательные штампы	49		
3-17. Штамповка листов якоря	50		
3-18. Штамповка листов статора и ротора	51		
3-19. Штампы из твердых сплавов	55		
3-20. Автоматизация процессов штамповки	57		

5-11. Конические прессовочные кольца	116
5-12. Прессовка коллекторов арочного типа в конических кольцах	117
5-13. Прессовочные кольца с радиальными болтами	119
5-14. Прессовка коллекторов арочного типа в кольцах с радиальными болтами	119
5-15. Обработка ласточкиных хвостов	120
5-16. Механические детали коллектора	121
5-17. Расчет и конструкция пресс-форм для манжет	123
5-18. Изготовление миканитовых манжет	125
5-19. Изготовление сегментов для составных манжет	129
5-20. Общая сборка коллектора	130
5-21. Технологичность конструкции коллектора	131
5-22. Коллекторы быстросходных машин с бандажными кольцами	132

Глава шестая

Коллекторы на пластмассе

6-1. Типы коллекторов на пластмассе	134
6-2. Коллекторы из профильной полосовой меди	135
6-3. Коллекторы с прессованными и штампованными заготовками пластин	136
6-4. Пластмассы для коллекторов	138
6-5. Пресс-формы для коллекторов	139

Глава седьмая

Контактные кольца

7-1. Типы контактных колец	141
7-2. Контактные кольца с болтовым креплением	141
7-3. Контактные кольца с холодной прессовкой на втулку	142
7-4. Контактные кольца с горячей прессовкой на втулку	143
7-5. Контактные кольца на пластмассе	145
7-6. Материал контактных колец	146
7-7. Соединение контактных колец с обмоткой	146

Глава восьмая

Общие вопросы обмоточного производства

8-1. Характеристика обмоточных работ	147
8-2. Основные задачи технологии обмоточного производства	148
8-3. Обмоточные провода	148
8-4. Изоляция обмоток	150
8-5. Вопросы экономики обмоточного производства	152

Глава девятая

Якорные обмотки машин постоянного тока

9-1. Типы якорных обмоток	155
9-2. Ручные обмотки якоря	155
9-3. Схемы ручных обмоток якоря	156
9-4. Станки для изолировки пазов	158
9-5. Станки для обмотки якорей	158
9-6. Катушечные обмотки из круглого провода	161
9-7. Катушки с двойной головкой	162
9-8. Расчет намоточных шаблонов для якорных катушек	163
9-9. Растяжка катушек	164
9-10. Одновитковые обмотки	165
9-11. Стержневые обмотки якоря	167
9-12. Обмотки якоря с уменьшенными потерями в массивных проводниках	168
9-13. Изолировка якорных катушек	169
9-14. Разметка якоря под обмотку	169
9-15. Укладка обмотки в пазы	171
9-16. Отделка якоря	174

Глава десятая

Статорные обмотки катушечные

10-1. Типы статорных обмоток	176
10-2. Концентрические обмотки	177
10-3. Равнокатушечные однослойные обмотки	179
10-4. Двухслойные всыпные обмотки	180
10-5. Намоточные станки для катушек	181
10-6. Намоточные шаблоны для всыпных обмоток	182
10-7. Укладка всыпных обмоток в пазы	183
10-8. Механизация обмоточных работ	184
10-9. Полуавтоматические обмоточные станки для статоров	186
10-10. Схемы статорных обмоток	190
10-11. Обмотки статора при полукрытых пазах	191
10-12. Катушечные обмотки при открытых пазах статора	192
10-13. Расчет намоточных шаблонов для статорных катушек	193
10-14. Растяжка катушек	193
10-15. Прессовка и рихтовка катушек	194
10-16. Витковая изоляция	196
10-17. Корпусная изоляция статорных обмоток	197
10-18. Укладка обмоток статора в открытые пазы	198

Глава одиннадцатая

Статорные обмотки стержневые

11-1. Конструкция стержней	200
11-2. Заготовка и плетение стержней	201
11-3. Изолировочные станки	202
11-4. Изолировка и компаундировка стержней	205
11-5. Укладка в пазы обмоток турбогенераторов	206
11-6. Укладка в пазы обмоток гидрогенераторов	208

Глава двенадцатая

Роторные обмотки фазные

12-1. Типы роторных обмоток	209
12-2. Однослойные всыпные обмотки ротора	209
12-3. Двухслойные катушечные обмотки ротора	210
12-4. Элементы стержневой обмотки ротора	211
12-5. Обмотки ротора с удлиненными и с укороченными переходами	212
12-6. Конструкция переемычек	214
12-7. Гибка и изолировка стержней роторной обмотки	215
12-8. Гибка стержней на роторе	218
12-9. Обмоточные таблицы	219
12-10. Торцовые схемы обмоток ротора	219

Глава тринадцатая

Короткозамкнутые обмотки роторов

13-1. Типы короткозамкнутых обмоток	222
13-2. Статический способ заливки роторов алюминием	222
13-3. Центробежный способ заливки роторов	223
13-4. Вибрационный способ заливки роторов	224
13-5. Заливка роторов под давлением	225
13-6. Роторы с радиальными каналами, залитые алюминием	226
13-7. Контроль роторов, залитых алюминием	227
13-8. Короткозамкнутые обмотки из медных стержней	230

Роторные обмотки турбогенераторов

14-1. Особенности роторных обмоток турбогенераторов	231
14-2. Станок для намотки турбороторных катушек	232
14-3. Изолировка роторных катушек	233
14-4. Изготовление коробов роторного паза	233
14-5. Укладка обмотки ротора в пазы	234
14-6. Подготовка к прессовке роторной обмотки	236
14-7. Прессовка роторной обмотки	237
14-8. Закрывание роторных пазов	237
14-9. Заклинивание пазов ротора	237
14-10. Вторая прессовка лобовых частей	237
14-11. Запечка обмотки ротора	237
14-12. Насадка бандажных колец	238

Глава пятнадцатая

Катушки полюсов

15-1. Типы полюсных катушек	239
15-2. Намоточные станки для катушек из тонкого провода	241
15-3. Намотка катушек из изолированного провода	241
15-4. Намотка катушек из шинной меди плашмя	243
15-5. Намотка катушек из шинной меди на ребро	245
15-6. Изолировка катушек	246
15-7. Технологичность конструкции катушек	249
15-8. Намотка катушек гидрогенераторов	250
15-9. Отжиг и рихтовка катушек	251
15-10. Комплектовка катушек	252
15-11. Витковая изоляция катушек	252
15-12. Специальный профиль меди для катушек крупных гидрогенераторов	253

Глава шестнадцатая

Пайка и сварка соединений в обмотках

16-1. Припой мягкие и твердые	254
16-2. Флюсы	256
16-3. Паяльники	257
16-4. Пайка коллекторов мягкими припоями	258
16-5. Пайка твердыми припоями	259
16-6. Сварка соединений в обмотках	260
16-7. Соединения методом прессования	261
16-8. Лужение	263

Глава семнадцатая

Бандажи и пазовые клинья

17-1. Назначение бандажей и клиньев	263
17-2. Устройство бандажей	264
17-3. Намотка бандажей	266
17-4. Бандажировочные станки	267
17-5. Заготовка пазовых клиньев	268
17-6. Заклинивание пазов	269

Пропитка обмоток

18-1. Способы пропитки	270
18-2. Ванны для пропитки	270
18-3. Пропитка обмоток в водноэмульсионном лаке	271
18-4. Пропиточно-сушильный конвейер	272
18-5. Компаундирование обмоток	273

Глава девятнадцатая

Контроль и испытание обмоток

19-1. Виды контроля и испытаний	274
19-2. Измерение сопротивления обмотки	275
19-3. Контроль числа витков	276
19-4. Измерение сопротивления изоляции	276
19-5. Проверка обмоток на отсутствие межвитковых замыканий	277
19-6. Проверка обмоток якоря методом падения напряжения	279
19-7. Проверка качества пайки ультразвуком	279
19-8. Испытание обмоток аппаратами типа СМ	280
19-9. Испытание электрической прочности изоляции	281
19-10. Конвейер для контрольных испытаний асинхронных электродвигателей	282

Глава двадцатая

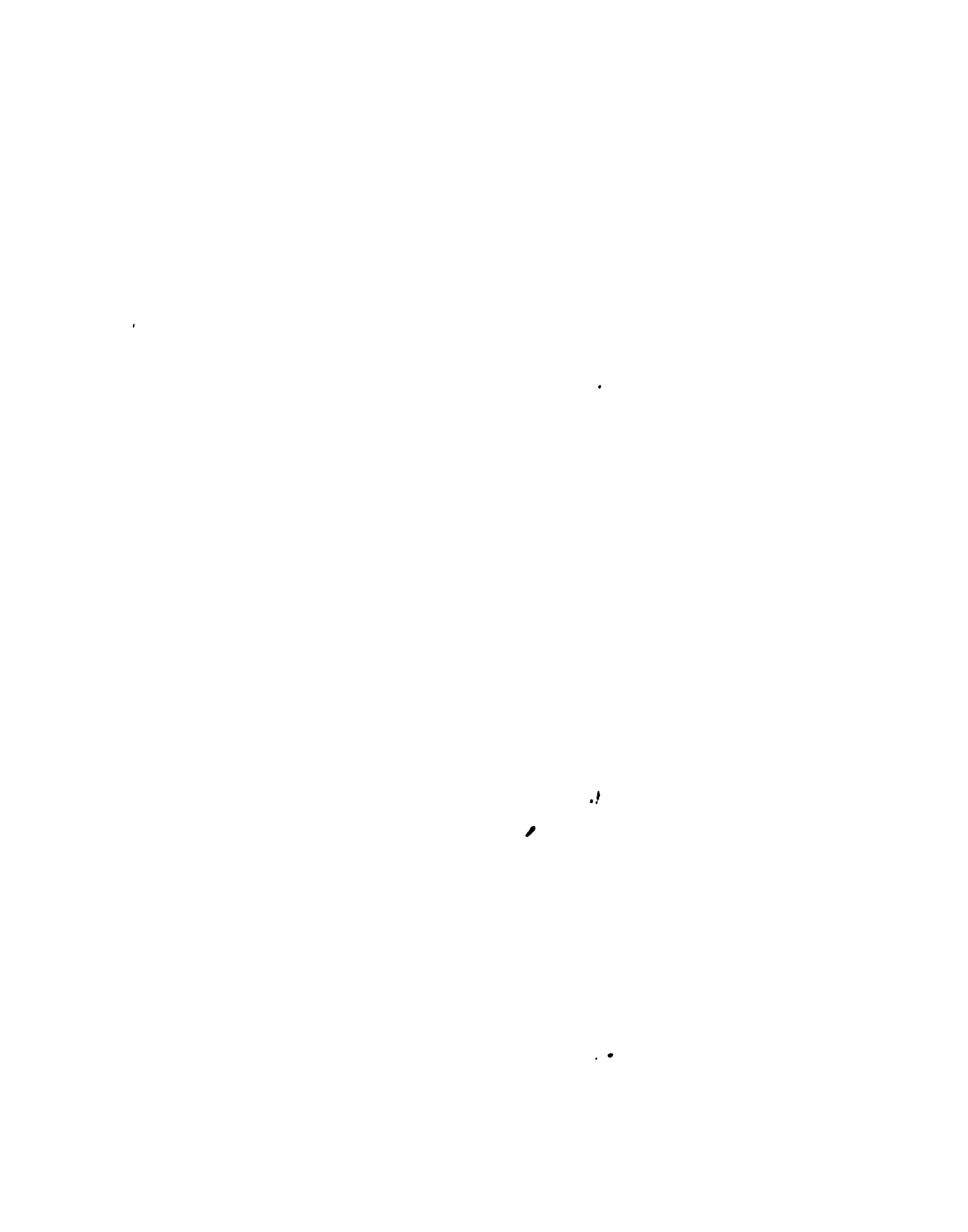
Механические детали

20-1. Типы механических деталей	283
20-2. Виды заготовок	283
20-3. Общие принципы технологичности заготовок	285
20-4. Допуски и посадки	286
20-5. Валы	287
20-6. Подшипниковые щиты	290
20-7. Стойки подшипников	292
20-8. Вкладыши	293
20-9. Станины	294
20-10. Траверсы	299

Глава двадцать первая

Сборка электрических машин

21-1. Характеристика сборочных работ	299
21-2. Балансировка роторов	300
21-3. Диаграммы балансировки	302
21-4. Сборка подшипниковых узлов	303
21-5. Ввод ротора в статор	305
21-6. Сборка электродвигателя АК-92	305
21-7. Измерение воздушного зазора	306
21-8. Сборка щеточного аппарата	307
21-9. Автоматизация сборки	308
21-10. Отделка и окраска машин	310
21-11. Сборка крупных машин	311
21-12. Защита от подшипниковых токов	312
21-13. Центровка валов	313
21-14. Сборка турбогенератора с водородным охлаждением	314
21-15. Сборка гидрогенератора на место установки	316
Литература	317



ХАРАКТЕРИСТИКА И РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРОМАШИНОСТРОЕНИЯ

1-1. РАЗВИТИЕ ЭЛЕКТРОМАШИНОСТРОЕНИЯ

Электромашиностроение является основной отраслью электротехнической промышленности, изготавливающей генераторы для энергетической промышленности и электродвигатели для различных отраслей народного хозяйства [Л. 1-1].

В дореволюционной России было только три электромашиностроительных завода с числом рабочих более 500. Это были: завод акционерного общества Сименс и Гальске в Петербурге; завод русского акционерного общества Вестингауз (завод «Динамо») в Москве, завод концерна «Всеобщая компания электричества» в Риге, перевезенный в период первой мировой войны в Харьков [Л. 2-1].

Эти заводы представляли собой сборочные мастерские, работавшие на заграничных полуфабрикатах и материалах. Научно-техническая база электромашиностроения находилась за границей на основных предприятиях концернов. Свыше 93% электроизмерительных приборов и 57% электрических машин, трансформаторов и аппаратов ввозилось из-за границы.

Первенцами советского электромашиностроения были заводы «Электросила», «Динамо» и ХЭМЗ, превратившиеся после реконструкции в передовые заводы, оснащенные современной техникой.

В восстановительный период 1921—1925 гг. производство электромашиностроительных заводов носило смешанный характер. Кроме электрических машин различных типов, они выпускали трансформаторы, электрическую аппаратуру и даже неэлектротехническую продукцию. Так, например завод «Динамо» выпускал дизели и поставлял чугунное литье.

В 1928 г. вступил в строй «Электрозавод», где сосредоточилось производство трансформаторов, автотракторного электрооборудова-

ния и электроламп. Однако номенклатура продукции электромашиностроительных заводов была еще очень велика.

В первой пятилетке начала проводиться специализация заводов. Так, на завод «Электросила» были возложены разработка и производство турбо- и гидрогенераторов, мощных электродвигателей постоянного тока для прокатных станков и судов, серии машин постоянного тока и асинхронных двигателей мощностью до 10 и свыше 100 *квт*.

На ХЭМЗ сосредоточилось производство электрооборудования для нефтяной, угольной и металлургической промышленности, серии машин постоянного тока и асинхронных двигателей мощностью 10—100 *квт*.

Завод «Динамо» стал специализироваться как завод тягового и кранового электрооборудования, включая оборудование для гидротехнических сооружений. Производство тягового оборудования было затем рассредоточено между Новочеркасским электровозостроительным заводом, Рижским электромашиностроительным заводом и Харьковским заводом тепловозного электрооборудования.

Специализация заводов имела очень важное значение в развитии электромашиностроения. Она дала возможность организовать серийное производство машин, обеспечить заводы специализированным оборудованием и создать проектные отделы, явившиеся штабами технической мысли в данной отрасли электромашиностроения.

Ход развития отечественного турбогенеростроения был целиком подчинен задачам электрификации страны, которую Партия и Правительство поставили в порядок дня на основе плана ГОЭЛРО. Первый турбогенератор мощностью 500 *квт* был построен на заводе «Электросила» в 1924 г. Через 13 лет, в 1937 г. завод выпустил первый в мире тур-

богенератор мощностью 100 тыс. *квт* при 3 000 *об/мин* с воздушным охлаждением.

В 1946 г. был изготовлен первый в мире турбогенератор в 100 тыс. *квт* с водородным охлаждением, который лег в основу новой усовершенствованной серии турбогенераторов. В 1952 г. изготовлен турбогенератор с водородным охлаждением мощностью 150 тыс. *квт*.

В дальнейшем были разработаны принципы форсированного охлаждения при давлении водорода до 3 *атм*, что открыло перспективы по созданию сверхмощных турбогенераторов, в том числе генераторов мощностью 200 и 300 тыс. *квт* с непосредственным водородным и водяным охлаждением.

Параллельно развивалось советское гидрогенераторостроение. В 1923 г. завод «Электросила» получил заказ на изготовление гидрогенератора для первенца советской гидроэнергетики — Волховской ГЭС, который был успешно выполнен. В 1928 г. завод приступил к проектированию гидрогенераторов для Днепровской ГЭС, которые по размерам и мощности являлись величайшими машинами этого типа.

Переход от гильзовой изоляции к непрерывной ленточной изоляции в 1929—1932 гг. резко повысил качество изоляции и надежность эксплуатации машин, выполняемых на высокие номинальные напряжения.

Накануне Великой Отечественной войны были пущены в эксплуатацию самые крупные в мире гидрогенераторы мощностью 68 750 *квa* при 62,5 *об/мин* для Угличской и Рыбинской ГЭС.

Волжская ГЭС имени В. И. Ленина оборудована гидрогенераторами мощностью 123 тыс. *квa* при 68,5 *об/мин*. Изготовлены гидрогенераторы мощностью 200—300 тыс. *квт* и начата разработка сверхмощного гидрогенератора на 500—600 тыс. *квт*, в котором будут применены новые методы охлаждения обмоток.

В 1934 г. был пущен Харьковский турбогенераторный завод, а в 1935 г. завод «Урал-электроаппарат» в Свердловске.

В области электродвигателей также произошли большие изменения. От дореволюционных времен на производстве сохранились машины, находившиеся на уровне техники 1908—1912 гг. и значительно устаревшие. Эти машины были слабо использованы и требовали большого расхода черных и цветных металлов, что ограничивало рост электромашиностроения.

В 1926 г. развернулась работа по проектированию новых серий электрических машин малой и средней мощности. При этом были

достигнуты значительные успехи в области весовых показателей. Так, например, асинхронный двигатель мощностью 29 *квт*, при 1 500 *об/мин*, весивший ранее 641 *кг*, в новой серии стал весить 280 *кг*.

Однако эти серии, проектировавшиеся на разных заводах, имели различные конструкции и технологию. Не было единой шкалы мощностей, поэтому на разных заводах строились двигатели, близкие по мощности, но с разными габаритными и установочными размерами, что сильно затрудняло их замену. В этих сериях не было закрытого обдуваемого исполнения и при невозможности использования защищенных двигателей в эксплуатации их превращали в закрытые, причем мощность снижалась более чем вдвое.

Поэтому еще в период Великой Отечественной войны развернулась работа по проектированию единых всесоюзных серий двигателей как общего применения, так и специализированных. В 1950 г. была внедрена единая всесоюзная серия асинхронных двигателей в диапазоне мощностей 0,6—100 *квт*. В связи с внедрением серии были сняты с производства девять старых серий, а число типоразмеров двигателей сократилось со 179 до 17. Единая серия выпускается в двух исполнениях: брызгозащищенном продуваемом А и закрытом обдуваемом АО, причем установочные размеры обоих исполнений одинаковые. Все двигатели строятся со стандартной шкалой мощностей.

Производство асинхронных двигателей единой серии было распределено между рядом электромашиностроительных заводов, что позволило организовать крупносерийное производство двигателей большей мощности и массовое производство первых габаритов серии.

В табл. 1-1 приведен план специализации заводов по производству электродвигателей единой серии А и АО [Л. 1-4].

В дальнейшем был внедрен в производство второй отрезок серии в диапазоне мощностей 100—1 000 *квт*, охватывающий четыре габарита: 10, 11, 12 и 13 и заменивший старые серии АМ6, ГАМ6, ДАМ6, ФАМСО, ДАМСО и КАМО.

Для асинхронных двигателей больших габаритов, которые изготавливаются методами мелкосерийного производства, разработаны нормализованные узлы (подшипники, контактные кольца, статоры, роторы), что позволило значительно унифицировать детали, комбинируя конструкции из нормализованных узлов. Синхронные машины, которые раньше представляли собой обособленные от асинхронных машин конструкции, после внедре-

Таблица 1-1

План специализации заводов по производству двигателей единой серии

Габариты двигателей	Заводы-изготовители
3 и 4	Харьковский электротехнический завод (ХЭЛЗ)
3, 4 и 6	Томский электромеханический завод «Сиб-электромотор» (СЭМ)
4 и 5	Медногорский электротехнический завод «Уралэлектромотор» (УЭМ)
5 и 7	Таллинский завод «Вольт»
6	Ярославский электромеханический завод (ЯЭМЗ)
7 и 8	Кемеровский электромеханический завод «Кузбассэлектромотор» (КЭМ)
8 и 9	Московский электромеханический завод имени Владимира Ильича (ЗВИ)
9	Баранчинский электромеханический завод имени Калинина

ния единых серий стали выпускаться как модификации асинхронных двигателей, имеющие одинаковую конструкцию статоров, подшипников, коробок выводов и т. п.

Принцип серийного проектирования был распространен и на синхронные генераторы. Так, например, на заводе «Уралэлектроаппарат» разработаны серии гидрогенераторов ВГС средней мощности.

Выпускавшиеся свыше 25 лет серии машин постоянного тока ПН и МП-540 уступают многим современным типам машин постоянного тока по весам, габаритам, технологичности конструкции, коммутации и другим эксплуатационным показателям. Отрезки серий имеют несвязанные технические данные и многообразие конструктивных узлов. В этих сериях нет закрытого обдуваемого исполнения, поэтому закрытые машины получают в 2 раза тяжелее защищенных.

Взамен устаревших серий разработана единая серия машин постоянного тока в диапазоне мощностей 0,3—200 кВт при 1500 об/мин, которой присвоено обозначение П. В серии принята твердая шкала мощностей при всех скоростях вращения. Применен кремнийорганической изоляции дало снижение веса против машин ПН в среднем на 27%. Веса машин серии П меньше весов машин передовых иностранных фирм, а к. п. д. выдержан на уровне этих машин. Конструкция подшипниковых узлов в серии П принята бескапсульная, что упрощает изготовление и обеспечивает центричность якоря по отношению к полюсам. Диаметры якорей выбраны с учетом безотходного раскроя листов электротехнической стали на полосы при штамповке. В конструкции машин широко применено литье деталей под давлением из алюми-

ниевых сплавов. В машинах первых габаритов принята конструкция коллекторов на пластмассе. Проведена широкая унификация деталей, причем против машин ПН число передних подшипниковых щитов сократилось с 28 до 8, задних щитов — с 70 до 9, коробок выводов с 7 до 3, траверс — с 7 до 4, коллекторов с 6 до 4.

Машины постоянного тока мощностью свыше 200 кВт выпускаются в виде модифицированной серии П-100, имеющей четыре габарита. В этой серии проведено широкое внедрение сварных конструкций вместо литых. Применены подшипники качения в машинах со стойковыми подшипниками.

Внедрение единых всесоюзных серий электрических машин дало народному хозяйству СССР огромную экономию как в области их производства, так и эксплуатации. Однако техника непрерывно развивается и то, что было прогрессивным и передовым при проектировании серии А и АО в 1946—1947 гг., уже не удовлетворяет народное хозяйство в настоящее время, особенно при значительном количественном росте выпуска асинхронных двигателей, который в 1965 г. достигнет 4,5 млн. двигателей в год на общую установленную мощность 34 млн. кВт. Последние достижения в области изоляционных материалов, обмоточных проводов, технологии производства, а также согласование технических условий с материалами международных организаций МЭК и СЭВ потребовали разработки новой серии асинхронных двигателей в диапазоне мощностей 0,6—100 кВт, проект которой был утвержден в 1958 г. Эта работа была проведена Всесоюзным научно-исследовательским институтом электромеханики с помощью электронной вычислительной машины для определения оптимальной геометрии серии.

Серия спроектирована на восьми габаритах и имеет измененную шкалу мощностей согласованную с рекомендациями СЭВ, имеющую 18 ступеней вместо 14 в сериях А и АО.

Новая серия двигателей А2 и АО2 дает экономию активных и конструктивных материалов, снижение трудоемкости производства и повышение энергетических показателей электродвигателей.

В решениях XXI съезда КПСС по семилетнему плану развития народного хозяйства СССР особое внимание уделяется развитию электротехнической промышленности как важнейшей электротехнической базы электрификации страны. Предусматривается на основе достижений науки и практики резко поднять технический уровень и качество электрических

машин, устройств и аппаратов, кабельных изделий, электроизоляционных материалов и удовлетворить потребность в них всех отраслей народного хозяйства и быта трудящихся.

Основные задачи в области электродвигателей на ближайшие годы:

замена старых серий новыми едиными все-союзными сериями основных электродвигателей на базе параметрических рядов по мощностям, скоростям вращения, напряжениям и частотам;

проведение типизации с целью создания оптимальной номенклатуры, способной обеспечить все потребности народного хозяйства;

создание совершенных конструкций с повышенными технико-экономическими характеристиками, надежных и долговечных в эксплуатации, с использованием новых синтетических материалов (лаков, пленок, стеклотканей и полимеров);

разработка массовой серии электродвигателей с применением алюминия и биметалла (медь + алюминий) в качестве проводникового материала;

изготовление автоматических линий для обработки деталей и узлов станков для укладки обмоток в пазы;

разработка автоматических устройств для пропитки обмоток с одновременным сокращением технологического процесса;

автоматизация испытаний готовых машин [Л. 1-2].

1-2. ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРОМАШИНОСТРОЕНИЯ

Основной особенностью технологии производства электрических машин является чрезвычайное разнообразие технологических процессов. Технология машиностроения изучает лишь механическую обработку деталей и сборку их в изделие. Технологические процессы производства электрических машин, помимо механической обработки и общей сборки машины, включают: отливку деталей сложной формы из черных и цветных металлов; все виды сварки от тонких проводов до огромных деталей гидрогенераторов; штамповку и сборку сердечников; изготовление коллекторов и щеткодержателей; намотку, формовку, изолировку, пропитку и укладку в пазы катушек обмоток; пайку мягкими и твердыми припоями и т. п.

Качество выполнения этих процессов в значительной степени определяет такие важные свойства машины, как надежность ее работы, искрение под щетками, потери в стальных сердечниках, нагрев отдельных частей и др. Качество изготовления такого сложного узла,

каким является коллектор, в сильной степени зависит от рационального технологического процесса. Потери от вихревых токов в сердечниках при данном сорте электротехнической стали почти исключительно зависят от технологии штамповки листов, сборки и обработки сердечников. При низком качестве штамповки и шихтовки листов потери в собраных сердечниках могут в 2—3 раза превышать удельные потери в образцах данного сорта стали.

В производстве обмоток исключительно важное значение имеют чистота в цехе и точное выполнение технологических процессов. Пыль и грязь, попадающие на изоляцию или отступление от установленных режимов сушки и пропитки, резко снижают срок службы изоляции, а ничтожная металлическая стружка, как правило, приводит к пробое изоляции на испытательной станции или в эксплуатации. Поэтому при планировании производственных участков необходимо предусмотреть, чтобы никакие работы, связанные с обработкой металлов, не производились вблизи обмоточных и изоляционных участков, и обеспечить сжатым воздухом для продувки сердечников перед укладкой обмоток в пазы.

Своеобразие некоторых технологических процессов, как, например, шихтовка сердечников или укладка обмоток в пазы, сильно затрудняет их механизацию и автоматизацию. Поэтому доля ручного труда в электромашиностроении еще очень велика.

Совершенствование технологии во многом зависит от основных активных и конструктивных материалов, получаемых электромашиностроительными заводами от других отраслей промышленности. Сюда относятся электротехническая сталь, обмоточные провода, коллекторная медь, изоляционные материалы, пропиточные составы, крупные поковки, подшипники качения. Во многих случаях внедрение новой техники и прогрессивной технологии задерживается из-за отсутствия или несоответствующего техническим условиям качества этих материалов.

Однако, несмотря на эти трудности, электромашиностроение развивается быстрыми темпами, опережающими рост общего машиностроения в целом.

Можно отметить следующие основные этапы развития технологии электромашиностроения.

Дореволюционные электромашиностроительные заводы не имели сталелитейных цехов, и поэтому магнитно нагруженные станины и ободы роторов отливались из чугуна, что более чем вдвое увеличивало их вес. В на-

чала тридцатых годов электромашиностроительные заводы были оборудованы электропечами для плавки стали, что позволило отливать магнитно и механически нагруженные детали из стали, причем для первых были разработаны специальные марки стального литья с высокой магнитной проницаемостью.

В первых гидро- и турбогенераторах основные механические детали, включая и звезду ротора гидрогенератора, выполнялись литыми из стали.

Однако стальное литье очень недолгое время являлось основным материалом в электромашиностроении, уступив место электродуговой сварке. Внедрение сварных конструкций совершило революционный переворот во многих областях электромашиностроения. В области крупных электрических машин электрическая сварка открыла неограниченные возможности повышения размеров машин. Корпусы статоров современных гидрогенераторов с внешним диаметром до 17 м и более, а также газоплотные корпуса турбогенераторов невозможно себе представить в литом исполнении. Это относится также к таким механически нагруженным деталям, как звезда ротора и несущие крестовины гидрогенераторов. Переход на сварные конструкции дал огромную экономию металла и снижение трудоемкости механической обработки.

В области электромашиностроения сварные конструкции также в значительной степени вытеснили литые в таких деталях, как станины машин постоянного и переменного тока, подшипниковые щиты, стояки подшипников качения, фундаментные плиты и др. При получении заготовок для толстостенных станин машин постоянного тока методом гибки под молотом припуск на обработку достигал 5—8 мм на сторону. В последнее время применяется способ вальцовки цилиндрических заготовок с обжатием, дающий значительно более высокую точность, и припуски на обработку снижаются в несколько раз.

Однако даже при современном развитии методов электросварки экономически более выгодно отливать станины и подшипниковые щиты машин переменного тока мощностью до 500 квт из чугуна, а станины восьмигранной формы и подшипниковые щиты тяговых и крановых двигателей постоянного тока из стали.

Технология литья также совершенствуется путем введения новых методов формовки, механизации процессов приготовления формовочных земель, наполнения и выбивки опок и отливки в металлические формы.

Внедрение единых серий электрических машин открыло широкие возможности унификации деталей. Это позволило применять такие производительные методы производства, как литье под давлением, которые являются нерентабельными при мелкосерийном производстве. Литье под давлением применяется не только для выполнения отдельных деталей, как подшипниковые щиты, крышки подшипников, но и для комплексного соединения деталей. Примером являются роторы короткозамкнутых асинхронных двигателей с вентиляционными крыльями, залитые алюминием, и сердечники статоров, залитые в алюминиевую оболочку. Замена литья в земляные формы литьем под давлением дает возможность встроить процессы литья в общий поток производства. Так, например, на заводе ХЭЛЗ работает поточная линия «вал — ротор».

Последние достижения методов электродуговой сварки внесли значительный прогресс в технологию крупных поковок. Так, например, заготовки валов с приваренными фланцами дают экономию металла в несколько тонн на одной поковке по сравнению с цельноковаными.

Переход на крупносерийное и массовое производство требует применения высокопроизводительных агрегатных станков для механической обработки и автоматических поточных линий. Для перевооружения электромашиностроительных заводов в соответствии с ростом производства по семилетнему плану требуется организовать производство специализированного высокопроизводительного оборудования широкой номенклатуры. Сюда входят: серии агрегатных станков для обработки станин и подшипниковых щитов, серия натяжных и редукторных устройств для конвейеров, серия устройств для автоматической подачи рулонной стали на эксцентриковых прессах, серия намоточных станков для укладки насыпных обмоток в пазы, несколько типов конвейеров для окрасочных и гальванических установок, типовые узлы испытательных станций и конвейерных испытательных установок, типовые узлы механизированных пропиточно-сушильных устройств, типовые узлы подвесных рольганговых транспортных устройств и другое оборудование. Для изготовления этого оборудования необходимо организовать специальные машиностроительные заводы, так как изготовление его на каждом электромашиностроительном заводе, как это имеет место в настоящее время, представляет значительные трудности и обходится очень дорого [Л. 1-3].

Наиболее сложные объекты оборудования:

автоматические станочные линии, автоматические прессы большой мощности, а также стандартные узлы—силовые, фрезерные и расточные головки — поставляются предприятиями станкостроительной и инструментальной промышленности. Однако это не исчерпывает всех потребностей электромашиностроительных заводов.

В технологии производства электрических машин значительное место занимает так называемое нестандартное оборудование, которое изготавливается самими заводами. Сюда относятся в первую очередь станки для растяжки катушек, изолировочные и намоточные станки различных типов, прессы для формовки

обмоток, станки бандажировочные и для продоруживания коллекторов и ряд ругих. Часть этих станков электромашиностроительные заводы изготавливают, используя старые металлообрабатывающие станки путем их дооборудования, основную же часть приходится изготавливать заново. В связи с ростом производства электрических машин намечается необходимость в серийном проектировании и изготовлении такого оборудования в централизованном порядке. Это даст возможность усовершенствовать оборудование, автоматизировать производственные процессы и откроет еще большие возможности для повышения производительности труда.

ГЛАВА ВТОРАЯ

ТЕХНИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА ПРОИЗВОДСТВА

2-1. ТИПЫ ПРОИЗВОДСТВ

В зависимости от характера производства электрических машин оно разделяется на три типа: 1) индивидуальное; 2) серийное и 3) массовое.

1. **Индивидуальным**, или **единичным**, называется производство, при котором изготавливаются единичные экземпляры электрических машин, разнообразные по своей конструкции и в дальнейшем уже не повторяющиеся.

Индивидуальное производство в настоящее время встречается очень редко. Типичным его представителем является цех пробных конструкций, изготавливающий первые образцы новых машин.

2. **Серийное** производство характеризуется выпуском однотипных электрических машин партиями (сериями), которые из месяца в месяц повторяются.

Слово **серия** в электромашиностроении имеет два значения, которые не следует смешивать: **серией** называют ряд машин возрастающей мощности одного и того же назначения, и **серией** называют количество одновременно запускаемых в производство однотипных машин (отсюда название — **серийное** производство). В зависимости от объема серии различают мелкосерийное и крупносерийное производство.

Конечно, при определении характера производства нельзя исходить только из количества машин; надо учитывать их размеры, вес и трудоемкость. Например, производство цеха, выпускающего в месяц 25 турбогенераторов, следует считать крупносерийным, а цех,

выпускающий в месяц 300 микродвигателей, относится к мелкосерийному производству.

В электромашиностроении серийное производство имеет наибольшее распространение. Оно охватывает серии машин постоянного тока, асинхронные и синхронные двигатели, синхронные генераторы, включая турбо- и гидрогенераторы.

3. **Массовое** производство характеризуется выпуском изо дня в день одной или нескольких сходных по конструкции электрических машин. При массовом производстве применяется специализированное оборудование, приспособленное только для выполнения определенных операций; открываются широкие возможности механизации и автоматизации производства с резким ростом производительности труда; используется расстановка оборудования в направлении потока деталей (поточное производство).

В электромашиностроении методами массового производства изготавливаются многие типы микродвигателей для автоматики и бытовых целей, а также машины автотракторного электрооборудования.

Меньшие габариты единой серии асинхронных двигателей и серии крановых двигателей также переведены на массово-поточное производство.

В единой серии асинхронных двигателей мощностью 0,6—100 квт распределение количества выпуска по типам двигателей неравномерное. Среднюю мощность можно определить по формуле

$$P_{\text{ср}} = \frac{P_1 N_1 + P_2 N_2 + P_3 N_3 + \dots}{N_1 + N_2 + N_3 + \dots} \sim 8 \text{ квт}, \quad (2-1)$$

где P_1, P_2, P_3 — номинальные мощности двигателей серии;

N_1, N_2, N_3 — соответствующие количества выпускаемых двигателей.

Как видно из формулы, $P_{\text{ср}}$ значительно отличается от среднеарифметической мощности, равной примерно 50 квт. Этим объясняется, почему двигатели первых трех габаритов серии выпускаются методами массово-поточного производства, а двигатели большей мощности — методами серийного производства.

2.2. ЗАДАЧИ И СОДЕРЖАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА

Производство электромашиностроительно-го завода разделяется на две части: новые машины и освоённые. Для первых необходима разработка конструкции, технологии и освоение производства, а для вторых систематическая рационализация конструкций и методов производства.

Техническая подготовка производства представляет собой комплекс технических, организационных и производственных мероприятий по созданию лучших конструкций, разработке технологии и оснастки, освоению выпуска новых электрических машин, обеспечению ритмичного бесперебойного производства и высокого качества освоённых машин [Л. 2-1].

По своему содержанию техническая подготовка производства состоит из двух основных стадий: конструкторской и технологической.

В процессе конструкторской подготовки производятся электромагнитный, тепловой, вентиляционный и механический расчеты машины, разработка конструкции в виде чертежей продольного и поперечного разрезов и выпуск рабочих чертежей со спецификациями.

Технологическая подготовка заключается в разработке технологии изготовления деталей и узлов машины, освоении необходимой технологической оснастки, т. е. штампов, инструментов и приспособлений.

По существующей на большинстве заводов структуре технических отделов конструкторской подготовки производства занимается отдел главного конструктора (ОГК), а технологической — отдел главного технолога (ОГТ). Работа этих отделов тесно связана.

Иногда совершенно неправильно считают, что задачей конструктора является только создание машины с хорошими характеристиками, а задачей технолога — разработка тех-

нологии ее изготовления. Конструкция и технология машины очень тесно связаны, так как в конструкции машины заложены основы технологии ее изготовления. Поэтому работа конструктора и технолога над созданием машины должны проводиться не последовательно одна за другой, а параллельно, причем это касается не только выбора основных принципов конструкции, а всего процесса проектирования, включая и разработку детальных чертежей. На каждом рабочем чертеже должна быть подпись ведущего технолога, разрабатывающего технологию данной детали или узла.

Принцип технологичности конструкций состоит в том, что при разработке конструкции машины в равной степени учитываются как эксплуатационные характеристики, так и производственные соображения. Часто эти два требования бывают противоречивы, и тогда приходится решать вопрос, какому из них следует отдать предпочтение.

Если машина неудачно спроектирована, то даже сложные и дорогие приспособления не могут обеспечить требуемой производительности труда и высокого качества машины. И, наоборот, вопросы рациональной технологии легче всего решаются при конструировании машины.

Влияние конструкции на трудоемкость и стоимость машины очень велико. Каждый конструктивный узел может быть выполнен в разных вариантах. Но даже при выбранном варианте конструкции такие факторы, как класс точности обработки, чистота поверхности, величина припусков на обработку, твердость материала, форма детали, уменьшение количества отходов и многие другие, имеют большое влияние на трудоемкость производственных операций. Конструкция машины должна разрабатываться с учетом длительности ее производственного цикла, так как это влияет на оборачиваемость средств завода, и правильное соотношение между трудоемкостью отдельных операций, необходимого для организации поточного производства.

Взаимную связь между расчетом электрической машины, ее конструкцией и технологией можно пояснить на следующих примерах:

1. При выборе диаметра якоря или статора необходимо учитывать наимыгоднейший раскрой листов электротехнической стали.
2. При расчете индукции в зубцах следует принимать размеры паза в штампе, а при укладке обмотки — размеры паза «в свету».
3. При выборе формы паза необходимо

учитывать простоту изготовления и срок службы штампа.

4. При проектировании обмоток и распределении проводников в пазу следует иметь в виду удобство намотки катушек и укладки их в пазы.

5. При проектировании подшипниковых узлов надо учитывать удобство обработки шитов и сборки узлов.

6. При выборе конструктивного варианта любого узла надо уметь сравнивать их по трудоемкости, сложности технологической оснастки и стоимости.

Таких примеров можно было бы привести очень много. Конкретно вопросы технологичности конструкций разбираются в каждой главе для соответствующих деталей и узлов электрических машин.

2-3. КОНСТРУКТОРСКАЯ ПОДГОТОВКА ПРОИЗВОДСТВА

Конструкторская подготовка производства новой машины состоит из следующих этапов:

1. Техническое задание.
2. Технический проект.
3. Рабочие чертежи.
4. Опытный образец машины.

1. Техническое задание на новую машину включает ее номинальные данные: мощность, скорость вращения, напряжение, а также форму исполнения, способ защиты, особые требования и т. п.

2. Технический проект содержит расчеты машины и проектные чертежи общих видов, в которых заложены основы технологии ее изготовления с учетом количества выпускаемых машин.

3. Рабочие чертежи разделяются на сборочные, узловые, и детальные и составляются в соответствии с ГОСТ и действующими на заводе нормами.

4. Для проверки расчетов, конструкции и технологии в цехе пробных конструкций изготовляют один или несколько опытных образцов новой машины, которые подвергаются всесторонним испытаниям. На основании протокола испытаний вносятся необходимые коррективы в расчеты и чертежи и машина утверждается к пуску в производство.

Отдел главного конструктора разделяется на расчетное и конструкторское бюро. На заводах с разнообразной производственной программой для каждого типа машин есть отдельное бюро, например бюро машин постоянного тока, бюро асинхронных двигателей, бюро турбогенераторов и т. д. Таким образом, инженерно-технический персонал в от-

деле главного конструктора специализируется по типам машин и по расчетной или конструкторской работе. Такая узкая специализация, исторически сложившаяся на всех заводах как в СССР, так и за границей, необходима и полезна. Расчетчик должен хорошо владеть теорией электрических машин, общей электротехникой, теорией испытания машин и иметь специфический навык по расчету машин. Конструктор, кроме представления о теории электрической машины, должен в совершенстве владеть знаниями общего машиностроения, специфическими конструкторскими навыками и хорошими знаниями технологии.

Как расчетчик, так и конструктор должны тщательно изучать опыт эксплуатации построенных машин, так как он является лучшим критерием качества активной и конструктивной части электрической машины.

Активная и конструктивная части электрической машины настолько тесно связаны, что при составлении технического проекта машины необходимо учитывать как расчетные, так и конструкторские соображения. Поэтому руководящий состав отдела главного конструктора должен одинаково хорошо владеть как вопросами электромагнитных расчетов, так и вопросами конструирования [Л. 2-2]

В задачи расчетного бюро входят электромагнитные и тепловые расчеты электрической машины. Результаты этих расчетов вносятся в конструкторскую записку. Она содержит данные об активной части машины, т. е. о магнитных сердечниках, обмотках, коллекторе и щетках. Конструкторская записка служит основанием для конструирования машины. Кроме конструкторской записки, расчетное бюро выпускает еще обмоточную записку, в которой указаны данные обмоток машины, т. е. числа витков, размеры и вес провода и сопротивление обмоток.

Конструкторское бюро на основе конструкторской записки разрабатывает проектные чертежи машины и после их согласования с технологами и утверждения выпускает рабочие чертежи.

2-4. СТАНДАРТИЗАЦИЯ, НОРМАЛИЗАЦИЯ И УНИФИКАЦИЯ

В электромашиностроительном производстве применяются многие детали и материалы, на которые распространяются Государственные общесоюзные стандарты. Однако число разновидностей материалов и деталей, предусмотренных стандартами, которые составляются на основе удовлетворения потребностей всей промышленности Советского Союза,

слишком велико для данного завода. Если бы завод применял все типоразмеры стандартизованных деталей и все сорта и размеры материалов, то это настолько усложнило бы снабжение материалами, изготовление и хранение деталей, планирование и учет работы цехов, что практически завод не мог бы работать.

Поэтому в отделе главного конструктора каждого завода работает бюро стандартов и нормалей (БСН). Бюро выпускает нормали, обязательные на данном заводе. Заводские нормали выпускаются на основе стандартов, но имеют сокращенную шкалу типоразмеров деталей и материалов применительно к условиям работы на данном заводе. Заводские нормали ограничивают по сравнению со стандартами применение размеров резьб, размеров болтов и винтов, толщин и марок изоляционных материалов, сортов изоляционных лаков, марок и размеров щеток, обмоточных и монтажных проводов, нормальных диаметров, классов точности, посадок и т. п.

Сокращением номенклатуры деталей и материалов достигается уменьшение разновидностей технологической оснастки, укрупнение партий обрабатываемых деталей, а следовательно, уменьшение числа наладок станков и значительное повышение производительности труда, упрощение планирования цехов, хранения и учета деталей и материалов.

Однако задачи нормализации не ограничиваются сокращением номенклатуры стандартизованных деталей и материалов. Остается еще более широкое поле деятельности в области нормализации и унификации нестандартных деталей.

Конструкторские нормали можно разделить на следующие основные группы:

1. Нормали на стандартные детали и материалы, как, например, болты, гайки, шайбы, шпонки, шпильки, щетки, обмоточные провода, изоляционные материалы. Эти нормали составляются в соответствии с ГОСТ, но содержат ограниченную номенклатуру деталей, размеров и сортов материалов.

2. Нормали на унифицированные узлы и детали, как, например, щеткодержатели, кабельные наконечники, подшипниковые узлы, уплотнения подшипников, детали штампов и приспособлений и т. п.

3. Нормали на изоляцию обмоток и технологические процессы сушки и пропитки в зависимости от напряжения и условий работы машины.

4. Нормали на допуски и посадки, классы точности, классы чистоты обработки с указанием применяемости посадок в различных конструктивных узлах.

5. Нормали на оформление чертежей типовых деталей, в которых указывается расположение проекций, порядок расстановки размеров, выбор допусков и т. п. Эти нормали имеют очень важное значение, так как они организуют производство и упрощают пользование чертежами.

6. Нормали на ведение чертежного хозяйства, регламентирующие порядок выпуска чертежей, их ну-

мерацию, хранение, проведение изменений в чертежах и ряд других положений.

Нормали выпускаются БСН, но в разработке нормалей принимают участие конструкторы, технологи и работники лабораторий и цехов. Некоторые нормали, имеющие значение для всех электромашиностроительных заводов, становятся ведомственными нормальми или вносятся в Комитет стандартов для выпуска ГОСТ.

Нормализация совершенствует не только организацию производства, но и технику проектирования, расчетов, конструкций и технологических процессов. Ни один чертеж не выпускается в производство без визы бюро стандартов и нормалей.

Укрупнение партий деталей в производстве достигается не только за счет нормализации, но и методов проектирования. При проектировании индивидуальной машины, например тягового двигателя для определенного типа тепловоза, стремятся вписать двигатель в заданные габариты и достигнуть наименьшего веса путем максимального использования всех элементов конструкции.

При проектировании серии электрических машин, которые составляют основную часть производственной программы заводов, руководствуются в значительной степени технологическими соображениями.

В целях унификации деталей и технологической оснастки два или несколько соседних по мощности типов двигателей проектируют с одинаковыми поперечными размерами (габаритами), варьируя длиной активной части. При этом диаметр вала рассчитывают на жесткость для самого длинного двигателя, а в других типах этого габарита материал вала и подшипники слабо нагружены. Если все типы двигателей данного габарита имеют одну станину, то в коротком двигателе она будет иметь излишнюю длину и вес.

Унификация активных размеров двигателей закрытого и защищенного исполнения приводит к недоиспользованию защищенного двигателя в тепловом отношении.

Поэтому в каждом случае целесообразность унификации деталей должна проверяться технико-экономическими расчетами.

2-5. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА ПРОИЗВОДСТВА

Технологическая подготовка производства состоит из следующих этапов:

1. Составление маршрутной технологии для деталей и узлов.

2. Разработка карт технологических процессов.

3. Составление перечня технологической оснастки.

4. Проектирование технологической оснастки.

5. Освоение технологических процессов и оснастки в цехах.

6. Составление нормативов расхода материалов на единицу изделия.

Отдел главного технолога состоит из технологического бюро, конструкторского бюро, нормативного бюро и технологической лаборатории.

Технологическое бюро разделяется на группы по характеру технологических процессов

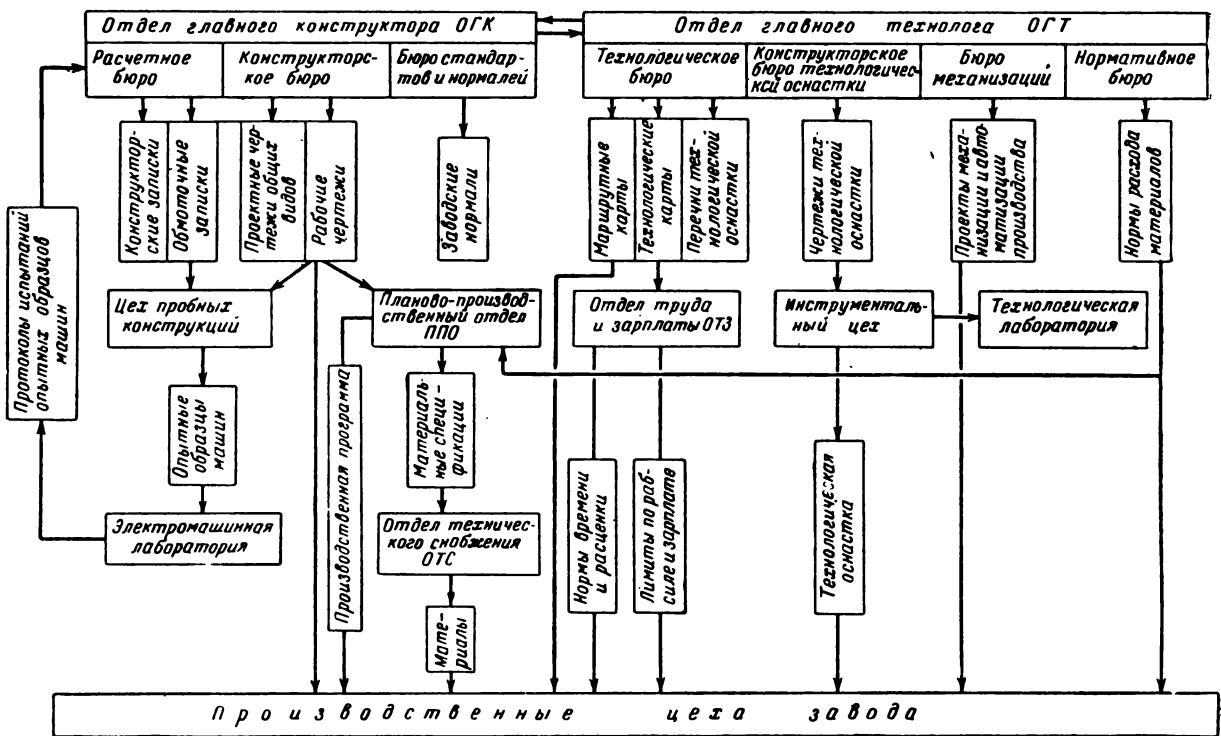


Рис. 2-1. Схема подготовки производства.

(механическая обработка, штамповка, обмотка, сборка). На заводах с разнообразной программой выделяют ведущие технологи по разным типам машин. В задачу технологического бюро входит составление маршрутной технологии, разработка карт технологических процессов, составление перечня технологической оснастки, а после ее изготовления — освоение в цехах.

Технологические карты передаются в отдел труда и зарплаты (ОТЗ), который устанавливает нормы времени и расценки для каждой операции.

Конструкторское бюро разделяется на группы по специальностям: группа штампов, группа приспособлений, группа инструментов и т. п.

Чертежи технологической оснастки передаются в инструментальный цех для ее изготовления.

Нормативное бюро на основе выбранных припусков на обработку, отходов материалов и способов производства устанавливает нормы расхода основных и вспомогательных материалов для каждой детали и каждого процесса.

На основе спецификаций в рабочих чертежах и нормативов планово-производственный отдел (ППО) составляет материальные ведомости

и передает их в отдел технического снабжения (ОТС) для обеспечения производственных цехов материалами в соответствии с производственной программой.

Технологическая лаборатория исследует новые технологические процессы и эффективность применения различных штампов, инструментов и приспособлений.

Технологическую подготовку литых деталей, заключающуюся в проектировании и изготовлении моделей, кокилей, литейных форм и т. п., проводит отдел главного металлурга.

На рис. 2-1 показана общая схема подготовки производства. На ней прямоугольниками с горизонтальными надписями обозначены технические отделы, а с вертикальными — выпускаемая ими техническая документация. Последовательность отдельных этапов указана стрелками.

Последовательное прохождение подготовки производства через все перечисленные инстанции устанавливается календарным графиком и занимает много времени. От начала электромагнитного расчета до пуска машины в производство проходит несколько месяцев. В целях быстрого освоения новых типов электрических машин многие этапы подготовки производства проводят параллельно. После выбора размеров магнитной цепи выпускают

чертежи листов сердечников и сразу передают их на проектирование штампов. Для коллекторных машин изготавливают шаблон для проверки размеров профиля коллекторной меди, который должен быть представлен кабельному заводу при заказе меди.

По утверждении общего вида машины в первую очередь выпускают чертежи отливок и передают в модельный цех для изготовления моделей. Остальные чертежи разрабатывают в такой последовательности, чтобы детали, требующие сложной технологической оснастки, выпускались в первую очередь. Последними изготавливают сборочные чертежи узлов и всей машины, которые потребуются только при сборке. Таким образом, процесс подготовки производства машины ускоряется в несколько раз.

2-6. МАРШРУТНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Как показывает название, маршрутная технология определяет путь прохождения деталей по цехам завода или по отдельным участкам цеха.

В индивидуальном производстве, когда еще не существовало систем допусков и посадок, одному токарю поручалась полная обработка вала и насаживаемой на него втулки с пригонкой требуемой плотности посадки. При таком способе производства, конечно, никаких маршрутных и технологических карт не требовалось.

По мере роста масштабов производства производственный процесс на основе взаимозаменяемости деталей все более расчленялся на отдельные операции, выполняемые на разных рабочих местах. Однако станки еще были расположены по принципу однотипности и детали совершали очень сложный зигзагообразный путь от станка к станку.

Маршрутные ведомости, а затем карты помогали управлять производством. По ним легко было узнать, на какой станок передается вал после токарной операции и в какой цех он должен быть направлен по окончании обработки.

При переходе к крупносерийному и массовому производству выявилась целесообразность сократить и упростить путь деталей от одной операции к другой, а для этого надо было расставить оборудование по ходу технологического процесса. Это открыло возможность механической передачи деталей от одной операции к другой. Таким образом отпала необходимость планировать продвижение деталей, и маршрутная карта получила совсем другое значение, хотя еще сохранила прежнее название. Она теперь показывает по-

рядок операций, согласно, которому планируется расположение станков и производственных участков.

Техника составления маршрутной технологии и схемы производства наглядно показаны в § 2-12 на примере подготовки производства асинхронного электродвигателя.

2-7. КАРТЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Технологическая карта — это основной документ для выполнения производственных операций. Наиболее подробной является технологическая карта для обработки детали на металлорежущих станках. Она составляется для каждой операции с подразделением на установочные, переходы и проходы.

При массовом производстве для каждого перехода составляется отдельная карта. В карте указываются эскиз детали, тип и номер станка, способ установки и закрепления детали, база для выверки детали при установке, измерения в процессе обработки, режимы резания (скорость и глубина резания, подача). Машинное время рассчитывают по формулам.

Механическая обработка деталей в электромашиностроении занимает не более 25% общей трудоемкости электрической машины. Остальное время уходит на штамповку и шихтовку сердечников, заготовительные работы по выполнению катушек обмоток и укладку их в пазы, изготовление коллекторов и щеточного аппарата, сборку машины.

В процессе шихтовки, обмотки и сборки преобладают ручные операции с элементами механизации. Технологические карты на эти операции менее подробны, чем для механической обработки деталей. Технологические процессы в них разделяют на операции и переходы. В технологических картах указывается содержание работы, оборудование, приспособления, инструменты, а также некоторые режимы, например температура нагрева детали при пропитке и сушке, вязкость лака, натяжение бандажной проволоки, число оборотов в минуту намоточного станка, давление гидравлического пресса и др.

Примеры технологических карт приведены в табл. 2-3. Для удобства пользования некоторые технологические указания составляют в виде таблиц, которые постоянно находятся на рабочем месте. Например, у гидравлического пресса помещается таблица давлений в показаниях манометра для прессовки сердечников серийных машин, у бандажировочного станка — таблица натяжений бандажной проволоки в зависимости от диаметра.

При массовом производстве разрабаты-

вают инструкционные карты для ручных операций, например укладки обмотки в пазы. В этих картах подробно описан процесс выполнения операции с указанием, что делают правая и левая руки.

В электромашиностроении есть характерные технологические процессы, которые применяются во всех однотипных машинах. Сюда относятся пропитка и сушка обмоток, сборка коллекторов, намотка и изолировка катушек, укладка обмоток в пазы и т. п.

На такие процессы составляются производственные предписания. Они содержат перечень применяемых материалов со ссылкой на технические условия и ГОСТ, применяемое оборудование, инструменты и приспособления. В производственном предписании подробно по пунктам излагается порядок выполнения процесса, указывается, в чем заключается контроль в различных стадиях выполнения процесса, делаются указания по технике безопасности.

Производственные предписания составляются технологами, конструкторами, работниками лабораторий и цехов и утверждаются главным инженером завода. Они служат руководящим указанием при разработке технологических карт.

Налаженное производство может нормально функционировать только при установившихся проверенных и зафиксированных технологических процессах. Из практики различных производств известно много случаев,

когда отступление от установленных технологических процессов приводило к массовому браку и срыву производства.

Изменение технологического процесса допускается лишь после тщательной проверки нового варианта технологии, введение которого должно быть проведено организованно по определенному плану с учетом использования деталей, изготовленных по старой технологии.

2-8. ТИПИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Значительный рост производства электрических машин требует внедрения более совершенной технологии. Одним из способов улучшения технологии является типизация технологических процессов.

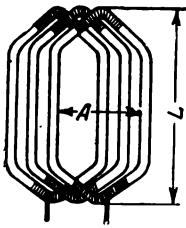
Большой ассортимент изделий, выпускаемых заводом, значительно затрудняет проектирование технологических процессов и создание однотипных процессов для аналогичных деталей. Отдельные технологии могут процессы однотипных деталей составлять по-разному, что вносит бессистемность в общий характер производства. Следствием этого являются разные нормы времени на аналогичные операции, что нарушает организацию объективного технически обоснованного нормирования.

Типизация технологических процессов начинается с систематизации существующих процессов. Для этого технология однотипных деталей объединяется в виде специальных карт или ведомостей (табл. 2-1). На основании анализа этих материалов создаются типовые технологические процессы на характерные виды продукции. При этом открывается широкая возможность выявления лучших технологических приемов.

Дальнейшим этапом работы является составление классификаторов. Классификатор представляет собой таблицу, в которой перечислены все разновидности деталей данного типа.

Таблица 2-1

Сводная карта на катушки всыпной обмотки статора

Эскиз катушки	№ чертежа	Число катушек в группе	Марка и Ø обмоточного провода	Число параллельных проводников	Число витков в катушке	Размеры, мм			Разряд	Норма времени	Расценок
						A	L	длина витка			
											

Классификатор деталей содержит типовой эскиз с основными размерами деталей. В разделе «Основные данные» приводятся главные размеры деталей, а также дополнительные сведения, характеризующие трудоемкость обработки. Сюда включаются вес, развернутая длина заготовки, число шлифуемых поверхностей, число слоев изоляции, сечение меди и т. д.

В нижней части классификатора указываются установленные нормы времени на каждую операцию. Эта часть играет большую роль при установлении норм на вновь появляющееся изделие, особенно при большой номенклатуре деталей.

При составлении классификаторов систематизируются все детали по их размерам, что дает ценный материал для нормализации.

Типизацией технологических процессов в первую очередь охватываются наиболее важные группы деталей и узлов. Сюда относятся: валы, втулки и нажимные конусы коллекторов, коллекторные пластины, штампованные листы сердечников, катушки обмоток. Типизации подлежат также сборка и обмотка якорей, роторов и статоров, сборка и обработка коллекторов, подшипниковые узлы и т. п.

2-9. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОСНАСТКА

Перечень технологической оснастки представляет собой выписку из технологических карт и служит для планирования работы конструкторского бюро ОГТ и инструментального цеха. Иногда перечень технологической оснастки составляется еще до разработки технологических карт по рабочим чертежам или по общему виду машины.

Технологическая оснастка разделяется на стандартную и специальную. Стандартная оснастка изготавливается специальными инструментальными заводами и приобретается отделом инструментального хозяйства (ОИХ). К ней относятся сверла, метчики, плашки, фрезы, калибры, развертки, шлифовальные круги, слесарные инструменты, а также универсальные измерительные инструменты — штангенциркули, микрометры, штихмассы с микрометрической головкой и т. п.

Специальная технологическая оснастка проектируется конструкторским бюро ОГТ и изготавливается инструментальным цехом. К ней относятся приспособления для обработки деталей на станках, нестандартные инструменты, шаблоны для измерения линейных размеров и диаметров деталей на промежуточных операциях, штампы, пресс-формы, намоточные шаблоны, сборники для шихтованных сердечников, формы для литья под давлением, прессовочные кольца для коллекторов, протяжки для пазов, инструменты для укладки обмоток в пазы и т. п.

Обеспечение технологической оснасткой находится в тесной зависимости от масштабов производства.

Для пробных образцов машин ограничиваются минимумом специальной оснастки, в который входят модели для отливок, штампы для листов сердечников,

ограниченное число приспособлений и шаблонов, без которых нельзя обрабатывать детали.

Измерительные шаблоны для деталей пробного образца изготавливают из листовой стали без термической обработки, так как к ним не предъявляются требования износоустойчивости. Предельные шаблоны заменяют номинальными с проверкой допусков на отклонение размеров шулами.

Для пазов якоря или статора изготавливают простой пазовый штамп (см. рис. 3-13), так как после испытания пробного образца машины может потребоваться изменение размеров пазов. Иногда даже обходятся без штампа для листов полюса, склепывая пакет из квадратных листов стали и обрабатывая его по контуру полюса на строгальном станке. Дощечки зажимов, спроектированные из пластмассы, вырезают из листового гетинакса или текстолита, чтобы не изготавливать прессформы.

Однако при изготовлении пробного образца машины должны быть выдержаны все размеры, указанные в чертежах, и технологические режимы, чтобы по протоколу испытания можно было судить о соответствии расчета и конструкции машины с техническим заданием.

Перед пуском в серийное производство номенклатура технологической оснастки значительно расширяется.

Для листов сердечников изготавливают более производительные совмещенные или последовательные штампы (см. рис. 3-14, 3-17), временные измерительные шаблоны заменяют постоянными. Для отверстий, которые в деталях пробного образца сверлили по разметке, заказывают кондукторы. Пополняют парк приспособлений для обработки, повышающих производительность труда и обеспечивающих взаимозаменяемость деталей.

В современных приспособлениях для обработки детали закрепляют не болтами, а пневматическими зажимами, что облегчает труд станочников и повышает производительность труда. Для деталей, отливаемых под давлением, изготавливают формы (рис. 13-10), а для деталей из пластмасс — пресс-формы (рис. 6-14).

Несмотря на внедрение серий электрических машин и специализации заводов по выпуску определенных типов машин, номенклатура изделий электромашиностроительных заводов еще очень велика. Достаточно сказать, что число модификаций асинхронных двигателей единой серии составляет свыше 1 000 исполнений.

Чтобы избежать чрезмерно большого количества приспособлений и уменьшить число их перестановок в электромашиностроении, широко применяют комбинированные приспособления с подвижными упорами для нескольких соседних по размерам деталей.

Например, для карусельных станков применяют ступенчатую цилиндрическую плиту с диаметрами, соответствующими размерам обрабатываемых станин.

Для сборки и пресовки полюсов применяют комбинированные приспособления с подвижными упорами для нескольких типов полюсов (рис. 4-38).

Особенно широкое распространение находят универсально-наладочные приспособления (УНП) в обмоточно-изоляционных цехах, например намоточные шаблоны для катушечных обмоток (рис. 10-13) и гибочные приспособления для стержневых обмоток (рис. 12-12). Такие приспособления состоят из нормализованных оснований, на которых закрепляются сменные упоры. На одном таком приспособлении можно производить гибку до 50 типов стержней обмоток с разными размерами. Применение универсально-наладочных приспособлений в несколько раз сокращает

сроки изготовления оснастки и уменьшает площади кладовых для их хранения.

Операции гибки стержней, прессовки, растяжки, открывания и закрывания намоточных шаблонов, долгое время выполнявшиеся вручную, теперь снабжают механическими и пневматическими приводами (рис. 10-12).

При переходе к массово-поточному производству технологическая оснастка, приспособленная для выполнения операций над одними и теми же деталями, срastaется с агрегатными станками автоматических поточных линий для обработки валов, станин и других деталей. Особенно видоизменяются инструменты контроля, которые в автоматической линии станков представляют собой уже не шаблоны и калибры, а электроконтактные головки, опирающиеся на обрабатываемые поверхности. Они сблизкированы с системой сигнализации и управления поточной линией. При обнаружении отступлений от чертежа такое контрольное устройство подает сигнал, а в случае непринятия мер останавливает линию.

Автоматизация охватывает не только процессы механической обработки, но и штамповки, шихтовки, обмотки, сборки и испытания машин, о чем будет сказано в соответствующих главах.

2-10. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ

При индивидуальном производстве каждый объект технологической оснастки проектировался от начала до конца с выполнением чертежей всех деталей штампа или приспособления. Поэтому проектирование занимало много времени, а при изготовлении оснастки в инструментальном цехе производительность труда была очень низка.

При серийном производстве применение принципов нормализации, унификации и внедрения новой технологии позволили внести коренные изменения в вопрос оснащения производственных операций.

Современные штампы изготавливаются из нормализованных деталей, запас которых всегда находится в инструментальном цехе. Нормализованы допуски на изготовление деталей, зазоры между пуансоном и матрицей, формы отверстий в матрицах. Переход от штампов с цельной матрицей на секторные дал возможность заменить ручную пропиловку отверстий в матрицах профилем шлифованием (рис. 3-14).

Нормализация ширины намоточных шаблонов для катушек статора высоковольтных машин позволила унифицировать размеры плит на гидравлических прессах, на которых производится прессовка катушек (рис. 10-35).

Нормализация прессовочных колец для коллекторов резко сократила их число.

Для типовых элементов технологической оснастки созданы табличные чертежи с расчетными формулами и проектирование нового типа приспособления заключается в расчете размеров и заполнении новой графы в таблице. Это ускорило процесс разработки чертежей оснастки в 8—10 раз.

При проектировании технологической оснастки руководствуются другими принципами, чем при конструировании машины. При проектировании деталей машины каждый килограмм снижения веса, умноженный на количество выпускаемых машин, дает экономии металла, выражающуюся в тоннах. Приспособления или штампы изготавливаются в одном или нескольких экземплярах, поэтому экономия веса имеет меньшее значение, чем надежность в работе и отсутствие деформации. Ведь если прессовочное кольцо для коллектора деформируется, то это поведет к увеличению

расхода коллекторной меди при обработке, а иногда и к полному браку комплектов пластин. Надежная работа штампов, оснащенных твердыми сплавами, требует повышенной жесткости всех элементов штампа и большей точности направляющих колонок.

Снижение веса необходимо для приспособлений и инструментов, которые надо держать в руках, например паяльник или измерительные шаблоны для крупной детали. Последние делают из тонкостенных стальных или алюминиевых труб, что обеспечивает необходимую жесткость при малом весе.

С другой стороны, к приспособлениям предъявляются требования повышенной износостойчивости. Так, например, болт, притягивающий полюс к станине, иногда ввертывают один раз на весь срок службы машины, а механизм запирающий намоточного шаблона приводят в действие сотни раз в смену. Если бы намоточный шаблон запирался болтами, то на съем катушки уходило бы больше времени, чем на ее намотку. Поэтому в приспособлениях разработаны быстродетствующие зажимы, типа клиновых и эксцентриковых, которые запирают и отпирают одним ударом молотка. Для массового и крупносерийного производства созданы специальные конструкции быстродетствующих приспособлений, как например, шарнирный (рис. 10-14) или пневматический (рис. 10-12) намоточные шаблоны.

Для повышения износостойчивости приспособлений их детали подвергают термической обработке, а рабочие поверхности пресс-форм, кроме того, хромируют. Режущие инструменты выполняют из твердых сплавов.

2-11. ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ЦЕХИ ЭЛЕКТРОМАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ЗАВОДА

Ввиду многообразия технологических процессов производства электрических машин в состав электромашиностроительного завода входит много производственных цехов. В табл. 2-2 приведен перечень цехов электромашиностроительного завода, объединенных в группы по характеру выполняемых операций. Эту таблицу следует рассматривать не как схему административного управления заводом или планировки производства, которые на разных заводах имеют много различных вариантов, а лишь как примерный перечень производственных участков для законченного цикла производства электрической машины. Ввиду того что каждый завод выпускает электрические машины различных типов, число выпускающих цехов соответственно увеличивается. Для удобства территориального размещения и организации поточного производства часто разделяются на отдельные участки и заготовительные цехи, например штамповочный, обмоточный и др.

2-12. ПРИМЕР ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

В качестве примера рассмотрим технологическую подготовку производства асинхронного двигателя единой серии А (рис. 2-2).

Производство его состоит из следующих основных операций. Сердечник ротора набирают из листов 1 на технологическую оправку и в пазы заливают алюминиевую обмотку с замыкающими кольцами и крыльями вентилятора 3, которые формуют при заливке в чугунных кокилах, надетых на оправку вместе с листами ротора. После снятия с оправки ротор напрессовывают на вал 4, на котором он удерживается от проворачивания шпонкой 2. Наружную поверхность ротора обрабатывают на токарном станке и ротор ба-

Перечень цехов электромашиностроительного завода

№ п/п.	Наименование цеха	Основные производственные функции
<i>I. Группа цехов горячей обработки</i>		
1	Чугунолитейный	Отливка станин машин переменного тока, подшипниковых щитов, крышек и стояков, траверс щеткодержателей, крестовин, обмоткодержателей
2	Сталелитейный	Отливка станин машин постоянного тока, втулок и нажимных конусов коллектора, нажимных шайб якоря и других механически нагруженных деталей
3	Цех цветного литья	Отливка из медных сплавов токонесущих деталей и щеткодержателей. Отливка из легких сплавов вентиляторов, станин и подшипниковых щитов, заливка роторов алюминием и статоров в алюминиевую оболочку. Отливка металлических моделей для формовки
4	Кузнечный цех	Горячая штамповка подъемных колец, крупных болтов и других деталей. Загибка в горячем состоянии колец для станин и нажимных шайб. Ковка заготовок для ступенчатых валов и втулок
5	Сварочный цех	Сварка фундаментных плит, станин крупных машин, роторных звезд, щитов, крестовин, втулок коллекторов, траверс, роторов с медной беличьей клеткой
6	Термический цех	Отжиг листов сердечников, медных шин и шинных катушек. Отпуск сварных деталей. Термическая обработка режущих и измерительных инструментов, штампов и приспособлений
<i>II. Группа механических цехов</i>		
1	Цех обработки литых и сварных деталей	Обработка станин, фундаментных плит, стояковых подшипников, подшипниковых щитов, траверс щеткодержателей, крестовин, нажимных шайб
2	Цех обработки валов	Обработка валов, втулок
3	Цех крепежа	Обработка на автоматах винтов, болтов и гаек из пруткового материала. Наклепывание головок заклепок и винтов. Обработка мелких деталей щеткодержателей и других узлов
4	Инструментальный цех	Изготовление штампов, приспособлений, измерительных и режущих инструментов нестандартного типа, пресс-форм
<i>III. Группа штамповочных цехов</i>		
1	Цех раскройки листов	Раскройка листов электротехнической стали на гильотинных и роликовых ножницах
2	Цех штамповки листов сердечников	Штамповка из электротехнической стали листов статора, ротора и якоря; зачистка заусенцев и изолировка штампованных листов
3	Цех штамповки деталей из конструкционной стали	Штамповка листов полюса, полюсных щек, вентиляторов, защитных и направляющих кожухов
4	Цех мелких штампованных деталей	Штамповка деталей щеткодержателей, кабельных наконечников, шайб и т. п.
<i>IV. Группа изоляционных цехов</i>		
1	Цех миканитовых листов	Клейка, прессовка миканитов, микафолия, микалент и составных изоляционных материалов
2	Цех прессованных миканитовых деталей	Прессовка коллекторных манжет и слоистой изоляции щеточных болтов, полюсов, изоляционных втулок
3	Цех пластмасс	Прессовка деталей из пластмасс, коллекторов и контактных колец на пластмассе, опрессовка металлических деталей пластмассами
4	Цех заготовок изоляции	Резка листовых изоляционных материалов для обмоточных и изоляционных работ
<i>V. Группа коллекторных цехов</i>		
1	Цех крупных коллекторов	Резка коллекторных пластин, пайка петушков и сборка их в кольцо, вкладывание миканитовых прокладок, обработка ласточкиных хвостов, прессовка и сборка коллектора
2	Цех средних и мелких коллекторов	Штамповка пластин, сборка их в кольцо и прессовка. Обработка ласточкиных хвостов, обработка втулок и нажимных конусов. Сборка коллекторов на втулку и динамическая формовка. Обработка наружной поверхности
3	Цех контактных колец	Обработка колец, приварка контактных шпилек и шин, сборка и прессовка колец на втулке

№ п/п.	Наименование цеха	Основные производственные функции
<i>VI. Группа обмоточно-заготовительных цехов</i>		
1	Цех многвитковых катушек	Намотка и изолировка катушек обмоток из изолированного провода
2	Цех стержневых обмоток	Гибка, изолировка и прессовка стержней обмоток статора и ротора
3	Цех полюсных катушек	Намотка и изолировка полюсных катушек из изолированных проводов и медных шин
<i>VII. Группа обмоточных цехов</i>		
1	Цех якорных обмоток	Изолировка обмоткодержателей, укладка катушек в пазы, бандажирование якоря, пайка обмотки с коллектором и окончательная обработка коллектора
2	Цех роторных обмоток	Ручная обмотка мелких роторов, стержневая обмотка роторов с контактными кольцами и короткозамкнутых. Пайка или сварка обмоток и бандажирование лобовых частей. Насадка контактных колец и присоединение обмотки к кольцам
3	Цех статорных обмоток	Укладка в пазы выпных и стержневых обмоток. Сварка и пайка междукатушечных и междупазных соединений. Забивка клиньев в пазы
<i>VIII. Группа отделочных и вспомогательных цехов</i>		
1	Гальванический цех	Гальваническое антикоррозийное покрытие деталей (лужение, цинкование, никелирование, кадмирование). Хромирование пресс-форм и измерительных инструментов для повышения износоустойчивости
2	Волоочильный цех	Волочение медных проводов в целях использования неликвидных остатков провода для пробных машин. Протягивание специальных профилей. Калибровка пруткового материала для автоматных работ
3	Пропиточный цех	Сушка, пропитка и компаундировка катушек и обмотанных якорей, роторов и статоров. Пропитка изоляционных материалов
4	Малярно-отделочный цех	Грунтовка, шпатлевка и окраска деталей и готовых машин с помощью пульверизатора и в электростатическом поле. Установка на машинах табличек и арматуры
5	Модельный цех	Изготовление деревянных моделей и стержневых ящиков. Изготовление деревянных подмоделей для отливки металлических моделей
6	Тарный и упаковочный цех	Изготовление ящиков для упаковки машин и упаковка готовых машин
7	Жестяничный цех	Изготовление кожухов, наружных шитов, крышек и заглушек вентиляционных отверстий, каркасов полюсных катушек
<i>IX. Группа заготовительно-сборочных цехов</i>		
1	Цех сборки сердечников крупных машин	Сборка крестовин с болтовым креплением, обода ротора синхронных машин и обода якоря машин постоянного тока, сердечников якоря ротора и статора из сегментов
2	Цех сборки сердечников средних и малых машин	Сборка и прессовка сердечников ротора и якоря на валу, сердечников статора и прессовка их в станине. Обточка роторов асинхронных машин. Обработка пазов под обмотку.
3	Цех сборки щеткодержателей	Сборка щеткодержателей, траверс и бракетов. Притирка щеток на специальных барабанах
4	Сборка дощечек зажимов	Установка контактных болтов на дощечках. Маркировка кабельных наконечников
5	Цех сборки арматуры	Сборка крышек коллекторных люков, защитных кожухов, вентиляторов из штампованных деталей
Примечание. По характеру выполняемых операций к этой группе относятся обмоточные цехи и коллекторные цехи, выделенные в отдельные группы.		
<i>X. Группа выпускающих цехов</i>		
1	Цех машин постоянного тока	Установка полюсов с катушками машин постоянного тока в станине,
2	Цех асинхронных двигателей	а синхронных машин на роторе. Балансировка роторов. Соединение катушек. Сборка успокоительных и компенсационных обмоток. Установка
3	Цех синхронных машин.	дощечек зажимов и траверс щеткодержателей. Ввод ротора в статор.
3	Эти цехи могут также разделяться в зависимости от мощности назначения машин и характера производства	Монтаж схем соединений. Установка полумуфт и шкивов. Испытание собранной машины на стенде
4	Цех пробных конструкций	Изготовление первых образцов новых машин

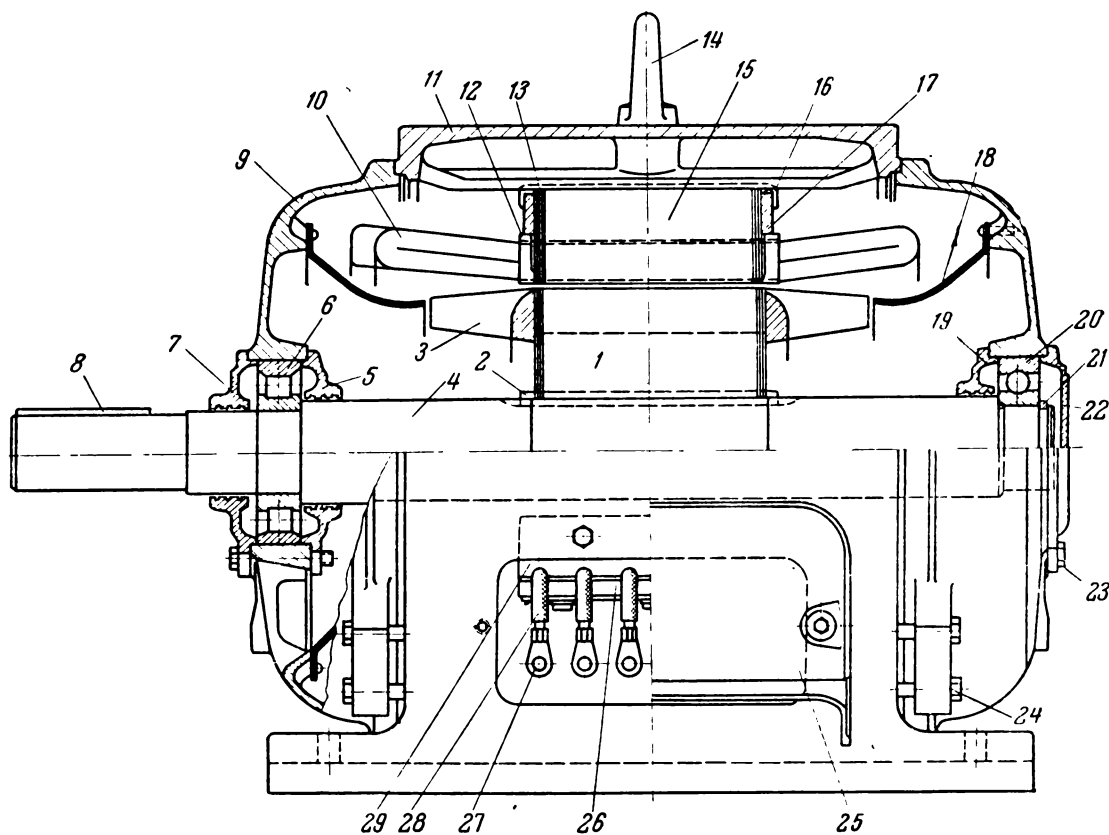


Рис. 2-2. Асинхронный двигатель единой серии типа А.

лансируют для устранения смещения центра тяжести с геометрической оси.

Сердечник статора собирают на внутреннюю оправку из средних листов 15 и крайних листов 13, сваренных попарно точечной сваркой. Сердечник спрессовывают между двумя нажимными шайбами 17 на гидравлическом прессе и скрепляют скобами 16, которые приваривают к сердечнику прерывистыми швами.

В пазы статора вставляют изоляционные гильзы 12 и вкладывают катушки 10 всыпной обмотки. К выводам фаз припаивают гибкие изолированные провода 28 с напаянными кабельными наконечниками 27 для соединения с сетью. Затем обмотку статора вместе с сердечником пропитывают в изоляционном лаке. Обмотанный статор запрессовывают в чугунную станину 11, в которую ввернуто подъемное кольцо 14. После запрессовки окончательно протачивают замки станины под подшипниковые щиты.

После этого приступают к сборке двигателя. К подшипниковым щитам 9 привертывают винтами диффузоры 18, служащие для направления охлаждающего воздуха. На вал надевают внутренние крышки подшипников 5 и 19 и насаживают на шейки вала шарикоподшипник 20 и внутреннее кольцо роликоподшипника 6, нагрев их в масле до 90°С. Шарикоподшипник запирают на валу пружинным кольцом 21.

Ротор вставляют в отверстие статора. Один подшипниковый щит надевают на шарикоподшипник, а другой с вставленным в него наружным кольцом на роликоподшипник. Вводят заточки подшипниковых щитов в отверстия станины и затягивают болты 24 на обсах торцах двигателя. Подшипники закрывают чу-

гунными крышками 7 и 22 и затягивают болты 25, скрепляющие внутренние и наружные крышки подшипников. В канавку на конце вала вставляют шпонку 8. Выводные концы обмотки статора зажимают между деревянными планками 26, 29 и закрывают чугунной крышкой 25, прикрепляемой к станине двумя болтами.

На рис. 2-3 показана схема сборки двигателя. Она составлена с учетом технологии изготовления двигателя и служит руководством для составления рабочих чертежей. Узловые чертежи и спецификации к ним должны отражать определенные этапы производства, показанные на схеме. Например, для этого двигателя нельзя давать чертеж сборочного узла, состоящий из необмотанного сердечника статора в станине, так как он впрессовывается в обмотанный виде. Окончательный наружный диаметр ротора надо указать на чертеже ротора с валом, а не на чертеже сердечника ротора, так как обработку его производят после напрессовки на вал. В рабочем чертеже станины расточки замков должны иметь припуск на обработку после запрессовки статора в станину.

Схема сборки используется также для планирования снабжения различных участков производства деталями и материалами.

Составление схемы сборки в учебном процессе является очень полезным упражнением при курсовом проектировании электрических машин.

Для составления маршрутных карт деталей и узлов электродвигателя служит схема на рис. 2-4. Она отличается от схемы сборки тем, что на ней обозначены не только детали, но и укрупненные технологические операции их производства.

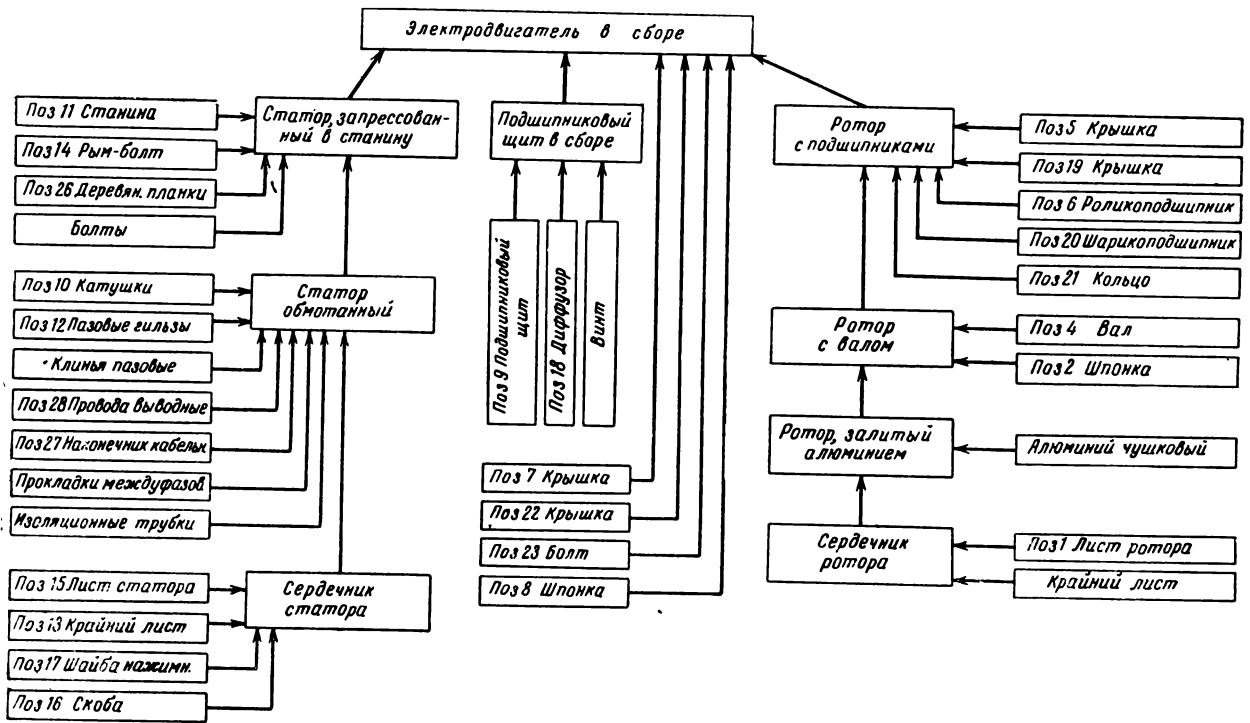


Рис. 2-3. Схема сборки двигателя.

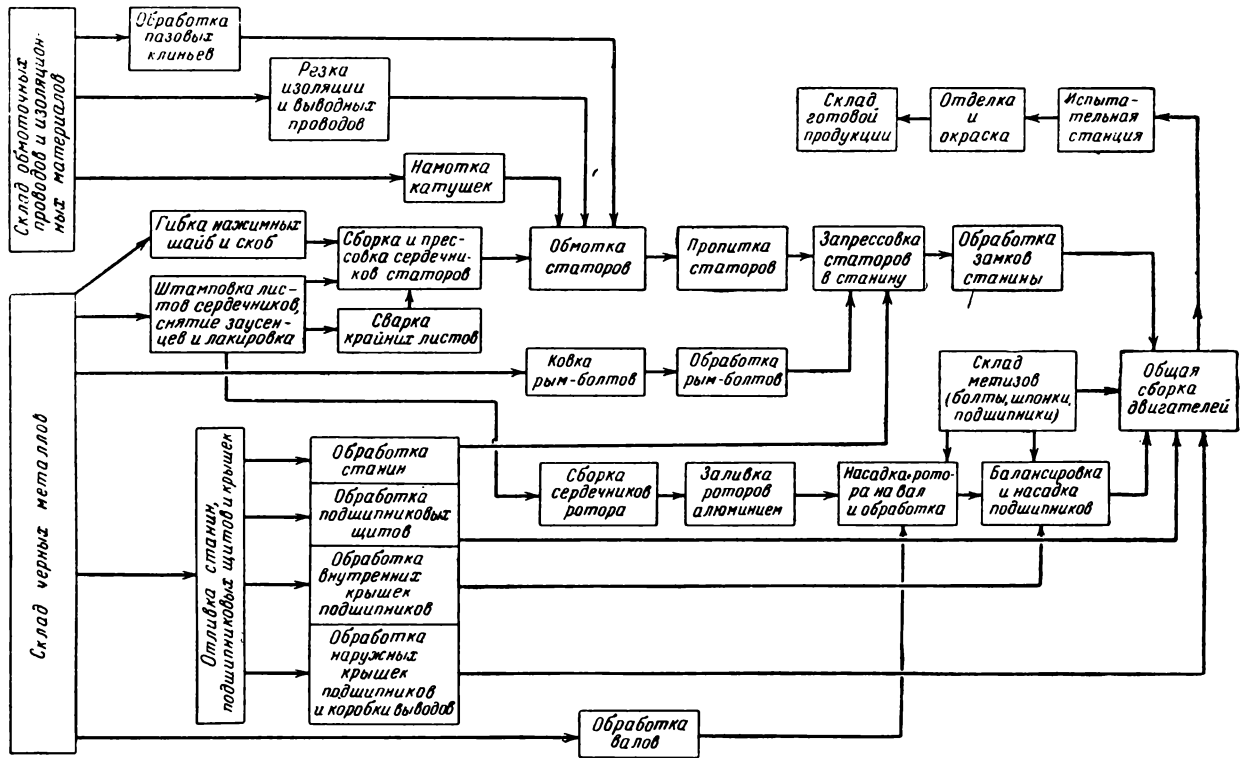


Рис. 2-4. Схема производства двигателя.

Технологический процесс статора асинхронного двигателя (рис. 2-2)

Операции		Переходы		Оборудование	Инструмент	Приспособление
№	Наименование	№	Наименование			
1	Резать листы электро-технической стали на полосы Цех 31	1	Установить ролики на валах ножниц на требуемую ширину полос	Роликовые ножницы (рис. 3-8)	Ролики	
		2	Снять скрепляющие скобы с пачки листов			
		3	Резать листы на полосы			
2	Штамповать листы статора Цех 32	1	Подложить полосу под штамп и включить пресс	Пресс эксцентрикковый (рис. 3-9)	Штамп совмещенный (рис. 3-20)	Механическая рука для выемки листов из-под штампа и набирания их на стойку (рис. 3-26)
		2	После удара штампа продвинуть полосу до упора			
		3	Согнуть отход полосы по перемычкам и бросить в ящик			
		4	Взять новую полосу			
3	Снять заусенцы с листов статора Цех 32	1	Подать пачки штампованных листов к станку	Станок для снятия заусенцев (рис. 4-2)	Круги шлифовальные	Стойка для надевания листов
		2	Бросать листы на ленту станка			
4	Лакировать листы статора Цех 32	1	Подать листы на ленту лакировочной машины	Лакировочная машина (рис. 4-3)	Резиновые валики	
5	Ориентировать листы по шихтовочному знаку Цех 92	1	Надевать листы статора на вал станка	Станок для ориентировки листов по шихтовочному знаку (рис. 4-8)		Стойка для переноса листов
		2	Снимать листы со станка и издевать на стойку			
6	Набрать сердечник на оправку Цех 92	1	Набрать требуемое число по весу, уравниваемому эталонным сердечником	Весы	Эталонный сердечник статора	Оправка для набора листов
		2	Поставить по торцам крайние листы и нажимные шайбы			
		3	Надеть сердечник на внутреннюю оправку			
7	Спрессовать сердечник Цех 92	1	Установить сердечник с оправкой на плиту гидравлического пресса	Пресс гидравлический (рис. 4-18)	Шаблон для измерения длины сердечника	Крюки для захвата сердечника тельфером
		2	Дать давление пресса, указанное в инструкции			
		3	Надеть на сердечник скрепляющие скобы			
		4	Снять сердечник с пресса (рис. 4-12)			
8	Приварить скобы Цех 15	1	Приварить скобы к сердечнику и нажимным шайбам	Сварочный аппарат		
		2	Выбить оправку из сердечника статора			

Операции		Переходы		Оборудование	Инструмент	Приспособление		
№	Наименование	№	Наименование					
		3	Проверить размеры пазов		Калибр пазовый Напильник			
		4	Опилить крайние листы					
9	Перемотать провод на пустые барабаны Цех 61	1	Перемотать обмоточный провод с бухты на деревянные барабаны	Намоточный станок (рис. 10-12)	Кусачки (рис. 8-2)			
		2	После намотки барабана перерезать провод					
10	Намотать катушечную группу обмотки статора Цех 61	1	Установить барабаны с проводом на стойки	Намоточный станок (рис. 10-12)	Пассатижи	Стойка		
		2	Навернуть намоточный шаблон на шпindelь намоточного станка			Шаблон намоточный (рис. 10-13)		
		3	Пропустить концы проводов через натяжное приспособление			Натяжное приспособление (рис. 9-15)		
		4	Закрепить концы проводов на намоточном шаблоне			Зажим эксцентриковый		
		5	Включить станок			Счетчик обмоточный	Автоматическое приспособление для останова станка после намотки катушки	
		6	Перевязать катушки лентой в нескольких местах			Ножницы ручные		
		7	Открыть шаблон и снять катушечную группу с шаблона			Пневматическое приспособление для открывания шаблона (рис. 10-12)		
11	Изолировать статор Цех 73	1	Взять комплект изоляции статора со склада	Верстак обмоточный	Оправка пазовая (рис. 10-16)	Поворотное приспособление (рис. 10-19)		
		2	Вложить гильзы в пазы статора					
		3	Уложить полосы изоляции на нажимные шайбы статора и закрепить лентой					
12	Уложить катушечные группы Цех 73	1	Вложить в пазы нижние стороны катушек первого шага обмотки	Верстак обмоточный	Оправка пазовая	Поворотное приспособление (рис. 10-20)		
		2	Укладывать в пазы следующие катушечные группы обеими сторонами				Фибровые пазовые вкладыши (рис. 8-5,6)	
		3	Вложить междуфазные прокладки в лобовых частях					
		4	Вложить в пазы верхние стороны катушек первого шага обмотки					
		5	Загнуть края пазовых гильз					
		6	Забить в пазы деревянные клинья				Молоток	Приспособление для забивания клиньев (рис. 17-9)
		7	Осадить лобовые части обмотки				Прокладка фибровая	

Операции		Переходы		Оборудование	Инструмент	Приспособление			
№	Наименование	№	Наименование						
13	Соединить схему обмотки Цех 73	1	Зачистить от изоляции концы проводов	Верстак обмоточный	Нож				
		2	Надеть на концы проводов изоляционные трубки						
		3	Соединить выводы катушечных групп в фазах						
		4	Сварить соединения				Трансформатор сварочный	Угольные электроды	Паяльные клещи (рис. 16-5) То же
		5	Припаять к выводам катушек гибкие провода с напаянными кабельными наконечниками				То же	То же	

Таблица 2-4

Перечень технологической оснастки для серийного производства асинхронного двигателя (рис. 2-2)

№ п/п.	Номер цеха по табл. 2-2	Наименование оснастки	Деталь или узел	Позиция на рис. 2-2	Операция
1	11	Модель деревянная	Станина	11	Формовка
2	11	Ящик стержневой деревянный	"	11	Формовка стержня
3	11	Модель алюминиевая	Щит подшипниковый	9	Формовка
4	11	То же	Крышка подшипника	5	"
5	11	" "	То же	7	"
6	11	" "	" "	22	"
7	11	" "	Коробка выводов	25	"
8	13	Кокиль	Обмотка ротора с крыльями	3	Заливка центробежная
9	14	Штамп ковочный	Подъемное кольцо	14	Горячаяковка
10	32	Штамп совмещенный	Лист статора	15	Вырубка
11	32	То же	Лист ротора	1	"
12	33	Штамп комбинированный	Диффузор	18	Вырубка заготовки, вытяжка и обрубка кромок
13	33	Штамп вырубной	Скоба статора	16	Вырубка контура
14	33	Штамп гибочный	Скоба статора	16	Гибка концов
15	34	Штамп последовательный	Наконечник кабельный	27	Вырубка контура
16	34	Штамп гибочный	Наконечник кабельный	27	Загибка трубки
17	21	Приспособление для обработки	Станина	11	Расточка на карусельном станке под статор и замка
18	21	То же	"	11	Расточка второго замка
19	21	" "	"	11	Фрезерование опорной поверхности лап
20	21	" "	Статор, запрессованный в станину		Окончательная расточка замка
21	21	" "	Щит подшипниковый	9	Токарная обработка головки подшипника и замка
22	21	" "	Крышка подшипника	5	Токарная обработка
				7	То же
				19	" "
				22	" "
23	21	Кондуктор	Станина	11	Сверление отверстий для крепления подшипниковых щитов
24	21	"	"	11	Сверление отверстий в лапах

№ п/п	Номер цеха по табл. 2-2	Наименование оснастки	Деталь или узел	Позиция на рис. 2-2	Операция
25	21	Кондуктор	Станина	11	Сверление отверстий для крепления планок и коробки выводов
26	21	"	Щит подшипниковый	9	Сверление всех отверстий
27	21	"	Крышка подшипника	5	
				7	То же
				19	
				22	
28	22	Приспособление для обработки	Вал	4	Центровка заготовки
29	22	То же	"	4	Фрезерование шпоночных канавок
30	22	Поводок	Вал	4	Токарная обработка
31	15	Приспособление для сварки	Крайний лист статора	13	Сварка на точечном аппарате
32	73	Приспособление для обмотки	Статор обмотанный		Укладка катушек в пазы
33	92	Оправка	Сердечник статора		Сборка листов
34	92	Оправка	Сердечник ротора		Сборка листов
35	14	Оправка	Нажимная шайба статора	17	Гибка из полосы
36	13	Оправка	Кольцо	21	Навивка на токарном станке
37	61	Шаблон намоточный	Катушки обмотки статора	10	Намотка катушек на станке
38	21	Фасонный резец	Крышка подшипника	5	Проточка канавок
				7	
				19	
39	92	Калибр скоба	Ротор с валом		Измерение диаметра ротора
40	22	То же	То же		Измерение диаметра шеек вала под подшипники
41	22	" "	Вал	4	Измерение диаметра вала под сердечник ротора
42	22	" "	"	4	Измерение диаметра выступающего конца вала
43	21	" "	Подшипниковый щит	9	Измерение диаметра замка
44	21	Калибр пробка	Подшипниковый щит	9	Измерение диаметра отверстия под подшипник
45	21	Штихмасс	Станина	11	Измерение расточки под сердечник статора
46	21	"	Статор, запрессованный в станину		Измерение диаметра замка
47	21	Шаблон	Станина	11	Измерение высоты центра над опорной поверхностью лап
48	21	Комплект шаблонов	Станина	11	Измерение линейных размеров
49	21	То же	Щит подшипниковый	9	Измерение линейных размеров
50	22	" "	Вал	4	То же
51	21	" "	Крышка подшипника	5	Измерение диаметров и линейных размеров

При помощи схемы производства можно легко составить маршрутные карты прохождения по цехам завода всех основных деталей и узлов двигателя. Цехи обычно обозначаются их номерами, которые можно брать по табл. 2-2. Условимся нумеровать цехи арабскими цифрами, из которых одна или две первые обозначают номер группы, а последняя — номер цеха в этой группе. Тогда сварочный цех получит номер 15, цех сборки сердечников крупных машин номер 91 и т. д.

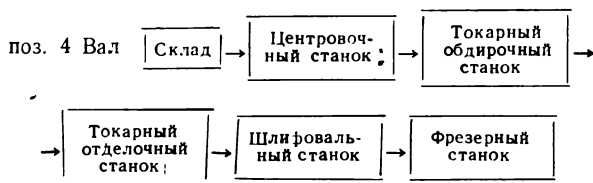
При мелкосерийном производстве маршрутные карты заменяют сводной ведомостью, в которой для каждой детали или узла отводится одна строка. Собственный маршрут каждой детали заканчивается после того, как она соединяется с другими деталями в сборный узел.

Маршруты узлов переходят последовательно в более крупные узлы.

Например:

поз. 4 на рис. 2-2. Вал: склад → 22 → 92
 поз. 9. Подшипниковый щит: 11 → 21 → 84 → 102
 поз. 15. Лист статора: склад → 31 → 32 → 92
 Узел. Сердечник статора: 92 → 84 → 73
 Узел. Статор обмотанный: 73 → 83 → 92
 Узел. Статор, запрессованный в станину: 92 → 21 → 92

Маршрутная технология вала в механическом цехе может быть представлена так:



В табл. 2-3 представлена технология изготовления статора асинхронного двигателя (см. рис. 2-2) с указанием содержания операций и переходов, оборудова-

ния, инструментов и приспособлений. Таблица составлена из технологических карт отдельных операций, выполняемых в различных цехах, номера которых взяты из табл. 2-2.

В табл. 2-4 представлен перечень технологической оснастки для асинхронного электродвигателя, сгруппированной по видам оснастки. Технологическая оснастка соответствует уровню серийного производства. В целях сокращения размеров таблицы измерительные инструменты для механических деталей приведены комплектом без перечисления шаблонов для отдельных переходов.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

ШТАМПОВАННЫЕ ДЕТАЛИ

3-1. ТИПЫ ШТАМПОВАННЫХ ДЕТАЛЕЙ

Холодная штамповка является одним из передовых технологических процессов изготовления деталей сложной формы из тонкого листового материала. Штамповка обеспечивает высокую производительность, низкую стоимость и идентичность деталей, благодаря чему отпадает необходимость в проверке размеров каждой детали.

Наибольшего разнообразия в электромашиностроении достигли методы штамповки листов магнитных сердечников. Это объясняется их сложной формой, видами производства, типами и размерами оборудования и специфическими условиями применения штампованных листов в сердечниках.

Кроме листов сердечников, в производстве электрических машин широко применяются многие другие штампованные детали. К их числу относятся кабельные наконечники, пластины коллектора, петушки, детали щеткодержателей, вентиляционные распорки между пакетами, диффузоры, детали вентиляторов, хомутики для соединения стержней, заглушки, решетки, рамки, шайбы, крышки, изоляционные прокладки и т. п. Эти детали весьма разнообразны по форме. Одни из них плоские и получают посредством вырубki, другие имеют изогнутую форму и после вырубki подвергаются гибке в гибочных штампах (хомутики, кабельные наконечники), наконец, третьи образуются путем вытяжки на вытяжных штампах (диффузоры). Для выбивания на деталях обозначений и надписей применяется чеканка в штампах. Штампы используют также для сборочных операций, например для прессовки наконечников на жилы кабелей или для склепывания деталей вентилятора. Таким образом, в электромашиностроении используют все виды холодной штамповки.

Для крупных деталей из листового материала, применяемых в небольших количествах, пользуются методом выдавки объемных деталей роликом на оправках на токарных станках. Так изготавливают чашки вентиляторов, кожуха и другие детали.

В последнее время широкое распространение получил метод ударного выдавливания полых деталей из цветных металлов и стали. В частности, этим способом изготавливают заготовки для коллекторов микродвигателей (см. гл. 6).

Чрезвычайно разнообразны листовые материалы, из которых изготавливают штампованные детали, например: сталь электротехническая, конструкционная и пружинная, медь, латунь, алюминий, электрокартон, миканит, текстолит, асбест, лакоткань и др.

3-2. ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ТЕХНОЛОГИИ ШТАМПОВКИ ЛИСТОВ СЕРДЕЧНИКОВ

В электромашиностроении штамповка листов магнитных сердечников имеет особо важное значение. В общем машиностроении нет примеров, когда цилиндр или кольцо собирают из нескольких тысяч тонких, изолированных друг от друга листов, что является типичным для технологии электрических машин. Электротехническая сталь для уменьшения потерь от вихревых токов имеет присадку кремния, который придает стали хрупкость и приводит к понижению стойкости режущих кромок штампов.

Процессы штамповки имеют большое влияние на энергетические и экономические показатели электрических машин. Магнитные потери в машине зависят как от свойств электротехнической стали, так и от качества штамповки и сборки сердечников. Обработка пазов и поверхности шихтованных сердечников ведут к увеличению потерь и повышают трудо-

емкость изготовления машин. Величина воздушного зазора в асинхронных двигателях, а следовательно, и $\cos \phi$ в значительной степени определяются точностью штамповки и сборки сердечников. Отходы электротехнической стали при штамповке круглых листов достигают 50% общего веса поступающей в цех стали, что вдвое увеличивает заготовительный вес и стоимость материала сердечников.

Трудоемкость шихтованных сердечников в электромашиностроении составляет в среднем около 25%. Автоматизация процессов штамповки и сборки сердечников в несколько раз повышает производительность труда, особенно при штамповке из рулонной стали.

Для решения этих задач необходимо проведение комплекса мероприятий, начиная от технических условий ГОСТ на электротехническую сталь, вопросов проектирования электрических машин, оборудования штамповочных цехов, изготовления штампов и организации процессов штамповки.

Основные задачи технологии штамповки листов сердечников заключаются в следующем:

- 1) получение слаболегированной и среднелегированной электротехнической стали с низкими потерями, улучшение качества поверхности листов стали и уменьшение допусков на толщину;
- 2) внедрение холоднокатаных марок электротехнической стали;
- 3) широкое внедрение рулонной электротехнической стали;
- 4) автоматизация и механизация процессов штамповки;
- 5) снижение отходов электротехнической стали;
- 6) повышение качества штамповки (уменьшение заусенцев);
- 7) повышение точности расположения и размеров пазов, а также концентричности контуров листов;
- 8) повышение срока службы штампов (твердосплавные штампы);
- 9) механизация производства штампов;
- 10) улучшение эксплуатации штампов.

3-3. ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКАЯ СТАЛЬ

Основным материалом, применяемым в электромашиностроении для штамповки, является электротехническая сталь (ГОСТ 802-58). Она изготавливается различных марок, которые имеют следующие обозначения:

Э11, Э12, Э13;
Э21, Э22;

Э31, Э32;
Э41, Э42, Э43, Э43А, Э44;
Э310, Э320, Э330, Э330А, Э340, Э370, Э380;
Э1100, Э1200, Э1300, Э3100, Э3400.

Буквы и цифры в марках электротехнической стали условно обозначают:

Э — электротехническая сталь;
первая цифра (1—4) — степень легирования стали кремнием: 1 — слаболегированная, 2 — среднелегированная, 3 — повышено легированная, 4 — высоколегированная;

вторая цифра (1—4) — гарантированные электрические и магнитные свойства стали: 1—3 — удельные потери при перемагничивании стали с частотой 50 гц и магнитная индукция в сильных полях (1 — с нормальными удельными потерями, 2 — с пониженными, 3 — с низкими), буква А после цифры обозначает особо низкие удельные потери, 4 — удельные потери при перемагничивании стали с частотой 400 гц и магнитная индукция в средних полях;

третья цифра (0) обозначает, что сталь холоднокатаная, текстурованная;

третья и четвертая цифры (00) обозначают, что сталь холоднокатаная мало текстурованная.

Для стали с повышенной точностью проката и повышенной отделки поверхности в обозначение марки вводится в конце дополнительная буква П.

3-4. ПРИМЕНЕНИЕ МАРОК ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ СТАЛИ

К электротехническим сталям предъявляются весьма жесткие требования: минимальные потери при перемагничивании, высокая магнитная проницаемость, изотропность и стабильность электрических и магнитных свойств, хорошая штампуемость, пластичность, гладкая и чистая поверхность листов, минимальная разнотолщинность и волнистость и др.

Ни одна из существующих марок сталей не является наилучшей одновременно по всем показателям. Так, например, высоколегированные горячекатаные стали с пониженными потерями характеризуются пониженной по сравнению со слаболегированными сталями магнитной проницаемостью, плохой штампуемостью и отделкой поверхности, большой разнотолщинностью.

Поэтому в электромашиностроении ведутся исследовательские работы по выбору марок электротехнических сталей путем проверки их на специальных аппаратах и в готовых машинах.

Слаболегированную и среднелегированную электротехнические стали раньше называли динамными, так как только их применяли для электрических машин, а повышено легированную и высоколегированную — трансформаторными. Однако эти определения в настоящее время не соответствуют действительности. Стремление снизить магнитные потери заставило отказаться от слаболегированных сталей.

Для машин мощностью до 100 квт в новых сериях применяют среднелегированную сталь, марки Э21, а для машин мощностью 100—1000 квт повышено легированную сталь марки Э31. Для турбо- и гидрогенераторов применяют сталь марки Э42 толщиной 0,5 и 0,35 мм, а для высокочастотных машин с частотой 400 гц и выше — сталь марки Э44, толщиной 0,2 мм.

С повышением содержания кремния резко возрастает хрупкость стали, что ведет к неровным контурам вырубки и быстрому затуплению режущих кромок штампов; ухудшается технологическое свойство стали — штампуемость. Эффект от применения высоколегированных сталей в значительной степени снижается за счет производственных дефектов шихтованных сердечников, которые учитываются особым коэффициентом.

Холоднокатаные стали были созданы для трансформаторов. Однако опыт применения холоднокатаных сталей в электрических машинах показал, что и при круговом намагничивании они имеют преимущество перед высоколегированными сталями горячего проката. Холоднокатаные стали обладают значительно лучшей намагничиваемостью вдоль проката. Однако с отклонением от направления проката намагничиваемость холоднокатаных сталей сильно ухудшается. В направлении, перпендикулярном направлению проката, преимущества холоднокатаных сталей проявляются лишь при высоких значениях магнитной индукции.

Вопрос об оптимальном направлении штамповки сегментов из холоднокатаной стали зубцами вдоль или поперек направления проката может быть решен в каждом конкретном случае, исходя из минимума одного из выражений [Л. 3-3].

$$\Sigma P_{\text{в}} = p_1 F_3 + p_2 F_c \quad (3-1)$$

$$\Sigma P_{\text{п}} = p_3 F_3 + p_4 F_c \quad (3-2)$$

где $\Sigma P_{\text{в}}$ — суммарные потери при штамповке сегментов зубцами вдоль проката;

$\Sigma P_{\text{п}}$ — суммарные потери при штамповке сегментов зубцами поперек проката;

F_3 — суммарная площадь зубцов;

F_c — суммарная площадь спинки сегмента;

p_1 — удельные потери стали вдоль проката при рабочей индукции в зубцах;

p_2 — удельные потери стали поперек проката при рабочей индукции в спинке;

p_3 — удельные потери стали поперек проката при рабочей индукции в зубцах;

p_4 — удельные потери стали вдоль проката при рабочей индукции в спинке.

Для гидрогенераторов целесообразно штамповать сегменты зубцами вдоль проката,

а для турбогенераторов — поперек проката. С увеличением диаметра статора растет эффективность применения холоднокатаной стали. Холоднокатаные стали характеризуются лучшим качеством поверхности, хорошей штампуемостью, повышением срока службы штампов, обеспечивают более высокий коэффициент заполнения при лучшем качестве спрессованных сердечников и имеют меньшие потери.

Произведенные на заводе «Уралэлектроаппарат» исследования показали, что из всех разработанных в послевоенные годы марок сталей наибольшее значение для электромашиностроения имеют холоднокатаные текстурованные стали [Л. 3-17].

На основании опыта построенных машин установлено, что при использовании в крупных электрических машинах холоднокатаной стали Э320 взамен горячекатаной Э42 можно в ряде случаев сократить длину статора в среднем на 10%, допуская соответственно повышенные значения магнитной индукции в зубцах с учетом высокой проницаемости их при штамповке сегментов зубцами вдоль проката. Это позволяет достигнуть более значительного снижения потерь и расхода обмоточной меди, конструкционных и изоляционных материалов [Л. 3-14]. Коэффициент заполнения сердечников холоднокатаной сталью Э320 возрастает до 0,95 по сравнению с 0,92 при стали Э42 и 0,93 при стали Э12. Одновременно улучшается прессовка сердечников.

Применение холоднокатаной текстурованной и мало текстурованной стали целесообразно и возможно в электрических машинах всех габаритов. Холоднокатаная сталь должна изготавливаться в рулонах с неорганическим и допускающим отжиг изоляционным покрытием. Такая сталь позволит механизировать производственные процессы изготовления сердечников электрических машин.

3-5. НОРМАЛЬНЫЕ ДИАМЕТРЫ СТАТОРОВ И ЯКОРЕЙ

Листы электротехнической стали, поступающие в штамповочный цех, разрезают на полосы, размеры которых определяются диаметрами листов статора или якоря и припуском на штамповку. При раскрое листов на полосы важно, раскраивается ли лист целиком или от него остаются немерные полосы, которые должны быть использованы для штамповки других изделий. Такие остатки загромазуют цехи, так как возможность их использования зависит от номенклатуры штампуемых изделий в программе цеха.

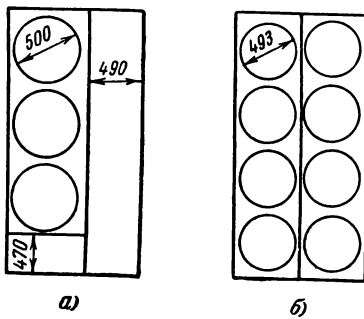


Рис. 3-1. Раскрой листов.
а—нерациональный, б—рациональный.

До 1948 г. диаметры якорей и статоров при проектировании выбирали произвольно и поэтому при раскрое листов электротехнической стали оставались немерные полосы.

При размере листа $1\ 000 \times 2\ 000$ мм и диаметре вырубки 500 мм из листа выходит только три кружка и остаются две полосы (рис. 3-1,а). При диаметре листа статора или якоря 493 мм лист раскраивается без остатков и из него выходит восемь кружков (рис. 3-1,б).

Исходя из требований раскроя листов на целое число полос без остатков, в 1947 г. была разработана нормаль МЭП 643-47. В основу нормали (табл. 3-1) положены следующие со-

Таблица 3-1

**Внешние диаметры статоров и якорей.
Нормаль МЭП643-47**

Диаметр, мм	Припуск на штамповку, мм	Из какого листа штампуются, мм	Диаметр, мм	Припуск на штамповку, мм	Из какого листа штампуются, мм
102	5	750×1 500	368	7	750×1 500
120	5	750×1 500	423	7	860×1 720
145	5	750×1 500	493	7	1 000×2 000
167	5	860×1 720	560*	10	860×1 720
182	5	750×1 500	590	10	600×1 200
210	5	860×1 720	650**	10	1 000×2 000
245	5	750×1 500	740	10	750×1 500
280	7	860×1 720	850	10	860×1 720
327	6	1 000×2 000	990	10	1 000×2 000

* Диаметр 560 раскраивается в комбинации с 280 из листа $860 \times 1\ 720$.

** Диаметр 650 раскраивается в комбинации с 327 из листа $1\ 000 \times 2\ 000$.

ображения: ширину листа электротехнической стали a делят в продольном направлении на целое число полос i и из ширины полосы вычитают необходимый припуск для штамповки c , который является функцией ширины полосы. Нормальный диаметр статора или якоря D

получается как разность между шириной полосы и припуском на штамповку

$$D = \frac{a}{i} - c. \quad (3-3)$$

Диаметры роторов асинхронных двигателей не нормализованы, так как листы ротора штампуют из отходов листов статора. Нормаль была составлена из расчета четырех стандартных листов электротехнической стали шириной 600, 750, 860 и 1 000 мм.

Эта нормаль сыграла положительную роль в отношении снижения отходов электротехнической стали. При увеличении масштабов производства электрических машин нужно было снизить значение коэффициента нарастания диаметров, т. е. отношения большего диаметра к соседнему меньшему. Для этого потребовалось ввести в стандарт на электротехническую сталь четыре новых размера листа шириной 670, 700, 800 и 930 мм.

Новая единая серия асинхронных двигателей А2 в диапазоне мощностей 0,6—100 кВт спроектирована на следующих внешних диаметрах статора: 133, 153, 180, 208, 243, 291, 343, 393 и 458 мм*. Серия асинхронных и синхронных машин в диапазоне мощностей 100—1 000 кВт строится на диаметрах 590, 740, 850 и 990 мм. Диаметры 560 и 650 мм в единых сериях не применяют, так как комбинированный раскрой неудобен в производстве.

В табл. 3-2 приведены размеры листов электротехнической стали и возможный раскрой их на полосы. В сетку таблицы вписаны нормальные диаметры согласно ведомственной нормали ОАА.614.004-59, а также диаметры, не вошедшие в нормаль, но применяемые в единых сериях

Применяемость диаметров отмечена следующими условными знаками:

единая серия асинхронных двигателей А — чертой под числом, например 182;

единая серия асинхронных двигателей А2 — чертой над числом, например 393;

единая серия машин постоянного тока П — двумя вертикальными чертами, например |195|.

Диаметры, применяемые в двух сериях, обведены с трех сторон |__|.

По этой таблице, пользуясь формулой (3-3) и задавшись припуском на штамповку c , можно выбирать новые нормальные диаметры, которые еще не применяются в единых сериях.

* Увеличенные припуски на штамповку по сравнению с серией А приняты по требованию завода-изготовителя автоматических прессов.

Размеры ($a \times b$) листов электротехнической стали, припуски на штамповку c и нормальные диаметры D , мм, принятые в единых сериях А, А2 и П

Число полос из листа i	1 000×2 000		930×1 860		860×1 720		800×1 600		750×1 500		700×1 400		670×1 340		600×1 200	
	c	D	c	D	c	D	c	D	c	D	c	D	c	D	c	D
1	10	990	—	—	10	850	—	—	10	740	—	—	10	660	10	590
2	7	493	7	458	7	423	7	393	7	368	7	343	—	—	9	291
3	6	327	—	—	—	—	6	261	7	243	5	228	—	—	5	195
4	7	243	—	—	7	208	5	195	7	180	—	—	5	162	5	145
	5	245	—	—	5	210	—	—	5	182	—	—	—	—	—	—
5	5	195	4	182	—	—	7	153	5	145	7	133	—	—	—	—
6	5	162	—	—	5	138	—	—	5	120	—	—	—	—	4	96
7	5	138	—	—	—	—	—	—	5	102	4	96	—	—	—	—
8	5	120	—	—	5	102	4	96	—	—	4,5	83	—	—	—	—
9	5	106	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10	4	96	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

3-6. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ СТАЛИ

При штамповке листов сердечников площадь листа электротехнической стали разделяется на три составляющих (рис. 3-2):

- листья статора, ротора или якоря;
- наружные отходы;
- внутренние отходы.

Наружные отходы представляют собой разность между площадью листа и общей площадью вырубленных деталей, включая и внутренние отходы. Наружные отходы отсутствуют при концентрическом размещении штампуемых деталей, например при штамповке листов ротора из кружков, полученных от штамповки листов статора.

Внутренние отходы образуются при вырубке пазов, воздушного зазора, вентиляционных осевых отверстий и центрального отверстия в листе.

Иногда наружные отходы называют технологическими, так как они зависят от технологических факторов (припуск на штамповку, раскрой листов), а внутренние отходы конструктивными. Однако такое определение не всегда соответствует действительности, что можно показать на следующих примерах:

- при штамповке листов статора наружные отходы определяются не только технологией штамповки, но и конструктивной формой листов статора;
- применение сдвоенного штампа, который одновременно с вырубкой листа статора синхронной машины штампует из центрального кружка лист якоря меньшей машины, дает возможность резко снизить внутренние отходы.

Наружные отходы определяются коэффициентом K_n , который представляет собой отношение общей площади вырубаемых изделий, включая и внутренние отходы, к площади листа стали. Так, например, при штамповке круглых листов статора или якоря этот коэффициент будет выражаться формулой

$$K_n = \frac{n \cdot 0,785 D^2}{ab}; \quad (3-4)$$

при отношении размеров сторон листа электротехнической стали 1:2

$$n = 2i^2 \quad (3-4 \text{ а})$$

при раскрое листа вдоль длинной стороны;

$$n = 0,5i^2 \quad (3-4 \text{ б})$$

при раскрое листа поперек,

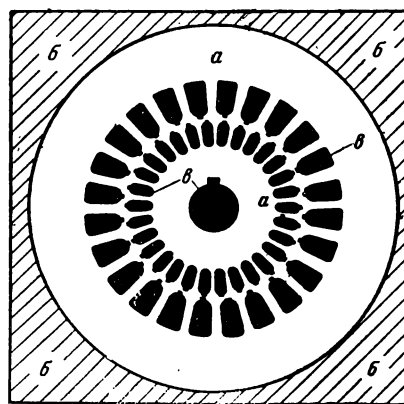


Рис. 3-2. Наружные и внутренние отходы при штамповке.

где n — число листов статора или якоря, вырубаемых из листа стали;

D — диаметр статора или якоря, мм;

a — ширина листа стали, мм;

b — длина листа стали, мм;

i — число полос, нарезаемых из листа.

Очевидно, что K_n имеет своим пределом значение 0,785, т. е. отношение площади круга к площади описанного квадрата. Однако вследствие необходимых припусков на штамповку ширина полосы должна быть больше вырубаемого диаметра, и поэтому коэффициент K_n никогда не достигает этого значения.

При штамповке из листа электротехнической стали размером 860×1720 мм листов статора диаметром 850 мм

$$K_n = \frac{2 \cdot 0,785 \cdot 850^2}{860 \cdot 1720} = 0,77.$$

При штамповке из того же листа стали листов статора диаметром 102 мм с раскроем листа на восемь полос (табл. 3-2) $n = 2 \cdot 8^2 = 128$, а коэффициент понижается до

$$K_n = \frac{128 \cdot 0,785 \cdot 102^2}{860 \cdot 1720} = 0,705.$$

Уменьшение коэффициента объясняется тем, что здесь лист разрезается на восемь полос шириной по 107 мм с припуском на штамповку 5 мм. Хотя величина припуска уменьшилась вдвое по сравнению со штамповкой листов статора диаметром 850 мм, но ввиду увеличения числа полос коэффициент K_n снизился на 10%.

Из приведенных примеров видно, что даже при нормальных диаметрах наружные отходы электротехнической стали еще очень велики и составляют 23—29,5%. Это является органическим недостатком процесса штамповки круглых листов статора или якоря из прямоугольных листов электротехнической стали.

Внутренние отходы. Кроме наружных отходов при штамповке образуются еще внутренние отходы от вырубки пазов, вентиляционных отверстий и центрального отверстия для вала или втулки, а в асинхронных двигателях также воздушного зазора между статором и ротором.

Общая площадь внутренних отходов определяется по формуле

$$F = Q_1 z_1 + Q_2 z_2 + 0,785 d^2 + n_b \cdot 0,785 d_b^2 + \pi D_i \delta, \quad (3-5)$$

где Q_1 — площадь паза статора, мм²;

z_1 — число пазов статора;

Q_2 — площадь паза ротора, мм²;

z_2 — число пазов ротора;

d — диаметр центрального отверстия, мм;

n_b — число вентиляционных отверстий;

d_b — диаметр вентиляционного отверстия, мм;

D_i — диаметр расточки статора, мм;

δ — воздушный зазор, мм.

Для якорей машин постоянного тока первый и последний члены этой формулы пропадают.

Площадь внутренних отходов обычно выражается в долях от общей площади листа статора или якоря и определяется коэффициентом

$$K_b = F : \frac{\pi D^2}{4} = \frac{4F}{\pi D^2}, \quad (3-6)$$

где D — наружный диаметр статора или якоря, мм.

Для единой серии асинхронных двигателей А и АО значения коэффициента K_b составляют $\sim 0,25$ для двухполюсных машин и $\sim 0,29$ для многополюсных.

Таким образом, общий коэффициент использования площади листа электротехнической стали с учетом наружных и внутренних отходов составляет

$$K = K_n (1 - K_b). \quad (3-7)$$

Подставляя в формулу (3-7) крайние значения коэффициентов K_n и K_b , получим, что для серии А и АО

$$K_{\max} = 0,77 (1 - 0,25) = 0,58,$$

$$K_{\min} = 0,705 (1 - 0,29) = 0,50,$$

т. е. площадь изделий составляет только 58—50% площади листа электротехнической стали, а 42—50% стали идет в отходы.

Особенно большого значения внутренние отходы достигают при штамповке листов статора синхронных машин, если внутренний кружок не используется для других машин. Так, например, при штамповке листа статора 6-полюсной синхронной машины 9-го габарита с наружным диаметром 493 мм, внутренним 350 мм коэффициент $K_b = 0,62$, а общий коэффициент использования листа электротехнической стали

$$K = 0,76 (1 - 0,62) = 0,29,$$

т. е. 71% электротехнической стали идет в отходы.

3-7. СНИЖЕНИЕ ОТХОДОВ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ СТАЛИ

Повышение использования электротехнической стали имеет большое народнохозяйственное значение. За год средний электромашиностроительный завод перерабатывает десятки тысяч тонн такой стали и повышение исполь-

зования только на 1% дает экономию в сотни тонн. Низкое использование стали ведет не только к дополнительной загрузке прокатных цехов металлургических заводов, но и сильно сказывается на стоимости электрических машин, так как отходы стали сдаются по очень низкой цене: 4 руб. за 1 т россыпью и 16 руб. за 1 т в пакетированном виде, в то время как цена электротехнической стали марки Э21 составляет 158 руб. за 1 т.

Между тем в производстве электрических машин имеются многочисленные способы снижения как наружных, так и внутренних отходов электротехнической стали.

Рассмотрим возможные варианты снижения наружных отходов. Они различны при штамповке листов большого диаметра и листов микродвигателей.

Наиболее актуальной является проблема снижения отходов при штамповке листов микродвигателей. Это объясняется несколькими причинами. Во-первых, коэффициент использования электротехнической стали понижается с уменьшением диаметров и наименьшего значения достигает для микродвигателей. При этом надо иметь в виду, что крупные машины с диаметром статора или якоря более 990 мм собирают из сегментов, при штамповке которых коэффициент использования электротехнической стали значительно повышается по сравнению со штамповкой круглых листов (см. § 3-21).

Во-вторых, микродвигатели изготавливаются массовым производством и на них расходуются значительное количество электротехнической стали, так как удельный расход материалов на единицу мощности резко повышается с уменьшением мощности машины.

а) Штамповка из рулонной стали

На рис. 3-1 видно, что при штамповке из полос, нарезанных из листов, расстояние между вырубками вдвое больше, чем от контура вырубki до края полосы. Это является обоснованным, однако при штамповке из полос уменьшение расстояния между вырубками не дает экономии стали. Так, если при штамповке самого малого листа диаметром 83 мм (табл. 3-2) взять расстояние между вырубками не 4,5, а даже 2 мм, то при 16 вырубках это дает экономию по длине полосы 40 мм, из которых не получится еще одной вырубki. При штамповке из рулонной стали уменьшение припусков на штамповку как по ширине, так и по длине рулона дает значительную экономию стали — до 12% [Л. 2]. Одновременно открываются возможности перехода на авто-

матическую штамповку последовательными штампами с повышением производительности в несколько раз по сравнению со штамповкой из полос.

Таким образом, для микродвигателей применение рулонной стали и автоматических прессов является основным направлением в процессах штамповки.

б) Шахматное расположение вырубок

В технологии штамповки мелких деталей (шайб), а также при вырубке отверстий различной формы в вентиляционных решетках широкое применение находит шахматное расположение вырубок при работе многогнездными штампами. При этом блок штампов располагается так, что штамповка производится без поперечного смещения полосы.

Этот метод может быть использован при штамповке листов микродвигателей как из листовой, так и из рулонной стали и дает значительную экономию.

Даже при тех же размерах перемычек между вырубками расстояние между рядами снизится в отношении $\cos 30^\circ$ (рис. 3-3) и составит 86,6% от расстояния при штамповке из отдельных полос. Общая ширина листа при шахматном расположении составит

$$a = D + c + (D + c)(i - 1) \cos 30^\circ, \quad (3-8)$$

где i — число рядов вырубок.

Пример. Якорь 1-го габарита единой серии П машин постоянного тока имеет диаметр 83 мм. Его штампуют из полос шириной 87,5 мм, нарезанных из листов стали 700×1400 мм (табл. 3-2). Из листа вый-

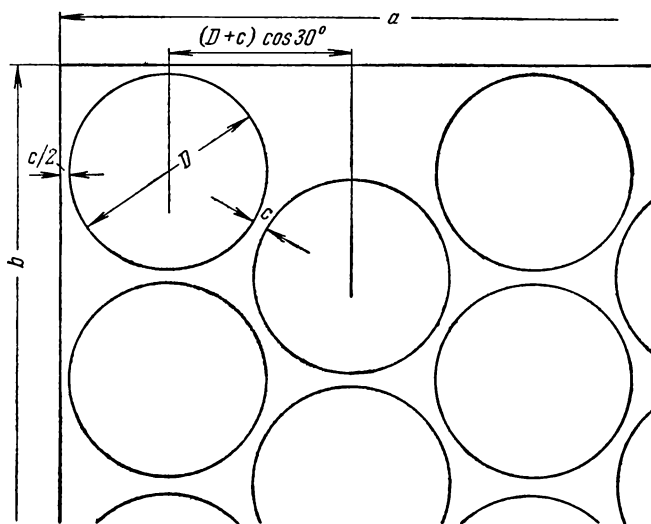


Рис. 3-3. Шахматное расположение вырубок при штамповке.

дет восемь полос, из которых будет наштамповано $8 \times 16 = 128$ листов якоря. При шахматном расположении вырубок из того же листа стали можно наштамповать девять рядов листов якоря.

Это видно из формулы (3-8),

$$\text{где } a = 83 + 4,5 + 87,5 \cdot 8 \cos 30^\circ = 697,5 < 700.$$

Однако число вырубок выйдет не $9 \cdot 16 = 144$, а только 140, так как в четных рядах будет по 15 кружков.

Коэффициент K_n при штамповке из полос был

$$K_n = \frac{128 \cdot 0,785 \cdot 83^2}{700 \cdot 1400} = 0,71,$$

а при штамповке из листа в шахматном порядке будет

$$K_n = \frac{140 \cdot 0,785 \cdot 83^2}{700 \cdot 1400} = 0,77.$$

При штамповке одним совмещенным штампом пришлось бы пропускать лист через штамп, не разрезая на полосы, 9 раз с переставными упорами. По габаритам листа надо было бы работать на большом прессе, вырубное усилие которого в несколько раз больше, чем требуется для вырубки листа якоря.

Многогнездный совмещенный штамп для такой сложной детали, как лист якоря, будет очень дорогим, а удаление штампуемых листов из-под штампа усложняет процесс штамповки. Однако высокая стоимость многогнездных штампов может быть значительно снижена, если из полосы вырубать кружки без пазов, которые служат заготовками для штамповки листов якоря. Эти кружки будут падать напровал, что устранит необходимость удалять их из-под штампа. При этом можно снизить размеры перемычек между вырубками до минимальной величины.

Пример такой штамповки описан в § 3-20, е.

в) Использование угловых отходов

При штамповке листов большего диаметра шахматное расположение не дает выгоды, так

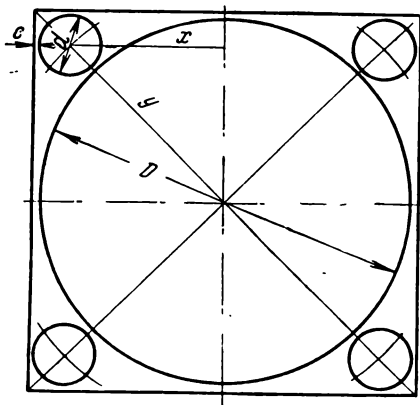


Рис. 3-4. Использование угловых отходов.

как из сэкономленной ширины полосы не выйдет дополнительный ряд вырубок. Зато открываются возможности использовать угловые отходы [Л. 3-20] для штамповки листов диаметром d для малых машин (рис. 3-4).

Диаметр d является функцией диаметра D основного листа и припуска на штамповку c . Решая треугольник, у которого катет $x = 0,5(D-d)$, а гипотенуза $y = 0,5 \times (D+d) + c$, получим:

$$d = 0,17D - 0,8c. \quad (3-9)$$

По полученному значению d следует подобрать в табл. 3-2 ближайший меньший нормальный диаметр.

Для упрощения использования угловых отходов можно в основном штампе поставить ножи, разрубающие перемычки и вырубку листов диаметром d производить на малом прессе, к которому отходы будут подаваться лентой конвейера.

Использование угловых отходов значительно повышает коэффициент K_n , который теперь можно определить по формуле

$$K_n = \frac{n \cdot 0,785 D^2 + 4n \cdot 0,785 d^2}{ab}. \quad (3-10)$$

Для листа с диаметром $D = 990$ мм и $d = 162$ мм коэффициент K_n повышается до $K_n = 0,85$ против $K_n = 0,77$ по формуле (3-4).

г) Формы листов статора

В противоположность листам якоря или ротора, которые обязательно должны быть круглыми, листы статора могут иметь любую форму наружного контура. Это открывает большие возможности для использования наружных отходов не только в качестве конструктивных элементов, но и для магнитной цепи машины.

На рис. 3-5 показан лист статора асинхронного двигателя небольшой мощности, у которого наружный контур представляет собой квадрат со скругленными углами. Такие листы можно штамповать из нарезанных на ножницах квадратов электротехнической стали без припуска на штамповку, так как небольшое смещение в отдельных листах центрального отверстия по отношению к сторонам квадратной заготовки допускается при сборке сердечника на внутреннюю оправку.

Наружные отходы при штамповке представляют собой четыре треугольника b , общая площадь которых не превышает 6% площади квадрата, тогда как при штамповке из квадрата круглого листа наружные отходы составляют 23—29,5%.

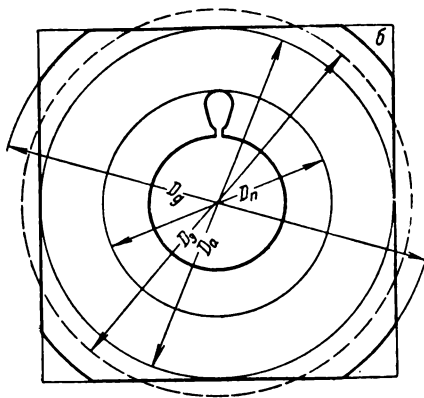


Рис. 3-5. Квадратный лист статора.

При квадратной форме листа высота спинки статора становится переменной в разных сечениях. Как видно на рисунке, в зоне дуги наружной окружности D_d она имеет наибольшую величину

$$h_{\text{макс}} = \frac{D_d - D_n}{2}. \quad (3-11)$$

Затем высота спинки постепенно убывает до минимального значения против сторон квадрата.

$$h_{\text{мин}} = \frac{D_a - D_n}{2}. \quad (3-12)$$

Таким образом, индукция в спинке статора будет также переменной. При расчете магнитной цепи можно принимать высоту спинки статора

$$h = \beta \frac{h_{\text{макс}} + h_{\text{мин}}}{2}. \quad (3-13)$$

Коэффициент $\beta < 1$ учитывает влияние насыщения в различных сечениях спинки.

Если к диаметру D_n прибавить двойную расчетную высоту спинки h , то получим диаметр

$$D_s = D_n + 2h \quad (3-14)$$

круглого листа статора, который в магнитном отношении эквивалентен квадратному листу со сторонами D_a . Для вырубki такого круглого листа пришлось бы взять квадрат с учетом припуска на штамповку c .

Таким образом, экономию электротехнической стали можно определить по формуле

$$1 - \frac{D_a^2}{(D_s + c)^2}. \quad (3-15)$$

Одновременно экономится вес ребер станины, на которых обычно центрируются круглые листы. При посадке квадратных листов в цилиндрическую станину с внутренним диа-

метром D_d образуются четыре вентиляционных канала с сечениями в виде сегментов. Листы статора такой формы применяются на заводе «Эльфа».

Пример. Для асинхронного двигателя с размерами $D_n = 75$ мм, $D_a = 117$ мм, $D_d = 145$ мм

$$h_{\text{макс}} = \frac{145 - 75}{2} = 35 \text{ мм},$$

$$h_{\text{мин}} = \frac{117 - 75}{2} = 21 \text{ мм},$$

$$h = 0,9 \frac{35 + 21}{2} = 25 \text{ мм},$$

принимая $\beta = 0,9$;

$$D_s = 75 + 2 \cdot 25 = 125 \text{ мм}.$$

Экономия стали

$$1 - \frac{117^2}{(125 + 5)^2} = 1 - 0,81 = 0,19, \text{ т. е. } 19\%.$$

Вначале листы статора с переменной высотой спинки применялись только в малых машинах. В последнее время этот метод нашел применение и в машинах мощностью свыше 100 кВт.

На рис. 3-6 показана форма листа статора асинхронного двигателя, при которой углы квадрата используются не только для увеличения спинки статора, но и в качестве охлаждающих ребер. Листы центрируются на ребрах станины дуговыми участками a .

Штамповка листов с охлаждающими ребрами резко снижает наружные отходы стали, которые в таких двигателях составляют около 10%. Эффективность охлаждения улучшается, так как между сердечником и ребрами нет перепада тепла, который раньше имел место в стыке между круглыми листами статора и стенкой станины. В этой конструкции снижение наружных отходов при штамповке достигается за счет усложнения конструкции штампа. При мелкосерийном производстве наруж-

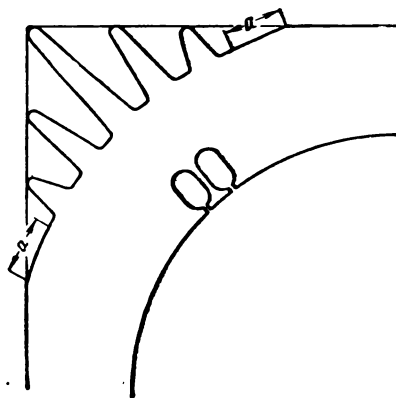


Рис. 3-6. Лист статора с ребрами для охлаждения.

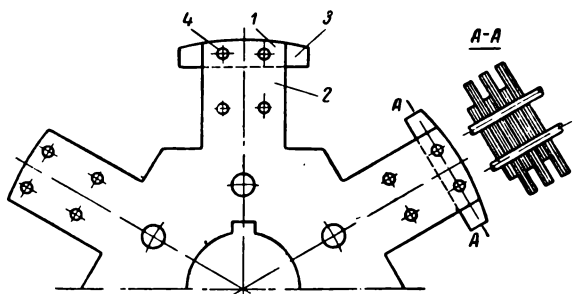


Рис. 3-7. Штампованный ротор синхронной машины.

ный контур зубчатого листа статора вырубает в четыре приема угловым штампом.

Оригинальная конструкция листа статора прямоугольной формы с охлаждающими ребрами применена для листа статора двигателя врубной машины [Л. 3-11].

Значение коэффициента K_B может быть значительно снижено за счет использования внутренних отходов. Отходы стали от штамповки пазов и воздушного зазора могут идти только в переплавку. На заводе МЭЗ в г. Могельнице организован участок кокильного литья, на котором в качестве основного шихтовочного материала используются отходы электротехнической стали из штамповочного цеха [Л. 3-21].

Вырубки от вентиляционных отверстий находят применение для микродвигателей. Что касается кружков от вырубки осевого отверстия, то они могут быть использованы для сердечников магнитопровода электрических машин. При этом целесообразно выбирать внутренний диаметр листа ротора также из шкалы нормальных диаметров. Это дает возможность за один удар штампа получать внутренний диаметр листа ротора и наружный диаметр якоря или статора машины меньшей мощности без промежуточных отходов.

В случае применения сдвоенных компаундных штампов при концентрическом расположении листов сердечников кроме экономии материала достигается значительное снижение трудоемкости штамповки.

Так, например, на заводе имени Калинина из одного квадрата штампуют четыре концентрически расположенных листа [Л. 3-20]: 1) лист статора синхронной машины 12-го габарита $\varnothing 650/440$; 2) лист статора синхронной машины 9-го габарита $\varnothing 440/310$; 3) лист статора асинхронного двигателя 5-го габарита $\varnothing 245/152$ и 4) лист ротора этого двигателя $\varnothing 152$.

При этом в отход идет только узкое кольцо $\varnothing 310/245$, составляющее всего 16% от площа-

ди кружка $\varnothing 440$ мм, который раньше шел в отходы.

Ввиду того что не всегда на данном заводе внутренние отходы могут быть использованы для других машин, целесообразно организовать межзаводскую кооперацию по использованию кружков на других заводах. Это позволило бы значительно снизить потребление электротехнической стали.

Особенностью синхронных машин малой и средней мощности со статором из целых листов является то, что внутренняя вырубка от статора не используется для ротора, как это имеет место в асинхронных машинах. В этом отношении представляет интерес конструкция ротора, со штампованным ободом ротора и сердечниками полюсов из электротехнической стали, которая остается после штамповки листов статора (рис. 3-7). Сущность конструкции заключается в том, что из вырубок от штамповки листов статора штампуют листы ротора 1 с числом выступов, равным числу полюсов. У половины листов 2 выступы обрубает на толщину полюсного наконечника. Из отдельных полос стали штампуют полюсные наконечники 3 в количестве, равном половине числа листов ротора. Штампованные листы ротора набирают на вал так, что через каждые 5 мм листы 1 с высокими выступами чередуются с листами 2 с низкими выступами. После того как ротор набран и спрессован, на полюсы надевают катушки. В образовавшуюся гребенчатую поверхность полюса зашихтовывают пакеты полюсных наконечников толщиной по 5 мм. Крепление полюсных наконечников производят, забивая круглые стержни 4 в отверстия, выштампованные в высоких выступах и в полюсных наконечниках.

Концы полюсных наконечников получают зубчатыми, что равносильно скосу краев полюсной дуги в машинах обычной конструкции. Такая конструкция роторов применяется для машин мощностью до 100 квт. Преимущество ее заключается в том, что вырубки от штамповки листов статора используются в той же машине, что обеспечивает комплектность их применения.

3-8. РАСКРОЙ ЛИСТОВ

Резка листов на полосы производится на ножницах с наклонными ножами (гильотинных) или на роликовых (дисковых) ножницах.

На гильотинных ножницах одновременно резанию подвергается не вся ширина листа, а только часть его, определяемая углом наклона ножа ϕ . Поэтому усилие резания во

много раз меньше, чем при параллельных ножах и определяется по формуле [Л. 3-1]

$$P = \frac{0,5 s^2 \tau_{сд}}{\operatorname{tg} \varphi} \quad (3-16)$$

где s — толщина листа, мм;

$\tau_{сд}$ — прочность на сдвиг, кг/мм² (табл. 3-3).

Таблица 3-3

Прочность на сдвиг

Материал	$\tau_{сд}$, кг/мм ²	Материал	$\tau_{сд}$, кг/мм ²
Электрокартон	6	Сталь—0,1% С	30
Алюминий	14	Сталь—0,3% С	48
Дюралюминий	36	Сталь—0,4% С	56
Медь	30	Сталь—0,6% С	72
Латунь	40	Сталь—0,8% С	90
		Сталь—1,0% С	100

При резке роликовыми ножницами верхние и нижние дисковые ножи вращаются принудительно в разные стороны с одинаковой угловой скоростью. Разрезаемый лист передвигается за счет трения металла о ножи или специальными валиками. Для раскроя тонких листов применяют многодисковые ножницы, которые одновременно разрезают лист на несколько полос вдоль или поперек в зависимости от ширины ножниц (рис. 3-8).

При расположении роликов по схеме рис. 3-8,а создается осевая нагрузка на подшипники; на схеме рис. 3-8,б эта нагрузка отсутствует.

При резке электротехнической стали толщиной 0,5 мм и менее роликовые ножницы имеют значительные преимущества перед гильотинными. Роликовые ножницы производят резку на требуемое число полос одновременно, размеры полос получаются с допусками по 7-му классу точности, кромки полос ровные, без заусенцев. Кроме того, роликовые ножницы занимают меньше места и безопасны в работе, не создают шума и сотрясений. Переход от гильотинных ножниц к роликовым дает увеличение производительности в 5—8 раз.

Усилие на каждую пару роликов при резке роликовыми ножницами определяется по формуле [Л. 3-1]

$$P = \frac{0,5 s^2 \tau_{сд}}{2 \operatorname{tg} \varphi} \quad (3-17)$$

где φ — угол захвата, определяемый по формуле

$$\cos \varphi = 1 - \frac{e + s}{D}; \quad (3-18)$$

Здесь D — диаметр ролика = [40 — 70] s ;

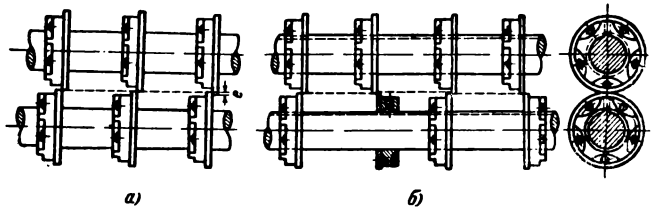


Рис. 3-8. Схема расположения роликов.
а — неправильная; б — правильная.

e — величина перекрытия (рис. 3-8), которую берут приблизительно равной s .

Вращающий момент для каждого ролика

$$M = 0,16 s^2 \tau_{сд} D \cos \varphi \quad [\text{кг} \cdot \text{м}]. \quad (3-19)$$

Мощность привода для каждой пары роликов

$$N = \frac{0,65 s^2 \tau_{сд} v}{75 \eta} \quad [\text{л. с}], \quad (3-20)$$

где v — окружная скорость роликов, м/сек;

η — к. п. д. роликовых ножниц, который принимают 0,7 — 0,8.

В производстве электрических машин имеются круглые детали большого диаметра из листовых материалов, которые применяются в малых количествах. К ним относятся утолщенные крайние листы сердечников, заготовки для чашек вентиляторов, защитных колпаков, диффузоров, миканитовых манжет и других деталей из стали и изоляционных материалов. Вырезку таких деталей производят круглыми роликовыми ножницами, в которых квадратная заготовка зажимается в поворотном центре и при вращении роликов медленно вращается.

3-9. ТИПЫ ЭКСЦЕНТРИКОВЫХ ПРЕССОВ

В штамповочных цехах электромашиностроительных заводов работа производится почти исключительно на эксцентриковых прессах.

На рис. 3-9 показан 100-тонный эксцентриковый пресс модель К-117А Воронежского завода.

Вырубное усилие развивается в момент включения пресса кинетической энергией тяжелого маховика 1, который свободно сидит на валу и вращается непрерывно от электродвигателя через зубчатую передачу. Для производства рабочего хода пресса маховик сцепляется фрикционной муфтой с эксцентриковым валом 2 в результате нажатия педали 4. После расцепления эксцентрикового вала с маховиком ползун пресса 3 должен оставаться

в верхнем положении. Однако инерция движущихся частей заставляет вал продолжать вращаться, вследствие чего может последовать второй удар штампа. Для поглощения инерции подвижных частей пресс снабжается тормозом, который затормаживает вал после расцепления фрикционной муфты.

При ручной подаче полосы стали пресс работает на одиночных ударах. При механической подаче пресс работает на самоходе. На рис. 3-9 пресс оборудован револьверной подачей кружков, схема которой описана в § 3-20, б.

При вращении эксцентрикового вала ползун прессы движется неравномерно. Наибольшую скорость ползун имеет в середине хода и наименьшую в конце хода. Давление прессы увеличивается при уменьшении скорости движения ползуна. Таким образом, наибольшее давление пресс развивает при подходе ползуна к нижней точке. При установке штампа надо пресс отрегулировать так, чтобы вырубка начиналась, когда ползун приближается к нижней точке, а пуансон входил бы в матрицу не более чем на 1—2 мм. При этом пресс работает с наименьшими напряжениями, а штамп меньше изнашивается.

Величину хода прессы приходится регулировать при разных операциях. Наименьшая

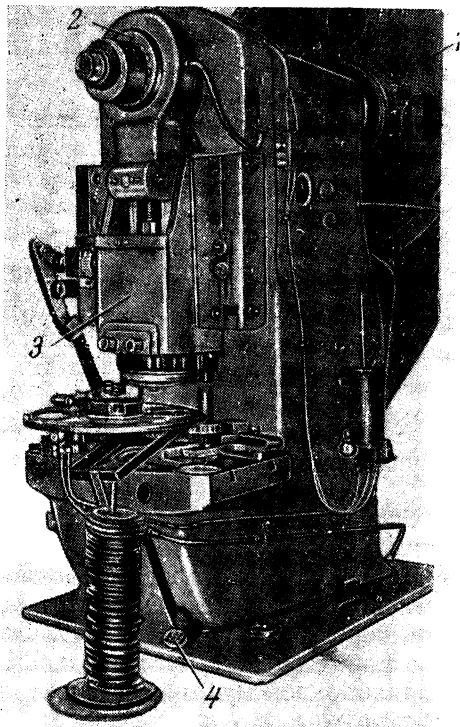


Рис. 3-9. Эксцентриковый пресс.

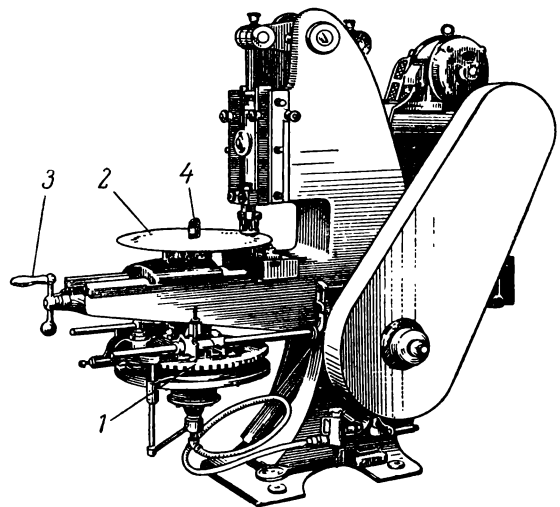


Рис. 3-10 Пазовый полуавтомат.





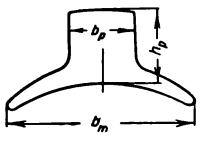
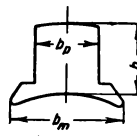
величина хода прессы требуется при работе вырубных штампов. Для гибки и вытяжки требуемая величина хода прессы увеличивается в зависимости от высоты изделий. Излишне большой ход прессы ведет к уменьшению давления и увеличенному износу деталей.

На рис. 3-10 приведен пазовый полуавтомат, который работает на самоходе, производит требуемое число ходов и автоматически останавливается. Под столом прессы помещается делительный механизм 1 со сменными храповыми колесами, поворачивающий оправку прессы вместе с надетой на нее заготовкой 2 на одно пазовое деление после каждого хода прессы. Для установки листов разных диаметров оправка передвигается вращением рукоятки 3 ходового винта. При штамповке пазов заготовка листа должна быть прижата. Поэтому на пазовых полуавтоматах предусмотрен специальный прижим 4. На закрепление и открепление заготовки тратится много времени. На ХЭМЗ разработан пневматический прижим заготовки, который крепится при помощи кронштейна к прессу и автоматически включается и выключается при нажатии педали прессы. При наладке прессы кронштейн с прижимом может отводиться в сторону на поворотной оси. Внедрение пневматического прижима повысило производительность труда на 25—30%.

3-10. РАСЧЕТ ВЫРУБНЫХ УСИЛИЙ

Для выбора прессов необходимо знать вырубное усилие, которое будет развиваться при вырубке листа статора или якоря. Расчет вырубных усилий основан на том же принципе, что и расчет на сдвиг в сопротивлении мате-

Формулы для расчета периметров вырубki

№ п/п.	Фигура	Определяемый периметр	Расчетная формула для периметра
1		Осевое отверстие со шпоночной канавкой	$p = \pi d + 2(h - d)$
2		Окружность якоря с пазами	$p = \pi D + 2 h Z$
3		Окружность ротора с пазами	$p = \pi D + \pi d Z$
4		! Внутренняя окружность статора с пазами	$p = \pi D + 2 h Z + 2(b - s) Z = \pi D + 2 Z(h + b - s)$
5		Контур листа полюса двухполюсной машины	$p = 2b_p + 2h_p + 2 \cdot 2(b_m - b_p) = 2[b_p + h_p + 2(b_m - b_p)]$
6		Контур листа полюса четырехполюсной машины	$p = 2b_p + 2h_p + 1,5 \cdot 2(b_m - b_p) = 2[b_p + h_p + 1,5(b_m - b_p)]$

риалов, с той лишь разницей, что там мы определяем нагрузку, которую деталь может выдерживать без остаточных деформаций, а при расчете вырубного усилия надо определить ту нагрузку, при которой произойдет разрушение материала. Поэтому в формулу надо подставить не допустимое напряжение, а предел прочности для данного материала. Сечение сдвига определяется как произведение периметра вырубki на толщину штампуемого листа.

В общем виде формула для определения вырубного усилия, которое должно быть создано прессом и передаваться на режущие кромки штампа, может быть представлена в виде

$$F = \frac{1,15 p s \tau_{сд}}{1000} \quad (3-21)$$

где F — вырубное усилие, $т$;
 p — периметр контура вырубki, $мм$;

s — толщина листа, $мм$;
 $\tau_{сд}$ — прочность материала на сдвиг, $кг/мм^2$
(табл. 3-3).

Для электротехнической стали Э-12 толщиной 0,5 мм, принимая $\tau_{сд} = 45 кг/мм^2$:

$$F = 0,026 p t. \quad (3-22)$$

Коэффициент 1,15 является произведением двух коэффициентов 1,1 · 1,05. Первый учитывает усилия сжатия пружин сбрасывателей штампа и выталкивания отходов из отверстий в матрице, а второй — средний плюсовый допуск на толщину листа электротехнической стали, который по ГОСТ 802-58 составляет $\pm 10\%$.

Вырубные усилия клеймят на всех штампах и ими пользуются при распределении работ по прессам. Расчетные значения вырубных усилий не должны превышать указанных на

паспорте пресса, на котором установлен штамп.

Расчет периметров вырубki занимает много времени. В табл. 3-4 приведены расчетные формулы для часто встречающихся контуров, по которым вырубные усилия могут быть быстро определены с достаточной для практики точностью.

При проектировании новых заводов часто рабочие чертежи штампуемых изделий еще отсутствуют. Методами математической статистики выведены уравнения регрессии, по которым можно определить периметры вырубki листов статора и ротора асинхронных двигателей как функцию наружного диаметра статора. Анализ многочисленных типов асинхронных двигателей показал, что эти уравнения дают результаты, близкие к действительным [Л. 3-7]:

$$p_1 = 212(D - 6); \quad (3-23)$$

$$p_2 = 178(D - 7,7), \quad (3-24)$$

где p_1 — периметр вырубki листа статора, мм;
 p_2 — периметр вырубki листа ротора, мм;
 D — наружный диаметр статора, см.

Так, например, для асинхронного двигателя 9-го габарита единой серии при наружном диаметре статора 493 мм вырубные усилия для листа статора F_1 и листа ротора F_2 штампуемых из стали Э12 толщиной 0,5 мм равны:

$$F_1 = \frac{1,15 \cdot 45 \cdot 0,5}{1000} \cdot 212(49,3 - 6) = 238 \text{ м},$$

$$F_2 = \frac{1,15 \cdot 45 \cdot 0,5}{1000} \cdot 178(49,3 - 7,7) = 192 \text{ м}.$$

Для боковых щек полюсов по условиям жесткости приходится применять листовую сталь толщиной до 20 мм. Если вырубное усилие пресса недостаточно, применяют штампы с наклонными режущими кромками, которые дают уменьшение вырубного усилия на 40—50% или вырезают контуры газовыми горелками.

3-11. ЗАЗОРЫ МЕЖДУ МАТРИЦЕЙ И ПУАНСОНОМ

При штамповке листов сердечников особое значение имеет поверхность среза, которая должна быть чистой, без разрывов, трещин и заусенцев. Решающее значение на качество вырубki имеет величина зазора, т. е. разность рабочих размеров матрицы и пуансона. При малом зазоре на поверхности среза образуются трещины и слоистость. При слишком большом зазоре и тонком листе происходит втягивание металла в зазор между матрицей и пуансоном и изделие получается с рваными заусенцами. На качество поверхности среза ока-

зывает влияние также неравномерное распределение зазора по контуру вырубki, которое зависит от точности пригонки направляющих колонок штампа и степени изношенности пресса, особенно ползуна. При этом на одной части контура поверхность среза может быть чистой, а на другой — с заусенцами. Неправильный зазор и тупые режущие кромки штампа значительно увеличивают потребное вырубное усилие.

Величина зазора зависит от механических свойств и толщины материала (табл. 3-5). Поэтому нельзя штампом, изготовленным для листов толщиной 0,5 мм, штамповать крайние листы толщиной 1 мм.

Таблица 3-5

Зазоры между пуансоном и матрицей

Толщина материала s , мм	Штампуемые материалы			
	Мягкая сталь, медь, алюминий		Сталь средней твердости, твердая латунь	
	$z_{\text{мин}}$	$z_{\text{макс}}$	$z_{\text{мин}}$	$z_{\text{макс}}$
0,2	0,005	0,020	0,010	0,025
0,3	0,010	0,030	0,015	0,035
0,4	0,015	0,035	0,020	0,040
0,5	0,020	0,040	0,025	0,050
1,0	0,040	0,080	0,050	0,100

Вот почему опасно оставлять в зоне рубящей части штампа изделия или отходы, которые, накладываясь на полосу, образуют двойную толщину материала. Это может повести к поломкам наиболее слабой части штампа.

Для электротехнической стали двусторонний зазор z между матрицей и пуансоном принимается 5—10% толщины листа. Следовательно, при толщине листа 0,5 мм зазор заключается в пределах от $z_{\text{мин}} = 0,025$ мм до $z_{\text{макс}} = 0,05$ мм.

Величина вырубаемой детали зависит от размера матрицы, а пробиваемого отверстия — от размера пуансона. Поэтому направление зазора выбирают в зависимости от того, какие размеры детали необходимо выдерживать, наружные или внутренние.

При вырубке из полосы листа якоря отверстие в матрице должно иметь номинальный размер листа D , а диаметр пуансона

$$D_{\text{п}} = D - z. \quad (3-25)$$

При пробивке отверстия под вал диаметром d пуансон должен быть такого же размера, а отверстие в матрице

$$d_{\text{м}} = d + z. \quad (3-26)$$

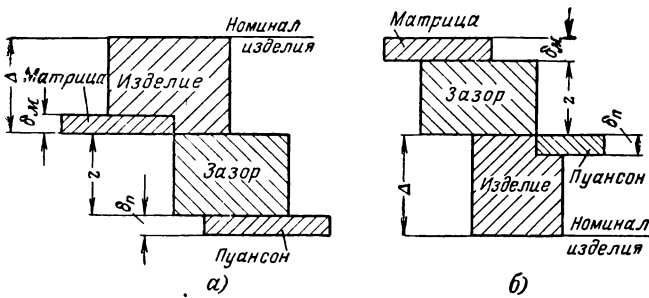


Рис. 3-11. Схема расположения допусков.
а — при вырубке контура; б — при пробивке отверстия.

Рабочие размеры пуансонов и матриц должны иметь допуски на изготовление, зависящие от класса точности штампуемых изделий. При этом допуски на изготовление рабочих размеров пуансонов и матриц должны быть распределены так, чтобы они обеспечили получение зазоров, близких к минимальным.

На рис. 3-11 приведены схемы расположения допусков на пуансон и матрицу при вырубке круглой детали (а) и пробивке круглого отверстия (б).

Учитывая, что износ матрицы приводит к увеличению ее размеров, а износ пуансона — к уменьшению, номинальные размеры их задаются соответственно: минимальный — для матрицы и максимальный — для пуансона.

Размеры пуансонов и матриц в соответствии со схемами определяют по следующим формулам [Л. 3-1].

При вырубке круглой детали

$$D_m = (D - \Delta)^{+\delta_m}, \quad (3-27)$$

$$D_p = (D - \Delta - z_{\min})_{-\delta_p}. \quad (3-28)$$

При пробивке отверстия

$$d_p = (d + \Delta)_{-\delta_p}, \quad (3-29)$$

$$d_m = (d + \Delta + z_{\min})^{+\delta_m}, \quad (3-30)$$

где D_p , D_m , d_p , d_m — диаметры пуансонов и отверстий в матрице;

D , d — номинальные размеры изделия;

Δ — допуск на изготавливаемую деталь;

δ_p — допуск на изготовление пуансонов;

δ_m — допуск на изготовление матриц.

Сумма допусков на изготовление матрицы и пуансона не должна превышать допуска на зазор

$$\delta_p + \delta_m \leq (z_{\max} - z_{\min}). \quad (3-31)$$

Учитывая повышенную сложность изготовления матрицы, принимают

$$\delta_p \approx 0,5 \delta_m. \quad (3-32)$$

Для вырубki деталей из тонких листов δ_m берут по 2-му классу точности. При пробивке отверстий берут δ_p по 2-му и 3-му классам точности.

3-12. СРОК СЛУЖБЫ ШТАМПОВ

При работе штампов изделия или отходы остаются в отверстиях матрицы. При следующем ходе ползуна прессы эти вырубki продвигаются в глубь отверстия, а на их место становятся следующие. Если отверстие в матрице будет постоянного сечения по всей ее

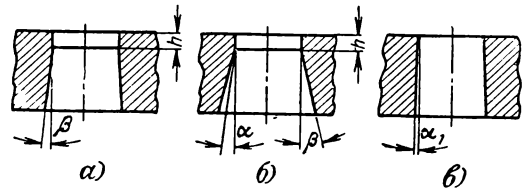


Рис. 3-12. Формы отверстий в матрицах.
а — с цилиндрическим пояском; б — с коническим пояском; в — коническое с малым углом наклона.

толщине, то через несколько ударов штампа оно забьется вырубками и усилие проталкивания будет настолько большим, что в матрице образуется трещина.

На рис. 3-12 показаны три варианта отверстий в матрицах, а в табл. 3-6 приведены их размеры [Л. 3-8].

Таблица 3-6

Размеры отверстий в матрицах
(нормаль ВН 736-50)

Толщина штампуемого материала, мм	α	β	h , мм	α_1
До 0,5	15'	2°	3	30'
Свыше 0,5—1,0	30'	3°	—	1°
" 1,0—2,5	40'			
" 2,5—6,0		—	—	—
" 6,0—12	—	—	—	1°30'

Матрица (рис. 3-12,а) имеет небольшой цилиндрический поясок h , после которого начинается расширение окна под углом β . Цилиндрическая часть матрицы является ее рабочей частью.

По мере затупления режущих кромок штампа их затачивают путем шлифования плоскости матрицы и торцов пуансонов.

После срабатывания высоты h штамп приходит в негодность. Недостатками этой конструкции являются незначительная высота рабочей части и большое усилие проталкивания вырубков через цилиндрическую часть, что вызывает быстрый износ матрицы.

На рис. 3-12,б отверстие в рабочей высоте матрицы выполнено коническим под углом α , что снижает усилие проталкивания. Однако и в этом варианте высота рабочей части остается такой же, как на рис. 3-12,а.

На рис. 3-12,в отверстие в матрице сделано коническим по всей высоте под углом α_1 . По мере заточки матрицы зазор между пуансоном и матрицей увеличивается, однако это не влияет на качество штампуемых листов, пока зазор не превышает минимальный более чем в 2 раза. При угле $\alpha_1 = 30'$ это соответствует срабатыванию матрицы на 4 мм. В целях повышения срока службы штампа некоторые заводы применяют матрицы с углом наклона стенок 7—10'. При угле 10' зазор удвоится при срабатывании матрицы на 12 мм. Таким образом, срок службы штампа увеличивается в 3 раза.

Срок службы штампа определяется количеством ударов N . Если при каждой заточке снимается слой Δh при толщине рабочей части h , а между заточками штамп делает n ударов, то срок службы штампа до полного износа определяется по следующей формуле:

$$N = n \frac{h}{\Delta h}. \quad (3-33)$$

Считают в среднем, что при заточке снимается 0,2 мм, а между заточками штамп делает 12—20 тыс. ударов; тогда при толщине рабочей части матриц 10 мм расчетный срок службы штампа со стальными матрицами и пуансонами будет составлять от 600 тыс. до миллиона ударов.

Из приведенной методики расчета видно, что срок службы штампа зависит от числа ударов между заточками, которое в свою очередь определяется рядом факторов организационного и технического характера. Наиболее благоприятными условиями работы штампа будут такие, когда он работает с минимальным количеством перестановок. Это определяется масштабами производства. При

частых перестановках штампы подвергаются заточке после каждого съема с прессы и срок службы их сильно снижается. Значительное снижение срока службы получается при аварийном выкрашивании рубящих кромок, когда путем шлифования приходится снимать слой в несколько миллиметров. На увеличение срока службы штампа существенное влияние оказывает применение высоколегированных сталей. Режущие штампы для вырубки листов статора и ротора электродвигателей изготавливают из легированных сталей X12, X12ФТ, ХНВ, 5ХНМ.

Вследствие конструктивных особенностей штампа только около 40% объема матрицы и пуансона непосредственно участвуют в процессе резания металлов при штамповке. Остальная часть объема, составляющая около 60%, может быть изготовлена из малоуглеродистой конструкционной стали. На основании этого появились составные матрицы и пуансоны штампов. Прочные соединения легированных и малоуглеродистых сталей осуществляются электросваркой по методу сопровитвления и выполняются на стыковой машине. Внедрение стыковой сварки открывает возможности более широкого применения легированных сталей при изготовлении штампов, что значительно повышает их качество и срок службы.

Решающим в вопросе повышения срока службы штампа явилось применение для режущих деталей твердых сплавов. Штампы с твердыми сплавами описаны в § 3-19.

3-13. ТИПЫ ВЫРУБНЫХ ШТАМПОВ

В практике штамповки применяется большое количество разновидностей штампов, определяемое формой штампуемых изделий, видом производства, оборудованием штамповочного цеха и выбранным технологическим процессом штамповки. Знание методов штамповки необходимо не только для технолога, но и для расчетчиков и конструкторов электрических машин, так как при проектировании надо учитывать технологические соображения. По характеру выполняемых операций вырубные штампы для листов сердечников электрических машин можно разделить на следующие основные типы: а) простые вырубные; б) совмещенные (компаундные) и в) последовательные (шаговые).

Выбор типа штампа зависит от вида производства, оборудования цеха, а также использования для новой машины частично или полностью имеющихся на заводе штампов. При выборе типа штампа необходимо учитывать технико-экономические показатели, из

которых главными являются: стоимость, производительность и количественный выпуск машин.

Отечественные заводы применяют главным образом совмещенные штампы, даже для машин, выпускаемых небольшими сериями. Это объясняется недостатком пазовых полуавтоматов и перспективным ростом выпуска машин. В практике иностранных фирм пазовые штампы имеют значительно большее распространение.

При массовом производстве для асинхронных двигателей с внешним диаметром статора до 245 мм целесообразнее применять последовательные штампы, которые имеют самую высокую производительность, особенно при автоматической штамповке из рудонной стали.

3-14. ПРОСТЫЕ ВЫРУБНЫЕ ШТАМПЫ

Простые вырубные штампы производят вырубку одной фигуры с замкнутым контуром, например осевое отверстие в листе якоря или один паз якоря (пазовый штамп). При работе простого вырубного штампа лист остается на матрице, а вырубка проваливается через отверстие в матрице.

Пазовый штамп является самым простым и дешевым. Ввиду того, что пазы расположены по окружности якоря, статора или ротора, при штамповке пазовым штампом надо поворачивать лист на одно зубцовое деление после каждого удара штампа. После обхода окружности штамп не должен производить удара по уже пробитому первому пазу, так как из-за неточности подающего механизма пресса одна из кромок паза будет замята. Поэтому пазовый штамп устанавливается на полуавтомате (рис. 3-10), который обеспечивает все эти условия. Для установки заготовки на полуавтомат в центре ее должно быть отверстие.

При штамповке пазов пазовым штампом неизбежно получаются отклонения в размерах зубцов за счет погрешностей в изготовлении делительного колеса пресса и зазоров в деталях механизма поворота листа. Обычно наибольшие отклонения получаются в размерах последнего зубца, так как в нем суммируются отклонения всех предыдущих. Поэтому при сборке сердечника необходимо, чтобы номера всех пазов в листах совпадали. Это обеспечивается шпоночной канавкой в осевом отверстии листа, в которую входит шпонка оправки пресса, и шихтовочным знаком.

На рис. 3-13 представлен пазовый штамп для листа статора, являющийся простым вырубным штампом. К столу пресса болтами крепится плита матрицы 1 с укрепленной на ней матрицей 2 из легированной стали, которая закрепляется в плите двумя вин-

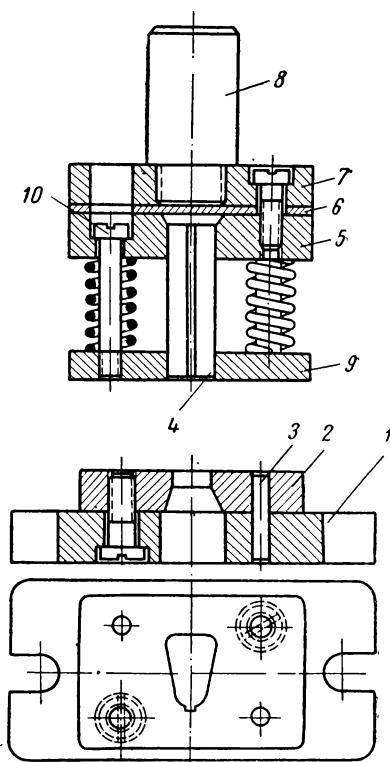


Рис. 3-13. Пазовый штамп для листа статора.

тами. Для предохранения от сдвига матрицы в процессе работы предусмотрены два штифта 3. Пуансон 4 закреплен путем расчеканки его незакаленного конца в пуансонодержателе 5, который привинчен к плите 7. Между пуансонодержателем и плитой проложена стальная термически обработанная прокладка 6, которая предохраняет пуансон от расшатывания при ударах штампа. К пуансонодержателю винтами 10 прикреплен сбрасыватель 9, который может скользить вдоль пуансона и отжимается двумя спиральными пружинами. Когда пружины освобождены, сбрасыватель перекрывает режущую кромку пуансона на 0,5—1 мм.

Верхняя часть штампа закрепляется в ползуне пресса при помощи хвостовика 8. Равномерность зазора между пуансоном и матрицей зависит от точности установки штампа на прессе. Штампующий лист лежит на матрице. При опускании пуансона лист сначала прижимается к матрице сбрасывателем 9, а затем происходит вырубка паза. При ходе ползуна пресса вверх сначала пуансон выходит из пробитого в листе отверстия и уже после этого по мере распрямления сжатых пружин сбрасыватель поднимается с матрицы. Наличие сбрасывателя исключает возможность застревания листа на пуансоне. После каждого удара штампующий лист поворачивается делительным механизмом пресса на одно зубцовое деление.

Простые вырубные (пазовые) штампы применяют для опытных образцов машин и при выпуске их малыми партиями. Иногда к пазовым штампам прибегают из-за отсутствия или чрезмерной загрузки крупных двухколонных прессов. В этом случае для повышения произ-

водительности применяют комбинированные вырубные штампы, которые за один ход прессы вырубает несколько пазов (рис. 3-18).

3-15. СОВМЕЩЕННЫЕ (КОМПАУНДНЫЕ) ШТАМПЫ

Совмещенный штамп производит одновременную вырубку двух замкнутых контуров детали — внешнего и внутреннего, например вырубку шайбы с отверстием или готового листа якоря с пазами, осевым и вентиляционными отверстиями.

Иногда при определении совмещенного штампа его характеризуют тем, что он вырубает за один удар все пазы по окружности листа, а не по одному, как пазовый. Следует обратить внимание на неправильность такого определения. Одновременную вырубку всех пазов по окружности производит и последовательный штамп, но его нельзя назвать совмещенным.

Неправильно также связывать понятие совмещенного штампа с большими размерами. Штамп для маленькой шайбы или для листа сердечника микродвигателя, несмотря на небольшие размеры, по принципу устройства будет совмещенным, если он вырубает одновременно две concentрические окружности.

При работе совмещенного штампа выштампованный после удара штампа лист якоря остается на матрице, внешняя кромка полосы поднимается вместе с ползуном прессы и сбрасывается с пуансонов специальными сбрасывателями, а внутренние отходы от вырубки осевого или вентиляционных отверстий проваливаются через отверстия в матрице. Выштампованные листы и внешние кромки полосы надо убирать из зоны штампа после каждого хода прессы, поэтому число ходов в минуту прессы бывает относительно небольшим.

Для повышения производительности совмещенного штампа применяют обращенную конструкцию, при которой выштампованный лист поднимается вместе с ползуном прессы и выталкивается пневматическим сбрасывателем. Благодаря этому листы удаляются из под штампа (§ 3-20,а) механически.

Совмещенный штамп обеспечивает одинаковые размеры штампуемых деталей. Но размеры пазов и расстояния между отдельными пазами могут отличаться в пределах допусков на изготовление штампа. Поэтому при сборке сердечников листы должны укладываться той же стороной, какой они укладывались под штамп. Это обеспечивается наличием знака для шихтовки в виде канавки на контуре листа. Совмещенные штампы вследствие большого расхода легированной стали и большой трудоемкости стоят очень дорого, и поэтому их применяют только при серийном производстве. Внедрению совмещенных штампов для крупных машин может препятствовать также отсутствие прессов соответствующих размеров.

На рис. 3-14 представлен совмещенный штамп для листов якоря с полузакрытыми пазами. Для наглядности изображения штамп показан в раскрытом виде, когда пуансоны подняты над матрицей. Нижняя проекция представляет собой вид на матрицу, как это принято в чертежах штампов. Матрица выполнена из отдельных секторов, число которых равно числу пазов якоря [Л. 4].

Раньше матрицы делали из сплошного куска стали. Обработка отверстий в матрице была очень трудоемкой операцией, и пригонка их к пуансонам производилась вручную. Секторы составной матрицы доступны для станочной обработки. В случае поломки одного из секторов его легко можно заменить запасным.

Секторы 1 собраны в круг и каждый из них привинчен двумя винтами к диску 2. Снаружи на секторы напрессовано кольцо 3, благодаря которому они при штамповке работают как одна целая деталь. На боковых сторонах секторов профрезерованы канавки, которые образуют пазы в матрице. Во внутреннее отверстие запрессована втулка 4, которая является матрицей для вырубки отверстия в листах для вала. Весь комплект матрицы врезан в углубление в нижней плите 5 и привернут к ней винтами, которые на чертеже не показаны. По углам плиты просверлены отверстия и в них запрессованы стальные шлифованные колонки 6, которые верхними концами входят в отверстия в верхней плите. Они предохраняют от сдвига пуансонов по отношению к матрице, что привело бы к поломке штампа, а иногда и прессы. В плите сделаны пазы для болтов, крепящих ее к столу прессы.

Верхняя плита штампа закрепляется в ползуне прессы за хвостовик 7. В углубление плиты врезана

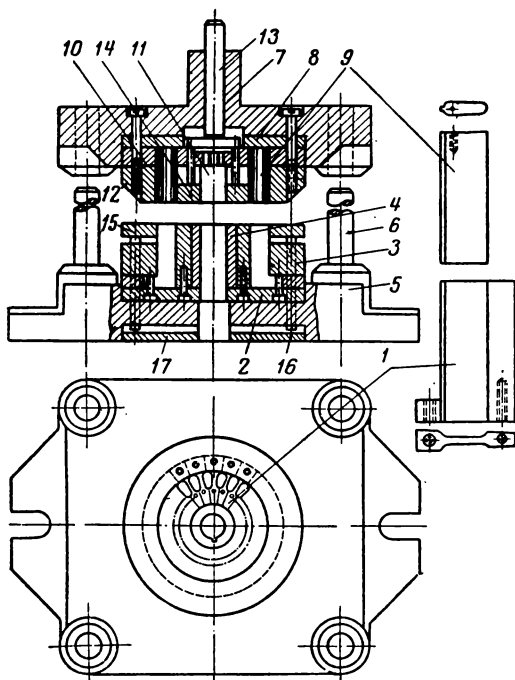


Рис. 3-14. Совмещенный штамп для листа якоря.

стальная закаленная пластина 8, которая служит упором для торцов пазовых пуансонов 9. Они укреплены в пуансонодержателе 10, в центре которого установлен пуансон 11, пробивающий в листе отверстие для вала. Снаружи пазовые пуансоны упираются в закаленное обечное кольцо 12, которое пригнано с малым зазором к наружной поверхности матрицы и служит для вырубki внешнего контура листа якоря. Пуансонодержатель и обечное кольцо привинчены к плите.

Если положить полосу стали на матрицу и произвести ход пресса, то пуансоны 9 и 11 войдут в отверстия матрицы и вырубят пазы и отверстие для вала, а обечное кольцо 12 обрубит наружную окружность листа якоря. Но когда ползун пресса пойдет кверху, лист якоря будет сидеть на пуансонах, а полоса — на матрице и дальнейшая работа штампа будет невозможна. Чтобы этого не произошло, штамп имеет два сбрасывателя. Верхний приводится в движение от стержня 13, который свободно скользит в отверстии хвостовика и в верхнем положении ползуна упирается в неподвижный упор. Нижний конец стержня нажимает на шайбу, а она на шпильки, упирающиеся в сбрасыватель 14, представляющий собой стальное кольцо с отверстиями для пуансонов. Он и сталкивает лист якоря с пуансонов. Для сдвигания полосы с матрицы служит второй сбрасыватель 15, который охватывает матрицу. Под давлением обечного кольца он опускается вниз, а после подъема пуансонов поднимается под давлением шпильки 16, на которые через шайбу 17 давит резиновый буфер, находящийся между плитой штампа и столом пресса и на чертеже не показанный.

В последние годы получили распространение совмещенные штампы, которые вырубают две концентрические детали, например листы статора и ротора [Л. 3-4]. Такие штампы носят название двойных совмещенных или бикомпаундных (§ 3-18).

3-16. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЕ ШТАМПЫ

Последовательный (шаговый) штамп, так же как и совмещенный, дает готовый лист за один ход пресса, но операция вырубki разделяется на несколько переходов, которые производятся один за другим по мере продвижения полосы на определенную величину, называемую шагом штамповки. При работе последовательного штампа кромка полосы остается на матрице, а готовые изделия и отходы проваливаются сквозь отверстия в матрице. Ввиду того, что после удара штампа убирать из зоны режущих кромок ничего не надо, последовательные штампы могут работать с большим числом ходов пресса, которое достигает 250 ходов в минуту и более. Но для достижения такой скорости штамповки необходимы рулонный материал и автоматическая подача ленты.

Число переходов, на которые расчленяется процесс вырубki изделия, зависит от числа концентрических контуров вырубki. Например, шайбу можно вырубить за два перехода, а листы статора и ротора с вырубкой материала из воздушного зазора машины за четы-

ре. Очевидно, что с увеличением числа переходов штамповки растет общая длина штампа.

Для пояснения принципа работы последовательного штампа рассмотрим простой штамп, работающий в два перехода (рис. 3-15,а).

Штамп имеет два пуансона 1 и 2, расположенных один за другим. Первый пуансон 2 диаметром 10 мм пробивает отверстие шайбы, а другой 1 диаметром 25 мм при следующем ходе пресса вырубает наружный контур шайбы. Вырубki диаметром 10 мм и готовые шайбы проваливаются в отверстия в матрице и падают в подставленные для них ящики.

Расстояние a между пуансонами называют шагом штамповки, который равен наружному диаметру шайбы плюс перемычка между вырубками. По бокам расположены два боковых ножа 3, которые отсекают от полосы кромку шириной около 2 мм. Длина ножей a равна шагу штамповки. После каждого удара штампа полоса продвигается в направлении, указанном стрелкой, на величину шага штамповки и уступы, получаемые при обрезке кромки, упираются в упоры матрицы 5. Благодаря боковым ножам зазор между направляющими матрицы и полосой очень мал и полоса не может сдвинуться в сторону. Верхняя планка 4, которая в нижней проекции снята, служит в качестве

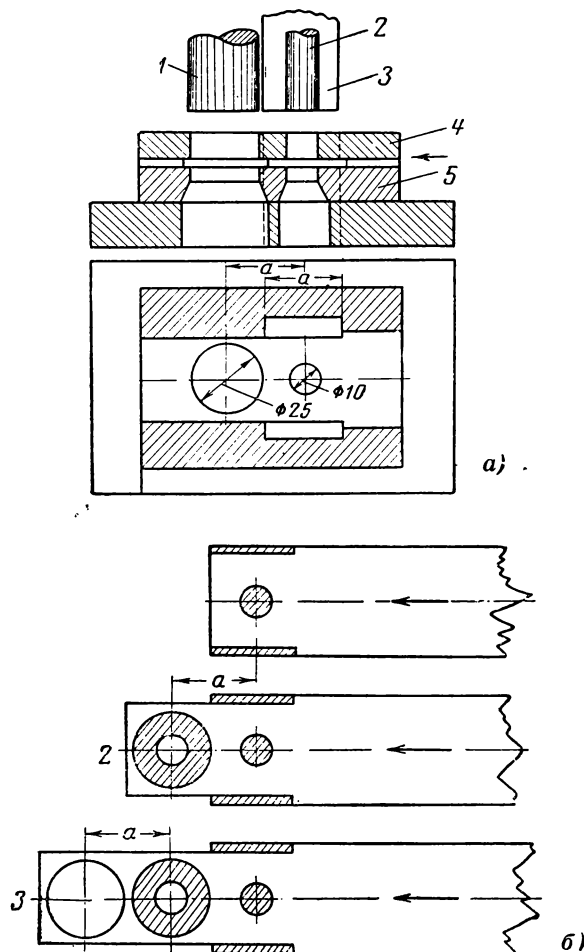


Рис. 3-15. Последовательный штамп для шайбы. а — устройство штампа; б — схема штамповки.

сбрасывателя полосы с пуансонов при движении их вверх. Штампы с верхней планкой называются закрытыми, так как пуансоны при подъеме в верхнее положение не выходят из отверстий в планке.

На рис. 3-15,б показана последовательность переходов. При первом ударе штампа боковые ножи отсекают кромки от полосы, а пуансон выбивает в полосе отверстие $\varnothing 10$ мм. Затем полоса передвигается до упора и при следующем ударе штампа второй пуансон вырубает наружный контур шайбы. При втором и каждом следующем ударе будет выходить по одной готовой шайбе.

Недостатком боковых ножей является дополнительный расход материала на обрезку полосы и снижение прочности матрицы. Поэтому современные штампы делают без боковых ножей. Фиксация продвижения полосы осуществляется пружинными защелками, ловителями или точным механизмом подачи полосы.

Основные принципы устройства последовательного штампа заключаются в следующем:

а) изделия и отходы при штамповке проваливаются через отверстия в матрице;

б) шаг штамповки, на которой продвигается полоса после каждого хода пресса, равен габаритному размеру изделия в направлении движения полосы плюс перемычка между вырубками;

в) минимальное число переходов n определяется числом замкнутых концентрических контуров;

г) последовательность вырубки замкнутых контуров развивается от центра к периферии;

д) готовые изделия получают при каждом ходе пресса, начиная с n -го;

е) во избежание перекосов ползуна пресса, вырубные усилия переходов, расположенных справа и слева от центра штампа, должны быть примерно равны.

На рис. 3-16 показана схема штамповки листов микродвигателя [Л. 2]. В конструкции магнитопровода четыре концентрических контура: осевое отверстие, наружная окружность ротора, вну-

тренний и наружный контуры листа статора. Поэтому штамповка производится в четыре перехода в перечисленной последовательности. На первом переходе дополнительно пробиваются пазы ротора, на втором — четыре отверстия для заклепок пакета статора. Шаг штамповки равен ширине листа статора a плюс узкая перемычка между вырубками. При штамповке все вырубki проваливаются сквозь отверстия в матрице. Готовые листы ротора начнут получаться со второго хода пресса, а листы статора с четвертого. После протягивания через штамп всей полосы число вырубленных листов ротора и статора будет одинаковым. Условие равномерного распределения вырубных усилий в переходах в этой схеме выдержано.

Преимущество последовательных штампов перед совмещенными заключается в высокой производительности. Они легко позволяют осуществить автоматическую штамповку. Для этого необходимо только, чтобы пресс имел приспособление для подачи полосы после каждого удара штампа. Для асинхронных двигателей последовательный штамп одновременно обеспечивает получение листов статора и ротора из одной полосы. Примеры автоматической штамповки приведены в § 3-20.

3-17. ШТАМПОВКА ЛИСТОВ ЯКОРЯ

Проектирование технологических процессов штамповки листов сердечников определяется масштабами производства. Чем меньше количество выпускаемых машин, тем проще и дешевле должны быть штампы. При этом часто приходится один сложный штамп заменять двумя или несколькими более простыми.

Особенность конструкции листов сердечников электрических машин заключается в том, что даже для пробного образца машины их приходится штамповать, так как иными способами их изготовить нельзя.

При штамповке листов якоря требуется вырубать центральное отверстие, наружную окружность и пазы, а иногда еще вентиляционные отверстия (см. рис. 3-34).

При индивидуальном производстве обходятся двумя простыми штампами: для центрального отверстия, которое пробивают в квадратной заготовке, нарезанной на ножницах и пазовым штампом Т- или Г-образного сечения, который вырубает один паз и одновременно обрубает часть окружности якоря.

Работа производится на полуавтомате (рис. 3-10).

При мелкосерийном производстве добавляют еще один штамп для вырубки наружной окружности листа якоря, чтобы получить ее

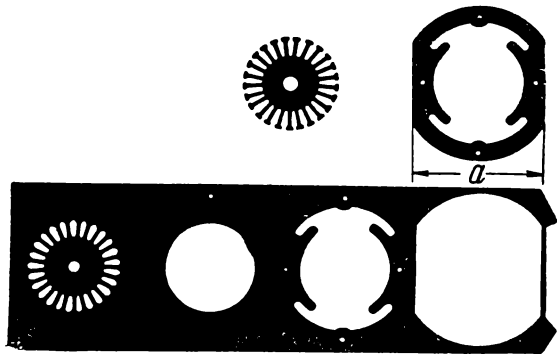


Рис. 3-16. Схема штамповки листов микродвигателя.

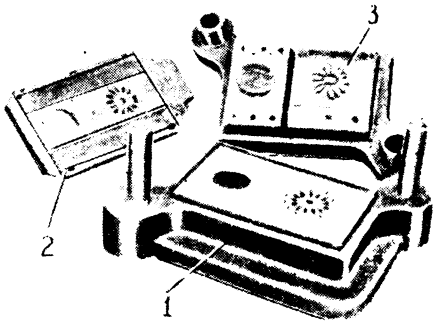


Рис. 3-17. Последовательный штамп для листа якоря.

более точной и ровной. Возможно применение комбинированного штампа, вырубавшего одновременно n пазов с поворотом листа якоря на $\frac{360^\circ n}{z}$ после каждого удара штампа.

В этом случае необходимо, чтобы число пазов z было кратным n , так как второй удар пуансона в вырубленный паз недопустим.

При установившемся серийном производстве, даже при небольших партиях машин, пазовые штампы заменяют совмещенными (рис. 3-14). Это повышает не только производительность, но и качество сердечников, устраняет обработку пазов, уменьшает магнитные потери.

При крупносерийном и массовом производстве наибольшую производительность можно получить при последовательном штампе [Л. 4] (рис. 3-17). Он состоит из следующих узлов: нижней плиты с направляющими колонками и матрицей 1, сбрасывателя 2 и верхней плиты с пуансонами и направляющими втулками 3. На рисунке сбрасыватель изображен в перевернутом виде, чтобы показать направляющую лунку для полосы. В рабочем положении он привинчивается к нижней плите шестью винтами. Верхняя плита надевается на колонки и закрепляется в ползуне пресса.

Штампующую полосу вдвигают в лунку сбрасывателя с правой стороны штампа на половину длины матрицы. При первом ударе штамп вырубит в полосе пазы якоря и осевое отверстие. Затем полосу продвигают после каждого удара штампа на величину шага штамповки и готовые листы якоря провалят в отверстие матрицы.

3-18. ШТАМПОВКА ЛИСТОВ СТАТОРА И РОТОРА

Листы статора асинхронных электродвигателей требуется штамповать с пазами на внутренней окружности, причем листы ротора получают из вырубки от штамповки листов статора. Поэтому процесс штамповки листов

асинхронного двигателя значительно сложнее, чем листов якоря.

При индивидуальном и мелкосерийном производстве применяют пазовые штампы. Этим же методом штамповки в производстве машин 12-го габарита и выше часто приходится пользоваться из-за перегруженности больших прессов. В технологию штамповки с применением пазовых штампов входят следующие операции (рис. 3-2):

1. Вырубка наружного контура листа статора, отверстия для вала и вентиляционных отверстий.

2. Вырубка пазов статора пазовым штампом.

3. Вырубка пазов ротора пазовым штампом.

4. Отделение листа статора от листа ротора круглым штампом.

Операции 2 и 3 производят на разных прессах, так как число пазов статора никогда не равно числу пазов ротора. В последней операции приходится решать вопрос, по какому диаметру отделять листы. При штамповке пазовыми штампами приходится после сборки обрабатывать как внутреннее отверстие статора, так и наружную поверхность ротора. Учитывая, что обработка статора более трудоемка, обычно отделение производят по окружности, отстоящей от окружности статора на $\frac{1}{3}$ воздушного зазора.

При вырубке одного паза вырубное усилие пазового полуавтомата обычно не используется. Поэтому на заводе «Динамо» разработан способ штамповки листов статора и ротора асинхронных электродвигателей с одновременной пробивкой нескольких пазов. Чтобы ни один пуансон не попадал вторично в пробитый паз, число ударов должно быть кратным числу пазов статора и ротора. Для электродвигателей с контактными кольцами число пазов статора определяется формулой

$$z_1 = 2pmq_1, \quad (3-34)$$

а ротора

$$z_2 = 2pmq_2. \quad (3-35)$$

Таким образом, при целом числе пазов на полюс и фазу число ударов штампа будет $2pm$, причем при каждом ударе будет вырублено q_1 пазов статора и q_2 пазов ротора. Во избежание трудностей в изготовлении матрицы пазы статора сдвигают по отношению к пазам ротора (рис. 3-18). Таким образом, производительность штамповки повышается в $(q_1 + q_2)$ раз по сравнению с одиночными пазовыми штампами. Если к комбинированному пазовому штампу добавить еще дуговой нож, который будет разрезать часть окруж-

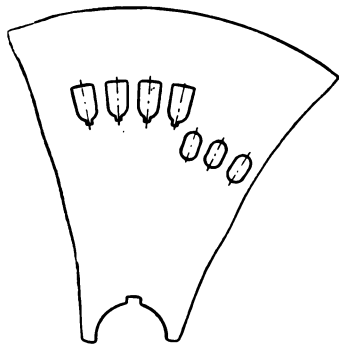


Рис. 3-18. Штамповка комбинированным штампом пазов статора и ротора.

ности, то отпадет необходимость и в круглом разведнительном штампе.

При увеличении масштабов производства переходят к совмещенным штампам. Особенность магнитной системы асинхронного электродвигателя заключается в том, что вследствие малого воздушного зазора пазы статора и ротора расположены очень близко и их нельзя вырубать одновременно одним совмещенным штампом. Если изготовить цельную матрицу с отверстиями для вырубке пазов статора и ротора, то между ними останутся очень тонкие стенки, которые не только не обеспечат достаточной прочности матрицы при работе штампа, но могут лопнуть даже в процессе термической обработки. Возможность одновременной штамповки листов ротора и статора часто ограничивается также допускаемым вырубным усилием пресса.

Поэтому для штамповки листов статора и ротора асинхронных электродвигателей в серийном производстве применяют два совмещенных штампа. Первый вырубает из полосы готовый лист статора и технологическое центральное отверстие диаметром на несколько миллиметров меньше, чем отверстие в листах ротора для вала (рис. 3-19,а). От листа статора остается внутренняя вырубка, представляющая собой кружок, увенчанный лепестками от пазов статора (рис. 3-19,б). Эта вырубка передается на другой пресс и совмещенным штампом обрубается лепестки и слой металла, образующий зазор, а также вырубается пазы ротора. Кружок в этом штампе центрируется ловителем по технологическому отверстию; вокруг него вырубается окончательное отверстие для вала, чтобы сохранить концентричность внешней окружности листа и отверстия для вала. Таким образом, листы статора и ротора получают с точностью изготовления штампа, а поскольку они собираются по шихтовочному знаку, неточность из-

готовления штампа не сказывается на качестве сердечника. Такая технология штамповки является наиболее распространенной, поэтому другие методы штамповки совмещенными штампами в три или четыре перехода здесь не рассматриваются.

При разработанном на ХЭМЗ способе штамповки листов статора заготовка ротора получается в виде кружка без лепестков, которые удаляются во время штамповки листа статора [Л. 3-4]. Кружок штампуются с технологическим отверстием, если в дальнейшем пазы ротора будут штампуются совмещенным штампом, или с окончательным отверстием для вала при штамповке на пазовом полуавтомате.

Отсутствие лепестков на заготовке ротора повышает безопасность труда благодаря тому, что при этом исключена возможность порезов рук рабочего при складывании заготовок об острые края лепестков. При штамповке листов ротора из кружков не нужно убирать обесеченные лепестки после каждого хода пресса, что повышает производительность труда и удлиняет срок службы штампа. Число ходов пресса при вырубке листов ротора из заготовок без лепестков повысилось более чем вдвое.

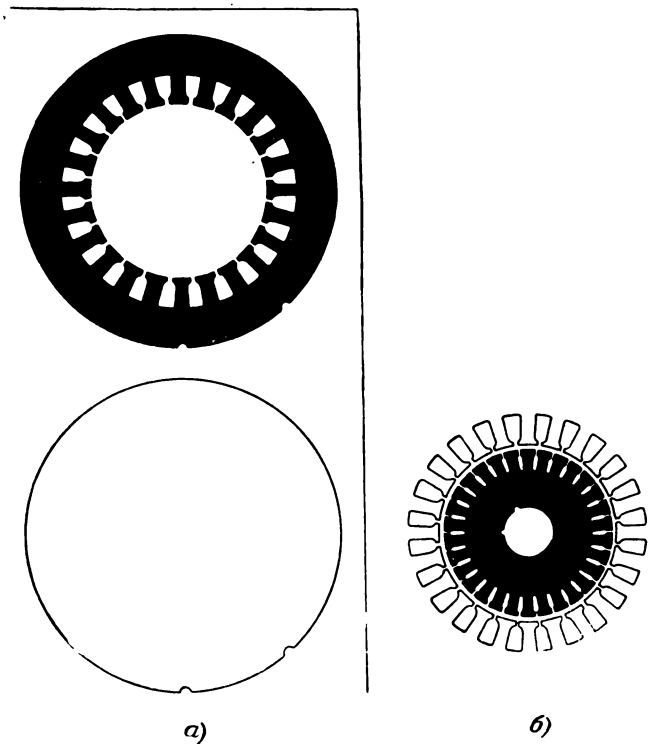


Рис 3-19. Схема штамповки листов статора и ротора.
а — лист статора; б — лист ротора.

Конструкция штампа для листа статора с обесечкой лепестков показана на рис. 3-20. Матрица штампа для вырубki пазов составлена из секторов 9, каждый из которых прикреплен к диску двумя винтами. В отверстия матрицы входят пуансоны 3, закрепленные в пуансонодержателе посредством заливки оловянно-свинцовым припоем. На внешнюю поверхность матрицы надвигается обесечное кольцо 1, которое отсекает лист статора от полосы электротехнической стали. Центральное отверстие выбивается пуансоном 7, который входит в отверстие во втулке матрицы 12. Все перечисленные детали имеются и в штампах обычной конструкции, вырубаящих заготовку листа ротора с лепестками. Отличительной особенностью данного штампа является кольцо 11, которое покоится на пружинах 10. Пружины должны быть стянуты с силой, равной вырубному усилию для вырубki внутреннего отверстия листа статора. Кольцо 11 при поднятом ползуне прессы находится на одном уровне с матрицей 9.

Работа штампа происходит в такой последовательности. Полоса стали кладется на сбрасыватель 8, который при поднятом ползуне прессы расположен несколько выше матриц 9 и 12. На пуансонах имеются два сбрасывателя 2 и 6, на которые через шпильки давит планка 4, отжимаемая от ползуна прессы резиновыми буферами, на рисунке не показанными. При опускании ползуна прессы будет происходить вырубка деталей, которую для наглядности можно разделить на следующие этапы:

1. Полоса стали зажимается между сбрасывателями 8 со стороны матрицы и сбрасывателями 2 и 6 со стороны пуансонов.

2. Буферы и пружины сбрасывателей сжимаются и полоса касается нижней плоскостью матриц 9, 12 и кольца 11, а верхней плоскостью пуансонов 3 и 7.

3. Буферы и пружины сбрасывателей продолжают сжиматься; происходит вырубка внешнего контура листа статора, пазов статора и центрального отверстия.

4. Ползун продолжает опускаться, и кольцо 5 нажимает на кольцо 11, сжимает поддерживающие его пружины 10 и отделяет лист ротора от листа статора по диаметру внутреннего отверстия статора. Лепестки и вырубка от центрального отверстия проталкиваются сквозь матрицу и падают на пол. При подъеме ползуна прессы буферы и пружины сбрасывателей распрямляются и полоса сталкивается с матрицей 9, лист статора выталкивается из обесечного кольца 1, а заготовка листа с ротора сталкивается с пуансоном 7.

Кружки, остающиеся от штамповки листов статора, передаются на другой пресс для штамповки из них листов ротора. Но этих кружков не хватает для комплектования сердечника ротора. Это объясняется тем, что листы роторов асинхронных электродвигателей, заливаемых алюминием, не лакируются и при одинаковых длинах статора и ротора на последний требуется больше листов. Но обычно ротор несколько длиннее статора и число недостающих листов еще увеличивается. Поэтому наряду со штамповкой листов ротора из кружков приходится дополнительно штамповать их из полос, т. е. на одну деталь иметь два технологических процесса и два типа штампов.

Это затруднение устранено путем изготовления штампов для листов ротора единой серии 3—5-го габаритов,

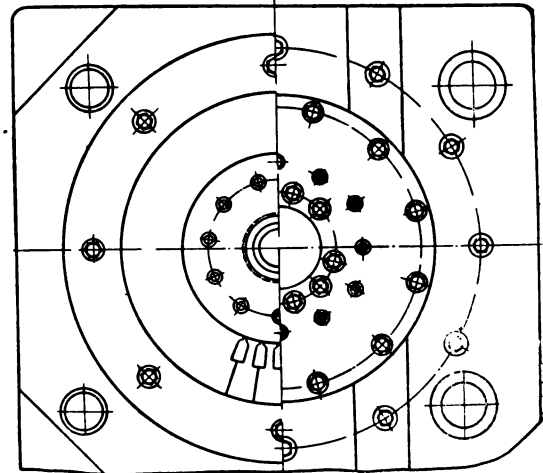
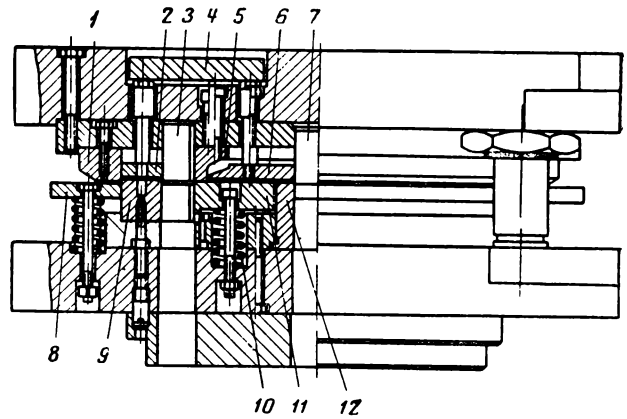


Рис. 3-20. Совмещенный штамп для листа статора.

которые приспособлены для вырубki листов ротора как из кружков, так и из полосы (рис. 3-21). Матрица 3 выполнена из целого куска стали и имеет режущие кромки для обрубki внешней окружности листа, вырубki пазов и осевого отверстия для вала. Кружок кладут на матрицу, центрируя приблизительно по штифтам 11. Точное центрирование кружка производит ловитель 4. Внешний контур листа обсекается кольцом 5, пазы вырубаются пуансонами 6, а отверстие для вала пуансоном 9. Сталкивание пояска отходов с матрицы производится сбрасывателем 1, который опирается на тарельчатые пружины 2, состоящие из пружинных шайб выпуклой формы. Лист ротора выталкивается из обесечного кольца 5 сбрасывателем 8, на который давит стержень 7 через планку 4 и штифты. Верхний конец стержня 7 ударяется в неподвижный упор в верхнем положении ползуна прессы. При вырубке листов ротора из полос ловитель 4 снимается.

Внедрение в производство единой серии асинхронных электродвигателей в диапазоне мощностей 0,6—100 кВт сократило число типоразмеров по сравнению со старыми сериями. Это, а также специализация заводов на изготовлении одного или двух габаритов единой серии сделали актуальным вопрос

Матрица листа статора состоит из 24 секторов 3, из которых каждый привинчен двумя винтами к диску 6. Отверстия для вырубке пазов статора, в которые проваливаются отходы, сделаны с расширением книзу при уклоне стенки 7' по всей толщине матрицы. Матрица ротора 4 плотно входит в отверстие матрицы статора. В ней сделаны 18 отверстий для пазов и одно для осевого отверстия, в котором имеется цилиндрическая часть высотой рабочей толщины матрицы 5 мм. Обе матрицы закреплены на плите 7. Для сталкивания полосы с матрицы 3 имеется сбрасыватель 1, который опирается на штифты 2, поддерживаемые тарельчатыми пружинами. Листы ротора выталкиваются из матрицы штифтами 5. Пуансоны пазов статора 12 закреплены в держателе 9, а пуансоны пазов ротора 13 — в держателе 14. Торцы всех пуансонов опираются на закаленные стальные пластины. В центре пуансонодержателя 14 закреплен пуансон 15 для пробивки осевого отверстия. Для вырубке внешней окружности листа статора служит обечное кольцо 10. Внутри его помещается сбрасыватель 11, который служит для выталкивания листа статора из обечного кольца и с пуансонов 12. Сбрасыватель для листов ротора 17 представляет собой закаленный диск из инструментальной стали, который внешней кромкой отделяет лист ротора от листа статора. Сбрасыватели верхней части штампа приводятся в действие от шайбы 16, которая опирается на резиновый буфер, на рисунке

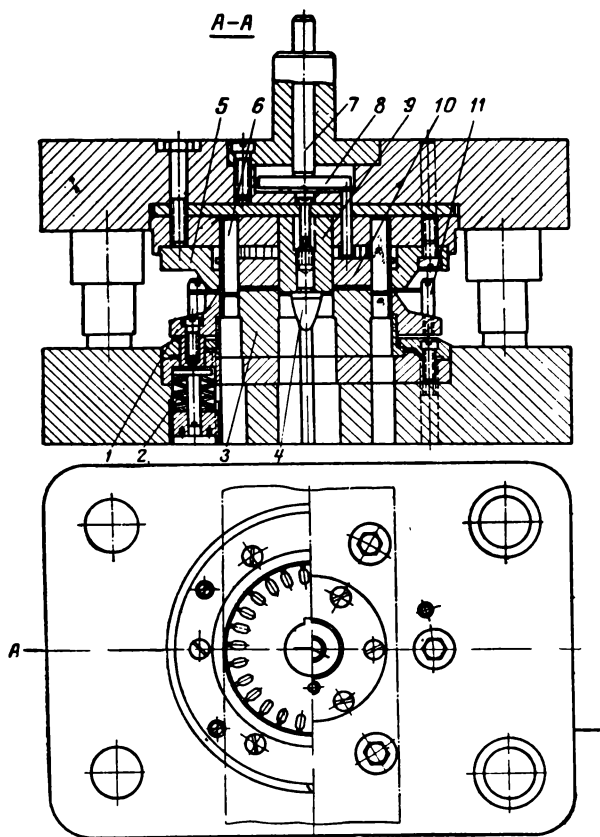


Рис. 3-21. Совмещенный штамп для листа ротора.

повышения производительности штампочных работ, особенно для двигателей первых трех габаритов, которые изготавливаются большими партиями. Стремление снизить трудоемкость штамповки заставило снова вернуться к проблеме получения за один ход пресса листа статора и ротора, что было недопустимым при матрицах из цельного куска стали. Опыт, полученный при изготовлении и эксплуатации составных и секторных матриц, позволил решить этот вопрос. Путем использования принципов последовательности переходов вырубке в совмещенном штампе, пример которого был показан на штампе для вырубке листов статора с обечкой лепестков (рис. 3-20), удалось осуществить одновременную вырубку листов статора и ротора в совмещенном штампе без увеличения вырубного усилия.

На рис. 3-22 показана конструкция штампа для вырубке листов статора и ротора двигателя единой серии 3-го габарита. На левой части нижней проекции видно, что матрица составная, причем матрица листа ротора цельная, а статора секторная. На верхней проекции видно, что они расположены в разных плоскостях, причем матрица листа ротора ниже матрицы листа статора. Этим достигается последовательность переходов процесса вырубке.

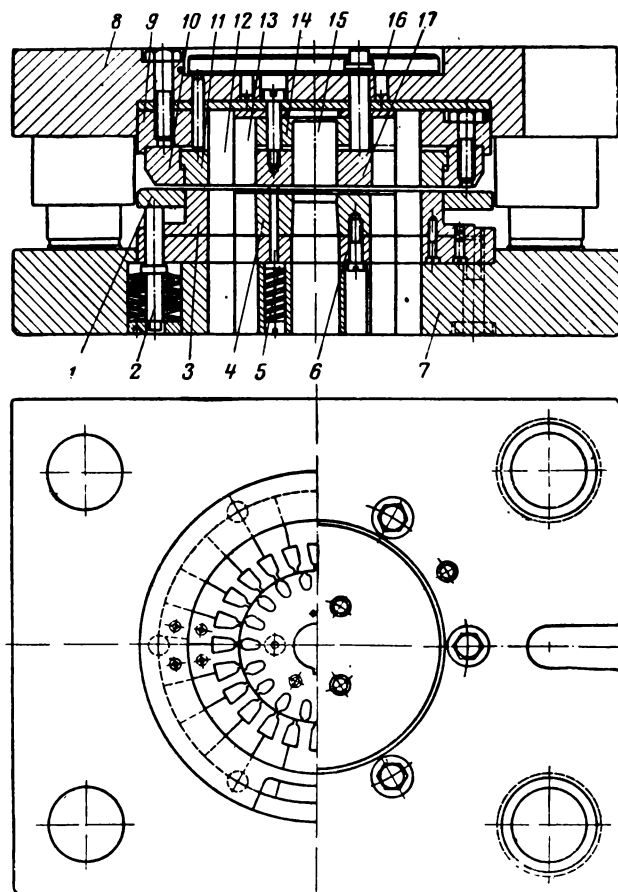


Рис. 3-22. Сдвоенный совмещенный штамп для листов статора и ротора.

не показанный. Все детали верхней части штампа укреплены в массивной плите 8.

Работа штампа происходит в такой последовательности. Сначала обечное кольцо 10 и пуансон 12 вырубает внешнюю окружность и пазы статора. При дальнейшем опускании ползуна вырубается пазы и осевое отверстие ротора и сбрасывателем 17 производится отделение листа ротора от листа статора. Понятно, что верхний буфер для этого должен быть предварительно затянута с усилием, равным вырубному усилию сбрасывателя 17. Таким образом, за один удар штампа получаются две детали. Но не следует забывать, что металл, заполняющий зазор, при этом не вырубается. Учитывая условия обработки статора и ротора, целесообразно проектировать штамп так, чтобы лист статора получался с окончательными размерами и не требовал обработки, а зазор в двигателе получать за счет обработки ротора.

3-19. ШТАМПЫ ИЗ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ

Требуемый срок службы штампов зависит от масштабов производства. Если при мелкосерийном производстве срок службы штампа, определяемый в несколько сотен тысяч ударов, считался вполне приемлемым, то при массовом производстве, когда число двойных ходов пресса доходит до 250 в минуту, т. е. свыше 100 тыс. в смену, срок службы штампа в 1 миллион ударов нельзя считать очень большим, так как он составит всего 10 рабочих смен.

Быстрое затупление кромок стальных штампов требует их частой переточки, что влечет за собой понижение использования прессов. При эксплуатации стальных штампов простой прессового оборудования на снятие и установки штампов составляют 10—50% всего рабочего времени [Л. 3-5]. В конце периода работы между переточками из-под штампа выходят детали с увеличенными заусенцами, что приводит к ухудшению качества шихтованных сердечников.

Устранить эти недостатки удалось путем применения твердых сплавов для режущих кромок штампов.

Вначале проводилось упрочнение кромок на электроискровом аппарате электродом из твердого сплава по двум вариантам. В первом варианте упрочнялся лишь торец пуансона вдоль режущей кромки на ширину 2—2,5 мм, а по второму дополнительно упрочнялись обрезающая поверхность пуансона на ширину 2—2,5 мм и зеркало матрицы вдоль режущей кромки. Практика показала, что обработку упрочнения надо вести вблизи режущей кромки, не доходя до нее, так как при этом часто наблюдается разрушение кромки. Опыт эксплуатации штампов с упрочненными режущими кромками показал, что число ударов между заточками повышается в 2—2,5 раза и достигает 40—50 тысяч.

Решающее влияние на стойкость штампов оказало применение режущих элементов, спрессованных из твердых сплавов.

Для штамповки листов электротехнической стали оказались наиболее подходящими марки твердых сплавов ВК15 и ВК20, состоящие из карбида вольфрама и кобальта, процентное содержание которого обозначено цифрами в марке сплава.

Применение твердосплавных элементов штампов обеспечивает:

- 1) повышение стойкости штампов в 50—70 раз;
- 2) получение штампованных деталей стабильного качества в течение всей работы штампа между переточками, исчисляемой миллионами ударов;
- 3) сокращение в десятки раз простоев прессового оборудования;
- 4) экономию на каждом штампе из твердых сплавов в десятки тысяч рублей.

На рис. 3-23 показана конструкция совмещенного штампа завода имени Владимира Ильича для листов статора 8-го габарита единой серии.

Штамп вырубает лист статора с наружным диаметром 423 мм, внутренним диаметром 300 мм и 72 пазы трапециевидальной формы с одновременной обечкой лепестков и пробивкой центрального технологического отверстия. Все режущие детали штампа выполнены из твердого сплава марки ВК20. На рис. 3-23,а показана схема установки режущих деталей на нижней части штампа, а на рис. 3-23,б — на верхней его части.

Общая конструкция штампа в двух проекциях представлена на рис. 3-23,а. Отделение листа статора от полосы электротехнической стали производится кольцами 9 и 11, составленными каждое из 12 частей. Отделение листа статора от заготовки листа ротора производится кольцом 14, составленным из восьми частей. Для вырубки пазов служат пуансоны 13 и вставки в матрице 8, закрепленные клиновыми сухарями 7 и 12. Технологическое отверстие в заготовке листа ротора пробивается пуансоном 16 и матрицей 6.

В нижней части штампа встроены сбрасыватели 1 для лепестков и 2 для заготовки листов ротора. Эти сбрасыватели приводятся в движение толкателями 3 и 5, опирающимися на резиновый буфер 4. Вокруг кольца 9 расположен сбрасыватель 10, опирающийся на пружины и служащий для сталкивания кромок полосы.

В верхней части штампа расположен сбрасыватель 18, служащий для выталкивания из кольца листа статора и приводимый в действие резиновым буфером 19. Сбрасыватель 15, опирающийся на пружины 17, служит для снятия заготовки листа ротора с пуансона 16.

Для повышения износоустойчивости между кольцами 21 и направляющими втулками 20 вставлены стальные шарики, заключенные в сепараторе (рис. 3-23,б).

После вырубki без переточки 520 тыс. листов статора штамп находился в рабочем состоянии и притупления режущих частей не наблюдалось. Попарное закрепление секторов матрицы без заливки каким-либо сплавом

обеспечивает их легкую замену при скалывании без нарушения общего центрирования штампа. На ХЭЛЗ штамп для листов статора 3-го габарита после 400 тыс. ударов находится в рабочем состоянии.

При серийном производстве твердосплавных штампов заготовки прессуют в специальных пресс-формах, после чего их подвергают

термической обработке. Большая трудоемкость изготовления пресс-формы вызывается необходимостью сопряжения деталей по 2-му классу точности и 10-му классу чистоты поверхности.

Окончательную обработку деталей производят на плоскошлифовальном станке. Обработку комплектов кольцевых пуансонов и сек-

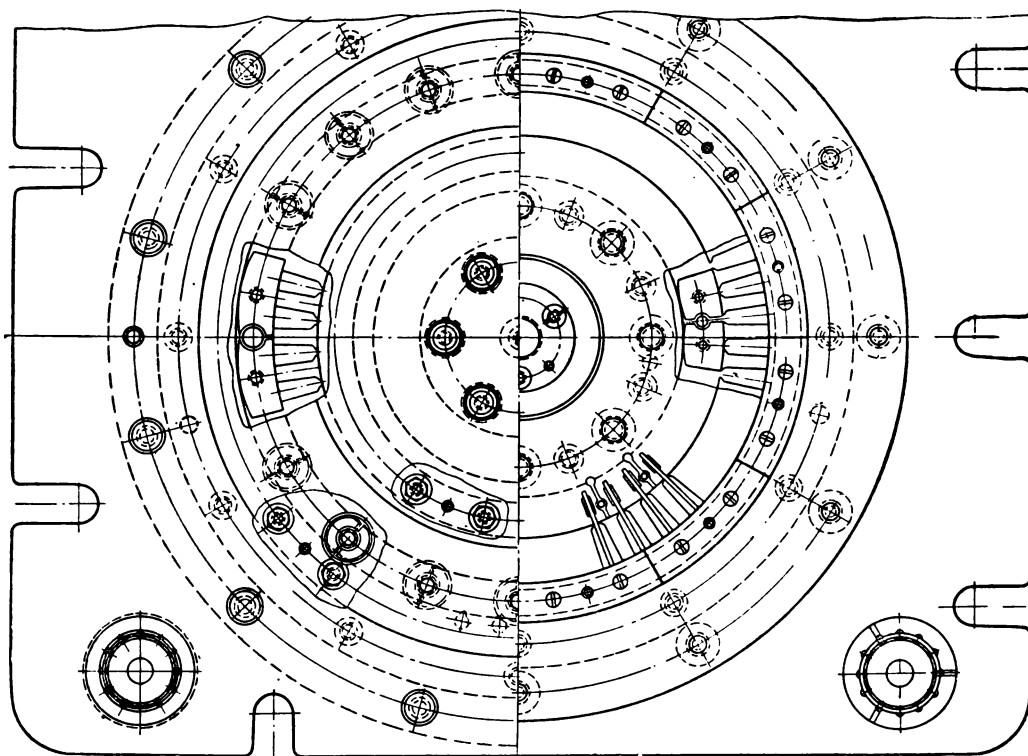
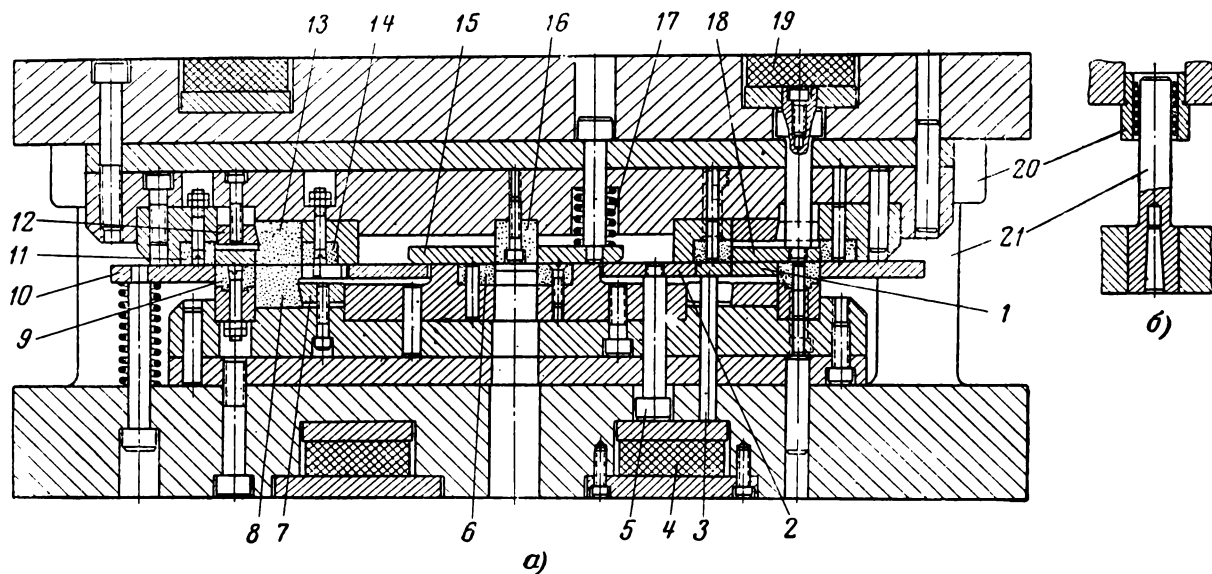


Рис 323.

торов матриц производят на оправке, на токарном станке с шлифовальной головкой. Шлифование секторов после пригонки плоскостей стыков начинают с обработки базовых замков. После этого каждый комплект секторов укрепляют в обойме и окончательно шлифуют до требуемых размеров.

Большую сложность представляет обработка замкнутых рабочих окон в заготовках из твердого сплава, которая производится электротроискровым способом.

Твердосплавные штампы особенно чувствительны к скалыванию режущих кромок в случае, когда не убранные из-под штампа детали или отходы создают на отдельных участках двойную толщину штампуемого листа. В секторных штампах замена сколотых пуансонов или секторов матриц не представляет большой трудности.

Высокая стойкость твердосплавных штампов достигается не только применением специальных марок твердого сплава, но и целым рядом конструкторско-технологических мероприятий:

1) созданием элементов конструкции штампов повышенной жесткости;

2) разработкой конструкций направляющих элементов штампов, обеспечивающих точное перемещение подвижных частей;

3) креплением штампов к прессу, исключаям перекосы ползуна и односторонние нагрузки на направляющие элементы штампа;

4) конструкцией ограничителей, регулирующих глубину захода пуансона в матрицу;

5) конструкцией элементов крепления твердосплавных деталей в штампах;

6) разработкой технологии изготовления твердосплавных штампов.

3-20. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ШТАМПОВКИ

В общей трудоемкости производства электрических машин удельный вес штамповочных работ еще относительно высок. При штамповке листов статора и ротора асинхронных электродвигателей совмещенными штампами на штамповку приходится до 25% общей трудоемкости электродвигателя. При штамповке пазовыми штампами трудоемкость возрастает еще более.

Автоматизация штамповочных работ проводится или путем пристройки механизмов к обычным прессам или специальными автоматическими прессами. К элементам автоматизации относятся механизмы сбрасывания штампованных деталей со штампа, автоматической подачи заготовок и полос под штамп и др. Комплексная автоматизация достигается путем применения автоматических прессов и поточных линий, состоящих из нескольких прессов с механической передачей заготовок с одного пресса на другой.

Сбрасывание штампованных листов в ящик или надевание их на штангу приводит к непроизводительным затратам рабочего времени на сортировку и комплектовку их в пакеты. Многие листы, падающие в ящик, сцепляются зубцами. При этом они изгибаются при разъединении и нуждаются в добавочном распрямлении. Сплошь и рядом на разборку и сортировку листов тратится столько же времени, сколько на сам процесс штамповки при ручном обслуживании пресса. Применение устройств для стапелирования, в которых готовые листы собираются по мере их штамповки, значительно повышает производительность труда. При этом листы укладываются в пакет в направлении штамповки, благодаря чему отпадают операции ориентировки листов по знаку и пакетирования. Таким образом, процесс штамповки непосредственно срастается с процессом сборки пакетов.

При массовом производстве, когда ежедневная потребность в штампованных листах исчисляется сотнями тысяч штук, метод штамповки листов статора и ротора совмещенными штампами становится недостаточно производительным. Объектами массового производства в электромашиностроении в первую очередь являются микродвигатели мощностью до 500 вт. Конструкции статоров этих двигателей

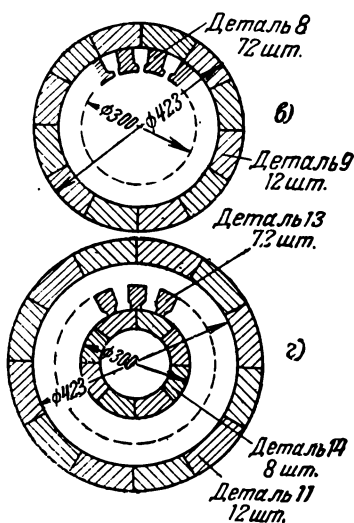


Рис. 3-23. Штамп из твердых сплавов.

а — конструкция штампа; б — направляющие колонки; в — схема нижней части штампа; г — схема верхней части штампа.

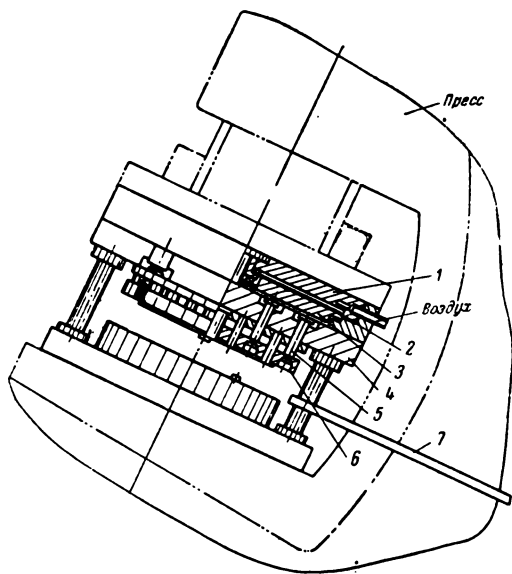


Рис. 3-24. Пневматический сбрасыватель листов.

бывают с явно выраженными полюсами (рис. 3-16) и с равномерно распределенными пазами, что не вносит существенного различия в методы штамповки. Соотношение между стоимостью работы и материала в двигателях до 50 вт таково, что при штамповке листов статора и ротора двумя совмещенными штампами предпочитают те и другие штамповать из полос. К этому вынуждает трудность собирания и подкладывания под штамп кружочков диаметром 20—30 мм. Таким образом, принцип получения листов ротора из отходов от штамповки листов статора нарушается, что в масштабах массового производства приводит к большому перерасходу электротехнической стали. Поэтому для листов микродвигателей особое важное значение имеет применение последовательных штампов.

Последовательный штамп позволяет использовать отходы от статора для листов ротора и обладает наиболее высокой производительностью. При штамповке из рулонной стали с автоматической подачей при шаге штамповки до 100 мм можно достигнуть скорости штамповки в 250 двойных ходов пресса в минуту. Точность изделий определяется главным образом точностью ширины полосы, что при

рулонном материале легко обеспечивается. При хорошем состоянии пресса вполне возможно получение листов статора и ротора с такой точностью, что обработка поверхностей статора и ротора отпадает, несмотря на очень малый зазор между ними (0,15—0,2 мм).

Ниже приводится ряд примеров автоматизации штамповочных работ.

а) Удаление выштампованных деталей с матрицы совмещенного штампа занимает значительную долю рабочего времени при штамповке. Поэтому в конструкции эксцентриковых прессов предусмотрена возможность наклона пресса, что позволяет использовать силу тяжести для сбрасывания деталей со штампа. Для этого надо спроектировать штамп так, чтобы при подъеме ползуна деталь оставалась в верхней части штампа и сбрасывалась оттуда при подходе ползуна к верхней точке. В качестве примера можно привести ряд штампов, рассмотренных в этой главе, у которых это условие выдержано. Так, например, в штампе на рис. 3-14 лист якоря остается после вырубки в обечном кольце 12 и выталкивается оттуда сбрасывателем 14. Аналогично работает штамп для листа ротора на рис. 3-21.

На заводе имени Калинина перевели штамповку листов ротора электродвигателей единой серии 9-го га-

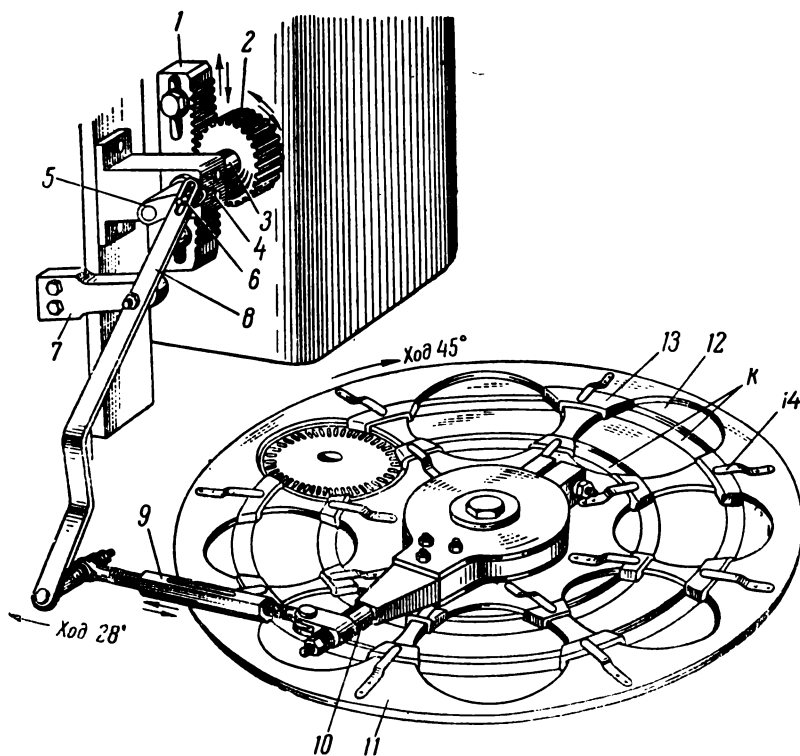


Рис. 3-25. Револьверная годача заготовок листов ротора.

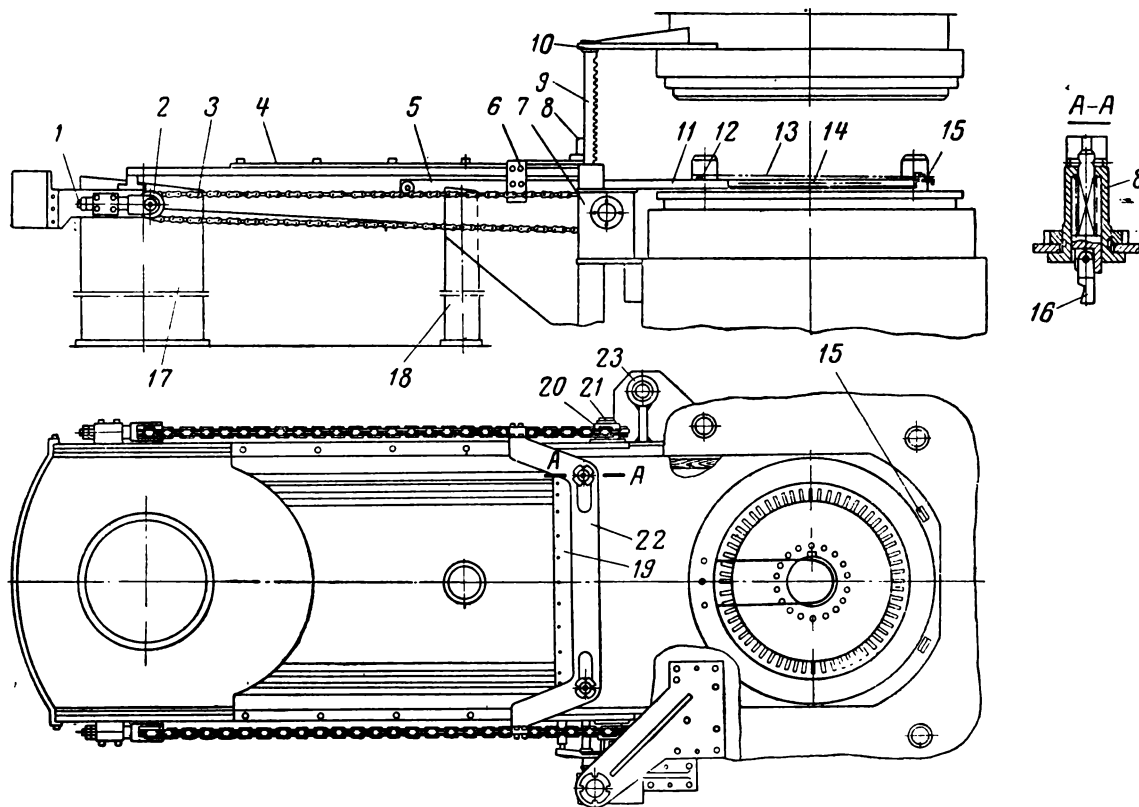


Рис. 3-26. Механизм для съема и стапелирования листов.

барита с горизонтального на наклонный пресс и разработали пневматическую систему сбрасывания листов из верхней части штампа [Л. 3-20]. Работу штампа можно видеть на рис. 3-24. К ползуну наклонного прессы прикреплена пневматическая подушка 1. В камере ее находится диафрагма 2 из листовой резины толщиной 5 мм, к которой прилегает металлический поршень 3. Он при помощи толкателей 5, проходящих через верхнюю плиту штампа 4, давит на сбрасыватель 6, который сбрасывает выштампованный лист с пуансонов на матрицу, а затем по наклонному лотку 7 в сборник. Для того чтобы пневматический сбрасыватель действовал только в верхнем положении ползуна, предусмотрен специальный переключатель воздуха, механически связанный с шатуном прессы. Применение пневматического сбрасывателя повысило производительность труда на 50%.

б) При штамповке листов ротора из круглых заготовок приходится вводить их вручную в зону штампа, что создает опасность при двойных ударах штампа и снижает производительность. На заводе «Динамо» разработана револьверная подача заготовок к штампу, повышающая безопасность работы и производительность труда [Л. 3-12].

Заготовки листов ротора из специального магазина попадают в отверстие подающего диска 11 (рис. 3-25), который поворачивается на 45° после каждого удара штампа. На рисунке показан механизм привода диска от ползуна прессы. К ползуну привернута зубчатая рейка 1, находящаяся в зацеплении с шестерней 2, поворачивающейся в подшипнике разъемного кронштейна 4, привернутого к станине прессы. На

другом конце валика 3 укреплен кривошип 5, палец которого 6 входит в продолговатый паз рычага 8. Рычаг 8 поворачивается вокруг оси, закрепленной в неподвижном кронштейне 7. Нижний конец рычага 8 соединен тягой 9 с поводком 10 храпового механизма поворота диска 11. Диск поворачивается по часовой стрелке. Обратный ход храпового механизма является холостым.

Храповой механизм заблокирован с системой сжатого воздуха, осуществляющей включение прессы ножной педалью. Благодаря этому включение прессы невозможно при остановке диска в промежуточном положении. Точное центрирование заготовки по технологическому отверстию обеспечивается ловителем штампа.

При подъеме ползуна прессы шестерня 2 сначала делает $\frac{1}{8}$ оборота вхолостую, что необходимо для вывода пуансонов из матрицы, после чего начинается поворот диска 11. Диск скользит по круглому столу 12, в котором проточены две концентрические канавки К. Ползуны 13, прижимаемые пружинами 14, перемещают заготовку и не дают ей заклиниваться между диском и столом. Готовые листы ротора сбрасываются с пуансонов и, соскальзывая по наклонному лотку, попадают на штангу стойки.

Установка механизма на прессы показана на рис. 3-9.

в) На ХЭМЗ изготовлено и внедрено устройство для механического выноса из зоны штампа листов статора с внешним диаметром до 650 мм и заготовок листов ротора с одновременным стапелированием их на стойки, повышающее вдвое производительность труда [Л. 3-13] (рис. 3-26).

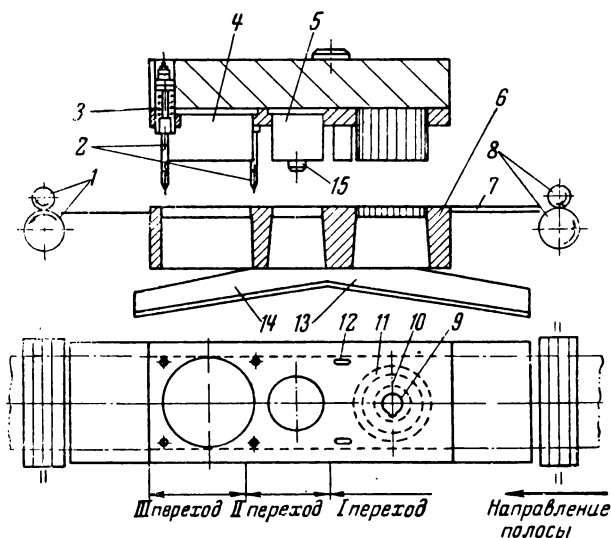


Рис. 3-27. Схема штамповки на автоматическом прессе А 60.

При подъеме ползуна пресса в зону штампа автоматически вводится алюминиевый лоток 11 и на него падают выталкиваемые из верхней части штампа заготовка листа ротора 14 и лист статора 13, причем край его ложится на три пружинные кнопки 12.

При опускании ползуна пресса лоток 11 с листами выходит из зоны штампа. При этом заготовка листа ротора надевается на стойку 18, а лист статора упорами 15 сдвигается на неподвижный лоток 4. После второго рабочего хода пресса первый лист статора при выходе подвижного лотка будет захвачен шарнирными пальцами 16 и надет на стойку 17.

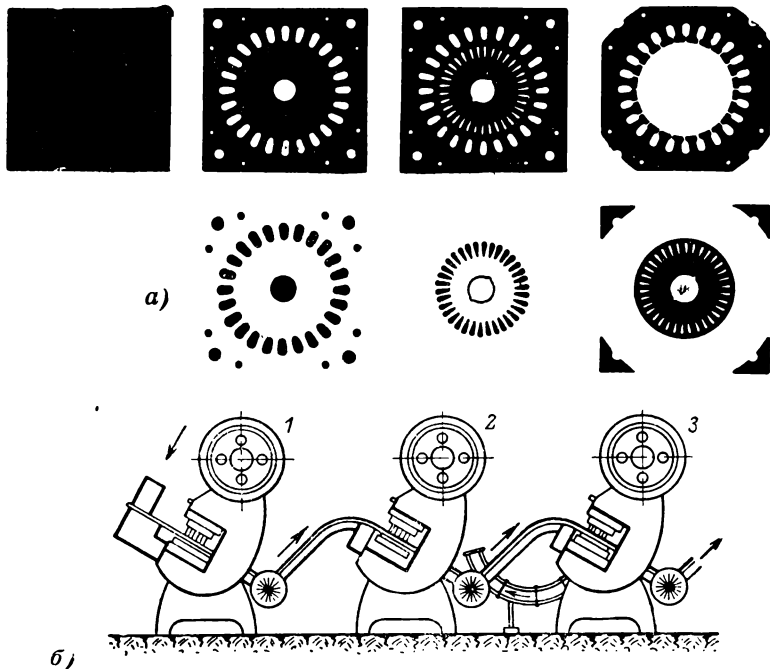


Рис. 3-28. Штамповка на автоматической линии
а — схема штамповки; б — автоматическая штамповочная линия.

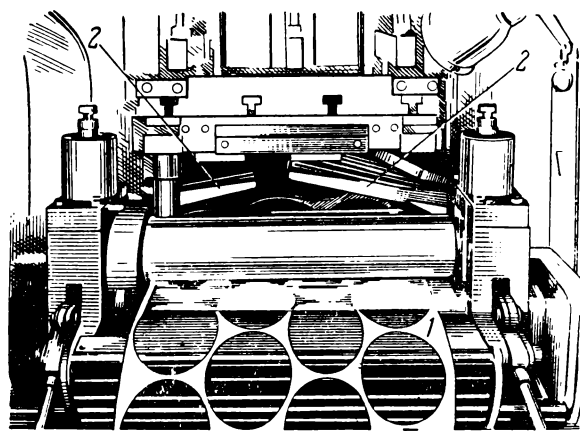


Рис. 3-29. Четырехблочный штамповочный пресс.

Для привода в движение подвижного лотка служат следующие механизмы. К ползуну пресса привернут кронштейн 10, на котором закреплен конец зубчатой рейки 9. Она через редуктор 7 приводит во вращение валок 21, на конце которого насажены звездочки 20, соединенные цепями 3 со звездочками 2 на другом конце рамы. Для регулировки натяжения цепей служит натяжное устройство 1. С цепями при помощи планок 6 соединены тележки 5, которые перекачиваются по раме на шарикоподшипниках. К тележкам прикреплен подвижный лоток 11 и планка 22 с двумя стойками 8 с шарнирными пальцами 16.

Для защиты от заклинивания листов статора между лотками к неподвижному лотку прикреплен пружинный козырек 19, прижатый к плоскости подвижного лотка.

Рама приспособления крепится к прессу кронштейном 23 и двумя болтами. Для смены штампа все приспособление отводится в сторону поворотом вокруг оси кронштейна. При этом валок 21 можно легко расцепить с редуктором.

г) На рис. 3-27 показана схема штамповки на ХЭЛЗ листов статора и ротора электродвигателей единой серии 3-го габарита, которые по мощности и размерам примыкают к микродвигателям. Штамповка производится из полос последовательным штампом на прессе-автомате АТ-60 в три перехода [Л. 3-15].
Материал, заполняющий воздушный зазор, снимается при обточке сердечника ротора.

Полосы стали с размерами 250 × 1500 мм вводятся в зону штампа по лотку 7 механизмом роликовой подачи 8, который после каждого удара штампа передвигает полосу на величину шага штамповки. Конец полосы выталкивается из штампа роликами 1.

В первом переходе вырубается осевое отверстие в листе ротора 9, пазы ротора 10 и пазы статора 11, а также

продолговатые пазы для ловителей 12. Во втором переходе полоса центрируется ловителем 15, который входит в осевое отверстие, и пуансон 5 вырубает внутреннюю окружность листа статора. Вырубки проваливаются в отверстие матрицы 6 и по наклонному лотку 13 падают на стойку. В третьем переходе полоса направляется ловителями 2, закрепленными в держателях 3 и ловителем 15. При этом пуансон 4 вырубает наружную окружность листа статора, который проваливается через отверстие в матрице и по наклонному лотку 14 падает на стойку.

д) На рис. 3-28 показана последовательность штамповки листов статора и ротора асинхронных двигателей на заводе бельгийской фирмы АСЕС Шарлеура [Л. 3-18].

Электротехническая сталь на роликовых ножницах режется на квадратные заготовки (рис. 3-28,а). Нарезанные заготовки поступают на короткие прессовые линии, каждая из которых состоит из трех прессов (рис. 3-28,б). Прессы оборудованы последовательными штампами, устроенными так, что внутренние и внешние очертания листов вырубаются в одном переходе, что обеспечивает точную concentричность контуров и хорошее качество прессованных сердечников. Поэтому расточка внутреннего отверстия статора не производится. Каждая линия из трех прессов обслуживается одним рабочим.

Листы статоров и роторов при помощи автоматических загрузочных и передающих устройств вставляются в бункеры с весами, где производится сборка сердечников.

е) Штамповочный цех фирмы Бритиш Томпсон-Хастон имеет пропускную способность 250 тыс. штампованных листов в смену [Л. 3-19].

Листы электротехнической стали подаются под сложный четырехблочный штамповочный пресс, который за один ход вырубает четыре заготовки листа статора и четыре заготовки листа ротора (рис. 3-29). Вырубка производится в шахматном порядке, благодаря чему достигается высокое использование площади полосы 1 при круглой форме статора. Заготовки листов ротора проталкиваются через матрицу и по конвейеру передаются к прессам, вырубаящим пазы и осевое отверстие.

Заготовки листов статора после вырубки поднимаются с ползуном прессы и сбрасываются на лотки 2, откуда по конвейеру передаются на прессы, вырубаящие пазы статора.

Готовые листы передаются на сборку пакетов по методу взвешивания.

3-21. ШТАМПОВКА СЕГМЕНТОВ

При диаметрах больше 990 мм кольцевые сердечники собирают из отдельных частей, которые получили название сегментов, хотя это и не соответствует их геометрической форме. На рис. 3-30 показан сегмент якоря диаметром 1480 мм, представляющий собой $\frac{1}{6}$ часть окружности. В сегменте выштампованы пазы, отверстия для стягивающих шпилек и шпоночные канавки. Сегменты в соседних слоях собирают с перекрытием стыков. При четном числе пазов в сегменте перекрытие делают на $\frac{1}{2}$ сегмента. Для того чтобы сегменты всех слоев могли надеваться на шпильки, угол от края сегмента до отверстия для шпильки $7^\circ 30'$ вдвое меньше угла между отверстиями (15°). Это

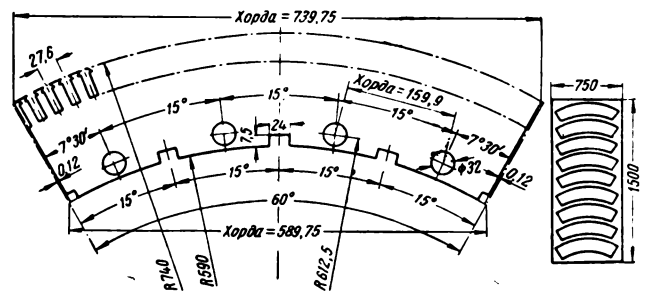


Рис. 3-30. Сегмент якоря.

же требование относится и к шпоночным канавкам. В данном сегменте число канавок вдвое больше числа шпонок.

Число пазов в сегменте должно быть целым. Это позволяет расположить стыки сегментов по серединам пазов, и ни один зубец не будет перерезан. Как видно на рисунке, боковые стороны сегмента отстоят от сторон центрального угла на 0,12 мм, чтобы при сборке сегменты в слое не перекрывались.

Для лучшего использования листов электротехнической стали наибольшая хорда сегмента должна быть близкой к ширине стандартного листа. При штамповке сегментов использование листа получается более высоким, чем при штамповке круглых листов. Коэффициент наружных отходов выражается формулой

$$K_n = \frac{n\pi \frac{R_1^2 - R_2^2}{i}}{ab} = \frac{n\pi (R_1^2 - R_2^2)}{iab}, \quad (3-36)$$

где n — число сегментов, штампуемых из листа;
 R_1 — наружный радиус сегмента, мм;
 R_2 — внутренний радиус, мм;
 i — число сегментов в окружности;
 a — ширина листа стали, мм;
 b — длина листа, мм;

При штамповке девяти сегментов из листа с размерами 750×1500 мм (рис. 3-30) коэффициент $K_n = 0,84$. С увеличением радиуса сегмента использование листа повышается. Так, при штамповке сегментов статора гидрогенератора для Волжской ГЭС имени XXII съезда КПСС при наружном радиусе $R_1 = 7500$ мм $K_n = 0,947$.

На рис. 3-31 показаны основной сегмент и схемы штамповки основного и дополнительного сегментов этого гидрогенератора [Л. 19]. Дополнительные сегменты кладут в местах разъема статора для получения ровной поверхности стыка. Для лучшего использования листа их штампуют попарно двойным смежным штампом (рис. 3-31,в). Аналогично

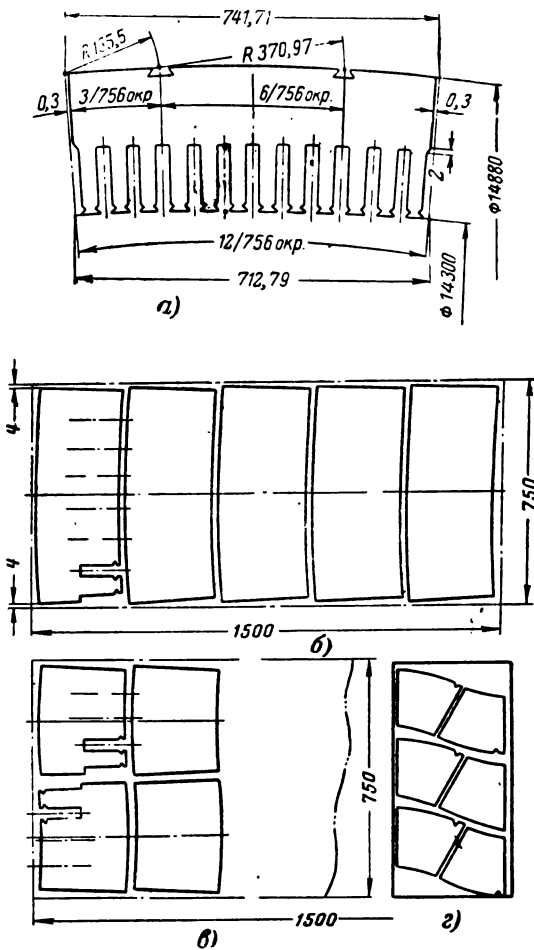


Рис. 3-31. Сегмент статора гидрогенератора.

а — основной сегмент статора; б — схема штамповки основных сегментов; в — схема штамповки дополнительных сегментов; г — схема штамповки сегментов турбогенератора.

располагают при штамповке сегменты статора турбогенераторов (рис. 3-31,г).

При сборке сердечников из целых листов номера пазов во всех листах совпадают, что обеспечивается шпоночными канавками и шихтовочными знаками. При шихтовке сердечников из сегментов необходим сдвиг отдельных сегментов в разных слоях. Между тем опиловка пазов при огромных размерах сердечников является очень трудоемкой. Поэтому к точности штамповки сегментов предъявляются повышенные требования, и их даже для единичных машин штампуют совмещенными штампами, тем более что для одного крупного генератора требуются десятки тысяч сегментов. Даже получение дополнительных сегментов гидрогенераторов путем резки основных экономически себя не оправдывает, так как при этом получаются неровные поверхности стыков, требующие опиловки или шлифовки.

Ободы ротора гидрогенераторов также собирают из сегментов (рис. 3-32,а). Их штампуют из стали Ст. 3 толщиной 4—6 мм. Наружная поверхность сегмента представляет собой часть многогранника с числом граней, равным числу полюсов. По середине каждой грани выштампован Т-образный паз для крепления полюса. На внутренней поверхности выштампованы канавки для шпонок роторной звезды. По всей поверхности сегмента пробиты отверстия для стягивающих обод шпилек [Л. 19].

При сборке перекрытие сегментов обода делают на одно полюсное деление. В последнее время стали применять перекрытие на $1/2$ полюсного деления, увеличив вдвое число пазов для крепления полюсов. Благодаря этому увеличивается сечение обода в месте стыка сегментов, за счет чего можно уменьшить его радиальную высоту.

Для обеспечения шихтовки обода должны быть точно выдержаны полюсные деления в сегментах. Наибольшая точность могла бы быть достигнута при штамповке сегментов совмещенным штампом. Но для этого необхо-

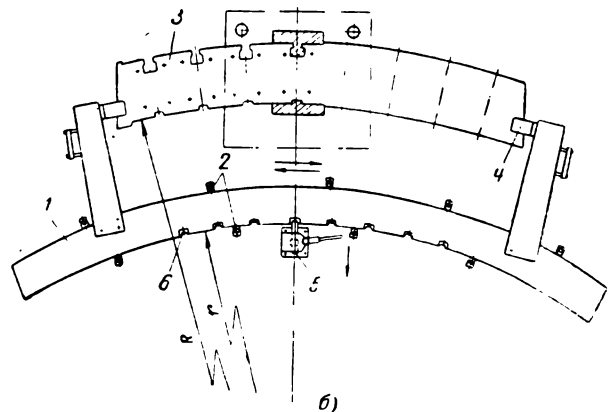
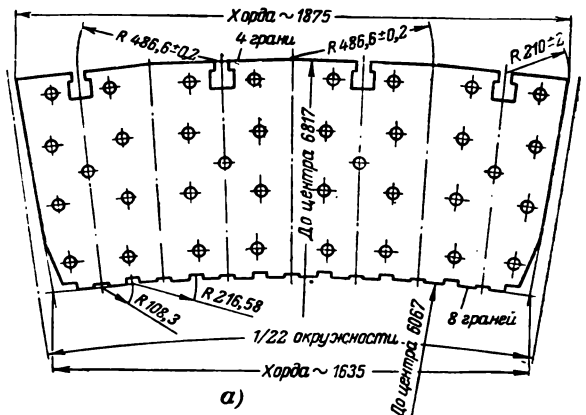


Рис. 3-32. Сегмент обода ротора.

а — сегмент; б — схема штамповки.

димо иметь прессы с вырубным усилием, достигающим 1600 т. Изготовление сложных штампов весом 7—9 т также представляет большие трудности. Поэтому широкое распространение имеют различные методы пооперационной штамповки (рис. 3-32,б).

Заготовка сегмента 3 закрепляется при помощи зажимов 4 в копире 1, который может передвигаться по окружности между роликами 2. Фиксация шага копира осуществляется упором 5, западающим в канавки копира 6. При каждом ходе пресса вырубается паз, шпоночная канавка и обсекаются наружный и внутренний контуры сегмента, а также пробиваются отверстия для шпилек в зоне одного полюсного деления. Для повышения точности шага в пробитые отверстия вводят специальные ловители. Боковые стороны сегментов обрезают на гильотинных ножницах.

Ободы ротора не собирают на заводе-изготовителе. Поэтому после штамповки зачищают заусенцы, смазывают сегменты маслом для защиты от коррозии, стягивают шпильками в пачки по несколько сотен штук и упаковывают в специальные ящики.

3-22. ШТАМПОВКА ЛИСТОВ ПОЛЮСА

Полюсы электрических машин пронизываются потоком, имеющим постоянное направление, и поэтому потери на перемагничивание и на вихревые токи в них отсутствуют. Однако поверхностные потери в полюсных наконечниках не позволяют делать их массивными и полюсы собирают из штампованных листов. Массивными делают только главные полюсы генераторов и электродвигателей автотракторного электрооборудования. В последнее время получили распространение массивные полюсы в синхронных машинах, где они играют роль пусковой или успокоительной обмотки.

Штамповка листов полюса позволяет экономить большое число станко-часов механической обработки на металлорежущих станках, учитывая сложную форму полюса и большое количество стружки, которое пришлось бы снимать при обработке. Конструкции полюсов, составленных из массивного сердечника и полюсного наконечника, собранного из штампованных листов, в современных машинах не применяются, так как они обходятся дороже, а на зазор, образующийся в месте стыка, требуется дополнительная н. с.

По форме листы можно разделить на следующие основные разновидности для машин постоянного тока, синхронных машин с болтовым креплением и синхронных машин с креплением в форме Т-образного выступа.

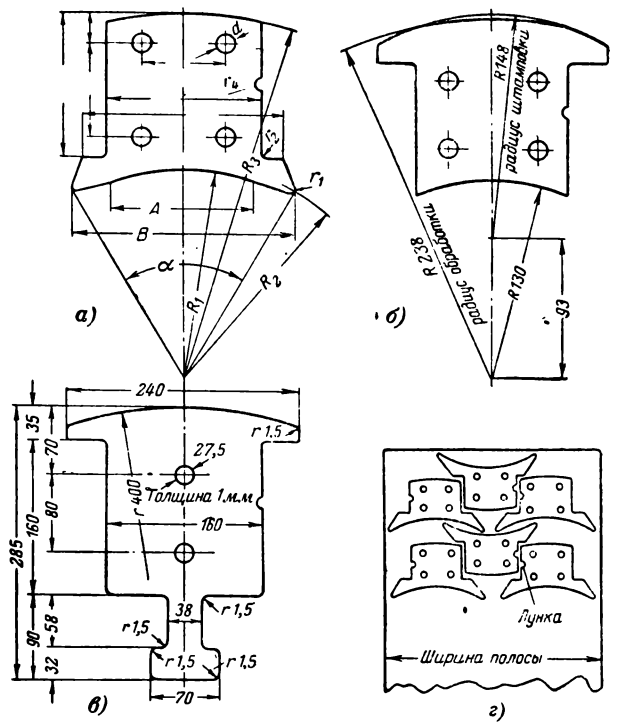


Рис. 3-33. Листы полюсов.

а — лист главного полюса; б — лист полюса синхронной машины с болтовым креплением; в — лист полюса синхронной машины с Т-образным выступом; г — схема штамповки.

На рис. 3-33,а показан лист полюса машины постоянного тока. В машинах с зазором между якорем и полюсом более 1 мм обработка полюсов после их сборки не предусматривается и высота полюса соответствует расчетному размеру. В малых машинах обычно предусматривается припуск на обработку на спинке полюса, прилегающей к станине или на поверхности полюсного наконечника.

В полюсе имеются отверстия для заклепок, диаметр которых должен быть больше диаметра заклепки на 0,15—0,2 мм. Применение больших зазоров не рекомендуется, так как заклепки прогибаются и жесткость полюса понижается. При расположении отверстий для заклепок необходимо предусматривать достаточное расстояние между ними для сверления отверстий под болты, крепящие полюс к станине. Расстояние заклепок от краев полюса должно быть достаточным, чтобы при скруглении углов полюса не срезались головки заклепок. При большой длине выступающих концов полюсного наконечника в них должны быть предусмотрены заклепки для предохранения от распухания.

До введения нормальных диаметров для якоря полюсы штамповали из полос электротехнической стали, остающихся от штамповки

листов якоря. Однако применение электротехнической стали для полюсов нецелесообразно, так как, во-первых, она дороже, чем обычная листовая сталь, а, во-вторых, толщина листов 0,5 мм не обеспечивает достаточной жесткости полюса, надежности резьбы для болтов и требует очень большого числа листов для сборки полюса. Поэтому для штамповки листов полюса применяется конструкционная листовая сталь толщиной 1—2 мм. Чем больше толщина листа, чем жестче полюс и меньше требуется ударов штампа для его изготовления. Но при этом вырастает вырубное усилие и снижается точность штамповки.

В последнее время наметилась тенденция к применению холоднокатаных сталей для полюсов машин постоянного тока. Применение этих сталей для главных полюсов зависит от геометрии полюса и в высокоиспользуемых электрических машинах в большинстве случаев является неоправданным [Л. 3-14]. Наоборот, применение холоднокатаной стали для добавочных полюсов позволяет увеличить перегрузочную способность и улучшить коммутационные характеристики машины. Шихтовку таких полюсов производят в продольном направлении.

При штамповке листов полюса надо добиться точного расположения отверстий для заклепок по отношению к контуру листа, иначе при сборке на заклепки листы будут иметь сдвиги и поверхность полюса получится неровная. Поэтому для штамповки полюсов обычно применяют совмещенные штампы, которые за один удар вырубает готовый лист полюса с отверстиями для заклепок. На одной боковой стороне листа делается шихтовочный знак радиусом r_4 , благодаря которому все листы при сборке укладываются в направлении штамповки.

На рис. 3-33,а показано, как нужно представлять размеры на чертеже. Хорда A приблизительно равна ширине сердечника.

$$B = 2R_2 \sin \frac{\alpha}{2} + 1 \text{ мм}, \quad (3-37)$$

$$\begin{aligned} R_2 &= R_1 + 3 + 0,75 \delta \text{ мм}, \quad (3-38) \\ r_1 &= 3 \text{ мм}, \quad r_2 = 3 - 5 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Форма полюсного листа является неблагоприятной для раскроя полосы, потому что наличие выступающих полюсных наконечников создает большие отходы стали по бокам полосы. Для увеличения коэффициента использования площади полосы прибегают к штамповке листов полюса в несколько рядов, хотя это и усложняет процесс штамповки. На рис. 3-33,б показан пример схемы штамповки листов полюса в три ряда.

Для скрепления листов полюса заклепками и придания ему необходимой жесткости по торцам полюса ставят утолщенные крайние листы, которые штампуют из листовой стали толщиной 3—6 мм. В крупных машинах боковины полюса выполняют в виде стальных отливок или поковок.

Для того чтобы крайние листы не выступали из средних листов, контур их должен быть вписанным в контур среднего листа. Ширина сердечника у крайних листов делается меньше, чем у средних листов, на толщину боковины, чтобы уменьшить количество снимаемой стружки при фрезеровании углов полюса после пресовки (§ 4-22).

На рис. 3-33,б показан лист полюса синхронной машины малой мощности с болтовым креплением. Для увеличения воздушного зазора под концами полюсной дуги раньше поступали следующим образом. После сборки полюсов на роторе их обтачивали и затем профрезеровывали или протрагивали обе стороны полюсной дуги. Эта операция отнимала много времени и требовала изготовления специальных приспособлений. На рисунке показано, как путем придания полюсной дуге в штампе соответствующей формы можно получить путем обточки на роторе требуемую форму полюсной дуги.

На рис. 3-33,в представлен лист полюса с креплением к ротору Т-образными выступами. Такое крепление значительно надежнее в механическом отношении и имеет еще то преимущество перед болтовым креплением, что поверхность полюсного наконечника получается ровной, не пересеченной углублениями для головок болтов, которые заставляют увеличивать намагничивающую силу катушки возбуждения. Поэтому такая форма полюсов нашла широкое применение в синхронных машинах.

В целях унификации штампов размеры Т-образных выступов в полюсах и соответствующие им пазы в ободке ротора нормализованы [Л. 9].

3-23. ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ КОНСТРУКЦИИ ЛИСТОВ СЕРДЕЧНИКОВ

При проектировании листов сердечников надо учитывать следующие технологические соображения.

а) Форма пазов

От формы пазов в значительной степени зависят трудоемкость изготовления штампа и срок его службы. Пазы прямоугольной формы должны иметь скругления (рис. 3-34). Это

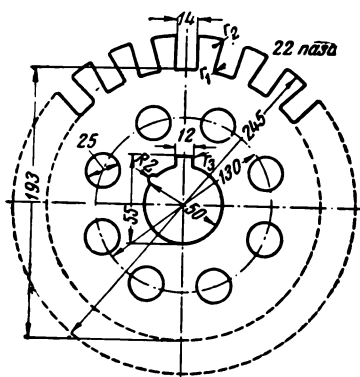


Рис. 3-34. Лист якоря.

значительно повышает стойкость штампа, так как трещины в твердых закаленных деталях штампа обычно начинаются с острых углов вследствие сильной концентрации напряжений. Угол без скруглений вообще нельзя выполнить, так как всякий режущий инструмент имеет хотя бы минимальный радиус скругления граней. Но в чертежах листов сердечников конструктор часто необоснованно указывает слишком малые радиусы r_1 и r_2 , как, например, 0,2 мм. При обмотке из прямоугольного провода выбирают малые размеры радиусов скругления r_1 из опасения, что углы проводников будут упираться в закругления. Но при этом забывают, что радиус скругления якорной катушки будет равен радиусу скругления проводника плюс сумма толщин изоляции проводника, катушки и пазовой гильзы. Если это учесть, то окажется, что радиус скругления паза r_1 вполне можно сделать равным 1 мм, а в некоторых машинах с увеличенной толщиной изоляции даже более. Кроме увеличения стойкости штампа, скругление углов облегчает изготовление матриц. Следует отметить, что скругление радиусом r_1 снижает индукцию в самом насыщенном сечении зубца.

У штампов из твердых сплавов с рубящим контуром паза из отдельных частей (рис. 3-23) скруглять углы не следует, так как это не упростит, а только усложнит его изготовление и повысит возможность поломок.

Для наиболее распространенных статоров и роторов асинхронных электродвигателей малой и средней мощности обычно применяются полузакрытые пазы с прорезями для вкладки проводников выпной обмотки.

В этом случае радиусы скруглений не зависят от диаметров проводников и поэтому для упрощения изготовления штампов должны быть возможно большими. Основания пазов

грушевидной формы обычно очерчивают двумя радиусами, центры которых лежат на оси паза. На срок службы совмещенных штампов большое влияние оказывает толщина усика паза. В чертежах старых машин часто можно было встретить толщину усика паза 0,3 мм. Естественно, что прочность матрицы была совершенно недостаточной и часто происходили поломки. При проектировании единой серии этот вопрос подробно изучался и толщина усиков была увеличена до 0,5—1 мм.

б) Форма и расположение вентиляционных отверстий

Наиболее простой для изготовления штампа и наилучшей с аэродинамической точки зрения является круглая форма вентиляционных отверстий (рис. 3-34) диаметром 18—30 мм. Поэтому следует избегать всяких других форм.

В машинах старых серий эти отверстия располагали вблизи вала и придавали им сложную овальную или ромбическую форму. В малых машинах вентиляционные отверстия соединяли с осевым отверстием для вала. Все это сильно усложняло изготовление штампов и ослабляло посадку листов на валу, а эффективность вентиляции снижалась, так как в каналах сложной формы плотность воздушного потока была очень неравномерной по сечению. В то время расчетную высоту магнитопровода в ярме ротора считали от основания паза до ближайшей точки контура вентиляционного отверстия, чем и объясняются применявшиеся формы вентиляционных каналов.

Вентиляционные отверстия должны быть расположены равномерно по окружности, чтобы не создавать дебаланса сердечника. Во избежание пульсаций магнитного потока число вентиляционных отверстий рекомендуется выбирать равным или кратным числу полюсов, при этом магнитная проводимость сердечника остается постоянной при всех положениях якоря относительно полюсов. Диаметр окружности, на которой расположены отверстия, должен быть выбран таким, чтобы расстояние между краями вентиляционного и осевого отверстий и до угла шпоночной канавки в листе было максимальным, во всяком случае не меньше 5 мм. В машинах малой мощности желательно, чтобы окружность центров вентиляционных отверстий проходила через середину спинки (расстояние между дном паза и валом) сердечника, так как при этом матрица получается равнопрочной во всех направлениях.

в) Шпоночная канавка и знаки для шихтовки

Расположение шпоночной канавки листов якоря относительно пазов в машинах постоянного тока с поворотной траверсой щеткодержателей является безразличным. В машинах с жесткозакрепленными щеткодержателями расположение шпоночной канавки относительно пазов определяется схемой разметки якоря под обмотку (гл. 9). Для увеличения стойкости штампа желательно переход от дна канавки на боковые стороны скруглить радиусом r_3 (рис. 3-34) за счет увеличения глубины канавки. Кроме шпоночной канавки, на внутренней окружности листа ротора располагается знак для шихтовки радиусом R_2 , указывающий направление штамповки при сборке пакетов. При сборке сердечника шихтовочные знаки во всех листах должны совпадать, чтобы все листы ложились той стороной, какой они вышли из-под штампа. Тогда номера пазов во всех листах совпадут и неточности изготовления штампа не будут сказываться на чистоте поверхности стенок пазов.

Шихтовочный знак не должен располагаться диаметрально противоположно шпоночной канавке, так как тогда листы можно при сборке перевертывать и шихтовочный знак потеряет свой смысл. Форма знака обычно полукруглая с радиусом 1,5—2 мм. При изготовлении второго штампа на одну и ту же деталь знак в нем располагается differently от первого штампа для различения листов из-под разных штампов, чтобы они не попали в один сердечник.

Листы статоров малых электродвигателей обычно не имеют шпоночных канавок, а запрессовываются в станину в виде собранных пакетов. Таким образом, единственным указателем направления штамповки для листов статора является шихтовочный знак на внешней окружности статора. Однако этот знак только в том случае будет выполнять свое назначение, если он будет расположен ни по оси паза, ни по оси зубца. Иногда знак располагают по линии стенки паза, что заставляет укладывать листы стороной штамповки для совпадения знаков во всех листах. Однако при большом числе пазов трудно рассмотреть расположение знака относительно пазов и поэтому предпочитают делать две канавки разной формы или канавку и выступ на внешней окружности листа статора.

При определении положения знака в штампе не следует располагать его с боковой стороны штампуемой полосы. Вследствие случайных сдвигов полосы по отношению к штампу часть листов статора получается при штам-

повке с неполным контуром. Это не имеет решающего значения с точки зрения магнитного сечения статора, и такие листы обычно пропускают на сборку. Но при отсутствии шихтовочного знака на окружности листа он обязательно должен пойти в брак.

г) Формы и размеры листов сердечников

Наружные отходы электротехнической стали при штамповке листов статора в значительной степени зависят от формы их контуров. В § 3-7,г было показано, что при использовании углов квадрата в качестве конструктивных элементов и для увеличения спинки статора отходы электротехнической стали сильно снижаются.

Нормальные диаметры статора в крупных машинах позволяют раскраивать листы стали без немерных полос по ширине и длине листа. В мелких машинах при раскрое листа на большое число полос использование площади листа получается очень низким. Поэтому листы сердечников мелких машин целесообразнее штамповать из полос с шахматным расположением вырубков (рис. 3-3). При этом можно значительно уменьшить перемены между вырубками и увеличить степень использования площади листа.

При штамповке круглых листов статора синхронных машин и крупных асинхронных машин следует стремиться к снижению внутренних отходов, вырубая листы машины меньшей мощности из отходов, получаемых из внутреннего отверстия статора. Для малых синхронных машин этот вопрос удачно решается за счет конструкции ротора (рис. 3-7).

д) Классы точности

При назначении классов точности для размеров штампованных листов следует различать размеры внутренние и посадочные. Внутренние размеры относятся к пазам и вентиляционным отверстиям, а посадочные определяют отверстия в листах ротора под вал и внешнюю окружность в листах статора.

Пазы и вентиляционные отверстия обычно выдерживают по 4-му классу точности. В большей точности нет необходимости, так как шероховатости стенок пазов в собранном сердечнике значительно превышают допуски на размеры пазов в листах.

Что касается посадочных размеров, то здесь надо учитывать технологию посадки. Например, в единой серии сердечники статора запрессовывают в станину в собранном виде и неточности сборки превышают допуск на изготовление листов. Поэтому в таких случаях можно задавать класс точности не выше 3-го.

Более ответственной является посадка на вал листов ротора. В этом соединении развиваются гораздо большие сдвигающие тангенциальные усилия от вращающего момента. Поэтому обычно для листов ротора задают 2-й класс точности, что является обязательным для машин постоянного тока и асинхронных двигателей, у которых сердечники собираются на валу.

Для роторов асинхронных двигателей с заливкой алюминием вполне возможно ограничиться классом точности 2а, так как сердечник напрессовывают на рифленый вал в готовом виде и шероховатость отверстия в роторе превышает допуск на штамповку листов.

При термической обработке штампа вследствие деформаций может получиться, что отверстие под вал выходит за пределы допусков. В мелкосерийном электромашиностроении, чтобы не браковать дорогой совмещенный штамп, требуемый натяг посадки выдерживают за счет специального допуска на диаметр вала.

3-24. КОНТРОЛЬ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ СТАЛИ И ШТАМПОВКИ ЛИСТОВ СЕРДЕЧНИКОВ

Контрольные операции при штамповке заключаются в проверке соответствия электротехнической стали ГОСТ 802-58, проверке размеров штампуемых листов и величины заусенцев.

Качество поверхности листов электротехнической стали проверяют наружным осмотром, для которого отбирают 10% листов.

Определение магнитной индукции и полных удельных потерь производят в аппарате Эпштейна индукционным и ваттметровым дифференциальными методами. Для этого нарезают полосы размером 500×30 мм, весом 10 кг. При резке листов на полосы создается наклеп. Поэтому условия испытания электротехнической стали в аппарате Эпштейна значительно отличаются от условий ее работы в машинах. Кроме того, на приготовление образцов ежегодно расходуют сотни тонн металла, которые в подавляющей части идут в переплавку.

Поэтому в последние годы в нашей стране и за рубежом занимались разработкой аппаратов, позволяющих испытывать магнитные свойства стали на целых листах. Такие аппараты могут быть использованы как для измерения характеристик стали вместо аппарата Эпштейна, так и для сортировки листов стали по удельным потерям [Л. 3-16].

Аппарат имеет форму двойного U-образного ярма с измерительной и намагничивающей обмотками и испытываемым листом. Аппарат непосредственно определяет потери в ваттах на 1 кг, а также значения H_{\max} и B_{\max} . Главная область применения этого аппарата — быстрая сортировка и испытание листов электротехнической стали.

В штамповочном производстве особое значение имеет предупредительный контроль, исключающий массовое появление брака. Это достигается проверкой первого листа и периодическим наблюдением за качеством штамповки.

Объем контроля определяется типом штампа. Так, например при совмещенных штампах контроль размеров по существу повторяет контроль самого штампа. Поэтому основное внимание должно быть направлено на качество штамповки (высоту заусенцев и чистоту среза штампуемых листов).

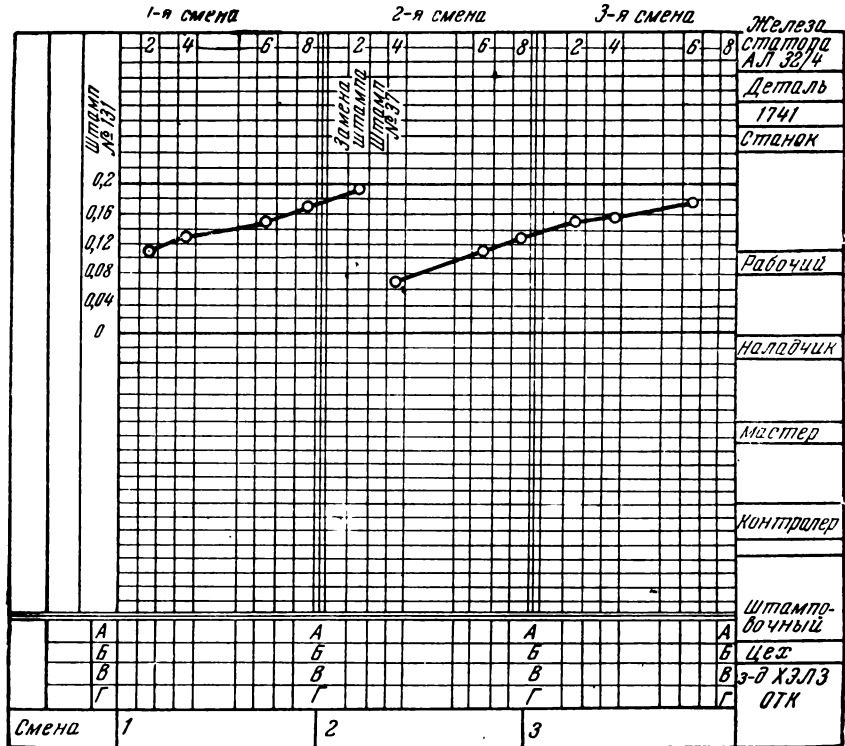


Рис. 3-35. Карта статистического контроля.

Более сложной и ответственной является проверка размеров листов, выштампованных пазовыми штампами. Здесь могут получиться самые различные отступления от чертежа вплоть до неправильного числа пазов [Л. 1].

Контроль размеров листов, вырубленных пазовыми штампами, заключается в проверке: 1) диаметра окружности, по которой расположены пазы, зависящего от правильности установки пазового штампа; 2) concentричности расположения пазов с центром вырубki; 3) числа пазов и их расположения по окружности; 4) размеров одного из пазов; 5) наружного диаметра листа; 6) внутреннего отверстия в листе.

Качество штамповки зависит от зазоров между пуансоном и матрицей и своевременной заточки штампов. Ухудшение качества прежде всего проявляется в увеличении высоты заусенцев. Наличие заусенцев проверяют на ощупь, а размеры их — микрометром в трех местах каждого листа.

Большое значение в штамповочных цехах имеет метод статистического контроля, основанный на законах математической статистики. Контролер через каждые два часа работы производит проверку пяти штампованных листов и результаты наносит на статистическую карту (рис. 3-35). Когда отметки на карте приближаются к предупредительной линии, контролер сообщает мастеру о необходимости принятия мер, не дожидаясь, когда высота заусенцев достигнет предельной величины. Кроме замера высоты заусенцев, контролер проверяет основные размеры штампующих листов и делает пометки в графах А, Б, В, Г. На рис. 3-35 видно, как после замены штампа во вторую смену резко сократилась величина заусенцев.

Введение статистического контроля привело к повышению качества пакетов ротора и статора. Отпала необходимость зачистки пазов в пакетах статора и уменьшился расход абразивных камней на гратосъемочных машинах.

Одновременно значительно возросли эксплуатационные показатели цеха: число ударов штампа возросло на 20—25%, а потери от брака за пятилетний период сократились вдвое [Л. 3-2]. Учет количества ударов каждого штампа создал возможность наблюдать за качеством их изготовления и определять качество текущего ремонта штампов в цехе.

3-25. ШТАМПОВКА МЕЛКИХ ДЕТАЛЕЙ

Кроме листов сердечников, в электромашиностроении применяются многие другие штампованные детали, которые были перечислены

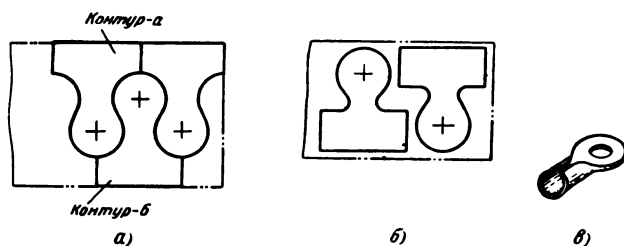


Рис. 3-36. Схемы вырубki заготовки кабельного наконечника.

а — безотходная штамповка; б — раздельная штамповка; в — готовый наконечник.

в § 3-1. Эти детали не имеют в машинах такого массового применения, как листы сердечников, однако технология их производства имеет свои особенности. Многие детали после вырубki подвергаются гибке или вытяжке, которые производятся в специальных штампах. Часто эти операции требуют применения прессов двойного действия.

Для деталей из цветных металлов особенно большое значение имеет повышение использования полосы, из которой они штампуются. Это достигается не только за счет технологии штамповки, но и разработки технологичной формы детали. В результате достигается весьма значительное снижение отходов. Пределом использования полосы является безотходная штамповка деталей.

Это можно показать на примере вырубki заготовки кабельного наконечника (рис. 3-36, в).

На рис. 3-36, а показано, как за счет изменения формы заготовки удалось достигнуть безотходного использования полосы. Форма заготовки подобрана так, что контур ее стал вписываться без зазоров между двумя другими наконечниками в перевернутом виде. Для обеспечения безотходной штамповки ширина полосы взята 70 мм вместо 55 на рис. 3-36, б. При двухрядном способе штамповки из полосы длиной 710 мм раньше получалось 19, а теперь стало выходить 36 вырубок. Если учесть разницу в ширине полосы, расход материала

снизился в $\frac{36 \cdot 55}{19 \cdot 70} = 1,5$ раза. Характерно отметить, что технологический процесс при безотходной штамповке не только не усложнился, а, наоборот, даже упростился. Пуансон штампа делает вырубki только контуров а, а контуры б получаются с другой стороны полосы в виде непрерывной ленты. Для разрезки ее на детали достаточно добавить к штампу только боковой нож. Полоса подается в одном направлении. За счет образования двух контуров при одном ходе прессы произ-

водительность штамповки возросла в 2 раза. Этот пример является иллюстрацией того, что может дать применение принципа технологичности конструкции изделия. Здесь прогрессивная технология достигнута благодаря соответствующему изменению формы заготовки кабельного наконечника.

3-26. ГИБОЧНЫЕ ШТАМПЫ

Ряд деталей, применяемых в электромашиностроении, имеет изогнутую форму и после вырубki подвергается гибке. Процесс гибки заключается в том, что плоская развертка детали кладется на матрицу, имеющую форму изгнутой детали, и придавливается пуансоном. Очертания пуансона параллельны очертаниям матрицы при зазоре между ними, равном толщине изгибаемой детали.

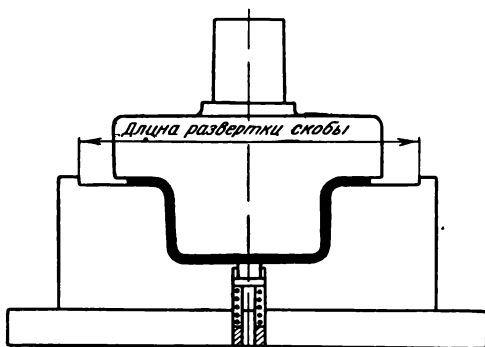


Рис. 3-37. Гибочный штамп для скобы.

На рис. 3-37 показана гибка скобочки в штампе одновременно по четырем линиям изгиба. Для фиксации заготовки в матрице штампа сделаны упоры. После гибки скобочка может застревать в пазе матрицы. Поэтому в матрице предусмотрен пружинный выталкиватель, который при опускании пуансона утопает в отверстие матрицы, а при подъеме пуансона выталкивает деталь усилием пружины. При увеличении длины пуансона и матрицы такой штамп за один удар может гнуть несколько скобочек.

При работе гибочного штампа пуансон ударяет по матрице через изгибаемую деталь. Во избежание поломки эксцентрикового вала ход ползуна должен быть точно отрегулирован. Для компенсации положительных допусков на толщину детали под матрицу штампа подкладывают прокладку из упругого материала, которая в случае необходимости сжимается и защищает пресс от поломки.

3-27. ВЫТЯЖНЫЕ ШТАМПЫ

Во всякой электрической машине встречаются детали, получаемые методом вытяжки.

К таким деталям относятся: чашки вентиляторов, диффузоры для направления охлаждающего воздуха, колпаки контактных колец и вентиляторов наружного обдува, нажимные шайбы статора, крайние листы сердечников и т. п. Объемная штамповка в сильной степени увеличивает жесткость детали, что позволяет получить значительную экономию металла путем замены литых и кованных деталей штампованными из тонкого листового материала.

Вытяжкой называется процесс превращения плоской или полой заготовки в открытые сверху полые изделия при помощи вытяжных штампов.

Различают два способа вытяжки.

Первый способ — вытяжка без прижима материала с применением простого вытяжного штампа, состоящего из матрицы и пуансона. Этот способ применяется для получения неглубоких изделий с толстыми стенками.

Второй способ — вытяжка с прижимом материала. В этом случае кроме пуансона и матрицы применяют еще прижим, который прижимает фланец заготовки к матрице таким образом, что материал не имеет возможности образовывать складки, а принужден перемещаться под давлением пуансона в радиальном направлении. При этом появляется опасность отрыва дна изделия вследствие внутренних напряжений.

В целях повышения производительности труда и безопасности работы вырубку заготовки и выдавливание детали обычно производят в одном штампе. Это не требует прессов большой мощности, так как операции вырубki заготовки и вытяжки производятся не одновременно, а последовательно одна за другой. Для таких работ особенно удобны прессы двойного действия.

В качестве примера можно привести конструкцию штампа и технологию штамповки диффузора электродвигателя единой серии 5-го габарита. [Л. 3-10]. Штамп выполняет за один ход ползуна прессы три операции: вырубку внешнего контура заготовки из полосы, вытяжку детали и пробивку центрального отверстия. Работа штампа на прессы двойного действия происходит в такой последовательности (рис. 3-38).

Полосу стали вводят под штамп. Вырубка заготовки производится пуансоном 2 и матрицей 4. При вытяжке этот пуансон является прижимом для вырубленной заготовки. Диффузор формируется между пуансоном 1 и матрицей 5. В конце хода прессы пуансон 7 вырубает отверстие в дне диффузора. Выталкивание отходов при вырубке отверстия в дне производится толкателем 8 при помощи пружины 9.

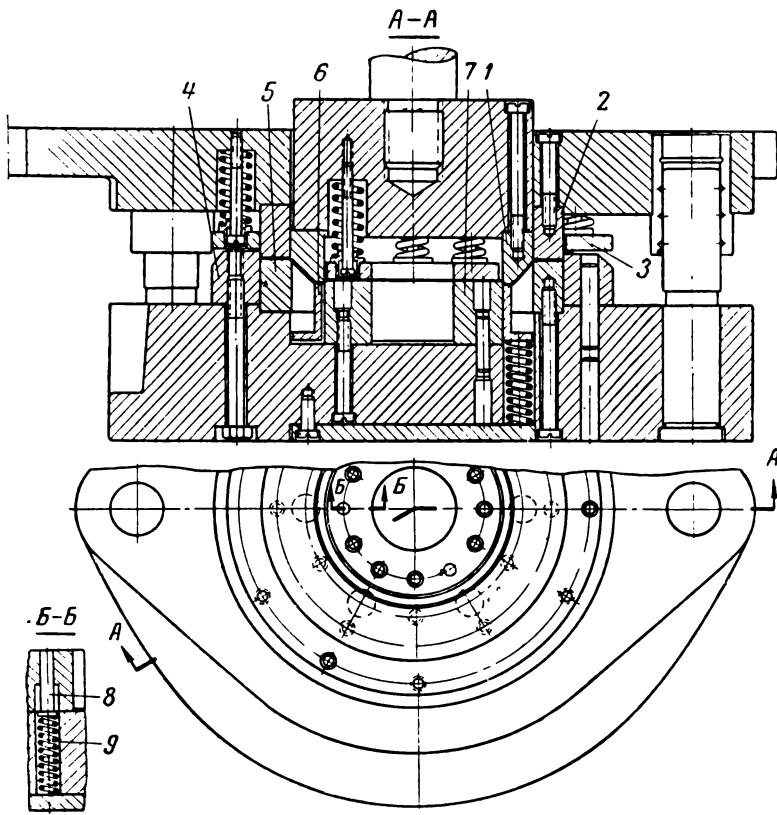


Рис. 3-38. Вытяжной штамп для диффузора.

жин 9, а выталкивание самого диффузора — пружинным сбрасывателем 6. Кромка полосы с пуансона 2 снимается пружинным сбрасывателем 3. Отходы от пробивки отверстия в дне и самой детали удаляются из под штампа при подаче полосы для следующего удара штампа.

Технологичность объемных деталей заключается в следующем:

1. Плавные переходы от одного диаметра к другому.
2. Возможно меньшее отношение глубины детали к диаметру.
3. Минимально возможная толщина материала.
4. Возможно большие борта детали, которыми она зажимается при вытяжке.
5. Применение пластичных материалов.

Сложные детали с глубокой вытяжкой штампуют в несколько операций, что значи-

тельно снижает производительность труда по сравнению со штамповкой в одну операцию. Поэтому крупные и глубокие объемные детали сваривают из двух и более составных частей. Так, например, колпаки вентиляторов крупных машин состоят из днища и обечайки, которуюгибают из листа и сваривают по шву. Обе составные части соединяют при помощи точечной или прерывистой шовной сварки.

3-28. ВЫДАВЛИВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ НА ОПРАВКЕ РОЛИКОМ

В электрических машинах применяются в небольших количествах (одна-две на машину) крупные детали, выдавленные из листовой стали. К таким деталям относятся чашки вентиляторов, колпаки и т. д. Изготовление для них вытяжных штампов является нерентабельным ввиду малого количества изготавливаемых деталей. С другой стороны, не всегда для таких крупных штампов можно подобрать прессы достаточных размеров и усилий. Поэтому такие детали обычно выдавливают

на оправках при помощи роликов на станках токарного типа.

Метод выдавливания позволяет получать детали сложной формы и больших размеров

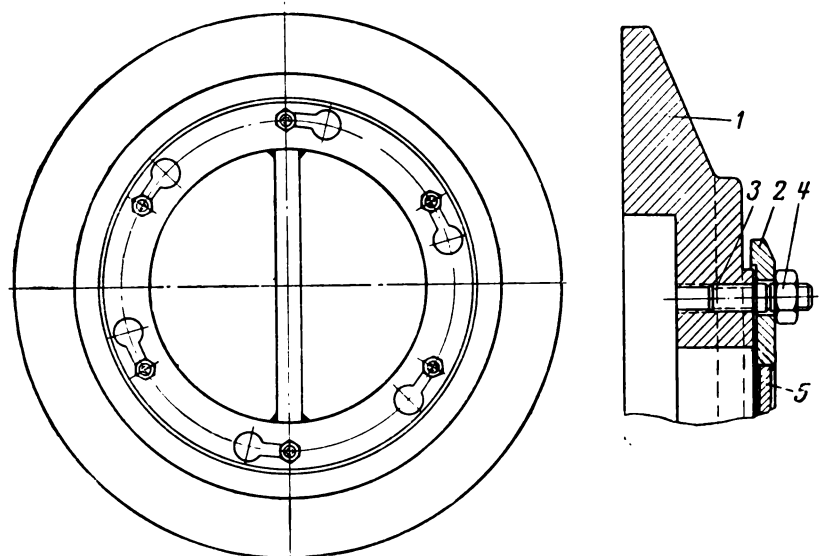


Рис. 3-39. Оправка для выдавливания чашки вентилятора

с минимальными затратами на технологическую оснастку. При конструировании не следует выбирать чрезмерно большую толщину листа, так как жесткость детали при выдавливании сильно возрастает.

На рис. 3-39 показана конструкция оправки для выдавливания чашки вентилятора из листовой стали толщиной до 2 мм. Оправка закрепляется на планшайбе станка [Л. 3-9].

Вырезанная на круглых ножницах заготовка зажимается на оправке при помощи шайбы 2, которая прижимается гайками 4 на шпильках 3. Для ускорения снятия шайбы гайки 4 отвертывают на 1—2 оборота, после чего шайбу 2 можно повернуть и снять ее через гайки. Придание чашке требуемой формы производится путем обкатывания ее по поверхности оправки 1 при помощи ролика, стержень которого зажимается в суппорте станка. При давольных операциях ролик и его подшипники являются быстроизнашивающимися деталями, так как они подвержены большому радиальным усилиям.

На рис. 3-40 показана конструкция ролика усиленного типа. Ролик 1 вращается вокруг неподвижной оси на двух шарикоподшипниках 7 радиального типа. Для восприятия осевых нагрузок служат два упорных подшипника 8. Ось ролика 3 опирается на гайки 4, которые ввинчены в боковины вилки 2. Вилка откована заодно со стержнем квадратного сечения. Гайки стопорятся винтами 5. Для смазки подшипников в оси просверлены отверстия, завинченные пробкой 6.

Такая конструкция ролика обеспечивает продолжительную работу без износа.

3-29. ШТАМПОБОРОЧНЫЕ ОПЕРАЦИИ

Штампы могут быть использованы не только для вырубki и формовки деталей, но и для соединения их.

На рис. 3-41 показана конструкция вентилятора, у которого крылья 2 соединяются с дисками 1 при помощи шипов 3 на крыльях, вставляемых в пазы, выштампованные в чашке и диске вентилятора. По сравнению с вентилятором, собираемым на заклепках, упростились процесс изготовления крыльев, которые

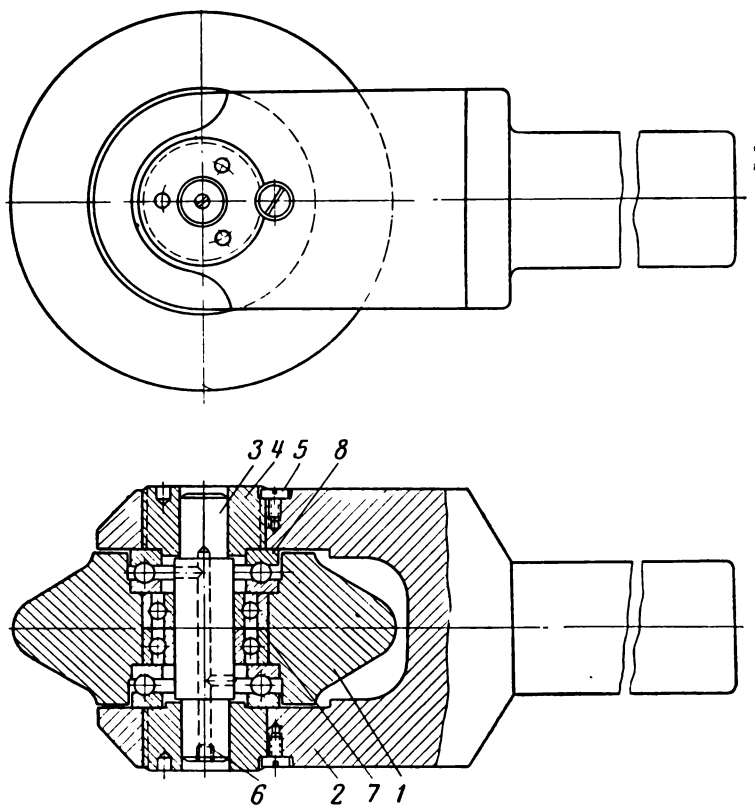


Рис. 3-40. Ролик для выдавливания.

раньше проходили операции вырубki и гибки, и снизился расход материала на них. Отпала необходимость в заклепках и устранено вредное влияние головок заклепок на работу вентилятора. Но самое главное преимущество этой конструкции состоит в том, что она позволила механизировать процесс скрепления отдельных частей вентилятора. Вместо ручной клепки теперь весь процесс совершается в штампе, что повысило производительность труда и улучшило качество.

Штамп (рис. 3-42) устроен так, что в нем одновременно расчеканиваются шипы всех крыльев с обеих сторон. На нижней части штампа в пазах плиты 1 вставлены пять (по числу крыльев вентилятора) секторов 2, которые в сжатом виде образуют круг и отжимаются от центра пружинами. К наружной поверхности секторов прижат конус 4, который свободно скользит по втулке 6 верхней части штампа и поддерживается болтами с надетыми на них пружинами. Со стороны нижней части штампа конус 4 направляется двумя диаметрально расположенными упорами 3, которые входят в профрезерованные в нем пазы и не дают ему поворачиваться. Во втулке 6 укреплены пять пар пуансонов 5 с зубчатой торцевой поверхностью. Такие же пуансоны против них закреплены в плите 1 нижней части штампа.

Сначала вентилятор собирают предварительно, вставляя шипы крыльев в пазы кольца и чашки венти-

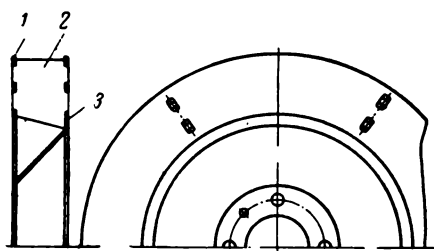


Рис. 3-41. Вентилятор.

лятора. Затем вентилятор кладут кольцом кверху в углубление в плите 1 нижней части штампа так, чтобы крылья приходились против пуансонов 5. При опускании верхней части штампа конус 4 будет нажимать на секторы 2, сдвигая их к центру, причем расстояния между ними будут уменьшаться, пока они не зажмут крылья вентилятора. Одновременно пять пружинных шпилек 7, равномерно расположенных по окружности, прижмут кольцо вентилятора к крыльям. В таком положении все детали вентилятора будут прочно закреплены в штампе. При дальнейшем опускании верхней части штампа пуансоны 5 зубчатой поверхностью торцов рассекут шпильки крыльев вентилятора и расчехлят их с обеих сторон. При подъеме верхней части штампа секторы 2 под действием пружин выйдут из камер вентилятора между крыльями и он легко снимается со штампа.

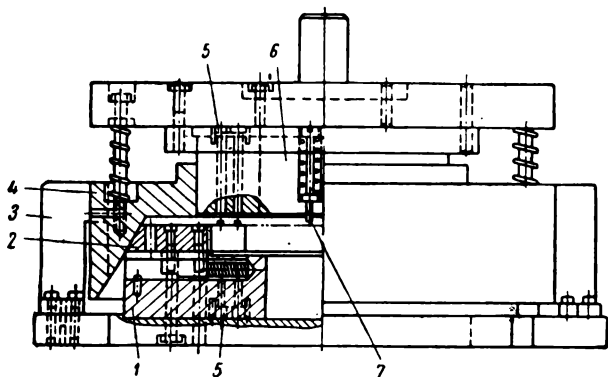


Рис. 3-42. Штамп для сборки вентилятора.

Испытания на механическую прочность показали надежность конструкции.

Примерами штамповочных операций являются также соединения многожильных проводов с кабельными наконечниками, которые выполняются обжатием в штампах. Эти операции, получившие название холодной сварки, изложены в гл. 16.

3-30. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ В ШТАМПОВОЧНЫХ ЦЕХАХ

Процесс холодной штамповки при несоблюдении правил техники безопасности может повлечь тяжелые увечья работающего. Причиной травматизма при штамповочных работах

является попадание рук под штамп в момент хода ползуна прессы вниз.

Одним из методов устранения опасности является двуручное включение прессы, при котором исключается возможность нахождения рук под штампом в момент включения прессы. Существует много конструкций приспособлений для двуручного включения.

В одной из них блокируют педали ногового включения прессы двумя ручными рычагами, которыми можно включить пресс, только нажимая их одновременно двумя руками.

Применяется и электрическая блокировка прессов. Основным рабочим элементом схемы является соленоид с сердечником, который при отключенной катушке соленоида под действием пружины заходит под ножную педаль прессы и делает невозможным его пуск. Включить катушку соленоида можно лишь при нажатии двух последовательно соединенных кнопок, установленных на некотором расстоянии одна от другой, что заставляет нажимать их обязательно двумя руками. При отключении катушки соленоида сердечник под действием пружины возвращается в исходное положение. Схема электроблокировки обеспечивает безопасную работу в штамповочном прессе.

Одной из наиболее совершенных является фотоэлектрическая защита, состоящая из фотореле с выносным фотоэлементом в капсуле, осветителя и блок-магнита [Л. 12]. Расположение этих аппаратов показано на рис. 3-43.

Действие фотоэлектрической защиты основано на том, что при преграждении луча осветителя 1 фотоэлемент 2 дает малый ток, благодаря чему усилительная лампа запирается. При этом размыкаются контакты анодного реле, блок-магнит обесточивается и запирает стопорным пальцем пусковую рукоятку прессы. Пока рука рабочего находится в опасной

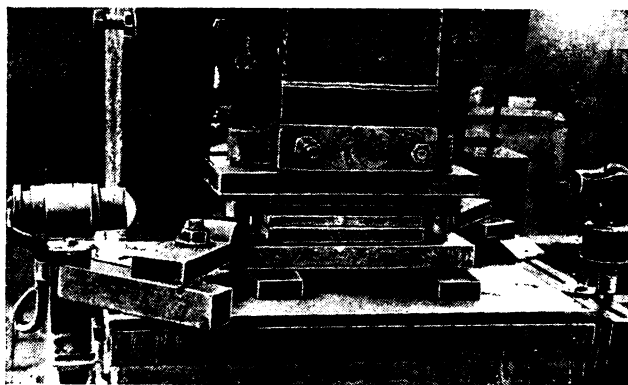


Рис. 3-43. Фотоэлектрическая защита.

зоне ползуна пресса не может быть включен на рабочий ход. По сравнению с двуручным включением, требующим лишних движений, и с защитой решетки, когда деталь подается лопаточкой, фотозащита повышает производительность штамповки в 1,5—2 раза. Фотозащита в отличие от других защитных приспособлений является универсальным устройством и может быть применена на прессах различной конструкции и для разных видов штамповочных работ.

При работе пресса вследствие неисправностей механизмов включения эксцентрикового вала или тормозов при включении на одиночный удар иногда происходит повторный ход ползуна пресса, или, как говорят, пресс «сдвигает». Опасность повторного хода ползуна заключается в том, что он происходит неожиданно и против него не действует ни одна из описанных выше защит. Поэтому предупреждение несчастных случаев при сдвигании пресса может быть осуществлено путем добавления к штампам защитных устройств в виде решеток и других элементов и, наконец, путем применения при работе различных приспособлений или инструментов для вкл-

дывания и снятия штампуемых деталей.

По принципу конструкции наиболее безопасными являются последовательные штампы, так как у них щель для всовывания полосы узкая, а пуансоны никогда не выходят из отверстий в жестких сбрасывателях. Поэтому последовательные штампы не нуждаются в дополнительных предохранительных устройствах. Иначе обстоит дело в совмещенных штампах, у которых верхняя часть поднимается над нижней на значительную высоту, и в промежутки между ними должны быть вложены штампуемые полосы или заготовки.

При штамповке из полосы нет необходимости вводить руки в опасную зону, так как полоса продвигается за края. Для удаления вырубленных из полосы листов пользуются крючками или вилками. Опасность работы возрастает при штамповке листов ротора из круглых заготовок, когда они надеваются на оправку руками. В современных штампах заготовка кладется в матрицу сбоку, а центрируется ловителем при опускании ползуна пресса. Выпадающая при подъеме ползуна деталь удаляется вилкой. Это исключает возможность травматизма.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

ШИХТОВАННЫЕ СЕРДЕЧНИКИ

4-1. ТИПЫ СЕРДЕЧНИКОВ

В этой главе рассматриваются технологические процессы изготовления сердечников, собранных из штампованных листов. Магнитные сердечники являются очень важной частью электрической машины, от которой зависят ее энергетические показатели, вес и стоимость.

Магнитные сердечники в машинах разделяются на сердечники, пронизываемые переменным и постоянным магнитными потоками. Этим определяются их конструкция и технология изготовления.

К первой группе относятся статоры машин переменного тока, якоря машин постоянного тока, а также роторы асинхронных двигателей. Они выполнены из тонких листов электротехнической стали, которые изолированы друг от друга, за исключением роторов, заливаемых алюминием.

Ко второй группе относятся полюсы машин постоянного тока, полюсы и ободы ротора синхронных явнополюсных машин, а также магнитные системы крупных машин постоянного тока с резкими изменениями режимов работы.

Эти сердечники собирают из более толстых листов, которые не изолируют друг от друга.

Сердечники диаметром до 990 мм собирают из целых штампованных листов и прессуют под гидравлическим прессом. Сердечники больших диаметров собирают из сегментов. Усилия прессовки передаются на торцы сердечников через нажимные шайбы или плиты.

Стремление к снижению трудоемкости сборки и упрощению крепящих элементов конструкции привели к сердечникам, склеенным из листов. Они начали применяться в микродвигателях, а затем распространились и на крупные машины. Это дает возможность организовать крупноблочную сборку сердечников.

Радикальную замену шихтовки сердечников из тонких листов можно осуществить путем внедрения металлокерамических сердечников, спрессованных из металлических порошков. В этой области имеются уже определенные достижения в технологии микродвигателей.

4-2. ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ТЕХНОЛОГИИ СЕРДЕЧНИКОВ

Большая трудоемкость шихтовки сердечников требует введения механизации сборочных работ. Решение этой проблемы в первую очередь определяется последовательностью технологических операций. Самой естественной была бы такая последовательность, при которой штампованные листы сразу попадали на сборку:

штамповка → сборка.

Это имеет место в производстве микродвигателей, где в качестве изоляции используется естественный слой окисла на поверхности листов электротехнической стали.

В более крупных машинах для снижения потерь необходимо изолировать листы. В трансформаторном производстве при оклейке листов стали бумагой это выполняется по следующей схеме:

изолировка → штамповка → сборка.

Такая схема могла бы применяться и в электрических машинах, но, к сожалению, приходится вводить в технологический процесс еще одну операцию — снятие заусенцев, которая предназначена для устранения дефектов штамповки. Во избежание повреждения изоляции заусенцы снимают до изолировки. При этом получается такая структура технологического процесса:

штамповка → снятие заусенцев → изолировка → сборка.

Поскольку в процессе снятия заусенцев и изолировки теряется правильная ориентировка листов, то приходится вводить еще одну операцию — ориентировку листов по шихтовочному знаку, и тогда технологический процесс протекает по следующей схеме:

штамповка → снятие заусенцев → изолировка → ориентировка листов по знаку → сборка.

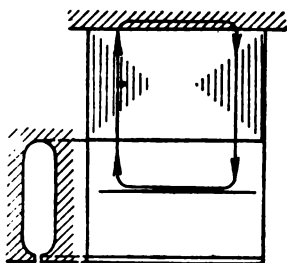


Рис. 4-1. Контурсы вихревых токов в сердечнике.

Из сопоставления приведенных технологических схем можно сделать вывод, что главной причиной усложнения технологического процесса являются заусенцы. Опыт применения штампов, армированных твердыми сплавами, показывает, что при правильно выдержанных зазорах между матрицей и пуансоном можно получать штампованные листы практически без заусенцев.

В процессе штамповки вследствие наклепа вдоль контура вырубki изменяются электромагнитные свойства электротехнической стали. В этой зоне понижается магнитная проницаемость и повышаются потери. Свойства стали восстанавливают последующим отжигом при температуре около 700°. Окислирование листов взамен лакировки, производящееся при нагреве до этой температуры, одновременно устраняет влияние наклепа.

Отклонение толщины отдельных листов, достигающее $\pm 10\%$ от номинальной, и разность толщин в отдельных точках одного листа в пределах до 15% сильно затрудняют получение однородной прессовки и выдерживание размеров прессованных сердечников. Плотность прессовки проверяют кустарными методами, вдвигая нож между листами.

После сборки сердечники обычно подвергают механической обработке, заключающейся в опиливании пазов, расточке внутренней поверхности статора и обточке наружной поверхности ротора. При механической обработке замыкаются листы, о чем можно судить по гладкой блестящей поверхности обработанных деталей.

Противоречие, которое заложено в конструкции магнитных сердечников, заключается в том, что хотя плоскости листов покрыты слоем изоляции, но между соседними листами образуются контакты через заусенцы по контурам вырубki или путем замыкания листов при обработке сердечников. Кроме того, сердечники собирают на ребрах станины или крестовины, от которых листы обычно не изолированы. Таким образом создаются замкнутые контуры для вихревых токов (рис. 4-1), вследствие чего потери в собранных сердечниках значительно превышают удельные потери в данном сорте стали.

При расчете потерь в стали электрических машин вводится опытный коэффициент K_d , учитывающий повышение потерь вследствие обработки сердечников, наклепа краев листов при штамповке, неравномерного распределения индукции по сечению магнитопровода и несинусоидальности закона изменения индукции во времени. Значения коэффициента K_d принимают равным [Л. 8]:

для асинхронных машин	1,8
для синхронных машин до 100 кВа	2
для синхронных машин свыше 100 кВа	1,7
для машин постоянного тока	4

Эти значения показывают, что повышение качественных показателей электрических машин должно достигаться не только за счет легированных электротехнических сталей, но и за счет улучшения технологии изготовления магнитных сердечников. Следует отметить, что применение высоколегированных горячекатаных сталей вызывает дополнительные трудности в процессе штамповки и сборки сердечников вследствие повышения твердости и хрупкости стали.

Основные задачи, стоящие перед технологией шихтованных сердечников, заключаются в:

- 1) автоматизации процессов шихтовки путем объединения штамповки листов и сборки сердечников в одну поточную линию;
- 2) повышении качества сборки и прессовки сердечников;
- 3) разработке и внедрении способов контроля качества шихтовки;
- 4) снижении дополнительных потерь в шихтованных сердечниках за счет устранения замыкания между листами и снятия наклепа со штампованных листов;
- 5) устранении механической обработки сборных сердечников;
- 6) усовершенствовании существующих и разработке новых способов изолировки листов;
- 7) расширении области применения склеенных сердечников;
- 8) внедрении методов порошковой металлургии в производстве сердечников.

4.3. ЗАУСЕНЦЫ И БОРЬБА С НИМИ

При неравномерном и увеличенном зазоре между пуансоном и матрицей или при работе затупленными штампами по контуру вырубки образуются заусенцы (грат), представляющие собой тонкую пленку стали, перпендикулярную плоскости листа.

Основные меры борьбы с заусенцами должны вестись в инструментальном и штамповочном цехах путем выдерживания оптимальных зазоров между матрицей и пуансоном, симметричного их расположения по контуру вырубки, рациональной эксплуатации штампов и контроля за процессом штамповки. Тем не менее в большинстве случаев заусенцы в пределах установленной величины имеются на штампованных листах.

Благодаря наличию в листах шихтовочных знаков заусенцы во всех листах направлены

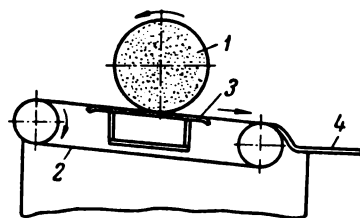


Рис. 4-2. Схема гратосъемочного станка.

в одну сторону. Они замыкают соседние листы, что ведет к значительному увеличению потерь от вихревых токов. Неравномерность высоты заусенцев в разных зонах контура вырубки влияет на длину пакетов, что сказывается на коэффициенте заполнения пакетов сталью и создает перекосы при прессовке.

Заусенцы загибаются внутрь пазов и перед укладкой обмотки их приходится зачищать. При увеличенных заусенцах внутреннее отверстие статора получается в форме эллипса, малый диаметр которого меньше диаметра пуансона.

Заусенцы зачищают, пропуская штампованные листы через гратосъемный станок (рис. 4-2). Листы кладут заусенцами кверху на резиновую ленту транспортера 2, который подает их под шлифовальный круг 1, вращающийся со скоростью 2800 об/мин. В зоне шлифования лента опирается на металлический лист 3. Отшлифованные листы сбрасываются на столик 4. Станок может пропустить за смену до 20 тыс. листов при скорости движения ленты 0,2 м/сек.

4.4. ЯВЛЕНИЕ НАКЛЕПА И ОТЖИГ ЛИСТОВ

При штамповке в листах вдоль контура вырубки образуется слой с измененными физическими свойствами. В зоне наклепа ухудшаются электромагнитные свойства стали — понижаются магнитная проницаемость и увеличиваются потери. В турбогенераторах мощностью в сотни мегаватт снижение основных и дополнительных потерь в стали имеет решающее значение.

Явление наклепа особенно вредно в микромашинах. Это объясняется тем, что у них зона наклепа составляет значительную часть общей толщины зубца. Если принять ширину зоны наклепа с каждой стороны зубца 0,8 мм, при толщине зубца 15 мм это составит 10,5%, а в микродвигателе при толщине зубца 2 мм зона наклепа займет 80% толщины зубца.

Для восстановления нарушенных электромагнитных свойств штампованные листы подвергают термической обработке (отжигу).

Технологический процесс отжига листов микродвигателей заключается в следующем [Л. 13]. Перед отжигом листы для обезжиривания промывают в бензине, а затем просушивают на воздухе. Для полного удаления бензина с деталей их сушат в термошкафах при температуре 40—60°С в течение 30—40 мин. Сушку считают законченной после исчезновения запаха бензина. Перед укладкой листов в стальные ящики или муфели их досыпают тальком для предохранения от спекания. Штампованные листы кладут в ящики не навалом, а в виде предварительно набранных пакетов, которые перевязывают мягкой стальной проволокой.

Для предохранения от окисления пакеты помещают в ящики, наполненные измельченным асбестом или песком. Ящики закрывают крышками и шель между крышкой и стенками ящика промазывают глиной, смешанной с сырым асбестом. Пакеты должны быть предохранены от соприкосновения с дном и стенками ящика слоем асбеста толщиной 1,5—2 см.

Для ускорения отжига обычно применяют неполный или так называемый рекристаллизационный отжиг, который производят следующим образом. Ящики с листами нагревают до 550—600°С. При этой температуре их выдерживают в течение 30—40 мин, а затем охлаждают ящики либо вместе с печью, либо на воздухе.

Отжиг производят или в камерных, или в методических печах, в которых процесс загрузки и перемещения ящиков может быть механизирован.

Проверку магнитных свойств отожженных листов производят на образцах, которые отжигают в тех же ящиках. Для испытания штампуют кольца с наружным диаметром 30 мм и внутренним 20 мм и набирают из них пакеты толщиной 5—10 мм. Испытания магнитных свойств образцов производят баллистическим методом. Для этого вокруг образца наматывают намагничивающую и измерительную обмотки и снимают кривые намагничивания $B=f(H)$.

Отжиг листов больших машин должен производиться в водороде; при этом окиси на поверхности металла восстанавливаются и поверхность стали очищается от них. Водородная печь представляет собой колпак с нагревательными элементами внутри и водяным затвором снизу, который разобщает печное пространство с окружающей атмосферой. Когда температура печи достигнет 500—600°С, начинают медленный впуск водорода, процентное

содержание которого составляет приблизительно 15%, а азота 85%. Отжиг длится 40—60 ч. Температуру печи поднимают до 800°С и постепенно снижают до 150°С [Л. 2].

4-5. ИЗОЛЯЦИЯ ЛИСТОВ

Листы сердечников якоря и статора машин мощностью свыше 1 квт изолируют друг от друга. Листы ротора асинхронных двигателей, заливаемых алюминием, не изолируют, так как при заливке пленка лака сгорит. Что касается двигателей с контактными кольцами, работающих с повышенным скольжением при введении реостата в цепь ротора, то для них изолировка листов необходима.

В качестве изоляции листов вначале применяли тонкую оклеичную бумагу толщиной 0,03 мм, которой при помощи клейстера оклеивали листы электротехнической стали перед раскроем. Этот метод изолировки, до сих пор сохранившийся в производстве некоторых типов трансформаторов, в электрических машинах нигде не применяется. Наиболее распространенным способом изолировки листов электрических машин является двустороннее покрытие штампованных листов масляно-канифольными лаками № 202 или 302.

Преимущества лакового покрытия перед оклейкой бумагой заключаются в следующем:

а) меньшая толщина изоляции, благодаря чему коэффициент заполнения при лакировке повышается до 0,93 вместо 0,9 при оклейке бумагой;

б) большая нагревостойкость лака, пленка которого длительно выдерживает температуру 130°С, в то время как бумага начинает обугливаться уже при 110°С;

в) меньшая гигроскопичность лаковой пленки, что особенно важно для машин с влагостойкой изоляцией;

г) отсутствие повреждений лаковой пленки при штамповке, так как лаковое покрытие наносится на штампованные листы, в то время как оклейка бумагой производилась перед раскроем листов;

д) возможность зачистки заусенцев и отжига листов после штамповки без повреждения изоляции листов.

Лакировка и снятие заусенцев производятся на лакировочных машинах и гратосъемочных станках с ручной подачей и снятием листов, что является малопродуктивным процессом.

Ленгипроэнергопром спроектировал линию комплексной механизации обоих процессов, схема которой показана на рис. 4-3. Линия

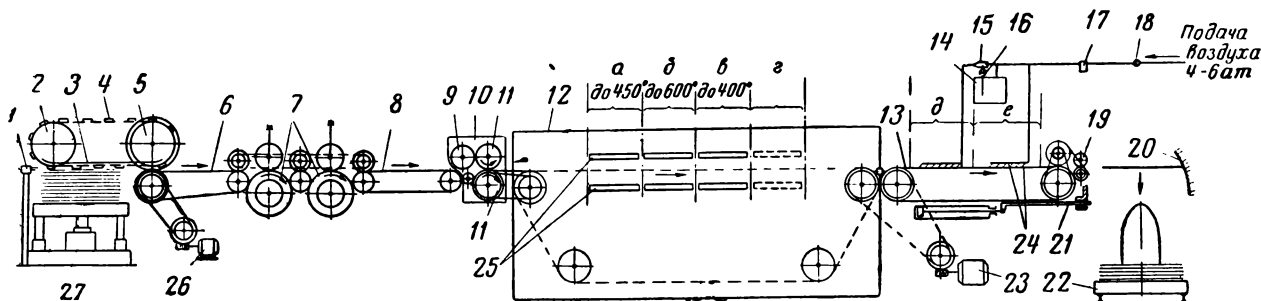


Рис. 4-3. Поточная линия снятия заусенцев и лакировки листов.

рассчитана на круглые листы диаметром до 990 мм и сегменты [Л. 4-2].

Технологический процесс состоит из следующих операций:

- 1) двукратное снятие заусенцев с одной стороны листа абразивными кругами;
- 2) двустороннее нанесение лаковой пленки в один, два или три слоя;
- 3) испарение растворителя лака при нагреве листов в электропечи до 450°C ;
- 4) выгорание растворителя при температуре 600°C ;
- 5) сушка листов при температуре 400°C ;
- 6) охлаждение листов на конвейере до 20°C .

Для двух- или трехкратного покрытия листов лаком операции 2—6 повторяют соответствующее число раз и в линию вводят дополнительные лакировочные машины и электропечи.

Листы, подлежащие обработке, уложены на подъемный стол 27 с электромеханическим или гидравлическим приводом, подъема и контактным следящим устройством 1, автоматически поддерживающим расстояние верхнего листа над уровнем пола.

Механизм подачи представляет собой транспортер 5 с укреплёнными на нем электромагнитами 4, питание которых производится посредством командоаппарата 2 через троллейные шины 3 и скользящие по ним щетки. Магниты захватывают с установленной частотой верхний лист и передают его на транспортер 6 гратосъемочного станка. Листы проходят между направляющими валиками и двумя абразивными кругами 7 и попадают на ленту транспортера 8. Транспортеры 5, 6 и 8 приводятся от регулируемого электродвигателя 26. Абразивная и металлическая пыль удаляется вытяжной вентиляцией.

Механизм нанесения на листы лаковой пленки состоит из верхней ванны 10 с лаком, которая ограничена вращающимися валиками 9 и 11 с регулируемым зазором и двумя уплотняющими стенками в торцовых частях. Излишек лака сливается в нижнюю ванну через отверстия в торцовых стенках. Испарение, выгорание растворителя и сушка листов производятся в конвейерной электропечи 12 с нагревателями 25, разделенной на зоны: а) испарения, б) выгорания растворителя, в) сушки и г) резервную. Продукты горения масла и керосина удаляются интенсивной вытяжной вентиляцией.

Охлаждение листов после лакировки или между повторяющимися лакировками производится обдувом

воздухом, насыщенным водяной эмульсией, с последующим обдувом сухим воздухом. Сжатый воздух из сети через кран 18 поступает в редуктор давления 17, а затем в зону обдува е и в герметический бак с водой 14, в котором создается повышенное давление. Проходя через распылитель 15 инжекторного типа, струя воздуха насыщается водяной эмульсией, которая через сопла 24 попадает на листы, движущиеся транспортером 13, приводимым двигателем 23, через зону охлаждения эмульсией д. Для регулировки степени насыщения воздушной струи эмульсией служит дроссель 16, установленный на патрубке поступления воды из бака 14.

Пройдя лакировку, листы надеваются на оправку, установленную на тележке 22, которая по заполнении листами откатывается. Ввиду малой скорости движения конвейера 10—20 м/мин листы при сходе с него падают на ребро и не попадают на стойку. Поэтому в линию встроены механизмы с ускорительными вальками 19, пройдя которые лист ударяется в упор 20 и падает на оправку. Во время замены оправок листы падают на заслонку 21 с пневматическим приводом, которая в это время выдвигается. После подкатывания новой тележки листы с заслонки падают на оправку.

Когда через машину проходят мелкие листы в несколько параллельных рядов, после валков 1 устанавливают ножи 2 (рис. 4-4) для приближенной ориентировки листов 3 при падении их на тележку без стойки.

Общая длина линии при двукратной лакировке 36 м, а установленная мощность печей и приводов 486 квт.

Для получения пленки лака толщиной 5—20 мк листы машин общего применения пропускают через лаки-

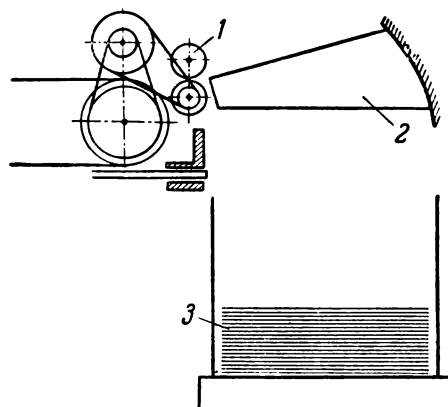


Рис. 4-4. Приспособление для снятия с ленты мелких листов.

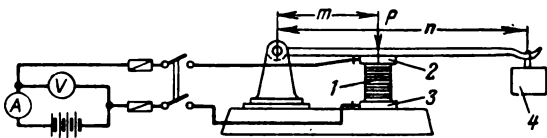


Рис. 4-5. Контроль качества изоляции листов.

ровочную машину 2 раза, а листы турбо- и гидрогенераторов 3 раза.

На заводе «Электросила» разработана эмаль для лакировки листов с неорганическим наполнителем (30—50%), которая создает механически прочную термостабильную изолирующую пленку при меньшем числе покрытий [Л. 4-6].

Лаковое покрытие должно быть сухим, твердым и не давать отлипа. Проверка качества лакировки производится внешним осмотром, а отсутствие отлипа на ощупь. Не менее 2 раз в смену, а также при всяком изменении режима работы производят измерение электрического сопротивления. Для этого пачку в 20 листов 1 зажимают между двумя медными электродами 2 и 3 толщиной 8 мм, шириной 40 мм и длиной 300 мм (рис. 4-5). На электроды подают напряжение 18 в от источника постоянного тока; реостатом устанавливают ток не более 0,1 а. Напряжение измеряют при сжатии листов с силой $P=720$ кг, создаваемой грузом 4, величина которого определяется соотношением плеч m и n .

Удельное давление между листами и электродом составляет 6 кг/см² поверхности электрода. Минимальное сопротивление пакета должно составлять для турбогенераторов 80 ом, для гидрогенераторов 55, для статоров и якорей 40 и для роторов асинхронных машин 20.

Новая технология лакировки сердечников микродвигателей заключается в том, что она производится не на отдельных листах, а на спрессованных сердечниках в ультразвуковой установке. Спрессованные сердечники сначала отжигают для снятия наклепа в камерной печи при 780—820° С для стали Э31 и 830—870° С для стали Э11 в течение 2,5—3 ч.

Отожженные сердечники помещают в ванну с лаком № 7, в дно которой вмонтирован магнитострикционный преобразователь с трансформатором колебаний, питающимся от генератора мощностью 1,2 кВт с частотой 18 кгц.

После пропитки дают стечь излишкам лака, сердечники очищают, помещают в термостат на 2 ч при 170° С и отправляют в обмотку.

Преимущества новой технологии заключается в следующем:

- 1) значительное повышение производительности и экономия не менее 50% лака;
- 2) коэффициент заполнения пакетов сталью увеличивается до 97%;
- 3) снижение потерь в стали за счет отжига и изоляции листов статора от станины и листов ротора от вала [Л. 4-4].

Прогрессивным направлением в области изолировки листов является оксидирование. Задачей оксидирования является образование на поверхности листа тонкой пленки окисла железа. Эту пленку можно получить, нагревая сталь в окислительной среде; при этом кислород соединяется с железом, образуя на поверхности в зависимости от среды закись FeO, закись-окись Fe₃O₄ или окись железа Fe₂O₃. Эту пленку не следует смешивать с обычной ржавчиной, которая представляет собой гидрат окиси железа Fe(OH)₃ и по своим свойствам резко отличается от оксидной пленки.

В настоящее время намечено два пути практической реализации оксидирования: 1) нагревание листов и омывание их смесью пара и воздуха; 2) омывание нагретой поверхности листов воздухом. Наибольшее применение нашел второй способ. Листы стали навешивают на штыри и подвергают нагреванию в печи до температуры в пределах 560—700° С. Первые опыты проводились в печах муфельного типа. Затем были разработаны конвейеры для оксидирования (ХЭЛЗ) с производительностью 6 000 листов в час.

Исследование сердечников показало, что оксидирование дает изоляционную пленку с высоким и равномерным сопротивлением меньшей толщины, чем лаковая, что позволяет увеличить коэффициент заполнения сердечника сталью на 3—4%. Потери в стали при оксидировании уменьшаются на 10—15% за счет восстановления магнитных свойств стали при отжиге.

4-6. РАЗМЕРЫ ПАЗОВ В ШТАМПЕ И «В СВЕТУ»

При сборке сердечников штампованные листы ориентируют по шпонке, направляющим шпилькам или пазовым калибрам. Несмотря на это, размеры пазов в собранных сердечниках получаются меньше, чем в штампованных листах (рис. 4-6). Это объясняется сдвигами между листами вследствие зазоров между шпоночными канавками и шпонками, неточностями штамповки и заусенцами, которые при прессовке распрямляются. Поэтому различают размеры пазов в штампе и размеры пазов «в свету», получающиеся в собранных сердечниках. Разница между этими размерами составляет десятые доли миллиметра. Чтобы не

Размеры пазов „в свету“ и в штампе

Тип штампа	Ширина паза „в свету“ $b_{п}$, мм	Ширина паза в штампе $b_{ш}$, мм	Глубина паза в штампе $h_{ш}$, мм
Пазовый	До 3	$b_{п} + 0,2$	$h_{п} + 0,2$
	3—8	$b_{п} + 0,4$	
	Выше 8	$b_{п} + 0,6$	
Совмещенный	До 4	$b_{п} + 0,2$	$h_{п} + 0,2$
	4—10	$b_{п} + 0,3$	
	Выше 10	$b_{п} + 0,5$	

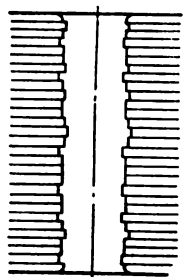
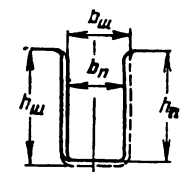


Рис. 4-6. Размеры паза в штампе и „в свету“.

обрабатывать стенки пазов в собранных сердечниках, размеры пазов в штампе делают больше, чем размеры пазов в «свету».

Естественно, что при расчете магнитной цепи для определения толщины зубца надо пользоваться размерами пазов в штампе, так как от уменьшения размеров паза в собранном сердечнике зубцы в листах не делаются толще, чем они были при штамповке.

Разница между размерами пазов в штампе и в свету зависит от способа штамповки. При штамповке совмещенным или последовательным штампом расположение пазов по окружности во всех листах одинаковое. При штамповке же пазовым штампом вследствие неточностей делительного механизма прессы возможны отклонения размеров отдельных пазовых делений. Таблицы для определения размеров пазов в штампе устанавливаются заводскими нормами как функция ширины паза или диаметра листа.

В табл. 4-1 приведены размеры пазов по первому способу, а в табл. 4-2 — по второму.

4-7. ОРИЕНТИРОВКА ЛИСТОВ ПО ЗНАКУ И ШИХТОВКА

Перед сборкой на вал или на оправку штампованные листы статора и ротора должны быть уложены так, чтобы знаки для шихтовки во всех листах совпадали. Это позволяет производить шихтовку пачками, а не по одному листу, что значительно повышает производительность труда. Наиболее просто этот вопрос решается в микродвигателях. При отсутствии операций лакировки листов и снятия заусенцев штампованные листы попадают на сборочные оправки непосредственно после вы-

рубки. В остальных машинах листы после штамповки проходят грагосъемочный станок и лакировочную машину, а потому перед сборкой сердечника необходимо производить ориентировку листов по знаку. Эта операция, долгое время проводившаяся вручную, в настоящее время успешно механизирована на многих заводах электропромышленности.

На рис. 4-7 показано устройство станка, в котором операция ориентировки листов ротора по знаку объединена с набиранием листов на оправку. Станок приводится электродвигателем 6 мощностью 0,25 квт при 1440 об/мин. На вал электродвигателя насажен четырехходовой червячный винт 7, сцепленный с червячным колесом 8, которое насажено на вертикальную ось 5, вращающуюся в шарикоподшипниках 9. В верхней части оси профрезерован паз, в который вставлен конец валика 3. Диаметр верхней конической части валика на 1 мм меньше осевого отверстия в листе ротора, поэтому листы свободно надеваются и поворачиваются на нем. На валик 3 и ось 5 надета бронзовая втулка 2, которую охватывает неподвижный пустотелый вал 4, прижатый фланцем к плите, опирающейся на колонки. На валу 4 привернута шпонка 1, на которую легко надеваются листы ротора. Когда электродвигатель работает, на вращающийся валик 3 начинают набрасывать пачки листов, которые, свободно вращаясь, опускаются на неподвижный вал 4, ориентируясь по шпонке.

Когда сердечник набран, вынимают валик 3 и вставляют в два паза клинья, которые скрепляют сердечник ротора. Затем сердечник устанавливают в приспособлении под пресс и впрессовывают в него вал. Механизм

Таблица 4-2

Размеры пазов „в свету“ и в штампе

Тип штампа	Внутренний диаметр статора или наружный диаметр якоря, мм					
	До 500		500—1 000		Выше 1 000	
	$b_{ш}$	$h_{ш}$	$b_{ш}$	$h_{ш}$	$b_{ш}$	$h_{ш}$
Пазовый	$b_{п} + 0,3$	$h_{п} + 0,2$	$b_{п} + 0,5$	$h_{п} + 0,4$	$b_{п} + 0,6$	$h_{п} + 0,4$
	$b_{п} + 0,2$	$h_{п} + 0,2$	$b_{п} + 0,3$	$h_{п} + 0,2$	$b_{п} + 0,5$	$h_{п} + 0,2$

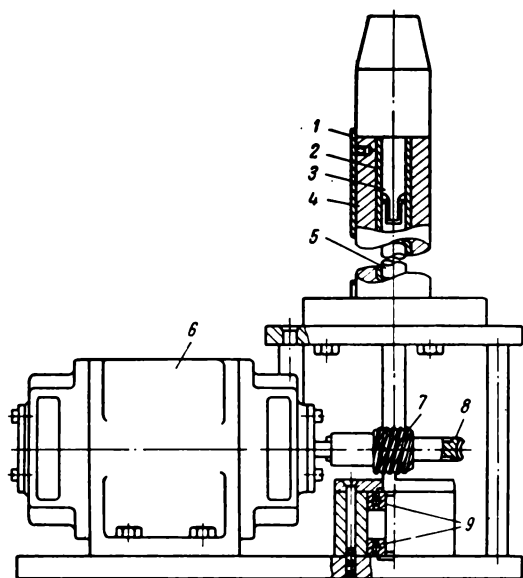


Рис. 4-3. Станок для шихтовки листов ротора.

ция ориентировки листов и шихтовки позволила в 6—8 раз увеличить производительность труда на этих операциях.

Шихтовка сердечников статора в принципе сложнее, чем ротора. Это объясняется тем, что листы статора, представляющие собой кольца, обладают меньшей жесткостью, что затрудняет процессы шихтовки и прессовки. С другой стороны, в сердечниках статора имеют место основные потери в стали, что накладывает большую ответственность на качество их сборки. Механическую шихтовку по лунке на внешней окружности листов долго не удавалось наладить, так как каждый лист с непо-

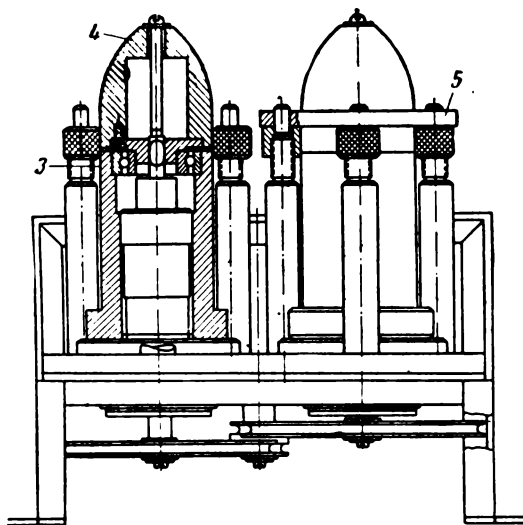
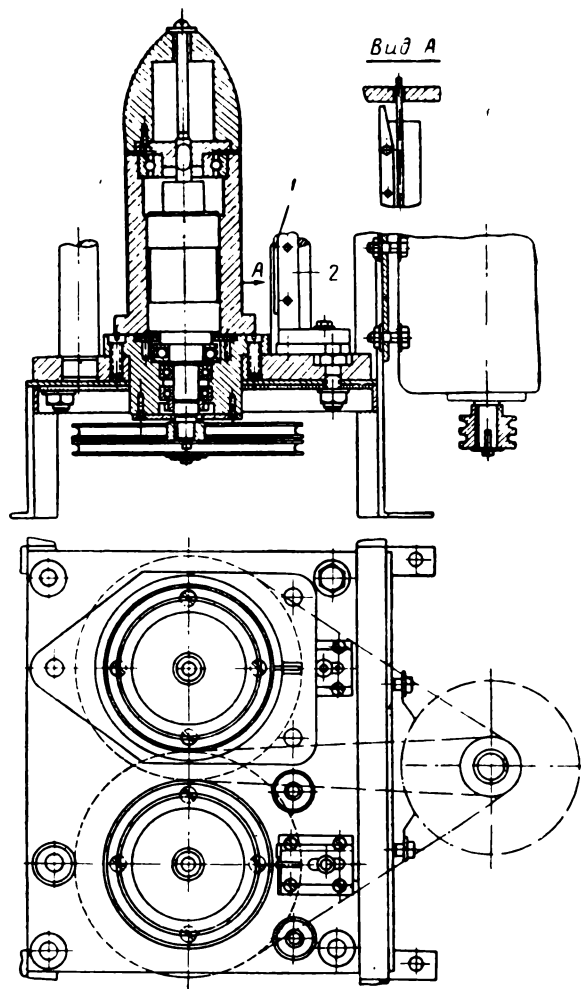


Рис. 4-8. Станок для шихтовки листов статора.

ным контуром при штамповке или со случайной забоиной на внешней окружности создавал перебои в ориентировке листов по лунке. Поэтому станок для шихтовки листов асинхронных двигателей единой серии первых трех габаритов удалось реализовать лишь после того, как лунка была заменена выступом на внешней окружности с размерами 2×2 мм².

Шихтовочный станок (рис. 4-8) имеет вращающиеся головки 4, на которые набрасывают шихтуемые листы статора. Попадая на головку, лист задерживается шихтовочным выступом на рамке 5. Однако вращением головки лист проворачивается, шихтовочный выступ доводится до упора 1, встроенного в стойку 2, и попадает в прорезь рамки 5. Лист падает вниз и нанизывается на неподвижный стакан 3. Таким образом, листы шихтуются, заполняя стакан до уровня рамки 5. Станок сделан двухместным и установлен непосредственно у станка для зачистки заусенцев, ширина ленты которого позволяет укладывать по два листа рядом. После зачистки лист с ленты транспортера по направляющему желобу подается на вращающуюся головку шихтовочного станка. При изменении размеров листов меняют вращающиеся стаканы, головки и рамки.



4.8. ПАКЕТИРОВАНИЕ СЕРДЕЧНИКОВ

Операция пакетирования заключается в наборе сердечника заданной по чертежу толщины. Сложность этой задачи состоит в том, что окончательный размер пакет листов получается лишь после прессовки, поэтому процесс шихтовки нельзя контролировать, измеряя его до прессовки. Практически пакетирование сердечника может быть реализовано тремя способами, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки: а) счет листов; б) измерение толщины пакета и в) взвешивание.

а) Пакетирование методом счета листов не может обеспечить точной толщины пакета. Это объясняется тем, что по ГОСТ 802-58 допускается отклонение толщины листа $\pm 10\%$ номинального размера. Таким образом, при расчетной толщине сердечника 200 мм он может иметь пределы 180—220 мм, что, конечно, недопустимо. Поэтому пакетирование методом счета листов применяется редко и только при малой толщине пакетов.

б) Пакетирование методом измерения толщины сердечника после прессовки применяется при шихтовке листов статора непосредственно в станину или листов ротора на вал. Если после прессовки толщина пакета оказывается за пределами допуска, то добавляют или снимают часть листов по счету и снова прессуют сердечник.

Особой точности требует пакетирование сердечников статора и ротора асинхронных двигателей с радиальными каналами (рис. 4-9). Ширина вентиляционного канала составляет 10 мм, причем по техническим условиям для прохода воздуха должна оставаться щель не менее 7 мм. Если учесть, что за счет неточностей высоты распорок между пакетами и волнистости торцовых поверхностей канал перекрывается на 2 мм, то допуск на толщину пакета должен быть не более $\pm 0,5$ мм. Но и этого мало. Если пакеты статора будут иметь допуск с одним знаком, а пакеты ротора с другим, то через 10 пакетов канал статора будет совершенно перекрыт сердечником ротора, а остальные девять каналов будут иметь недостаточную эффективную ширину.

Поэтому для обеспечения радиальной вентиляции следует измерение пакетов статора и ротора вести координатным способом, как показано на рис. 4-9. В качестве базы для измерения на статоре можно взять торцовую поверхность станины, а на роторе — заточку под подшипник. К статорам синхронных машин такие требования не предъявляются, так как

полюсы ротора, как правило, радиальных каналов не имеют, а воздух в каналы статора может проходить между полюсами ротора.

в) Метод взвешивания сердечников при пакетировании нашел широкое применение для статоров и роторов, которые шихтуют и прессуют отдельно от станины или вала. Это имеет место в единой серии асинхронных двигателей мощностью 0,6—100 кВт и в микродвигателях. Для этого набирают эталонный сердечник с размерами в пределах допусков и взвешивают его. Серийные сердечники набирают на весах и контролируют по весу эталонного сердечника. Поскольку удельный вес электротехнической стали данной марки остается практически постоянным, то при данном весе гарантирована толщина сердечника в пределах допуска.

При сборке пакетов в три паза по окружности вставляют стальные калибры, точно пригнанные по ширине паза, которые предохраняют листы от сдвига за счет зазора между листами и шпонкой. При зазоре δ между стороной канавки в листе и шпонкой, диаметре вала d и диаметре сердечника D смещение листов на внешней окружности может достигать величины

$$\Delta = \delta \frac{D}{d}. \quad (4-1)$$

Так, например, при $\delta = 0,04$ мм и $\frac{D}{d} = 10$ $\Delta = 0,4$ мм, что поведет к недопустимой шероховатости стенок паза и уменьшению его размеров в свету.

Для осаживания листов в процессе шихтовки раньше применяли кольца весом до 8 кг, которые рабочему приходилось поднимать на высоту 1 м и делать по пакету пять-шесть ударов. В настоящее время эта работа механизирована.

На рис. 4-10 показана схема пневмогидравлического пресса завода имени Владимира Ильича. Пресс предназначен для шихтовки и прессовки сердечников

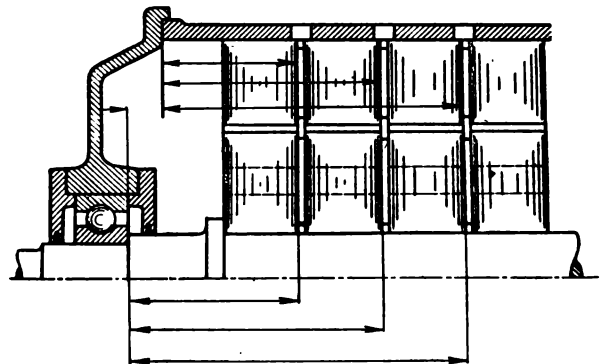


Рис. 4-9. Шихтовка сердечников с радиальными каналами.

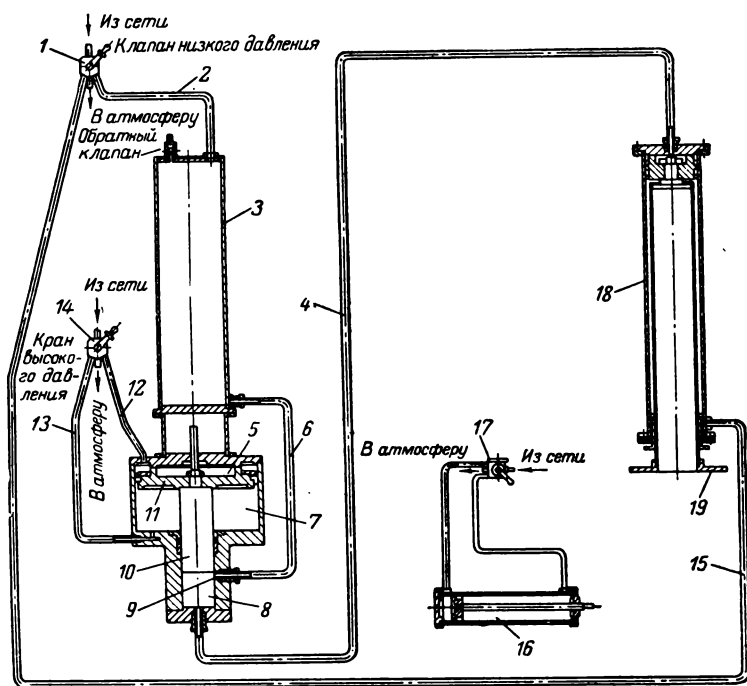


Рис. 4-10. Пневматический пресс.

роторов электродвигателей единой серии 8 и 9-го габаритов [Л. 4-3]. Он может работать в двух режимах: при шихтовке с усилием 1,8 Т и скоростью движения поршня 19, равной 0,17 м/сек, а при прессовке — с усилием 18 Т и длиной хода поршня 55 мм.

В резервуаре 3, трубах 6 и 4, цилиндре 8 и в верхней части рабочего цилиндра 18 циркулирует эмульсионная жидкость, а в трубах 2, 12, 13, 15, цилиндрах 5, 7, 16 и нижней части цилиндра 18 — воздух. Сжатый воздух давлением 6 ат подведен к кранам управления 1, 14 и 17.

Когда сеть сжатого воздуха краном 1 через трубу 2 соединена с резервуаром 3, жидкость по трубам 6

и 4 поступает в рабочий цилиндр 18 и поршень 19 производит шихтовку листов, двигаясь поступательно вверх и вниз. Воздух из нижней части цилиндра 18 при переключении крана 1 то выходит в атмосферу, то поднимает поршень 19.

Для прессовки собранного сердечника ротора подают сжатый воздух краном 14 в верхнюю полость 5 усилителя. Поршень 11 начнет двигаться вниз, шток 10 закроет отверстие 9 и будет гнать жидкость из цилиндра 8 в рабочий цилиндр 18. Давление поршня 19 при этом достигает 18 Т. Для подъема поршня надо переключить кран 14; воздух из сети по трубе 13 поступит в камеру 7, а по трубе 15 — в нижнюю часть рабочего цилиндра 18.

Пневматический цилиндр 16 управляется от сети краном 17 независимо от рабочего цилиндра 18. Он служит для передвижения стола пресса из зоны шихтовки в зону прессовки и обратно.

Таким образом осуществлена комплексная механизация тяжелых процессов шихтовки и прессовки, повысилась производительность труда и улучшилось качество сердечников.

В сердечниках с радиальными каналами по краям каждого пакета ставят утолщенные листы 1 и 2 (рис. 4-11). Каналы образуются за счет распорок (ветрениц) 3, представляющих собой балку двутаврового сечения высотой 10 мм. Раньше распорки крепили к листам только точечной сваркой. Но такое крепление было ненадежным. При неравномерной по окружности прессовке пакетов наблюдались случаи отрыва распорок, которые под действием центробежной силы выступали за окружность ротора и задевали за статор.

В новых сериях разработана конструкция вентиляционных распорок, которые, кроме сварки, имеют еще механические крепления с листом. Для этого в одном из крайних листов выштампован кармашек 4, а в распорке — зуб 5, который входит в кармашек. При таком креплении даже при нарушении сварки распорка не может сдвинуться в радиальном направлении.

4-9. ВЫБОР БАЗ ДЛЯ ШИХТОВКИ СЕРДЕЧНИКОВ СТАТОРА

До недавнего времени все электрические машины с целыми листами статора и ротора выполнялись следующим образом: базой для шихтовки листов статора служила цилиндрическая поверхность станины или ребра станины, а для ротора — поверхность вала, втулки, насаженной на вал, или ребра крестовины. Этот выбор баз казался настолько естественным, что о других базах нечего было и думать.

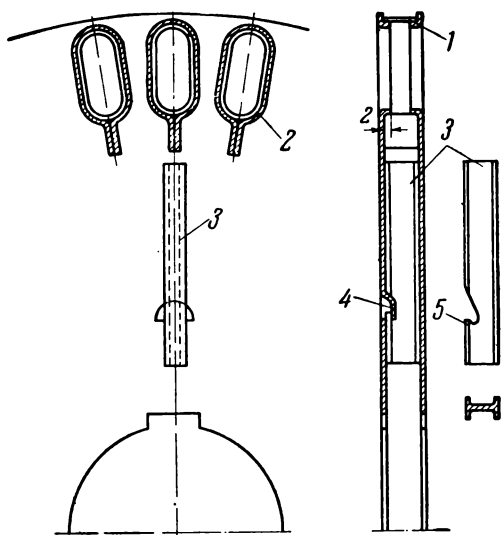


Рис. 4-11. Распорки между пакетами.

Однако в последние годы вопрос о выборе баз получил и другие решения.

При шихтовке штампованных листов поверхность сердечника, обращенная к базовой поверхности, получается ровной и гладкой, на противоположной же стороне выступают все неровности, которые получаются за счет неточностей штамповки, шихтовки и заусенцев. При шихтовке листов статора в станине ровной и гладкой получается наружная поверхность станины, а поверхность, обращенная к воздушному зазору, шероховатой. Поэтому в течение многих лет внутреннюю поверхность статоров асинхронных двигателей растачивали или шлифовали для поддержания воздушного зазора между статором и ротором. Обработка резцом производительнее шлифовки, но обтачивать обмотанный статор опасно, так как при этом может произойти изгибание отдельных зубцов, вызывающее пробой изоляции обмотки статора. Поэтому обычно обточку производили до обмотки, а для предохранения зубцов от изгибания в пазы забивали деревянные клинья.

Забивка и выбивка клиньев, помимо трудоемкости ручных операций, требовали большого расхода древесины и не давали равномерного зазора по всей длине сердечника, так как при осаживании крайних листов после выбивки клиньев зазор на краях сердечника уменьшался.

По этим соображениям в машинах средней мощности внутреннюю поверхность обмотанного статора шлифовали. Эта операция занимала больше времени, чем обточка. Из-за невозможности применения охлаждающей эмульсии приходилось применять низкие режимы резания. Другим недостатком этого способа, особенно для высоковольтных машин, была опасность попадания металлической пыли в обмотку. Надежно защитить лобовые части от тонкой металлической пыли чехлами не удавалось, и поэтому был большой брак обмоток при обработке.

Оба способа обработки создавали замыкания листов, что вызывало резкое увеличение потерь в стали. По существу изолировка листов друг от друга теряла смысл, так как в области наиболее магнитно нагруженных зубцов статора листы замыкались накоротко. Поскольку с внешней стороны листы замыкались ребрами станины, то создавались замкнутые контуры для вихревых токов (рис. 4-1). В связи с этим делались попытки изолировать листы от ребер станины, которые, однако, не нашли успешного решения вследствие сложности конструкции и недостаточной твердости изоляционных материалов.

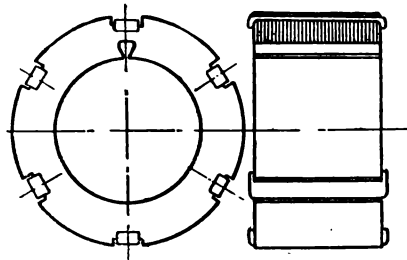


Рис. 4-12. Сердечник статора, скрепленный скобами.

Все эти трудности удалось устранить только за счет изменения базы шихтовки. В единой серии асинхронных двигателей мощностью до 100 кВт листы статора шихтуют на внутреннюю цилиндрическую оправку, благодаря чему внутренняя поверхность стала ровной и не требует обработки. Шихтованный на оправке сердечник скрепляют приваренными к нему скобами (рис. 4-12), обматывают, пропитывают и запрессовывают в станину. Обматывают в станине только статоры двигателей 8 и 9-го габаритов серии.

Шихтовка на внутреннюю оправку дает следующие преимущества:

- а) отпала обработка сердечника;
 - б) снизились потери в стали;
 - в) упростился и ускорился процесс обматывания статора вне станины;
 - г) повысилась пропускная способность пропиточных участков;
 - д) снизился расход пропиточных лаков, так как поверхности станины теперь не покрывают изоляционными лаками;
 - е) повысилась пропускная способность и снизился грузопоток внутриводского транспорта;
 - ж) упростилось планирование производства, так как отпала необходимость в заделе станин, без которых ранее нельзя было вести процесс шихтовки и обмотки статоров;
 - з) упростилась конструкция крепления сердечника в станине, так как сейчас он соединяется со станиной прессовой посадкой.
- Пока удалось внедрить сборку сердечников статора с внешним диаметром до 493 мм включительно. Дальнейшим развитием технологии электромашиностроения должно явиться распространение этого метода на машины больших габаритов.

4-10. СЕРДЕЧНИКИ СО СКОШЕННЫМИ ПАЗАМИ

В целях улучшения пусковых свойств и снижения магнитных шумов асинхронные двигатели малой мощности выполняют со скосом паза на роторе или статоре. Якоря малых кол-

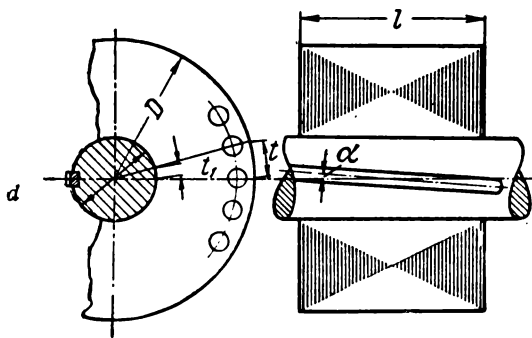


Рис. 4-13. Скошенная шпонка.

лекторных машин делают со скосом паза для улучшения условий коммутации. Выполнение скоса пазов предъявляет к технологии шихтовки и прессовки сердечников дополнительные требования, причем в одном случае легче выполнить скос пазов ротора, а в другом — статора. С точки зрения электромагнитных процессов безразлично, где будет выполнен скос пазов.

Сердечники якоря обычно собирают на вал по шпонке. Для получения скоса паза, очевидно, приходится делать скошенную шпоночную канавку на валу (рис. 4-13). Это можно выполнить как на горизонтально-фрезерном, так и на вертикально-фрезерном станке, установив вал на столе станка под углом α по отношению к движению подачи. При заданной величине скоса пазов t , которая обычно берется равной пазовому делению статора, измеренному по наружной окружности ротора диаметром D , величину скоса шпоночной канавки t_1 относительно образующей вала определяют по формуле

$$t_1 = t \frac{d}{D}, \quad (4-2)$$

откуда легко определить угол наклона α шпоночной канавки по отношению к образующей вала:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{t_1}{l}. \quad (4-3)$$

Очевидно, что прямолинейная шпоночная канавка вследствие скоса будет иметь разную глубину по длине: меньшую на концах и большую в середине. Это необходимо учитывать, задавая размеры глубины шпоночной канавки в листах и на валу, так как иначе может получиться, что листы не будут надеваться на вал.

Шпоночную канавку постоянной глубины можно было бы получить, выполняя ее по винтовой линии на универсально-фрезерном станке, но обычно из-за сложности обработки этого не делают.

В производстве асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором применение скошенной шпонки на валу вызывает серьезные трудности. При перепрессовке сердечника ротора с оправки для заливки на вал сердечнику пришлось бы совершать сложное движение, состоящее из поступательного и одновременно вращательного движения, на величину скоса шпонки. Для этого необходимо сердечник ставить на стол пресса на вращающейся опоре, т. е. как бы навинчивать его на вал. При этом приходится преодолевать большую силу трения сердечника о вал, в результате чего может произойти изгиб вала. Для обеспечения поточного производства приходится иметь очень много оправок для сборки сердечников.

Поэтому сердечники роторов асинхронных двигателей с короткозамкнутой обмоткой, как правило, насаживают на рифленный вал. Сборку листов под заливку алюминием производят или на оправку со скошенной шпонкой или на гладкую оправку, на которой набранный сердечник скручивают на величину скоса паза.

На рис. 4-14 показаны сборник и оправка для роторов со скошенными пазами. Листы в сборнике центрируют не по внутреннему отверстию, а по наружной окружности. Скос пазов листы получают по стержню 4, вставленному в один из пазов. Сборник состоит из двух плит 1 и 3, снабженных ручками. Колонки 2 запрессованы в нижнюю плиту и расточены по диаметру листов ротора. Перед сборкой листы пакетируют методом взвешивания и вкладывают в сборник, причем один из пазов надевается на скошенный стержень 4. Сборник закрывают верхней плитой и в отверстие сердечника свободно вставляют оправку, диаметр которой на 0,25 мм меньше осевого отверстия в листе. Затем сердечник со сборником передают под гидравлический пресс, прессуют и запирают при помощи втулки и штифта оправки. После этого сборник снимают и сердечник

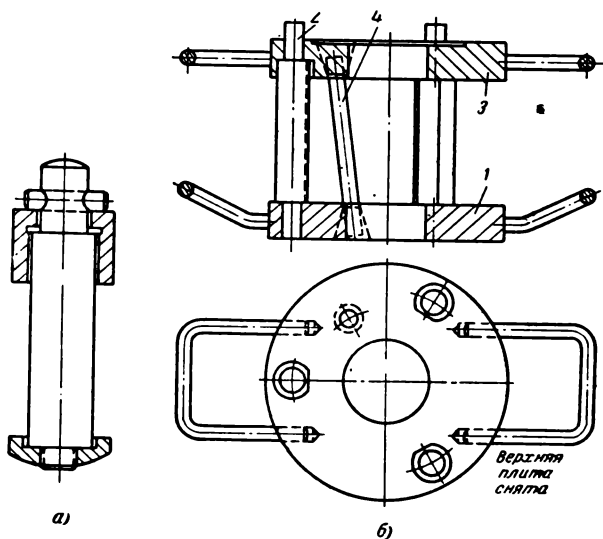


Рис. 4-14. Оправка и сборник для ротора со скошенными пазами.

с оправкой отправляют на заливку алюминием. Залитый сердечник снимают с оправки и прессуют на рифленый вал. Изменение базы шихтовки позволило свободно вставлять и вынимать оправку, которая благодаря этому не изнашивается. Оправок со скошенной шпонкой для поточного производства требовалось много, а сборников — всего несколько штук.

Рифленые валы применяют при диаметрах не более 60 мм. Поэтому в асинхронных двигателях с большими диаметрами валов применяют соединение сердечника с валом при помощи прямой шпонки без скоса пазов. В таких двигателях скос паза переносят на статор. Поскольку сердечник статора собирают на внутреннюю оправку и прессуют в станину без шпонки, выполнение скоса паза не вносит особых затруднений в процессе шихтовки. Несколько усложняется лишь укладка в пазы всыпной обмотки.

4-11. СКЛЕЕННЫЕ СЕРДЕЧНИКИ МИКРОДВИГАТЕЛЕЙ

В микромашинах большое распространение получил способ скрепления листов сердечника посредством склеивания их клеем БФ-2 или БФ-4. Это упрощает конструкцию сердечника, устраняет распушение зубцов и снимает магнитный шум, вызываемый неплотным прилеганием листов друг к другу [Л. 13].

Предварительно на листы наносят слой клея и подсушивают до отлипа, пропуская дважды через резиновые валики. После подсушки с листов удаляют излишки клея. Затем листы собирают в пакет по весу. Сборку сердечника статора со скошенными пазами производят в приспособление (рис. 4-15), которое состоит из основания 1, клиньев 2, кольца 3, оправки 4 с пазами под клинья, кольца 5 со сферической выточкой, сферической шайбы 6 и гайки 7.

Листы собирают на оправку, в которую вставлена половина клиньев, наклоненных на величину скоса паза. Сначала собирают примерно половину сердечника и спрессовывают под прессом, после чего в оправку вставляют остальные клинья и набирают вторую половину листов. После прессовки надевают кольцо 5, шайбу 6 и навинчивают гайку 7, которую затягивают под прессом.

Партию сердечников вместе с приспособлениями загружают в термостат, нагретый предварительно до 60—80° С, и нагревают до 90—100° С, выдерживая при этой температуре в течение 4 ч. При нагревании пленка клея размягчается и заполняет поры и неровности поверхности листов, образуя тем самым тонкую связующую прослойку между листами. После выдержки в печи сердечники передают на

пресс и сдавливают их до указанного в чертеже размера. При этом излишки клея выступают в пазы и на наружной поверхности сердечника. Затем производят вторичное нагревание до 150—160° С, выдерживая при этой температуре в течение 50—55 мин, вынимают из печи и охлаждают на воздухе. Остывшие приспособления разбирают. Сердечник сдвигают с оправки давлением прессы при помощи стержней, которые вставляют в четыре отверстия в основании 1.

После разборки необходимо тщательно очистить приспособления и сердечники от остатков клея, так как они будут затруднять сборку следующих сердечников. Удаление клея с внутренней поверхности статора производят на токарном станке при малом числе оборотов мелкозубой спиральной разверткой с левой спиралью, которая почти не затрагивает поверхность металла. Зачищенный сердечник надевают на гладкую оправку и шлифуют наружную поверхность и торец сердечника, который будет служить базой при запрессовке в корпус.

4-12. ЗАЛИВКА СТАТОРОВ В АЛЮМИНИЕВУЮ ОБОЛОЧКУ

Заливка статоров в алюминиевую оболочку получила широкое распространение в производстве микродвигателей и асинхронных двигателей единой серии 2 и 3-го габаритов. При этом отпадают работы по отливке корпуса, его обработке, запрессовке сердечника статора в корпус. Ввиду того что оболочка получает дополнительную жесткость от сердечника статора, толщина ее стенки может быть снижена до пределов, необходимых для заполнения формы (2—3 мм).

При серийном производстве заливку статоров в алюминиевую оболочку производят статическим способом в стальных формах. При этом сердечник надо предварительно спрессовать и скрепить скобами.

На рис. 4-16 показано устройство стальной формы, которая состоит из нижней плиты 1

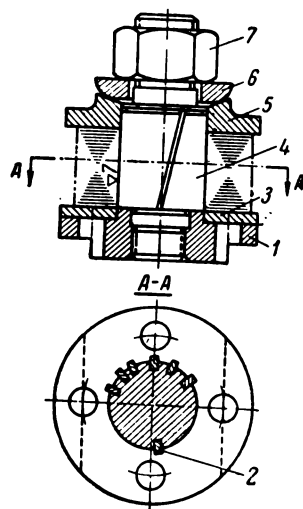


Рис. 4-15. Приспособление для склеивания сердечников.

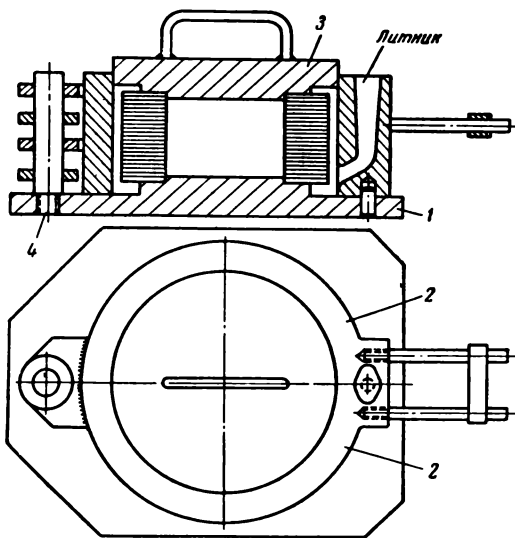


Рис. 4-16. Форма для заливки статора в алюминиевую оболочку.

с планшайбой для установки сердечника. В плите закреплена ось вращения 4 разъемного корпуса формы 2. Корпус закрывается верхней плитой 3, которая центрируется по расточке сердечника и по внутреннему отверстию корпуса формы. Литник располагается в плоскости разъема формы, что позволяет вынуть отливку после раскрытия формы. Сер-

дечники перед установкой в форму подогревают в печи до 400—500°С. Для заливки в алюминий следует применять оксидированные листы статора, так как лаковая пленка при такой температуре сгорит.

При массовом производстве заливку статоров производят в машинах для литья под давлением, в которых одновременно сердечник прессуется (рис. 4-17). Листы статора набирают на оправку 1 со шпонкой 2, которая входит в прорези пазов. Сердечник прессуют между подвижной 4 и неподвижной 3 частями формы.

4-13. МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИЕ СЕРДЕЧНИКИ

Металлокерамика в электромашиностроении пока применяется в форме твердых сплавов для штампов, режущих инструментов, заготовок для коллекторов микродвигателей, контактных колец и коллекторных пластин, подшипниковых втулок для электродвигателей. В области магнитных сердечников уже широко применяются роторы и статоры из магнитных сплавов, спрессованных из порошков, которые имеют значительные преимущества перед литыми магнитами как в отношении характеристик, так и технологии изготовления [Л. 4-7].

В области металлокерамических магнитно-мягких сердечников пока ведутся только

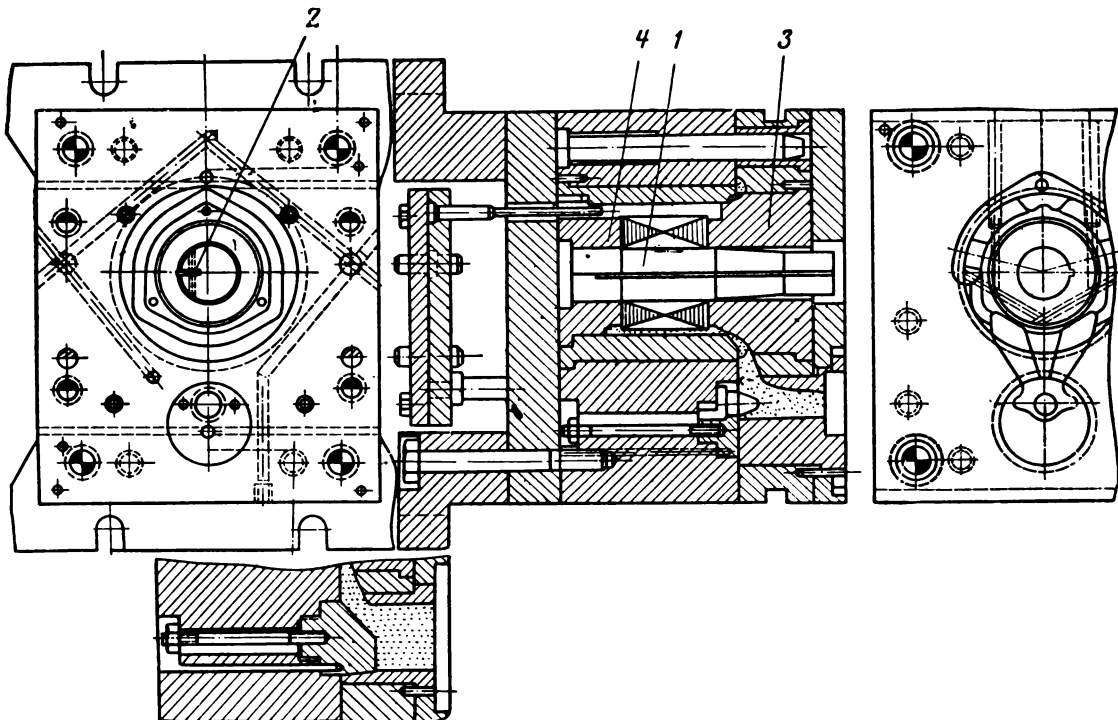


Рис. 4-17. Заливка статора под давлением.

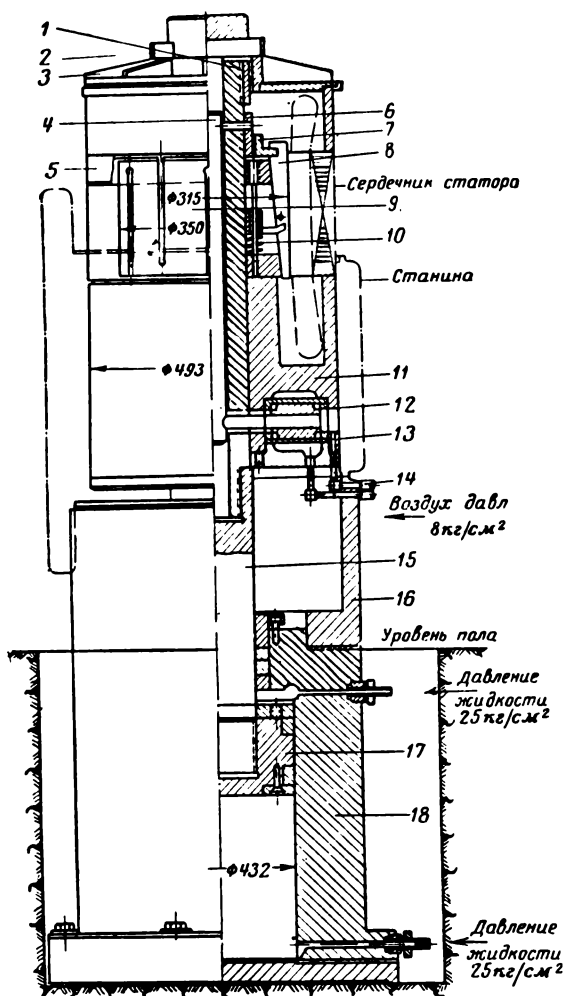


Рис. 4-19. Пресс для запрессовки статора в станину.

этих требований на гидравлических прессах обычной конструкции невозможно, а устройство дополнительных приспособлений к прессам очень затрудняет работу на них.

На рис. 4-19 показана конструкция специального пресса завода имени Калинина. Особенность конструкции пресса заключается в том, что в процессе прессовки сердечник статора прочно зажат в оправке и опускается в станину вместе с направляющим цилиндром, в кольцевом углублении которого помещаются лобовые части обмотки. Привод зажимной оправки — пневматический под давлением 8 атм, а усилие прессовки создается гидравлическим цилиндром с давлением жидкости 25 атм, что соответствует усилию прессовки 25 т.

Перед началом прессовки жидкость подается в нижнюю полость цилиндра 18 и поршень 17 с оправкой 1 поднимается. Станину двигателя устанавливают при помощи подъемника на торец стакана 16, а обмотанный статор надевают на кулачки разжимной оправки 8 и торцом упирают в направляющий цилиндр 11. Затем подают воздух по трубке 14 в верхнюю полость цилиндра над диафрагмой 13. При этом плунжер 12 опускается на 6—8 мм в через шток 4, муфту 6 и гайку 7 опускает кулачки 8, которые, передвигаясь по ко-

нической поверхности, разжимают внутреннюю поверхность статора. После этого надевают крышку 3 и закрепляют клином 2. Давление жидкости подается теперь в верхнюю камеру цилиндра 18. Поршень 17 вместе со штоком 15 и оправкой 1 начинает опускаться и запрессовывает сердечник статора в отверстие станины. Упорный борт на крышке 3 служит ограничителем хода пресса. Когда поршень останавливается, то жидкость, подаваемая насосом, отводится через разгрузочный кран, установленный на давлении 20 атм. По окончании прессовки поршень снова поднимается, освободившийся клин вынимают и снимают крышку 3. Теперь воздух подают в нижнюю полость цилиндра. Плунжер 12 освобождает кулачки 8, а пружины 10 поднимают их. Пакет статора освобождается от разжимной оправки и его вместе со станиной снимают с пресса подъемником. Если требуется запрессовать сердечник меньшей высоты, то применяют дистанционное кольцо 5. Для сердечников с большим внутренним диаметром внутрь статора вставляют разрезное кольцо 9.

Применение специального пресса в 5 раз повысило производительность труда по сравнению с работой на обычном гидравлическом прессе и ликвидировано брак при прессовке.

4-15. ВЕЕР ЗУБЦОВ

Ввиду недостаточной жесткости зубцов статора и ротора при прессовке сердечников наблюдается распушение зубцов, известное под названием «веера» (рис. 4-20). Распушение зубцов понижает плотность прессовки, вызывает образование магнитных шумов и создает опасность прорезания изоляции катушек отогнувшимися зубцами. Поэтому для борьбы с распушением зубцов применяют ряд мер.



Рис. 4-20. Веер зубцов.

В крупных машинах для уменьшения распушения зубцов между нажимными шайбами и торцами сердечников устанавливают нажимные пальцы (рис. 4-30). В машинах средней и малой мощности с распушением борются, увеличивая жесткость крайних листов.

Раньше крайние листы штамповали из более толстой листовой стали толщиной 1—1,5 мм. С каждого торца ставили по несколько утолщенных листов с постепенно уменьшающимися диаметрами. Увеличение толщины листов вызывает повышение вырубного усилия и требует изготовления специальных штампов с увеличенными узорами между пуансоном и матрицей. Это ведет к удорожанию технологической оснастки.

Поэтому в дальнейшем стали применять крайние листы, попарно сваренные точками из

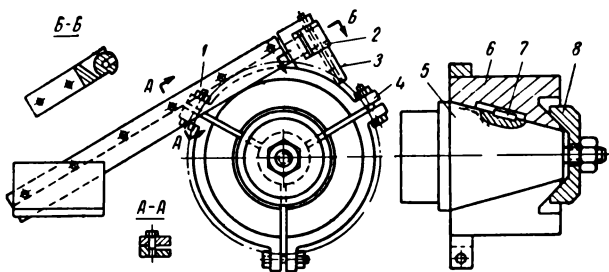


Рис. 4-21. Гибка нажимной шайбы из полосы.

средних листов для повышения жесткости. Сварку производят по всем зубцам. Обычно с каждого торца сердечника ставят два или три крайних листа. Однако по жесткости два сваренных листа неравноценны одному листу удвоенной толщины. Для повышения жесткости крайних листов применяют также выдавки под штампом желобков вдоль зубцов, но это возможно только при достаточно широких зубцах.

Пользуясь методом выдавки, можно увеличить также жесткость нажимных шайб статора и получить значительную экономию металла. Так, например, в единой серии асинхронных двигателей 3, 4 и 5-го габаритов применяют штампованные нажимные шайбы толщиной 2 мм вместо применявшихся в старых сериях кованых или литых шайб толщиной 5—8 мм. Для безотходного изготовления нажимных шайб нарезают из листовой стали полосы сечением 2×25 мм² и длиной, кратной развернутой длине шайбы.

Для загибки полосы на ребро применяют специальное приспособление к токарному станку (рис. 4-21). Оно состоит из оправки 6, надетой на конический вал 5, который зажимается в патрон токарного станка. Оправка разрезана из трех частей, которые скрепляются при помощи разъемного хомута 4 и болтов. С противоположной стороны оправка зажимается за ласточкин хвост конической шайбой 8. Такое устройство оправки позволяет передвигать ее по конусу вала 5, причем будет изменяться внешний диаметр. Это нужно для того, чтобы добиться точного диаметра загибаемого кольца, которое после снятия со станка за счет упругих свойств несколько увеличивается в диаметре, причем это увеличение в разных партиях стали может быть различным. Для предотвращения проворачивания оправки на валу служит шпонка 7. К одной из частей оправки приварена бобышка 3, в которой закрепляют конец полосы роликом 2. Полосу вставляют в паз направляющей планки 1, закрепленной на суппорте токарного станка. Перемещением суппорта планку подводят в упор к бобышке 3 на оправке. Конец полосы вводят в паз бобышки и зажимают роликом 2. После этого включают станок и полоса сгибается в кольцо. Из заготовок длиной 1650 мм получают два витка. Процесс намотки с установкой занимает около 1 мин. После разрезки производят формовку на гибочном штампе (рис. 4-22) желобка, который придает шайбе жесткость.

В последнее время увеличение жесткости крайних листов и уменьшение веера достигают путем склеивания нескольких листов в пакет [Л. 4-1]. Разработаны клеевые составы, обла-

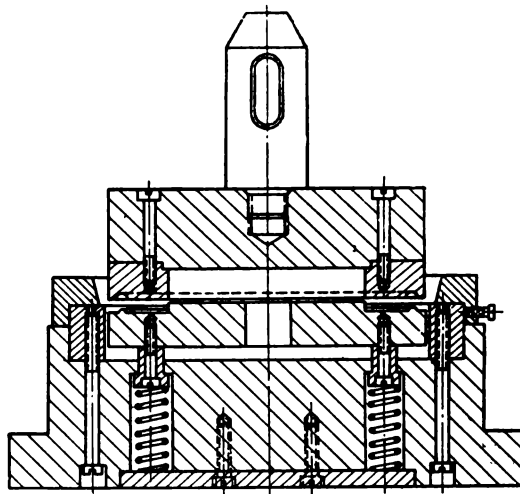


Рис. 4-22. Штамп для выдавки желобка.

дающие высокой адгезионной способностью к различным материалам и термостойкостью в пределах от -60 до $+160^\circ\text{C}$, например клеевой состав на основе эпоксидной смолы ЭД-6; в качестве отвердителя применен триэтаноламин, который менее токсичен, чем другие амины, нелетуч и хорошо смешивается со смолой без подогрева.

Технология склеивания пакетов следующая. На штампованные листы наносят пульверизатором или пропуская их через вальцы тонкий равномерный слой клея; листы собирают на стойки на расстоянии 2—3 см друг от друга и в течение 10—15 мин подсушивают при 90 — 100°C . Остывшие до комнатной температуры листы собирают в пакеты и вкладывают в пресс-форму, присыпая ее тальком во избежание прилипания листов. Пресс-форму с пакетами подают на пресс, подвергают удельному давлению 100 кг/см² и в таком положении заклинивают. Запрессованные пакеты подвергают выпечке при 170 — 180°C в течение 2—3 ч. Затем охлажденные пресс-формы распрессовывают и вынимают пакеты, зачищая их от излишков клея. Качество склейки определяют простукиванием стальным молотком. При изгибе на 90° склеенные листы не должны отслаиваться.

Технология склеивания листов открывает большие возможности сборки сердечников из крупных блоков вместо отдельных листов. Это особенно важно в производстве высокочастотных машин, в которых применяют электротехническую сталь толщиной 0,1—0,2 мм, а также в сегментах статоров крупных гидрогенераторов.

4-16. РАСЧЕТ ПРЕССОВКИ СЕРДЕЧНИКОВ

При прессовке сердечников происходит перемещение листов вдоль вала за счет уменьшения зазоров между листами. Поэтому давление прессовки зависит не только от площади поперечного сечения сердечника, но также от его длины и натяга посадки листов на вал.

При длине сердечника более 200 мм для обеспечения плотности применяют несколько прессовок, которые проводят последовательно одну за другой по мере сборки пакетов. Окончательную прессовку сердечника также производят в два приема. При первой прессовке проверяют длину сердечника по чертежу и в случае необходимости уменьшают или увеличивают число листов. После этого производят вторую прессовку (допрессовку), при которой запирают сердечник в спрессованном состоянии разрезным кольцом или втулкой, насаженной на вал с натягом прессовой или горячей посадки.

Разрезное кольцо вкладывают в канавку, проточенную на валу. В целях предохранения кольца от разгибания под действием центробежной силы его обычно углубляют в кольцевую выточку нажимной шайбы на 3—4 мм (рис. 4-23). В якорях машин постоянного тока обычно ставят одно разрезное кольцо со стороны коллектора, а вторую нажимную шайбу упирают в бортик вала. В асинхронных двигателях с фазным ротором вал не имеет бортиков и обе нажимные шайбы запирают разрезными кольцами. Это объясняется тем, что в асинхронных двигателях по условиям получения необходимой жесткости вала ввиду малого воздушного зазора вал всегда выбирают большего диаметра, чем вал машины постоянного тока с таким же вращающим моментом. Поэтому механические напряжения в сечении вала со стороны привода даже при ослаблении его канавкой не превышают допустимых.

Для изготовления разрезных колец навивают в горячем состоянии из квадратной стали спираль, которую разрезают на отдельные

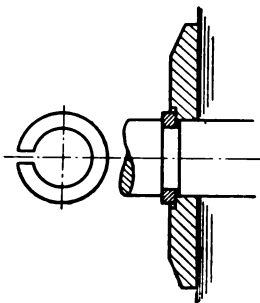


Рис. 4-23. Разрезное кольцо.

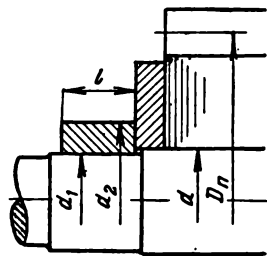


Рис. 4-24. К расчету прессовки сердечника.

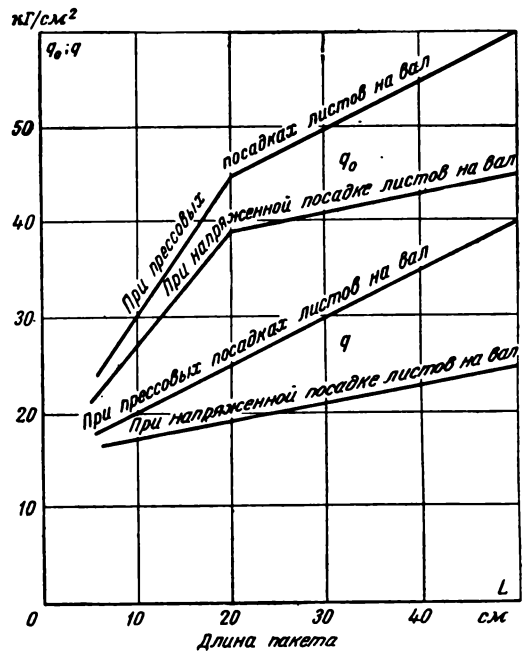


Рис. 4-25. Графики удельных давлений при прессовке.

кольца. Для вкладывания кольца в канавку необходимо, чтобы нажимная шайба не перекрывала ее, а была сдвинута на всю толщину в сторону сердечника. Недостатками разрезных колец являются:

- 1) отпусkanie спрессованного сердечника на глубину выточки в нажимной шайбе после вкладывания кольца, вследствие чего принудительно уменьшается плотность сердечника;
- 2) ослабление прочности вала канавкой;
- 3) большая трудоемкость вставления кольца в канавку;
- 4) снижение коэффициента использования гидравлического пресса, занятого на время вкладывания кольца в канавку.

Поэтому более технологичным, хотя и более дорогим, является способ запираения сердечников на валу втулкой, напрессованной на вал (рис. 4-24). Втулку надвигают на вал прессом одновременно с допрессовкой сердечника. При длинных сердечниках и большом натяге посадки листов на вал не рекомендуется насаживать втулку на ту же ступень вала, на которую надеты листы сердечника. Это объясняется тем, что листы в процессе надевания на вал снашивают его и натяг посадки кольца на вал может оказаться недостаточным для удержания сердечников в спрессованном состоянии.

На рис. 4-25 даны графики для определения удельного давления прессовки роторов и якорей на вал при разных длинах сердечников

и разных посадках. На рисунке верхние линии дают значения удельного давления q_0 первой прессовки, а нижние — удельного давления q второй прессовки (допрессовки) для напряженной и прессовой посадок листов на вал. Напряженная посадка второго класса точности применяется для двигателей общего применения, а прессовая — только для двигателей, работающих в тяжелых динамических режимах с торможением противотоком и т. п. Следует отметить, что увеличение натяга посадки листов снижает производительность сборки сердечника.

Приведенные на рисунке значения удельных давлений надо умножить на расчетную площадь листа, которая определяется по формуле

$$F = \frac{\pi}{4} (D_n^2 - d^2) - F_0, \quad (4-4)$$

где D_n — диаметр сердечника, измеренный по середине пазов, см;

d — диаметр вала, см;

F_0 — площадь аксиальных вентиляционных каналов, см².

Тогда усилие прессовки сердечника

$$Q_0 = q_0 F, \quad (4-5)$$

а усилие допрессовки

$$Q = q F. \quad (4-6)$$

Усилие, необходимое для напрессовки на вал втулки, запирающей сердечник в сжатом состоянии, определяется следующим образом.

Удельное давление между валом и втулкой, вызываемое действием упругих сил растягиваемой втулки и сжимаемого вала, в общем виде выражается формулой

$$p = \frac{E\delta}{\left(1 - \mu + \mu_1 \frac{E}{E_1}\right) + \frac{E}{E_1} \left(\frac{\alpha^2 + 1}{\alpha^2 - 1}\right)} [\kappa\Gamma/\text{см}^2], \quad (4-7)$$

где E — модуль упругости материала вала, $\kappa\Gamma/\text{см}^2$;

E_1 — модуль упругости материала втулки, $\kappa\Gamma/\text{см}^2$;

μ — отношение поперечного сжатия сечения к удлинению при растяжении для материала вала;

μ_1 — то же для материала втулки;

δ — относительный натяг, равный $\frac{\Delta}{d_1}$;

Δ — абсолютный натяг по таблице допусков, см;

d_1 — номинальный диаметр вала, см;

$$\alpha = \frac{d_2}{d_1}, \quad (4-8)$$

где d_2 — внешний диаметр втулки, см.

Для случая, когда вал и втулка стальные ($E = E_1 = 2,1 \cdot 10^6 \kappa\Gamma/\text{см}^2$, $\mu = \mu_1 = 0,25$),

$$p = 105 \cdot 10^4 \left(1 - \frac{1}{\alpha^2}\right) \delta [\kappa\Gamma/\text{см}^2]. \quad (4-9)$$

Для стального вала ($E = 2,1 \cdot 10^6 \kappa\Gamma/\text{см}^2$, $\mu = 0,25$) и чугуновой втулки ($E_1 = 1,05 \times 10^6 \kappa\Gamma/\text{см}^2$, $\mu_1 = 0,25$)

$$p = \frac{\alpha^2 - 1}{3,25\alpha^2 + 0,75} E\delta [\kappa\Gamma/\text{см}^2]. \quad (4-10)$$

Очевидно, что δ и Δ имеют два значения, одно из которых соответствует максимальному натягу, а другое — минимальному. Соответственно и p будет иметь два значения $p_{\text{макс}}$ и $p_{\text{мин}}$.

Максимальное усилие запрессовки втулки будет

$$P_{\text{макс}} = p_{\text{макс}} f_1 S, \quad (4-11)$$

где f_1 — коэффициент трения, равный 0,15;

S — поверхность соприкосновения между валом и втулкой, равная $\pi d_1 l$, см²;

l — длина втулки, см.

Таким образом, суммарное усилие, которое должно развиваться прессом, определяется как

$$Q + P_{\text{макс}}. \quad (4-12)$$

Для того чтобы убедиться в том, что сила сцепления втулки с валом достаточна, чтобы реакция сердечника не сдвинула втулку, надо сопоставить значения $P_{\text{мин}}$ и Q ;

$$P_{\text{мин}} = p_{\text{мин}} f_2 S, \quad (4-13)$$

где f_2 — коэффициент трения при сдвиге втулки, равный 0,1.

Надежность посадки можно считать достаточной, если

$$\frac{P_{\text{мин}}}{Q} \geq 1,2. \quad (4-14)$$

Для того чтобы втулка удерживала пакеты сердечника в сжатом состоянии, необходимо, чтобы напряжения во втулке даже при максимальном натяге не достигали предела упругости.

Напряжение в стальной втулке определяется по формуле

$$\sigma = 105 \cdot 10^4 \left(1 + \frac{1}{\alpha^2}\right) \delta [\kappa\Gamma/\text{см}^2]. \quad (4-15)$$

Расчет давления прессовки статора определяют по формуле, аналогичной формуле для расчета прессовки сердечника на валу:

$$Q_0 = q_0 F_2, \quad (4-16)$$

где

$$F_2 = \frac{\pi}{4} (D_2^2 - d_2^2); \quad (4-17)$$

здесь D_2 — наружный диаметр статора, *см.*

Диаметр d_2 берут по срединам пазов. Хотя между листами статора и расточкой станины обычно принимают скользящую посадку, но, учитывая шероховатость поверхности значения q_0 , можно брать по рис. 4-25 для напряженной посадки.

При посадке сердечника статора на ребра станины его запирают в спрессованном состоянии поперечными шпонками, которые вставляют сбоку в канавки, проточенные в ребрах станины и нажимных шайбах. Для предохранения шпонок от выпадания концы их загибают или приваривают к нажимной шайбе.

Аналогично запирают роторные сердечники, собираемые на ребрах роторной звезды (рис. 4-28).

4-17. ОБРАБОТКА ПАЗОВ

Пазы перед обмоткой приходится прочищать для снятия заусенцев, а также отдельных выступов и шероховатостей, которые зависят от качества штамповки листов и сборки сердечников. В течение многих лет обработка пазов производилась вручную опилением стенок пазов длинными тонкими напильниками. На это затрачивалось до 30 мин на электродвигатель средней мощности и до 3 ч на двигатель мощностью 100 кВт. В процессе работы напильники быстро тупятся и листы замыкаются через заусенцы, которые тупой напильник приглаживает к стенкам пазов. За счет прогиба напильников ширина паза в середине сердечника получается меньше, чем по краям. Замена ручного труда обработкой пазов дорнами на специальных протяжных станках значительно снижает трудоемкость и повышает качество изделия.

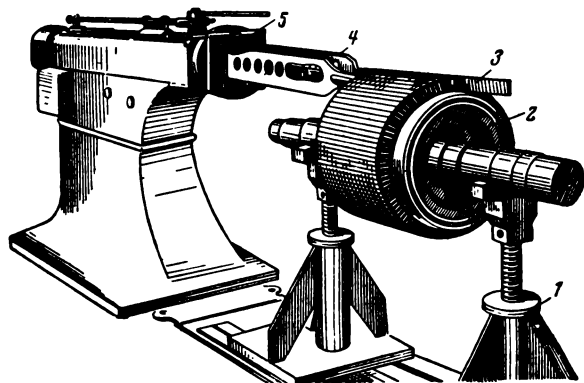


Рис. 4-26. Станок для протяжки пазов.

На рис. 4-26 показана установка для протяжки пазов, состоящая из протяжного станка, механизма закрепления дорна и приспособления для установки ротора. Электродвигатель через редуктор вращает шестиугольный винт, который сообщает поступательное движение гайке по направляющим станины. С гайкой механически связана оправка 5, в которой закрепляется хвостовик дорна 3. Дорн представляет собой клинообразный стержень из инструментальной стали, форма сечения которого соответствует пазу. На нем нарезаны режущие зубья. Дорн входит в паз тонкой стороной и, проходя через него, начинает снимать выступы на его стенках. Последние четыре зуба с более тупыми углами резания являются калибрующими и придают пазу окончательные размеры, одинаковые по всей длине сердечника.

При обработке открытых пазов дорн шарнирно соединяют с оправкой и после обработки одного паза откидывают, поворачивают ротор 2 на одно пазовое деление и вкладывают дорн в следующий паз. Оправка за это время возвращается в исходное положение.

При обработке полузакрытых пазов приходится перед обработкой каждого паза разъединять хвостовик дорна с оправкой, вдвигать дорн в паз с торца узким концом и снова соединять его с оправкой. Для того чтобы дорн не отгибал зубцы, к торцу ротора подводится подвижной регулируемый упор 4, который воспринимает усилие резания. Ротор устанавливают на две стойки 1, в которых шейки вала поддерживаются роликовыми опорами.

Обработка пазов на протяжных станках все же является трудоемкой операцией и увеличивает потери в стали за счет замыкания листов, хотя и в меньшей степени, чем опиление стенок пазов. Поэтому следует добиваться отмены обработки пазов за счет улучшения качества штамповки и сборки сердечников.

4-18. РОТОРНЫЕ ВТУЛКИ

В машинах постоянного тока и асинхронных двигателях листы якоря и ротора диаметром до 300—350 мм набирают непосредственно на вал. При больших диаметрах, особенно в многополюсных машинах, разница между диаметром вала, определяемым по расчету на жесткость, и внутренним диаметром ротора, определяемым при электромагнитном расчете, становится значительной и появляется целесообразность насаживать листы ротора не непосредственно на вал, а на промежуточную втулку. Втулка ротора, состоящая из ступицы с радиальными ребрами, носит название «роторная звезда».

В старых конструкциях втулки отливали из чугуна и они имели очень большой вес. В современных машинах втулки выполняют сварными. В сварных втулках достигнута большая экономия веса и механической обработки по сравнению с литыми.

При сварной конструкции появляется возможность приваривать ребра непосредственно к валу, что дает большую экономию металла

за счет отсутствия ступицы. Кроме того, при этом отпадает необходимость обработки средней части вала. В 30-х годах такие роторные звезды применялись для асинхронных двигателей (рис. 4-27). Это была самая простая и легкая по весу конструкция с минимальной обработкой. Однако вследствие влияния сварки на структуру вала и появления больших концентраций напряжений в сечениях вала у торцов ребер стали наблюдаться поломки валов и приварка ребер к валу была заменена сварными крестовинами с кольцевыми ступицами.

Следует отметить, что избежать поломок вала можно было и при прежней конструкции путем введения термической обработки после сварки.

На рис. 4-28 показана конструкция сварной роторной звезды машины средней мощности. Она состоит из двух колец 1, напрессованных на вал с приваренными к ним ребрами 2, между которыми вварены распорки 3. Технологический процесс изготовления производят в такой последовательности. Обрабатывают вал, насаживают на него кольца 1 горячей посадкой, приваривают к ним ребра 2, между которыми вваривают распорки 3. Средняя часть вала остается необработанной. Такая роторная звезда представляет одно целое с валом, как и показанная на рис. 4-27, но она тяжелее и более трудоемка. Если требуется иметь разборное соединение роторной звезды с валом, то ее сваривают, обрабатывают и напрессовывают на вал.

Часто электромашиностроительные заводы, руководствуясь только снижением трудоемкости машин, выполняют крупные многополюсные машины с посадкой листов непосредственно на вал. При этом высота спинки ротора во много раз превышает величину, получаемую при электромагнитном расчете, и электротехническая сталь используется как конструкционный материал, заменяющий собой втулку, что резко повышает потребление электротехнической стали и утяжеляет машину. При этом стоимость роторной звезды сопоставляют со стоимостью отходов электротехнической стали, которые остаются при вырубке внутреннего отверстия ротора. При такой калькуляции результаты экономических расчетов получаются не в пользу применения роторной звезды, так как отходы электротехнической стали стоят очень дешево (см. § 3-7).

При объективных экономических расчетах следовало бы стоимость роторной звезды со-

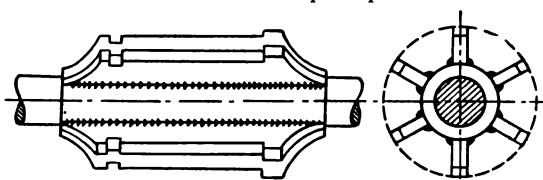


Рис. 4-27. Вал с приваренными ребрами.

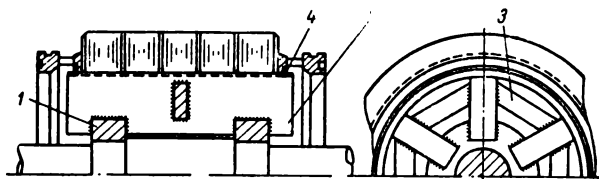


Рис. 4-28. Роторная втулка.

поставлять со стоимостью кружков, получаемых при вырубке внутреннего отверстия ротора, которые могут быть использованы для других машин меньшей мощности. При этом следует учитывать, что при штамповке из кружков отсутствуют наружные отходы, и поэтому они представляют большую ценность, чем листовая сталь, из которой их обычно штампуют. При использовании внутренних отходов от штамповки листов ротора для машин меньшей мощности целесообразно выбирать внутренний диаметр листа ротора также из таблицы нормальных диаметров. Тогда за один удар штампа получатся внутреннее отверстие в листе статора и готовая заготовка для листов машины меньшей мощности (см. § 3-7.)

Кроме экономических преимуществ применение роторных втулок дает еще значительные упрощения технологических процессов:

- 1) сборка и прессовка сердечников ротора могут производиться без вала;
- 2) при обмотке роторов без вала уменьшаются габариты пропиточных ванн и сушильных печей;
- 3) достигается независимость технологических процессов изготовления ротора и вала, которые могут производиться параллельно;
- 4) упрощаются транспортировка и хранение деталей в процессе производства;
- 5) отпадает необходимость вырубать вентиляционные отверстия в листах ротора.

4-10. ШИХТОВКА СЕРДЕЧНИКОВ ИЗ СЕГМЕНТОВ

Шихтовка сердечников из сегментов значительно сложнее, чем из целых листов, поэтому сегменты никогда не применяют при наружном диаметре сердечника менее 990 мм. Удобство сегментировки должно учитываться уже при проектировании машины.

Существуют два способа шихтовки сегментов: слоевой и винтовой. Необходимым условием слоевой шихтовки является целое число сегментов в окружности. Если это условие нельзя выполнить, то прибегают к винтовой шихтовке. Она называется так потому, что при обходе окружности статора последний сегмент

Основные способы сегментировки

а) б) в)	Число пазов статора z кратно	Число сегментов в окружности статора C	Число пазов в сегменте $z_c = \frac{z}{C}$	Перекрытие слоев на часть сегментов	Число шпонок в сегменте	Рисунок
		6	Четное, кратное 3	Четное, не кратное 3	$1/2$	2
	6	Нечетное, кратное 3	Четное, не кратное 3	$1/2$	2	а или б
	6	Четное, кратное или не кратное 3	Нечетное, кратное 3	$1/3$	3	в
	3	Нечетное, кратное или не кратное 3	Нечетное, кратное 3	$1/3$	3	в

мент перекрывает первый и укладка их производится как бы по винтовой линии.

При слоевой шихтовке стыки сегментов одного слоя перекрываются сегментами другого слоя. Различают двухслойную и трехслойную шихтовку. Первая применяется при четном числе пазов в сегменте, когда сегменты одного слоя перекрывают сегменты другого на половину их длины. Тогда все четные слои будут иметь одинаковое расположение стыков, а в нечетных стыки сегментов будут сдвинуты по отношению к четным.

Если число пазов в сегменте нечетное и кратно 3, то нельзя выполнить двухслойную шихтовку. Тогда сегменты каждого слоя сдвигают на $1/3$ их длины и получается трехслойная шихтовка. Расположения стыков будут совпадать в слоях 1, 4, 7 и т. д. В соответствии со способами шихтовки должны быть расположены и элементы крепления в сегментах, к которым относятся: отверстия для стягивающих шпилек, шпоночные канавки, канавки под ласточкины хвосты и т. п.

Основные способы сегментировки представлены в табл. 4-3.

Крепление сегментов в зависимости от размеров сердечника и сдвигающих усилий может быть выполнено различными способами.

В первых электрических машинах с сердечниками из сегментов крепление их производилось ласточкиными хвостами. В сегментах штамповали пазы трапецидальной формы, клинья привертывали винтами к роторной

звезде или к станине. Такой способ крепления является очень сложным в отношении сопряжения сегментов с клиньями по их размерам и по шагу. При мелкосерийном производстве сборка сердечников сопровождалась индивидуальной пригонкой сегментов к клиньям и потому была малопродуктивной. При сборке приходилось сегменты прогонять по всей длине клина.

Поэтому при увеличении масштабов производства были разработаны конструктивные и технологические способы упрощения сборки сегментированных сердечников.

Легче всего решить эту проблему удалось для статоров машин переменного тока мощностью 1 000—5 000 кВт. В сегментах статора штампуют два открытых паза со скошенными осями (рис. 4-29), а в станину вваривают круглые стержни.

Сегмент надевается на стержни в любом положении, если его слегка согнуть. Таким образом отпала необходимость прогонять сегменты по всей длине стержня и шихтовка ускорилась в несколько раз.

В роторах тихоходных машин сегменты удерживаются трением между ними, развиваемым при прессовке их шпильками, пропущенными через отверстия в сегментах (рис. 4-30).

Роторная звезда состоит из массивной стальной втулки 1, к которой приварены три диска 2 с вырезами для прохода воздуха. Кроме кольцевых швов они скреплены с втулкой радиальными ребрами 3. К дискам и ребрам приварены продольные балки 4, в которые вставлены шпонки 5. Сердечник ротора состоит из сегментов 6, в которых выштамповано по две шпоночные канавки и по два отверстия для стягивающих шпилек. В окружности ротора 12 сегментов. Сегменты соседних слоев сдвинуты относительно друг друга на половину их длины. Таким образом, сегменты одного ряда надеваются на шпонку средней канавки, а сегменты другого ряда надеваются на две шпонки канавками половинной ширины, выштампованными по концам сегмента. К крайним дискам приварены бобыш-

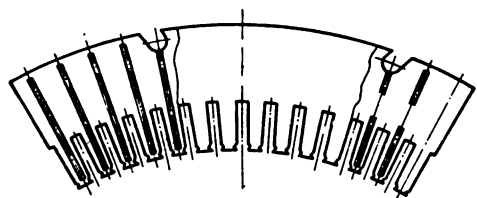
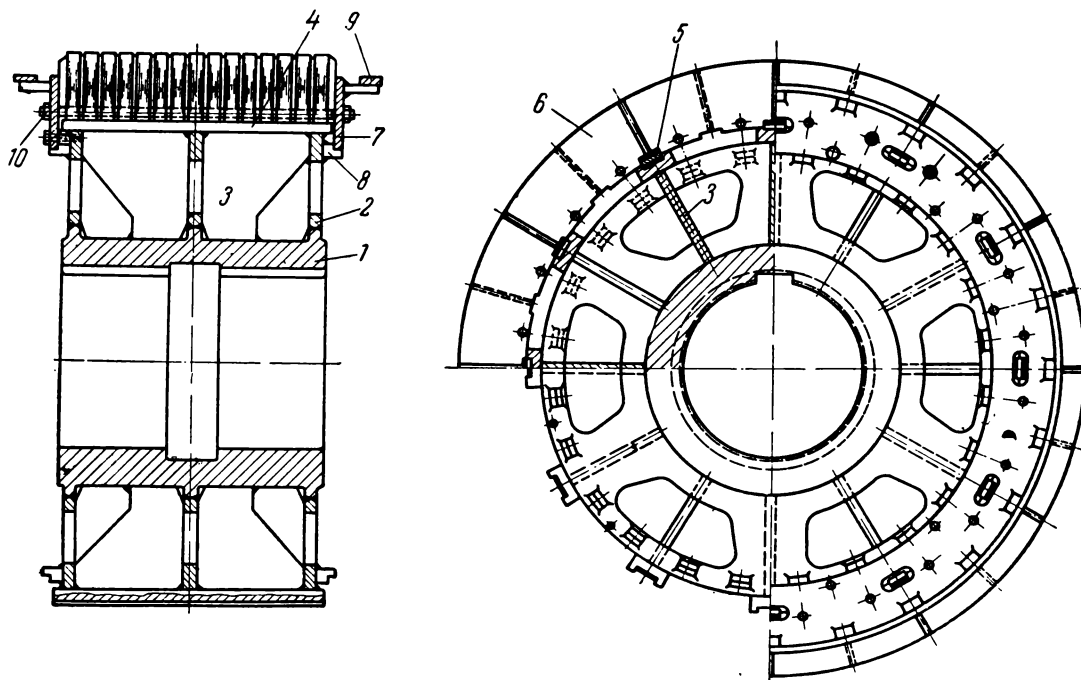


Рис. 4-29. Сегмент статора.



[Рис. 4-30. Сегментированный ротор.]

ки 8, на которых центрируются нажимные шайбы 7 с приваренными к ним обмоткодержателями 9. Сквозь весь сердечник проходят 24 шпильки 10, которые спрессовывают сердечник ротора и удерживают сегменты от перемещения под действием центробежных сил.

Втулка 1 имеет кольцевой канал, образованный в процессе отливки. Разделение посадочной поверхности на два кольцевых пояса дает возможность избежать конусности обрабатываемых отверстий за счет затупления реза. Посадочные поверхности имеют разные диаметры. Это упрощает обработку отверстий, которая может быть произведена за одну установку на станке со стороны большего диаметра. Ступенчатая посадка ступицы на вал упрощает также процесс прессовки, так как звезда напрессовывается на вал одновременно по двум посадочным поверхностям. Благодаря этому снижается длина хода пресса и устраняется возможность перекоса ротора в начале прессовки. На валу перед началом каждой посадочной поверхности делают так называемые заходные конусы.

Аналогично выполняют якоря машин постоянного тока с сегментированными сердечниками. При этом коллектор насаживают не на вал, а на ступицу якорной звезды (см. рис. 5-24) или крепят к ней болтами. Бла-

годаря этому петушки коллектора не подвергаются деформациям при прогибах вала. Кроме того, такое крепление коллектора позволяет производить обмотку якоря без вала и упрощает замену вала в случае поломки.

Однако для крупных реверсивных машин нельзя обойтись без ласточкиных хвостов. На заводе «Электросила» разработана надежная и технологичная конструкция крепления сегментов [Л. 4-9]. Выступы 2 в форме ласточкиных хвостов (рис. 4-31) выштампованы в сегментах якоря и центрируются при сборке на ребрах 1 якорной звезды. Часть выступов входит в трапециевидальные пазы балок 3 и расклинивается клиньями 4 Балки 3 после сборки сердечника приваривают к якорной звезде. Таким образом отпадают требования точной пригонки ласточкиных хвостов при сборке. Сердечник стягивают шпильками 5.

4-20. СБОРКА РАЗЪЕМНЫХ СЕРДЕЧНИКОВ ГИДРОГЕНЕРАТОРОВ

Статоры крупных гидрогенераторов по условиям транспортировки делаются разборными из четырех—шести частей. Сегменты статора крепятся к брусам прямоугольного сечения с простроганными на них ласточкиными хвостами, которые в гидрогенераторах называют клиньями, а в турбогенераторах — ребрами остова статора.

На рис. 4-32,а показано крепление сегментов 2 на клиньях 1 при двухслойной шихтовке. В четных слоях, шихтовка которых показана пунктиром, в местах стыков частей статора ставят дополнительные сегменты 3, которые вдвое короче основных.

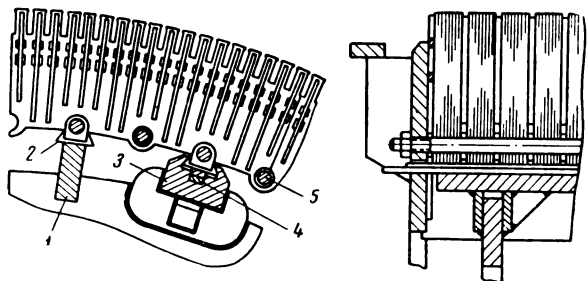


Рис. 4-31. Сегментированный якорь.

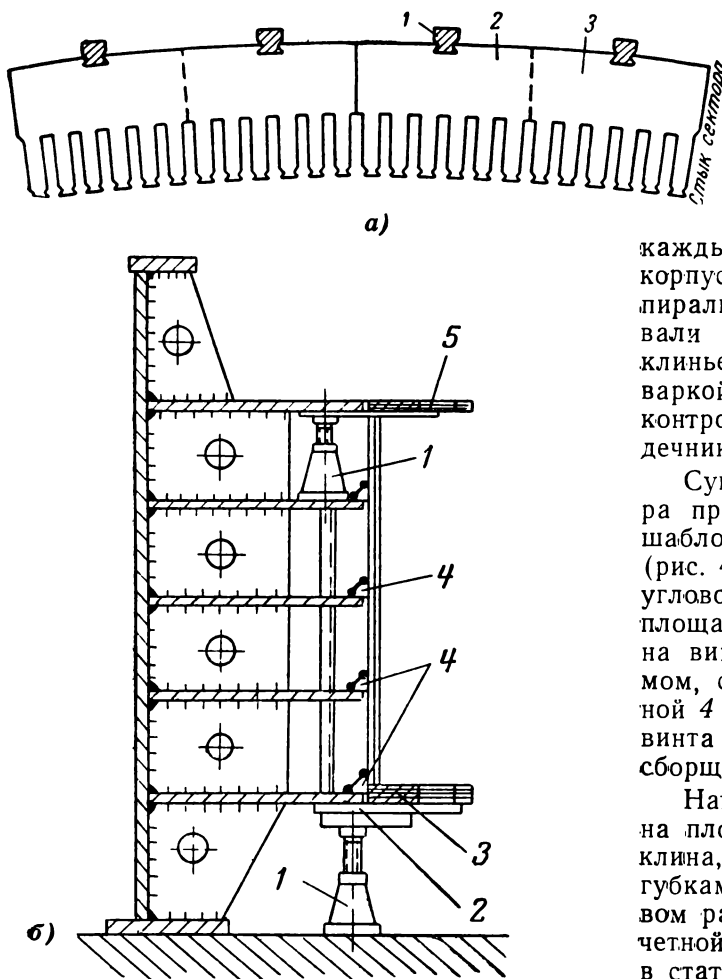


Рис. 4-32. Разгонка клиньев.

Сборке сердечника предшествует приварка клиньев к корпусу статора. При этом должны быть выдержаны шаг между клиньями по окружности и расстояние их от центра, так как статоры крупных гидрогенераторов после сварки не обрабатываются. Эта операция носит название «разгонка клиньев».

ев». На рис. 4-32,б показаны разрез корпуса статора гидрогенератора и процесс разгонки клиньев по старой технологии. В качестве шаблонов для расстановки клиньев служили два контрольных пакета 3 и 5, выложенных по всей окружности статора, из 35—40 слоев каждый. Предварительно на нижнюю полку корпуса клали нажимные гребенки 2 и подпирали их домкратами 1. Клинья устанавливали вертикально по отвесу. Соединения клиньев с ребрами корпуса производили приваркой призм 4. Затем разбирали верхний контрольный пакет и начинали сборку сердечника.

Существенное изменение шихтовки статора произошло после введения специальных шаблонов для разгонки клиньев. Шаблон (рис. 4-33) состоит из фермы 1, сваренной из угловой стали. К ферме приварены четыре площадки 2, к каждой площадке прикреплены винтами накладная пластина 3 с зажимом, состоящим из двух губок: неподвижной 4 и подвижной 5. Придвигая с помощью винта 6 подвижную губку к неподвижной, сборщик зажимает клин в гнезде.

Накладные пластины устанавливаются на площадках фермы так, что все четыре клина, будучи прижатыми к неподвижным губкам зажимов, оказываются на одинаковом расстоянии друг от друга и на дуге расчетной окружности расположения клиньев в статоре.

Конструкция шаблона предусматривает перестановку накладных пластин 3 на широких площадках 2 при переналадке шаблона на другой тип гидрогенератора. Такая переналадка шаблона производится в инструментальном цехе слесарями-лекальщиками с точностью 0,03—0,05 мм. Таким образом отпадает необходимость изготовления нового шаблона для каждого типа гидрогенератора.

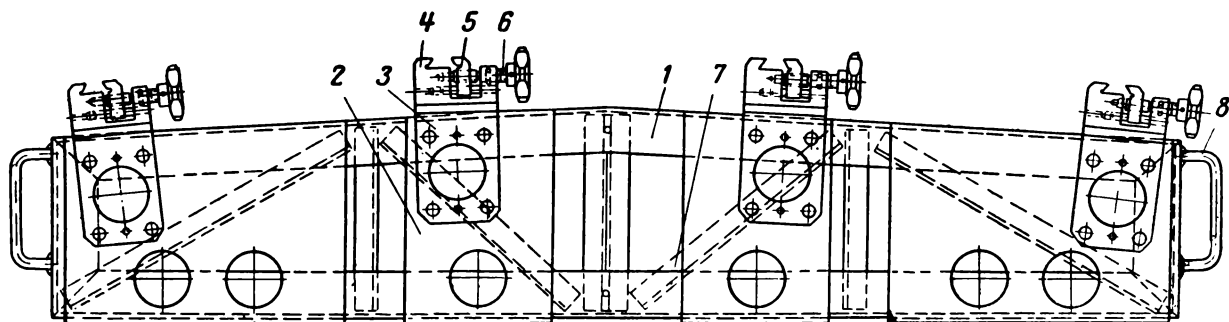


Рис. 4-33. Шаблон для разгонки клиньев.

В работе одновременно находятся два шаблона: один внизу, другой наверху статора. Шаблоны устанавливают на кронштейнах, которые крепятся к полкам статора.

Первый клин устанавливают на определенном расстоянии от плоскости разъема статорного кольца и на требуемом расстоянии от центра статора вертикально по отвесу. Клин прихватывают электросваркой к верхней и нижней полкам корпуса. Подвижную губку крайнего левого захвата нижнего шаблона отводят вправо, шаблон надевают на клин, после чего подвижную губку захвата сдвигают влево до отказа, прижимая клин к неподвижной губке. То же самое делают и с верхним шаблоном.

Установив таким образом оба шаблона, сборщик ставит четвертый клин на противоположном конце шаблона и проверяет расстояние от клина до центра статора вращающейся колонкой. После этого четвертый клин прихватывают электросваркой к полкам статора.

Далее снимают шаблоны, переносят их вправо и надевают крайними левыми захватами на четвертый клин. Этот клин становится базой для установки седьмого. Промежуточные клинья пока не устанавливают.

После седьмого таким же способом приваривают десятый, тринадцатый клинья и т. д. Приварка их является временной до тех пор, пока не обойдут всю окружность и не проверят расстояние между первым и последним клиньями. Эти клинья называются базовыми и составляют по количеству $\frac{1}{3}$ общего числа. После установки базовых клиньев начинают установку промежуточных клиньев.

При старой технологии, когда клинья устанавливали по сегментам, положение их часто приходилось корректировать, что занимало много времени. При введении шаблонов число перестановок клиньев резко снизилось, что повысило производительность труда.

Благодаря применению шаблонов ускорилась и сама операция укладки сегментов в статор. Прежде сборщикам приходилось терять время на проталкивание клиньев вследствие их неточного расположения. Теперь листы легко надеваются на клинья, свободно скользят по ним вниз и волны при укладке отсутствуют. Отпали такие операции, как сборка и разборка верхнего кольца сегментов для разметки клиньев. Шаблонами пользуются также для проверки правильности расположения статорных клиньев после их окончательной приварки к полкам статора.

С введением шаблонов значительно улучшилось качество сборки статора. Прежде не

удавалось добиться точного совпадения пазов для укладки обмотки. Смещение зубцов вело к образованию на стенках пазов гребенки, которую снимали напильниками. Все же пазы оставались неровными и обмотчикам приходилось подбирать стержни обмотки с более тонкой изоляцией. Это намного замедляло укладку обмотки.

Теперь напильники в производстве статоров совершенно не нужны. Допуск на расстояние по хорде между клиньями не должен превышать 0,5 мм. Многочисленные замеры, производимые контролерами, показывают, что фактические отклонения значительно меньше допустимых.

Прессовка активной стали крупных электрических машин является очень трудоемкой операцией. Так, например, на статоре гидрогенератора Волжской ГЭС имени В. И. Ленина требуется затянуть 258 гаек с резьбой М-42. При этом создается удельное давление между листами, равное 15 кг/см^2 . Если давление меньше или больше этой величины, то увеличиваются магнитные потери.

Механизация прессовки активной стали статоров крупных машин не только позволяет увеличить производительность труда, но и обеспечивает высокое качество прессовки. Этим условиям удовлетворяет пневматический сболчиватель поршневого действия, который состоит из трех основных частей (рис. 4-34): пускового *a* и поршневого *b* механизмов и кулисного устройства *в* [Л. 4-8].

Пусковой механизм состоит из рукоятки *1*, в которой запрессована втулка *2* с вентилем *3*. Фасонная гайка *4*, служащая для присоединения сболчивателя к воздушной сети через резиновый шланг, ввинчена в рукоятку. На втулку надета букса *5*, которая винтом *6* соединена с вентилем. Поворот буксы вправо и влево открывает доступ воздуха из сети. В нижнюю часть рукоятки запрессована золотниковая коробка *7* с золотником *8*.

Поршневой механизм состоит из цилиндра *9* и поршня со штоком *10*, который вставлен в втулку *11*. Через боковые продольные прорезы втулки и отверстие в штоке вставлен палец *12*, на концах которого надеты сухари *13*, перемещающиеся в пазу шатуна. Таким образом, поршневой механизм связан с кулисным устройством.

Кулисное устройство состоит из шатуна *14*, в отверстие которого вставлена зубчатая втулка *15*. Во впадины зубчатой втулки вложены цилиндрические ролики *16*, для заклинивания которых между площадками впадин зубчатой втулки и стенкой вставлены ленточные стальные пружинки *17*.

На обоих кожухах зубчатой втулки нарезана правая и левая резьба, на которую навинчены шестигранные муфты *18*, вращающиеся во втулках, запрессованных в корпус *19*. Тормозная пружина *20* удерживает на месте зубчатую втулку.

Завинчивание гаек производится следующим образом: сболчиватель правой шестигранной муфтой надевают на гайку и упирают корпусом через деревянную

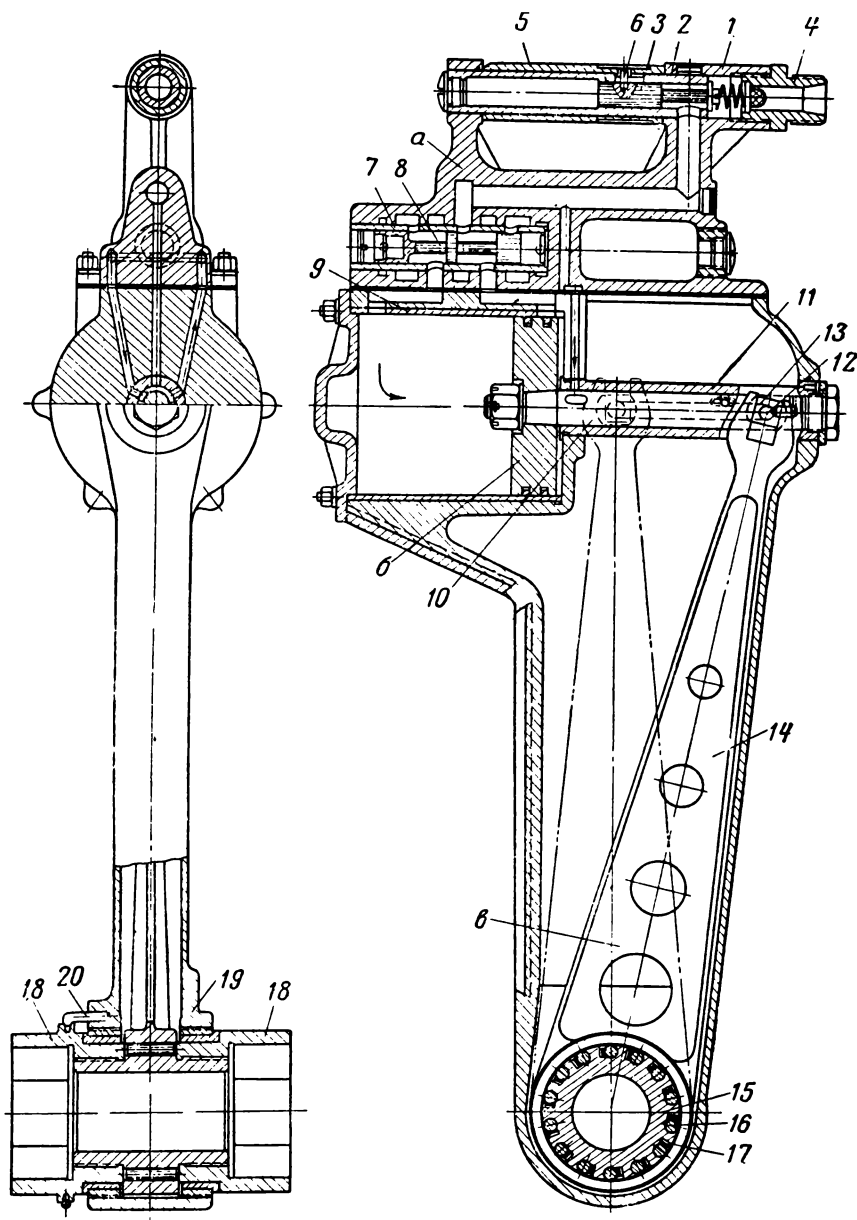


Рис. 4-34. Пневматический сболчиватель.

прокладку в какую-нибудь выступающую часть станины; правой рукой берут за рукоятку, а левой поддерживают корпус и поворотом правой рукоятки включают сболчиватель в сеть.

Пневматический сболчиватель создает крутящий момент, равный $13\,000 \text{ кг} \cdot \text{см}$. Затягивание гаек пневматическим сболчивателем производят при давлении воздуха в сети $3,8\text{—}2,2 \text{ ат}$ до полной его остановки. По сравнению с ручной затяжкой производительность труда возрастает в $6\text{—}8$ раз. Гайки отвинчивают, поворачивая ключ на 180° по отношению к завин-

чиваемой гайке. Правая шестигранная муфта служит для завинчивания, а левая для отвинчивания гаек.

Сборка сердечника гидрогенератора является очень трудоемкой. Достаточно сказать, что для сталинградского гидрогенератора надо уложить 200 тыс. сегментов. Трудоемкость сборки сердечника равна 2 400 нормо-часам, а продолжительность цикла 20 суток.

В целях снижения трудоемкости проводится ряд конструкторско-технологических меро-

приятый. Для уменьшения потребной плитовой площади необходимо заменить сборку сердечника в кольце сборкой по отдельным частям статора — «шестеркам». Это позволит увеличить число одновременно собираемых сердечников и снизить продолжительность цикла. Чтобы не прогонять каждый сегмент по всей длине клина, превышающей 2 м, в клиньях фрезеруют косые поперечные прорезы. Благодаря им можно сегмент надевать на клинья в средней их части. Расстояние между прорезами берут около 500 мм. Значительного ускорения процесса сборки можно добиться, набрав сегменты не по одному, а пачками по 10—20 шт. При точной разгонке клиньев это вполне возможно. Сборку сегментов пачками можно сочетать с прорезями на клиньях. Ручную прессовку пакетов заменяют механической при помощи гидравлических прессов.

4.21. СБОРКА СЕРДЕЧНИКОВ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ

Сборка сердечников турбогенераторов имеет специфические особенности. Во-первых, чтобы спрессовать сердечник огромной длины, достигающей 6,25 м для турбогенератора ТВ2-150-2, приходится проводить 12 прессовок сердечника по частям. Во-вторых, малый диаметр расточки статора, составляющий 1,2 м, заставляет проводить операции шихтовки в узком пространстве, что снижает производительность труда.

Процесс шихтовки и прессовки сердечника производится в такой последовательности. Сначала нарезают прутки двутаврового профиля для вентиляционных распорок и рихтуют их. После промывки в керосине распорки сортируют группами по размерам 9,75—10 и 10,1—10,25 мм. Распорки приваривают к сегментам в приспособлении, обеспечивающем точность расположения шага распорок в пределах ± 2 мм. Затем производится подготовка крайних сегментов с нажимными пальцами. Для этого размечают и просверливают отверстия в сегментах под заклепки, приклепывают к ним нажимные пальцы.

Статорные ребра, на которых собирают сегменты, опиливают после строжки и рихтуют плоскости и боковые стороны ребер.

Одновременно идет подготовка скобочек и прокладок для термометров сопротивления и выводных кабелей. Термометры вкладывают в соответствующие пакеты статора согласно чертежу.

Корпус статора устанавливают на плиту стороной возбuditеля вверх. К торцу статора приставляют опорное кольцо 3, закрепляют

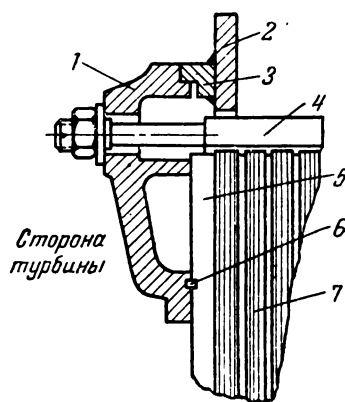


Рис. 4-35. Статор турбогенератора.

1—кольцо нажимное; 2—полка корпуса статора; 3—кольцо опорное; 4—ребро статора; 5—палец нажимной; 6—шпонка, кольцо вая; 7—пакет сердечника.

его струбцинами и приваривают опорное кольцо к полке 2 корпуса статора (рис. 4-35). Затем повертывают корпус статора стороной турбины вверх и укрепляют его на плите. При этом проверяют вертикальность плоскости лап и параллельность верхнего торца корпуса по отношению к плите. После этого приваривают верхнее опорное кольцо. В центре плиты устанавливают центровочную колонку, выверяя ее по заточкам в опорных кольцах по радиусу с точностью до $\pm 0,5$ мм.

Далее производят установку, разгонку и приварку ребер 4 статора, для чего размечают полки корпуса 2 под автономную резку. Базой для разметки в радиальном направлении служит колонка. После газовой резки зашлифовывают и зачищают полки корпуса; на верхнее опорное кольцо со стороны турбины накладывают нажимное кольцо 1 статора, навешивают ребра статора, закрепив их гайками, выверяют расстояния от ласточкиного хвоста на ребре до опорных колец со стороны турбины и со стороны возбuditеля, устанавливают угольники и приваривают их ко всем ребрам статора, начиная от нижней полки, пользуясь деревянным настилом. Затем отцентровывают ребро, расположенное по вертикальной оси корпуса статора, проверяют его вертикальность к полкам корпуса. Точность центровки $+0,5$ мм по радиусу.

Очень ответственной операцией является разгонка ребер, при которой производятся центровка ребер с допуском $+0,5$ мм и расстановка их по окружности. Разгонка выполняется при помощи специального шаблона, аналогичного показанному на рис. 4-33, в который зажимают ребра по одному и прихватывают электросваркой к полкам корпуса. Правильность разгонки ребер по шагу и радиусу про-

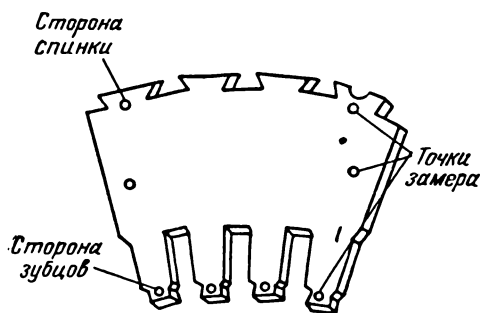


Рис. 4-36. Пакет сердечника статора турбогенератора.

веряют шаблоном и микрометром и результаты измерений заносят в формуляр. Затем прикрепляют верхнее нажимное кольцо статора и снимают его и центровочную колонку.

Статор снова поворачивают стороной возбуждителя вверх и приваривают угольники к полкам статора электросваркой. Места электросварки зачищают от наплывов и окалины и корпус статора продувают струей сжатого воздуха. Ребра и сегменты воздухоуплотнения окрашивают лаком и проверяют готовность корпуса к сборке сердечника.

В турбогенераторах мощностью свыше 100 тыс. кВт производят калибровку сегментов. Для этого их сортируют на четыре группы по толщине со следующими размерами: 0,40—0,45; 0,46—0,5; 0,51—0,55; 0,56—0,60 мм. Затем набирают и складывают пакет сегментов толщиной согласно чертежу и зажимают струбцинами. При укладке надо следить за тем, чтобы шихтовочные знаки были расположены с одного края сегмента (рис. 4-36). Замеряют толщину пакета в точках, указанных на рисунке, на расстоянии 15—20 мм от края пакета. Измерив отклонение от номинальной толщины пакета в разных точках, рассчитывают отклонение, приходящееся на один сегмент. Обычно наименьшую толщину имеют зубцы сегмента. На зубцы наносят кистью несколько слоев лака, чтобы выровнять пакет до требуемой толщины. Один слой лака имеет толщину 0,01—0,017 мм.

В процессе сборки сердечника в два паза каждого сегмента вставляют калибры, ширина которых соответствует размеру пазы статора в свету плюс 0,35 мм. На нажимное кольцо накладывают один ряд сегментов с приклепанными нажимными пальцами. Затем производят сборку первого пакета статора. Сегменты должны надеваться на клинья и сборочные калибры свободно. Нельзя допускать загибов листов и вылучивания сегментов у клиньев. В процессе укладки сегменты прижимают с помощью осадочной оправки. Укладку сегментов производят по окружности, следя за тем, что-

бы каждый слой состоял из сегментов одинаковой толщины.

По мере укладки сегментов рихтуют пазы и вставляют сборочные калибры в пазы, лежащие против клиньев статора. Когда первый пакет будет набран, производят замер толщины пакета со стороны зубцов и со стороны спинки статора в доступных местах. Замер производится против каждого ребра статора. Разницу в толщине пакетов в турбогенераторах мощностью выше 100 тыс. кВт выравнивают путем покрытия сегментов лаком, а в турбогенераторах 1,5—50 тыс. кВт—при помощи прокладок из электрокартона. Замер толщины пакета производят метром или линейкой. Между пакетами укладывают сегменты с вентиляционными распорками. Сборка следующих пакетов производится аналогично до получения общей длины собранных пакетов, при которой должна происходить первая прессовка. Корпус статора снимают с плиты и устанавливают на гидропресс, выверив его так, чтобы прессовая колонка находилась в центре корпуса.

В сжатом состоянии производят следующие контрольные операции:

а) Контрольным ножом толщиной 1,5 мм проверяют плотность прессовки; при этом контрольный нож не должен входить между листами глубже чем на 3 мм.

б) Измеряют толщину пакетов в нескольких точках по окружности. При наличии отклонений от толщины, указанной в чертеже, необходимо добавить или убавить требуемое число слоев, доведя длину сердечника до размера, указанного в чертеже.

в) Проверяют величину волны со стороны спинки статора. Результаты прессовки заносят в формуляр. После этого снимают давление пресса, разбирают приспособления для прессовки и дальнейшую сборку сегментов производят на гидропрессе.

Число прессовок для турбогенераторов мощностью до 6 тыс. кВт составляет 3, для турбогенераторов 50 тыс. кВт—6, для турбогенераторов 100 тыс. кВт—10 и 150 тыс. кВт—12.

После сборки последнего пакета укладывают сегменты с нажимными пальцами и производят последнюю прессовку. Высота крайнего пакета по отношению к торцу опорного кольца должна быть такой, чтобы при вторичной прессовке с нажимным кольцом имел место нажим на пальцы, а натяг между нажимным и опорным кольцами составлял 2—3 мм. Результаты проверки прессовки заносят в формуляр.

Опделка статора после сборки заключается в рихтовке пазов калибрами, опилке углов

пазов, выступов вентиляционных листов и ласточкиных хвостов зубцов. Размеры пазов проверяют контрольным калибром, который должен свободно проходить по всей длине паза. Пазы осматривают, освещая их переносной электrolампой. В пазах не должно быть выступающих заусенцев. Результаты отделки пазов тоже вносятся в формуляр.

Затем нарезают отверстия для крепления кронштейнов и шиндержателей, устанавливают дощечки зажимов с выводами от термометров сопротивления, продувают сжатым воздухом все полки и карманы статора. Последней операцией является установка пожарного трубопровода. При этом размечают и нарезают отверстия в корпусе для крепления трубопровода, устанавливают уплотнение и шайбы и привертывают к корпусу винтами. Поверхность сердечника статора покрывают лаком пульверизатором.

4-22. СБОРКА СЕРДЕЧНИКОВ ПОЛЮСОВ

Скрепление листов главного полюса машины постоянного тока (рис. 4-37) производится заклепками, концы которых зашлифованы и развальцовываются под давлением кернов прессы. Таким образом, заклепки получают с потайными головками, которые не занимают лишнего места по длине полюса.

Полюсы машин постоянного тока не обрабатывают, поэтому сборка их должна быть тщательной, чтобы поверхности полюса были ровные.

На рис. 4-38 показано универсальное приспособление для сборки полюсов широкого диапазона габаритов, которое показало хорошие результаты в работе, заменив 11 индивидуальных приспособлений. Приспособление сварное и состоит из плиты с приваренными к ней стойками. К стойкам привернуты болтами зажимные пластины 1 и 6. Пластины 1 посредством замены прокладки 2 переставляют при переходе от одних размеров полюсов к другим. Перемещением пластины 6 производят зажатие полюса в приспособление. Опорными поверхностями являются плоскости пластин 1 и 6, между которыми зажимают боковые стороны полюса. Запечки полюсного наконечника упираются в торцы этих пластин, к которым листы полюса поджимают упором 5, укрепленным на дверце 4 приспособления. Положение дверцы в зависимости от высоты полюса

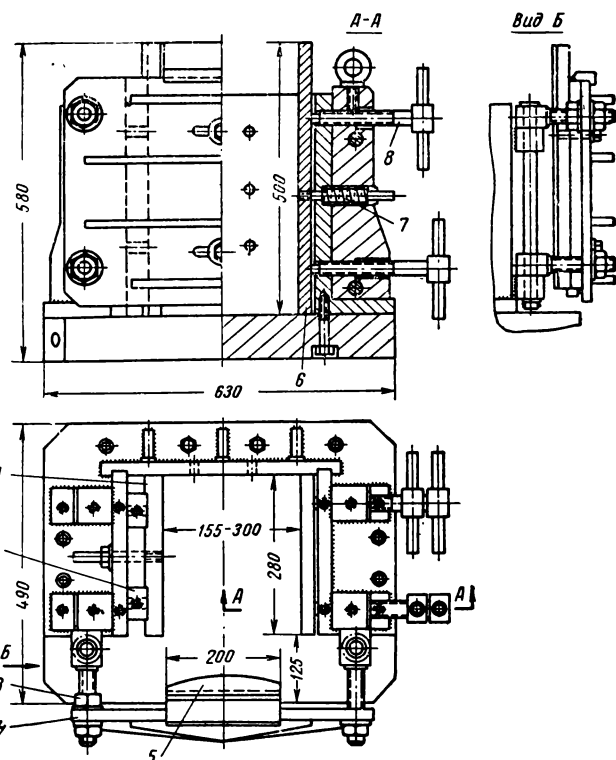


Рис. 4-38. Универсальный сборник для полюсов.

регулируется гайками 3. Зажимание боковых сторон полюса производят вращением нажимных болтов 8. Пружины 7 служат для возврата пластины 6 после отпущения болтов 8.

В задней стенке приспособления сделаны отверстия для установки дополнительных упоров при прессовке полюсов со скошенными запечками наконечника.

Для крепления полюсов к станине в них сверлят отверстия и нарезают резьбу. Сверление и нарезка резьбы в шихтованном сердечнике полюса связаны с рядом трудностей, которые снижают производительность труда и не обеспечивают необходимого качества. Перерезанные сверлом кромки листа загibaются метчиком. При этом резко возрастает усилие резания и часто наблюдается поломка метчиков. Резьба с выкрошенными нитками не обладает достаточной прочностью.

Эмульсия, применяемая при сверлении и особенно масло при нарезке, попадают между листами, запрягают компаундную массу при компаундировании полюсов и ухудшают ее изоляционные свойства.

Если высота полюсной катушки больше высоты сердечника полюса, то при притягивании полюса болтами к станине листы, в которых нарезана резьба, сдвигаются по отношению к другим листам полюса. От этого спинка полюса получается ступенчатой, а между станиной и листами полюса образуется зазор.

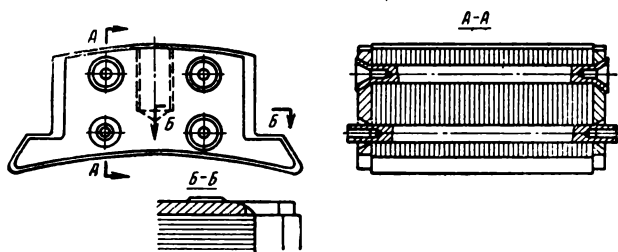


Рис. 4-37. Полюс машины постоянного тока.

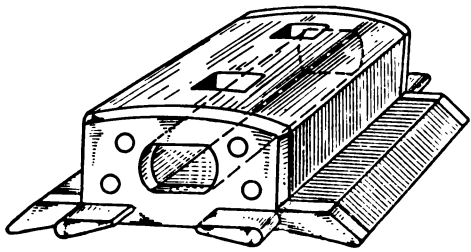


Рис. 4-39. Полюс со стержнем.

Все эти недостатки устраняются, если внутри полюса запрессован стержень с нарезанной в нем на станке резьбой (рис. 4-39); для того чтобы болты могли ввертываться в резьбу стержней, в части листов полюса сделаны вырезы и при сборке образуются квадратные окна. Шихтовку полюса надо выполнять так, чтобы окна приходились против отверстий в стержнях.

Полюсы со стержнями находят применение в машинах постоянного тока, особенно при тяжелых условиях работы, и в синхронных машинах с явно выраженными полюсами и с креплением их к ободу ротора болтами.

Специфические особенности представляет сборка полюсов гидрогенераторов [Л. 19]. Полюс состоит из штампованных листов 2 (рис. 4-40) и двух щек 1, стянутых шпильками 4, с накрученными на них гайками 6.

Наиболее сложной деталью полюса является щека. Их изготавливают или отливкой из марганцовистой стали или поковкой с последующей обрезкой контура газовой горелкой по контуру. Во втором случае уменьшается количество операций механической обработки. Щека имеет цилиндрическую торцовую поверх-

ность, соответствующую форме катушки, и углубления для гаек, которые не должны выступать над поверхностью щеки. Сборку полюса сначала производили в вертикальном положении, но, ввиду того что высота его достигает 2,5 м, это затрудняет работу. Поэтому в настоящее время сборку производят в горизонтальном положении в специальном приспособлении, снабженном цилиндрами для подпрессовки листов. Окончательную прессовку производят на горизонтальном гидравлическом прессе, создающем давление 80—100 кг/см² поверхности листа. Для предохранения от искривлений полюс при прессовке зажимается сверху и с боков вспомогательными гидравлическими цилиндрами.

Листы полюса, прилегающие к щекам, сфрезеровывали по ширине сердечника, чтобы они не повредили изоляцию катушки. Эту операцию удалось отменить, применяя для крайних листов отдельный штамп. Получающиеся уступы заполняют гетинаксовыми клиньями. Перед надеванием катушки 8 полюс изолируют микафолием 3. Изоляцию обжимают в специальном приспособлении и запекают в печи.

В последнее время изоляцию боковых створон полюса и щек стали изготавливать из асбо-текстолита в пресс-формах. Отдельные части изоляции склеивают клеем БФ-2.

В полюсных башмаках выштампованы отверстия для стержней 7 успокоительной обмотки. Перед забиванием стержней отверстия раскернивают при помощи специального станка, передвигающегося по рельсам. На стержни надевают планки 5 и спаивают медно-фосфористым припоем. Полюсы с надетыми катушками собирают и отправляют на место монтажа.

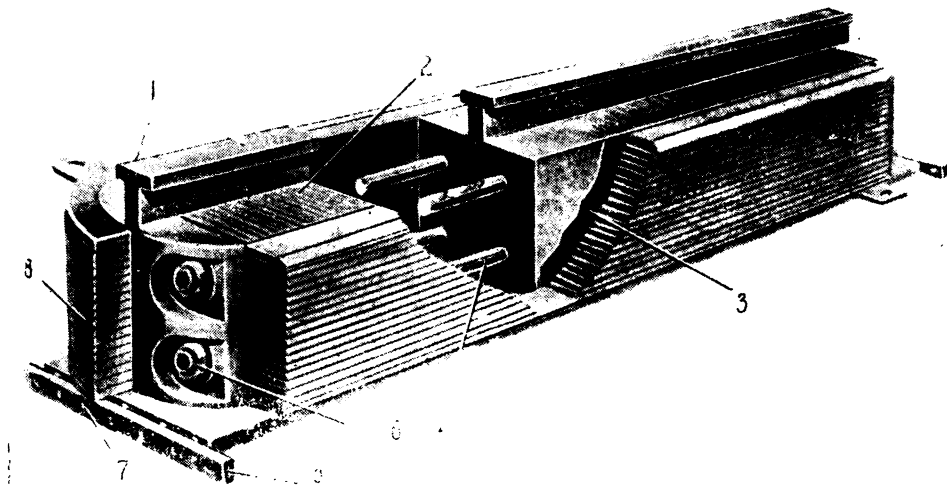


Рис. 4-40. Полюс гидрогенератора

4-23. КОНТРОЛЬ СЕРДЕЧНИКОВ

В электрических машинах повреждение изоляции листов приводит к увеличению потерь в стали и повышению нагрева в местах замыканий. В турбогенераторах такое повреждение грозит вызвать весьма тяжелую аварию («пожар в стали»), требующую разборки всей машины. Известны случаи, когда места повреждения изоляции вели к расплавлению стали и из машины вытекало несколько килограммов расплавленного металла. При этом перегорали и стержни обмотки.

В гидрогенераторах потери в месте повреждения изоляции во много раз меньше, так как при большом числе полюсов радиальный размер спинки статора в несколько раз меньше, чем в турбогенераторах.

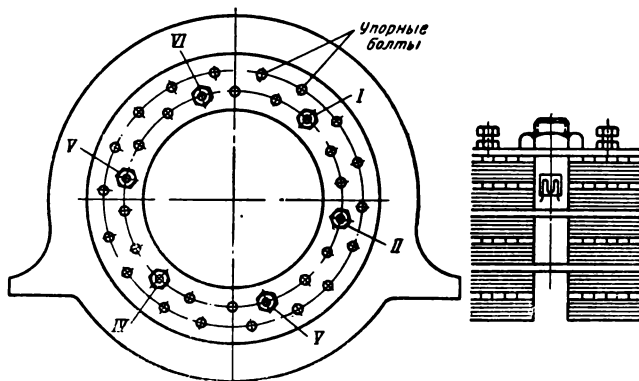


Рис. 4-42. Проверка усилий прессовки сердечника.

сталью. Кроме того, при слабой прессовке под действием аксиальных составляющих переменных магнитных усилий возникают колебания листов с частотой, равной удвоенной частоте тока. Интенсивное периодическое сжатие и ослабление пакетов вызывают появления магнитных шумов и порчу изоляции.

При чрезмерной прессовке происходят снижение сопротивления лаковой пленки и увеличение потерь от вихревых токов. Кроме того, могут возникнуть недопустимые напряжения в стягивающих шпильках при тепловом расширении листов.

Аналитические расчеты усилий прессовки не всегда достаточно точны ввиду наличия ряда неизвестных параметров, например неодинаковой толщины пакета по окружности, трения в резьбе, трения в торцах гаек и т. д.

Для исследования усилий прессовки можно применить измерения растягивающих напряжений в стягивающих шпильках, по которым затем определяют усилия прессовки листов. Для этой цели применяют проволочные электротензометры сопротивления. К поверхности шпильки приклеивают тонкую бумажную подложку, на которой зигзагообразно наклеена проволока (рис. 4-42). При деформациях шпильки проволока сжимается или растягивается вместе со шпилькой. При этом изменяются геометрические размеры (длина и поперечное сечение), а также физические свойства (удельное сопротивление) проволоки, что в общем приводит к изменению активного сопротивления.

Метод тензометров позволяет осуществлять контроль прессовки сердечников ответственных машин и уточнять расчетные данные.

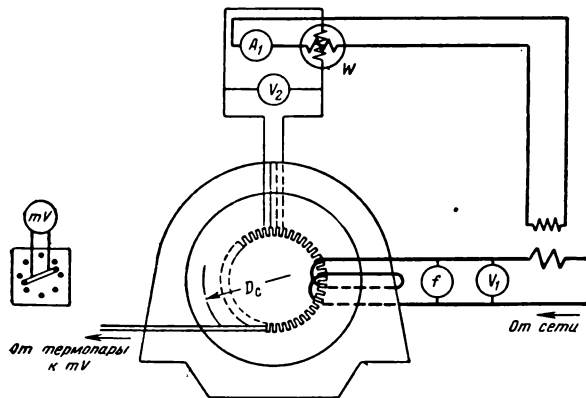


Рис. 4-41. Испытание сердечника статора.

Статорные сердечники после сборки испытывают на величину потерь по схеме на рис. 4-41. Одновременно с замером электрических величин производят контроль температуры сердечника в различных местах. Хотя распределение магнитного потока во время испытания получается иным, чем во время работы, все же можно судить по полученным данным о качестве сборки и по местному нагреву определить, где изоляция недостаточна. Местный нагрев не должен превышать 45°C , а разность температур 30°C .

Контроль усилий прессовки пакетов сердечников крупных электрических машин имеет важное значение.

Слабая прессовка не обеспечивает достаточной плотности сердечника, вследствие чего снижается коэффициент заполнения пакетов

КОЛЛЕКТОРЫ СО СТАЛЬНЫМИ КОРПУСАМИ

5-1. ТИПЫ КОЛЛЕКТОРОВ

Коллектор представляет собой одну из наиболее сложных частей электрической машины. Это объясняется, во-первых, структурой кольца, составленного из большого количества медных пластин, чередующихся с миканитовыми прокладками, во-вторых, сложными геометрическими формами сопряжения металлических и изоляционных деталей, какими являются стальные нажимные конусы, миканитовые манжеты и медные ласточкины хвосты коллекторных пластин, и, наконец, силовыми явлениями, развивающимися под действием центробежных сил и температурных удлинений.

При этом для обеспечения хорошей коммутации к коллектору предъявляются весьма жесткие требования, согласно которым биение коллектора в готовой машине, измеряемое индикатором после вращения якоря с разгонной скоростью, должно быть не более 0,03 мм для средних коллекторов и 0,04 мм для крупных коллекторов. Если учесть, что из этой величины по крайней мере половина обуславливается зазорами подшипников, эксцентриситетом подшипниковых щитов и деформациями вала, то на долю допустимого биения коллектора остается всего 0,015—0,02 мм. Поскольку индикатор измеряет двойной эксцентриситет, то величина эксцентриситета коллектора не должна превышать половины величины биения, т. е. 0,007—0,01 мм.

Такая высокая точность может быть достигнута при условии рациональной конструкции и наличия высококачественных материалов только за счет неуклонного выполнения всех предусмотренных технологических процессов как для изготовления отдельных деталей, так и для сборочных операций. В практике производства электрических машин имеется много примеров, когда отклонения от технологии приводили к массовому браку коллекторов.

Коллекторы электрических машин по конструкции и технологии изготовления можно разделить на следующие основные типы:

а) коллекторы со стальными корпусами, у которых концы проводников обмотки впаиваются непосредственно в прорези коллекторных пластин;

б) коллекторы со стальными корпусами и ленточными петушками для впаивания концов обмотки;

в) коллекторы быстроходных машин (турбоколлекторы) с бандажными кольцами;

г) коллекторы на пластмассе; эти коллекторы в последние годы получили столь большое развитие в отношении конструкций, размеров и технологических процессов, что они выделены в отдельную главу.

В практике электромашиностроения применяется большое количество разновидностей конструкций коллекторов, которые описаны в специальной литературе [Л. 9, 5-1, 5-2]. В этой и следующей главах рассматривается технология лишь типовых конструкций.

В виде примера на рис. 5-1 показана конструкция арочного коллектора со стальным корпусом, у которого концы проводников обмотки впаиваются непосредственно в прорези коллекторных пластин. Он состоит из следующих деталей: коллекторные пластины 4, изоляция между пластинами 8, манжеты 3, изоляционный цилиндр 5, втулка 6, нажимные конусы 1 и 7, гайка 2 и стопорный винт 9.

Принцип конструкции основан на том, что посредством усилий, создаваемых конусами, стянутыми гайкой, пластины коллектора прижимаются к центру, а между ними создается боковое давление, которое называют арочным распором. Эти усилия передаются на коническую поверхность ласточкиных хвостов пластин через миканитовые манжеты. Верхняя коническая поверхность в коллекторах арочного типа разгружена от этих усилий, так как между пластинами и манжетой предусматривается зазор около 0,5 мм. Арочные коллекторы изготавливаются диаметром до 3 м. Они вытеснили применявшиеся ранее для крупных машин коллекторы клинового типа.

5-2. ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ТЕХНОЛОГИИ КОЛЛЕКТОРОВ

Производство коллекторов потребляет большое количество дорогих и дефицитных материалов: медь, коллекторный миканит,

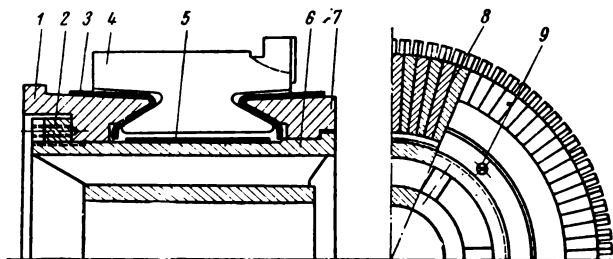


Рис. 5-1. Коллектор арочного типа.

формовочный миканит, свинцово-оловянные припои. Геометрия коллекторных пластин такова, что 30—40% коллекторной меди идет в отходы. У коллекторов с высокими массивными петушками отходы меди достигают 50%. Расход коллекторной меди определяется также степенью износа коллекторов в эксплуатации.

Производство коллекторов очень мало механизировано и автоматизировано. Такие массовые операции, как правка пластин и сборка их в кольцо, производят вручную.

Большое разнообразие размеров применяемых сечений коллекторных пластин усложняет производство коллекторной меди на кабельных заводах и самих коллекторов на электромашиностроительных заводах. Назрела необходимость стандартизации размеров сечений коллекторной меди. Это в перспективе откроет возможность централизованного изготовления коллекторов, в первую очередь для микродвигателей.

Сложность технологического процесса производства коллекторов в значительной степени определяется усадкой изоляционных материалов, допусками на толщину медных пластин и миканитовых прокладок, повышением нагрева изоляционных материалов, пластин и паяных соединений коллектора в машинах с нагревостойкой изоляцией.

Отклонения толщин медных пластин и миканитовых прокладок затрудняют фрезерование прорезей в пластинах и продороживание коллектора с механическим поворачиванием коллектора на расчетную величину коллекторного деления.

Некоторые контрольные операции производят кустарными методами; например, качество прессовки комплекта пластин и плотность миканитовых манжет определяют на звук при постукивании по ним молотком.

Стабильность формы коллектора в процессе эксплуатации является необходимым условием хорошей коммутации. Это требует исследования деформаций коллектора в динамических режимах.

Отсутствие разработанной системы допусков на сопряжение механических деталей коллектора с выточками в пластинах и миканитовыми манжетами заставляет во многих случаях планировать коллекторные цехи с законченным циклом производства от обработки стальных корпусов до сборки и формовки коллектора. Это создает опасность попадания стружек в коллектор при сборке.

Основные задачи технологии производства коллекторов со стальными корпусами заключаются в следующем:

1. Экономия коллекторной меди за счет снижения отходов полосовой меди, повышения износоустойчивости пластин, внедрения пресованных металлокерамических пластин, изысканий в области замены медных пластин алюминиевыми сплавами.

2. Уменьшение допусков на толщину и процента усадки изоляционных материалов.

3. Замена щипаной слюды в изоляции коллекторов слюдинитами и другими заменителями.

4. Замена мягких припоев твердыми.

5. Механизация и автоматизация процессов производства коллекторов.

6. Внедрение автоматических станков со следящими системами для фрезерования и продороживания пластин, контроля числа пластин и отсутствия замыканий между пластинами.

7. Стандартизация размеров коллекторных пластин и унификация типов коллекторов.

8. Разделение процессов обработки и сборки коллекторов.

9. Разработка и внедрение методов контроля технологических процессов производства коллекторов и деформаций коллекторов в динамических режимах.

5-3. КОЛЛЕКТОРНЫЕ ПЛАСТИНЫ

Для пластин коллектора применяется полосовая холоднотянутая медь трапецеидального сечения по ГОСТ 3568-47. Размеры коллекторной меди не стандартизованы и указываются электромашиностроительным заводом при заказе ее на кабельном заводе.

В связи с ростом номенклатуры коллекторных машин число профилей коллекторной меди, отличающихся размерами сечения, на электромашиностроительных заводах исчисляется сотнями. Это чрезвычайно затрудняет выполнение коллекторной меди кабельными заводами, на которых собираются заказы с нескольких электромашиностроительных заводов. При этом часто профили имеют незначительную разницу размеров.

Поэтому назрела целесообразность стандартизации размеров коллекторной меди. Поскольку размеры сечения зависят от многих факторов: диаметров коллектора наружного и внутреннего, припусков на обработку, числа пластин, толщины миканитовых прокладок и др., стандартизация размеров потребует большой организационной работы.

На рис. 5-2 показаны профили коллекторной меди и шаблон для проверки размеров. Размер a должен быть кратным 0,01 мм, а размер h — кратным 0,5 мм. Центральный

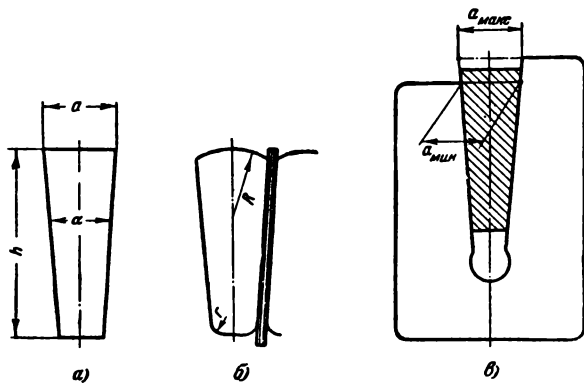


Рис. 5-2. Формы профилей коллекторной меди и шаблонов.

угол $\alpha = \frac{360^\circ}{K}$, где K — число коллекторных пластин.

Размер a с учетом 7% усадки миканита определяется как $a = \pi D / K - 0,93s$, где D — диаметр коллектора с припуском на обработку, а s — толщина миканитовой прокладки.

Допускаемые отклонения для размеров a и h должны удовлетворять табл. 5-1.

Таблица 5-1

Допускаемые отклонения размеров сечения коллекторной меди

$a, \text{ мм}$	Допускаемые отклонения по классам точности, мм		$h, \text{ мм}$	Допускаемые отклонения, мм
	3а	4		
До 3	-0,04	-0,06	До 18	-0,2
Свыше 3 до 6	-0,05	-0,08	Свыше 18 до 30	-0,3
" 6 до 10	-0,06	-0,10	" 30 до 50	-0,6
" 10 до 19	-0,07	-0,12	" 50 до 80	-0,8
—	—	—	" 80 до 105	-1,0

Отклонения размера a даны со знаком —. Положение пластин утрировано показано на рис. 5-3,а. Если бы отклонения давались со знаком +, то положение пластин соответствовало бы рис. 5-3,б. Тогда при срабатывании коллектора пластины лишились бы бокового распора и цилиндрическая поверхность коллектора нарушилась.

Допускается скругление углов граней и грани a (рис. 5-2,б). Радиусы скруглений не нормализуются. Скругления углов граней коллекторной меди снижают возможность пробоя между пластинами, но при этом внутренняя поверхность коллектора не должна обрабатываться, так как при обработке скругления будут срезаны. Скругление грани a делается с целью лучшей прессовки пластин в кольцо,

так как при этом давление прессующего кольца передается по центру пластины.

Для проверки профиля служит шаблон (рис. 5-2,в), представляющий собой стальную термически обработанную пластинку толщиной не менее 4 мм. Боковые стороны профиля меди при проверке должны плотно прилегать к сторонам шаблона. Между сторонами профиля и шаблона допускаются зазоры, в которые не должны входить щупы толщиной 0,05 мм при h от 30 до 80 мм и 0,08 мм при h от 80 до 105 мм.

В машинах постоянного тока на коллектор расходуется много меди. В низковольтных машинах вес меди коллектора превышает вес обмотки якоря. Поэтому были предприняты попытки заменить медь коллектора другими металлами полностью или частично.

Попытка замены меди алюминием встретила следующие затруднения: недостаточная жесткость алюминия вызывает быстрый износ коллектора и трудность пайки медной обмотки с пластинами коллектора. С другой стороны, замена меди алюминием в 3 с лишним раза снизит нагрузку на ласточкины хвосты от центробежных сил. Достижения в области получения твердых алюминиевых сплавов и пайки алюминия возможно позволят удачно разрешить этот вопрос.

В 30-х годах разные электромашиностроительные заводы изготовили опытные коллекторы со стальными пластинами. Испытания машин показали, что коррозия пластин не является опасной, так как она хорошо счищается щетками при работе машины. Но коллекторы со стальными пластинами имеют повышенные потери в контакте и быстро изнашивают щетки. Однако главное затруднение заключалось в получении полос трапецеидального сечения с достаточной точностью. Для опытных коллекторов профиль пластины был получен методом фрезерования, что недопустимо при серийном производстве.

Частичная замена меди в коллекторах основывается на том, что активной токопроводящей является только верхняя часть пластин,

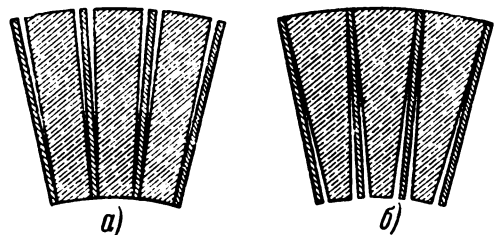


Рис. 5-3. Влияние допусков на форму коллектора.

а ласточкин хвост выполняет лишь механическую роль. На этой основе был предложен биметаллический профиль коллекторной пластины (рис. 5-4,а). Однако несимметричность сечения относительно горизонтальной оси и различные коэффициенты линейного расширения меди и железа не дали возможности промышленного получения биметаллического профиля.

Значительную экономию до 50% коллекторной меди и механической обработки может дать применение для коллекторов металлокерамических пластин из прессованных металлических порошков с последующим спеканием в защитной среде [Л. 5-3]. Опыты эксплуатации коллекторов с металлокерамическими пластинами из медных порошков показали, что износ пластин и щеток меньше, чем в машинах с коллекторами из катаной меди М1. Были также построены машины с металлокерамическими пластинами из композиции Cu—Fe (50%), показавшие повышенный износ щеток.

Металлокерамический способ получения пластин позволяет активную часть пластин выполнять из медного порошка, а ласточкин хвост — из железного порошка, причем соединение частей пластины получается достаточно прочным (рис. 5-4,б).

Для снижения стоимости прессованных пластин необходимо оборудовать производство высокопроизводительными прессами и печами с автоматизацией технологического процесса.

Третье направление в отношении экономии коллекторной меди идет по линии повышения срока службы коллекторов за счет уменьшения их износа. Коллекторная медь является твердотянутой и имеет нагартованную оболочку. Однако наиболее твердая часть пластины не участвует в работе, так как она удаляется при штамповке или обработке коллекторных пластин. Поэтому повышения износоустойчивости коллекторной меди добиваются присадкой кадмия или хрома. Коллекторная медь с 1% кадмия изготавливается отечественными кабельными заводами. Медь с присадкой хрома известна в практике иностранных фирм. Легирование коллекторной меди важно в целях повышения не только износоустойчивости, но и температуры отжига в связи с применением обмоток с нагревостойкой изоляцией, не допускающей пайки коллектора мягкими припоями.

Значительное повышение износоустойчивости коллекторных пластин дает покрытие их поверхности родием [Л. 5-2]. Для этого готовый якорь ставят в центры токарного станка,

станину которого соединяют с катодом выпрямителя. Второй провод от выпрямителя соединяют с анодом из чистого графита, который обертывают хлопчатобумажной тканью, пропитанной электролитом. При пропускании постоянного тока напряжением 12 в анод, зажа-

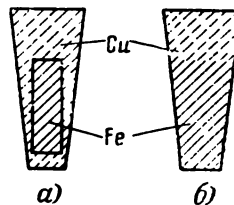


Рис. 5-4. Биметаллические пластины.

тый в резцедержателе станка, смазывает поверхность коллектора и на пластинах при вращении образуется плотная пленка родия толщиной около 1 мк.

Покрытие поверхности коллектора родием, помимо резкого снижения величины износа, уменьшает потери на коллекторе, температуру нагрева и устраняет радиопомехи от работы щеток.

5-4. ШТАМПОВКА И ПРАВКА КОЛЛЕКТОРНЫХ ПЛАСТИН

Коллекторная медь поставляется в виде полос длиной 1 500—3 500 мм. Для коллектора с длиной пластины до 200 мм коллекторная медь заказывается в полосах произвольной длины. При большей длине коллекторной пластины заказ меди производится в полосах длиной, кратной длине коллекторной пластины, во избежание больших отходов по длине полосы. Длина полосы определяется по следующей формуле:

$$L = ln + \Delta l(n - 1), \quad (5-1)$$

где l — длина коллекторной пластины с припуском на обработку торцов;

n — число пластин в полосе;

Δl — припуск на резку пластин.

Коллекторную медь, поступающую в виде длинных полос, режут на пластины с учетом припуска на обработку торцов коллектора. В коллекторных пластинах толщиной до 6 мм можно штамповать ласточкины хвосты с припусками на токарную обработку. Это уменьшает механическую обработку и дает возможность получить отходы в виде массивных кусков меди, а не в виде стружки, смешанной с миканитом.

При массовом производстве для штамповки коллекторных пластин применяют прессы с автоматической подачей полосы [Л. 5-5], значительно повышающие производительность труда и позволяющие одному рабочему обслуживать несколько прессов. На рис. 5-5 показано подающее устройство к прессу завода АТЭ-1. К станине прессы привинчены два кронштейна 7, на ко-

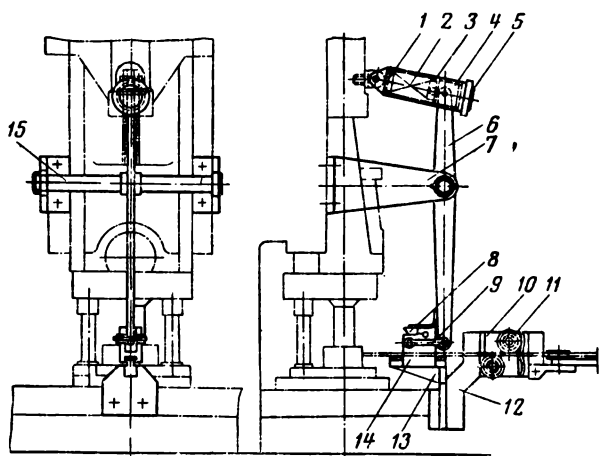


Рис. 5-5. Пресс для штамповки коллекторных пластин.

которые опираются концы валика 15. Валик служит центром вращения для рычага 6, нижний конец которого при помощи шатуна 9 соединен с ползушкой 14, совершающей возвратно-поступательные движения по кронштейну 13. Ползушка имеет зуб захвата полосы 8, который перемещает полосу к штампу до упора, а при обратном ходе скользит по поверхности полосы.

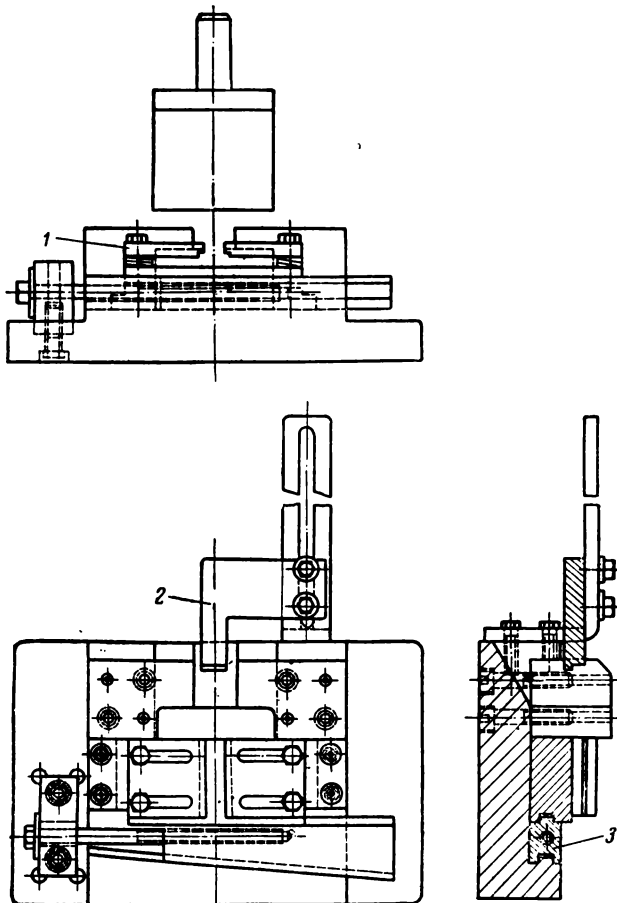


Рис. 5-6. Штамп для рубки коллекторной меди.

Движения рычагу 6 сообщаются от ползуна прессы при помощи буферного устройства. Оно состоит из трубы 3, один конец которой при помощи шарнира 1 соединен с ползуном прессы. В трубе может перемещаться поршень 4, соединенный шарнирно с верхним концом рычага 6. Для прохода рычага в трубе сделана прорезь, а на конце трубы ввернута гайка 5. Между опорой шарнира 1 и поршнем 4 вставлена пружина 2. Таким образом, нижний конец рычага 6 перемещается лишь на величину шага штамповки, а дальнейшим движением ползуна сжимается пружина 2.

Перед подачей в штамп полоса проходит между приспособлением для правки, помещенным на кронштейне 12, привернутом к плите прессы. Правка полосы по плоскости производится путем пропускания ее между шарикоподшипниками 11, оси которых закреплены в планке 10 со скосом, учитывающим трапециевидальное сечение полосы. Правка по ребру производится тремя вертикальными роликами, расположенными в шахматном порядке и с канавками по окружности, в которые входят грани полосы коллекторной меди.

При мелкосерийном производстве вырезают профиль ласточкиных хвостов дисковой пилой с припуском на обработку. При толщине пластин больше 6 мм штамповка ласточкиных хвостов не применяется вследствие образования больших заусенцев. Для пластин до 10 мм штампы применяют для рубки полос коллекторной меди на куски. При большей толщине полосы разрезают на куски фрезами.

На рис. 5-6 показан универсальный штамп, на котором на ХЭМЗ производится рубка коллекторной меди толщиной до 10 мм и шириной до 70 мм. Регулирование штампа на заданные размеры по толщине и ширине осуществляется с помощью направляющих планок 1. Длину пластины устанавливают передвижением упора 2. Положение матрицы регулируют передвижением клина 3. Замена резки полос на фрезерном станке рубкой под штампом позволила усовершенствовать процесс. Достигнута экономия металла за счет отмены припуска на резку. Производительность труда повысилась более чем в 2 раза. Один 10-тонный эксцентриковый штамп с универсальным штампом может заменить три горизонтально-фрезерных станка.

После штамповки или резки пластины поступают на правку. При резке медной полосы ножницами или штампами пластины деформируются и имеют кривизну («винт»), заусенцы и другие дефекты, которые необходимо устранить правкой. Большую кривизну устраняют специальным воротком, который надевают на один конец пластины, а другой конец вставляют в отверстие в плите. Мелкую правку производят на гладкой стальной плите свинцовым или медным молотком. Стальным молотком

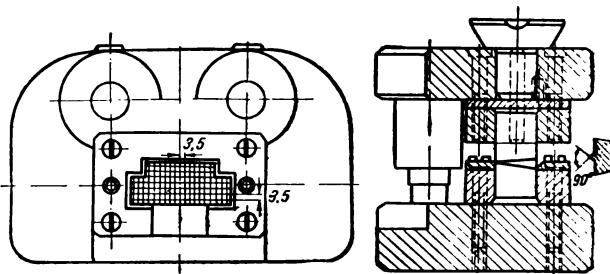


Рис. 5-7. Штамп для правки коллекторных пластин.

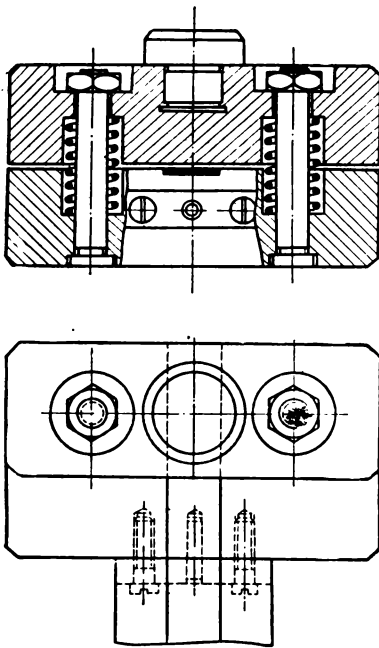


Рис. 5-8. Штамп для правки коллекторных пластин.

можно ударить по пластине только через медную или стальную прокладку. Боковые поверхности пластин не должны отделяться от плоскости плиты более чем на 0,03—0,05 мм. Правка меди является очень трудоемкой операцией, требует большого навыка рабочих и создает сильный шум в цехе. Попытка механизировать процесс правки пластин пакетом под фрикционным прессом не дала положительных результатов, особенно на пластинах с выштампованными ласточкиными хвостами.

Для машин малой мощности внедрен процесс правки пластин в штампах. Первая операция производится в так называемом вафельном штампе (рис. 5-7) между правочными плашками. Выступы на рабочих поверхностях плашек располагаются рядами на расстоянии, равном примерно средней толщине пластины. Эти выступы, разрушая на наружных поверхностях пластин волокна металла, снимают упругую деформацию меди. Правка производится на эксцентриковом прессе с резиновым амортизатором. Вкладывание и вынимание пластин по условиям техники безопасности производится пинцетом.

Вафельный штамп хорошо выпрямляет прогиб и «винт» пластин, но отдельные мелкие дефекты на поверхности пластин остаются. Кроме того, около впадин, образованных выступами плашек, получаются небольшие вздутия меди. Эти дефекты пластины устраняются вторым штампом на фрикционном прессе.

Штамп для второй операции (рис. 5-8) представляет собой обычную гладилку в матрице которой сделан паз по профилю коллекторной пластины. Глубина паза на 0,03—0,05 мм меньше толщины пластины. Особенно точно должен быть выдержан центральный угол коллекторной пластины. Верхняя часть штампа выполнена с пружинным подъемом. Подача заготовок производится по направляющему желобу матрицы, а выправленные пластины выталкиваются из штампа следующими пластинами.

5-5. КАЛИБРОВКА КОЛЛЕКТОРНЫХ ПЛАСТИН

Как видно из табл. 5-1, на толщину пластин даются довольно грубые допуски. При большом числе пластин эти допуски, суммируясь, дают значительные отклонения диаметра коллектора от расчетной величины. Диаметры миканитовых манжет должны оставаться неизменными, так как они определяются размерами пресс-форм. Поэтому при увеличении диаметра коллектора уменьшается высота ласточкина хвоста в пластине, а при уменьшении диаметра припуск на обработку рабочей поверхности может оказаться недостаточным. Для выдерживания диаметра коллектора в пределах допуска независимо от отклонений в размерах толщины коллекторных пластин служит операция калибровки медных пластин и миканитовых прокладок [Л. 2].

Предположим, что коллектор состоит из 300 пластин, а толщина пластины составляет 6,8 мм. Согласно табл. 5-1 отклонение толщины пластин по 4-му классу точности составляет —0,1 мм. Отклонение диаметра коллектора при суммировании допусков получится $\frac{0,1 \cdot 300}{\pi} = 9,6$ мм. Ввиду того что допуск имеет знак минус, уменьшаются внешний и внутренний диаметры коллектора.

Пластины калибруют следующим образом. Складывают нарезанные и выправленные пластины в пачки по 10 шт., располагая их большими сторонами сечения в противоположные стороны, и измеряют высоту пачки под давлением 30 кг. Сравнивая измеренную величину с расчетной, определяют величину отклонения. Также поступают с миканитовыми прокладками.

Затем складывают алгебраически отклонения 30 пачек медных пластин и 30 пачек миканитовых прокладок. Сумма отклонений не должна превышать допускаемого отклонения развернутой длины окружности коллектора. Если допускаемое отклонение диаметра коллектора будет 2 мм, то алгебраическая сумма

отклонений пластин и прокладок не должна превышать $2\pi = 6,28$ мм. Разницу между допускаемой и фактической суммами отклонений можно компенсировать заменой пачек пластин из разных коллекторов или заменой миканитовых прокладок другой толщины. Перед сборкой коллектора пачки должны быть разложены в таком порядке, чтобы сумма отклонений в одном полюсном делении не превышала $1/4$ толщины коллекторной пластины.

Ввиду того что калибровка является очень трудоемкой операцией, в практике часто поступают следующим образом. Собирают коллектор из одних медных пластин без миканитовых прокладок, прессуют его в кольце и измеряют диаметр коллектора. Измеренную величину сравнивают с расчетной, которая определяется по формуле

$$D = \frac{aK}{\pi} \quad (5-2)$$

Если измеренный диаметр меньше расчетного, то заменяют часть миканитовых прокладок утолщенными, располагая их равномерно по окружности. Этим способом можно выдерживать диаметр коллектора с той же точностью, что и методом калибровки, однако при этом числа пластин в разных полюсных делениях могут различаться.

5-6. ПЕТУШКИ КОЛЛЕКТОРНЫХ ПЛАСТИН

При большой разнице диаметров якоря и коллектора в целях уменьшения больших отходов коллекторной меди применяют ленточные петушки, которые вплаивают в пластины коллектора до сборки их в кольцо. В процессе развития технологии электромашиностроения конструкции соединения ленточных петушков с пластинами коллектора претерпели большие изменения. Сначала для петушков фрезеровали в пластинах глубокие прорезы, в которые вставляли петушки. Затем в пластинах и петушках совместно просверливали отверстия и склепывали их между собой медными заклепками с потайными головками (рис. 5-9,а). Место соединения пропаявали, погружая пластины в ванну с расплавленным припоем. Недостаток этого соединения заключался в том, что между стенками прорезей и петушками могли образовываться щели, а затекание в них припоя оставалось бесконтрольным. На пайку расходовалось много припоя.

Для повышения надежности контакта стали фрезеровать боковую сторону пластины и приклепывать или приваривать петушок сбоку (рис. 5-9,б), но добиться хорошего контакта между пластиной и тонким петушком не

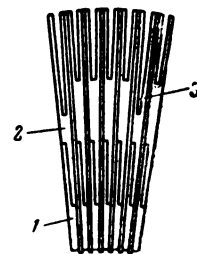
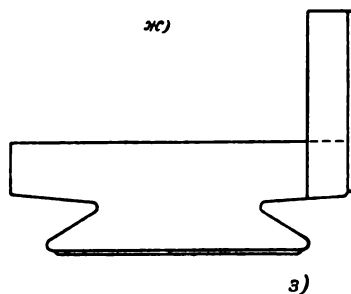
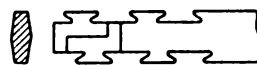
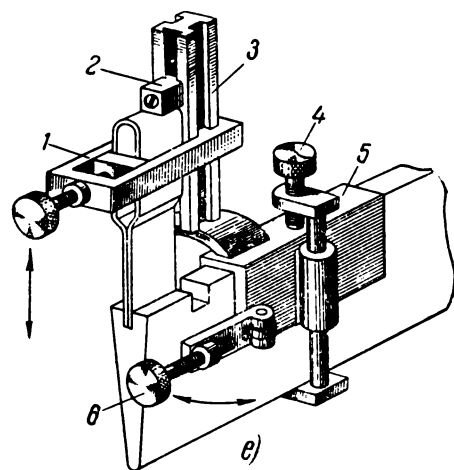
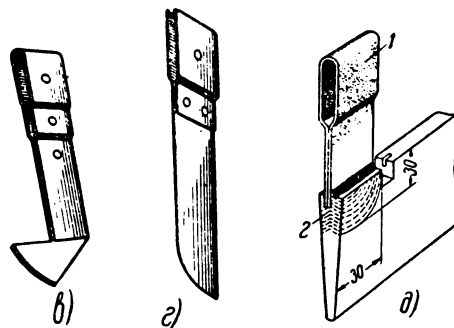
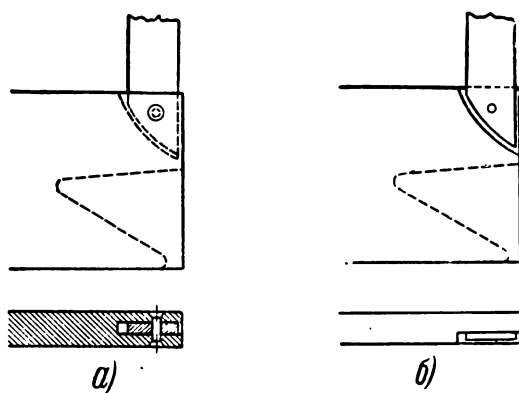


Рис. 5-9. Формы петушков коллектора.

всегда удавалось. Щели между петушком и миканитовыми прокладками являлись местом скопления грязи и служили причиной пробоя между пластинами коллектора.

В машинах с ленточными петушками, у которых щеточные болты обоими концами вставляются в бракет траверсы щеткодержателей, приходится увеличивать длину коллекторной пластины, чтобы отдалить петушки от brackets. В целях экономии меди ленточные петушки впаивают в пластину не сверху, а с торца (рис. 5-9,а) и на некотором удалении от торца коллектора перегибают их на 90°.

На рис. 5-9,в показаны ленточные петушки, согнутые из непрерывной полосы с закрытым хомутиком для проводников обмотки. Однако при небольшой высоте петушка вставлять концы проводников большого сечения в такие хомутики трудно. Поэтому в таких случаях применяют открытые петушки (рис. 5-9,з), сложенные из двух полосок. Концы их отгибают вокруг проводников обмотки и запаивают.

Коренное улучшение этого соединения дало применение меднофосфористого припоя марки ПМФ-7, имеющего высокую температуру плавления (760° С), обладающего хорошей жидкотекучестью и обеспечивающего высокую прочность соединения [Л. 5-1]. В пластине 2 фрезеруют мелкий паз глубиной 2—3 мм (рис. 5-9,д). Между петушком 1 и рабочей поверхностью коллектора протачивают глубокую канавку, которая препятствует передаче тепла, выделяемого при пайке, на рабочую поверхность коллектора. Место пайки нагревают током, прикладывая два угольных электрода от понижающего трансформатора к боковым сторонам пластины. Палочку припоя подводят к стыку между пластиной и петушком, и он, расплавляясь, заполняет щель между ними. Для уменьшения нагревания пластины ее в процессе пайки погружают в воду.

Все петушки должны быть установлены перпендикулярно образующей пластины и иметь одинаковую высоту. Для установки петушков перед пайкой служит универсальное приспособление (рис. 5-9,е). Оно укрепляется на пластине при помощи струбцины 5 с винтом 4. Осевое положение струбцины регулируется головкой винта 6, упирающейся в торец пластины. Высоту петушка регулируют упором 2, перемещающимся в прорези призмы 3, а перпендикулярность петушка устанавливается упором в хомутике 1.

Испытания приваренных петушков показали что при ширине 30 мм разрыв происходил при нагрузке 1800 кг, причем всегда по целому сечению петушка у места пайки. Понижение твердости меди от нагрева происходило в узкой зоне и не распространялось на рабочую поверхность пластины.

Переход на пайку твердым припоем дал возможность сэкономить большое количество оловянно-свинцовых припоев, повысить надежность соединения и его нагревостойкость. Это особенно важно при переходе на обмотки с изоляционными материалами высокой нагревостойкости.

В некоторых машинах применение ленточных петушков недопустимо. Это относится к машинам с большими динамическими нагрузками, а также к машинам, в которые может попадать токопроводящая пыль, забивающая пространство между ленточными петушками. При штамповке пластин из полосы трапецеидального профиля получаются большие отходы, достигающие 50% и более.

На рис. 5-9,ж показано применение медной полосы, представляющей в сечении двоякую трапецию. Штамповка пластин производится в два ряда, причем петушки смежных пластин направлены в разные стороны. При каждом ударе штампа одновременно вырубается две пластины. Применение двоякого профиля сильно снижает отходы коллекторной меди [Л. 4].

В крупных машинах применение двоякого профиля повело бы к чрезмерному увеличению ширины полосы. Кроме того, между петушками коллекторных пластин образывались бы большие щели, так как толщина петушка к периферии сужается. Поэтому в целях снижения отходов коллекторной меди прибегают к составлению пластины из двух профилей коллекторной меди (рис. 5-9,з). В пластине 1 и в петушке 2 фрезеруют боковые грани и складывают их друг с другом. На поверхность стыка ровным слоем насыпают припой ПМФ-7 и спаивают их на точечном аппарате с помощью графитовых электродов. Для фиксации положения петушка по отношению к пластине их скрепляют предварительно в приспособлении, вместе с которым устанавливают в сварочном аппарате. В некоторых петушках фрезеруют более глубокие прорези 3 для проводников уравнительных соединений. Таким образом, экономия коллекторной меди достигается за счет повышения трудоемкости [Л. 5-4].

5-7. ФРЕЗЕРОВАНИЕ КОЛЛЕКТОРНЫХ ПЛАСТИН

В машинах, у которых проводники обмотки вкладываются непосредственно в коллекторные пластины, ширину прорезей выбирают с учетом слоя полуды на проводниках 0,05 мм и на стенках прорезей 0,2 мм на обе стороны. Таким образом, ширина прорези должна быть

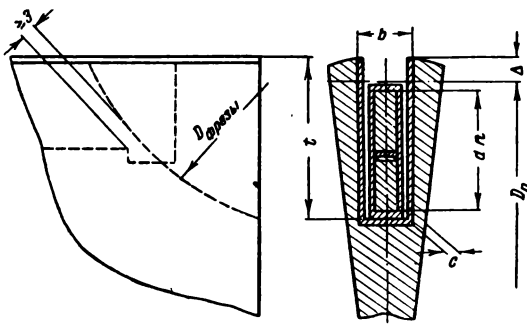


Рис. 5-10. Размеры прорези в коллекторной пластине.

на 0,25—0,3 мм больше диаметра круглого или толщины прямоугольного проводника.

Глубину прорези (рис. 5-10) определяют по формуле

$$t = dn + \Delta + (1 \div 3) \text{ мм}, \quad (5-3)$$

где d — диаметр, или высота проводника, мм;
 n — число проводников, вкладываемых в прорезь;

Δ — односторонний припуск на обработку петушков, мм.

Фрезерование прорезей в коллекторных пластинах для проводников обмотки может производиться или до сборки пластин в кольцо, или в собранном коллекторе. Тонкие пластины выгоднее фрезеровать до сборки, так как требуется точно выдерживать совпадение оси прорези с серединой пластины, а получающийся при фрезеровании брак пластин не требует разборки коллектора.

В машинах с тонкими пластинами после фрезерования прорезей остаются тонкие щечки. Полочка хотя бы одной щечки при укладке обмотки в прорези требует замены коллектора. Эта опасность повышается по мере увеличения глубины прорези. Поэтому при проектировании следует проверять толщину щечки коллекторной пластины не по окружности петушков, а в основании прорези. Толщина щечки c (рис. 5-10) должна быть не меньше:

0,75 мм при глубине прорезей	до 10 мм
0,80 мм " " "	" 20 мм
0,85 мм " " "	свыше 20 мм

На Харьковском заводе «Электротяжмаш» прорези в коллекторных пластинах фрезеруют на специальных полуавтоматических станках с производительностью до 500 пластин в час [Л. 5-13].

Кинематическая схема фрезерного станка представлена на рис. 5-11. Коллекторные пластины загружают в два бункера с ориентировкой по ласточкину хвосту. Управление механизмами станка производится от электродвигателя мощностью 1,7 квт, который через две пары цилиндрических шестерен и червячную пару вращает распределительный вал с двумя барабанами копирующего устройства. Фигурный паз барабана 2

через ролик 3, систему шестерен и рейки приводит в поступательное движение плиты 4 и 5. При этом из бункеров выпадают две пластины, которые зажимаются пневматическим приводом с точной фиксацией по ласточкину хвосту.

При дальнейшем вращении распределительного вала ролик 7, движущийся по пазу барабана 1, приводит в поступательное движение основание 6 с фрезерной головкой и электродвигателем мощностью 7 квт. Фрезерование прорезей происходит одновременно в двух пластинах. При отходе основания 6 пластины с профрезерованными прорезями освобождаются от зажимов и попадают в ящики, а на их место становятся следующие. Изменение размеров прорезей осуществляется поперечным перемещением зажимов и продольным перемещением основания фрезерной головки.

В дальнейшем на заводе была пущена автоматическая линия коллекторных пластин, на которой производятся следующие операции: фрезерование прорезей, покрытие их стенок флюсом, обмазка наружной поверхности меловым раствором, нагревание пластин, лужение прорезей и удаление излишков припоя [Л. 5-14].

При достаточной толщине пластин и мелких прорезях предпочитают фрезеровать пластины в собранном коллекторе, так как при этом не нужны специальные зажимы, а собирать в кольцо пластины без прорезей проще.

Отклонение размеров коллекторных делений за счет допусков на толщину пластин и миканитовых прокладок не позволяют автоматически поворачивать коллектор на одно деление после фрезерования каждой пластины. Поэтому обычно фрезерование пластин в собранном коллекторе производилось с поворотом коллектора вручную с помощью специальных поворотных устройств [Л. 3].

ВНИИ автомобильной промышленности спроектирован полуавтомат для фрезерования петушков коллекторных пластин, повышающий производительность

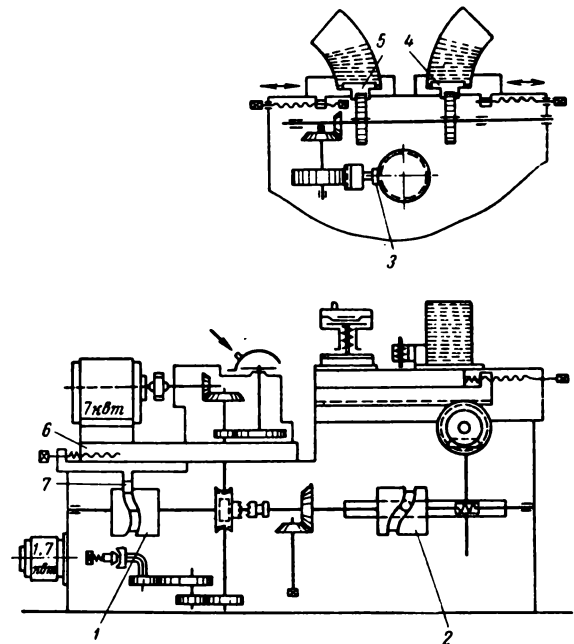


Рис. 5-11. Схема автоматического фрезерного станка для коллекторных пластин.

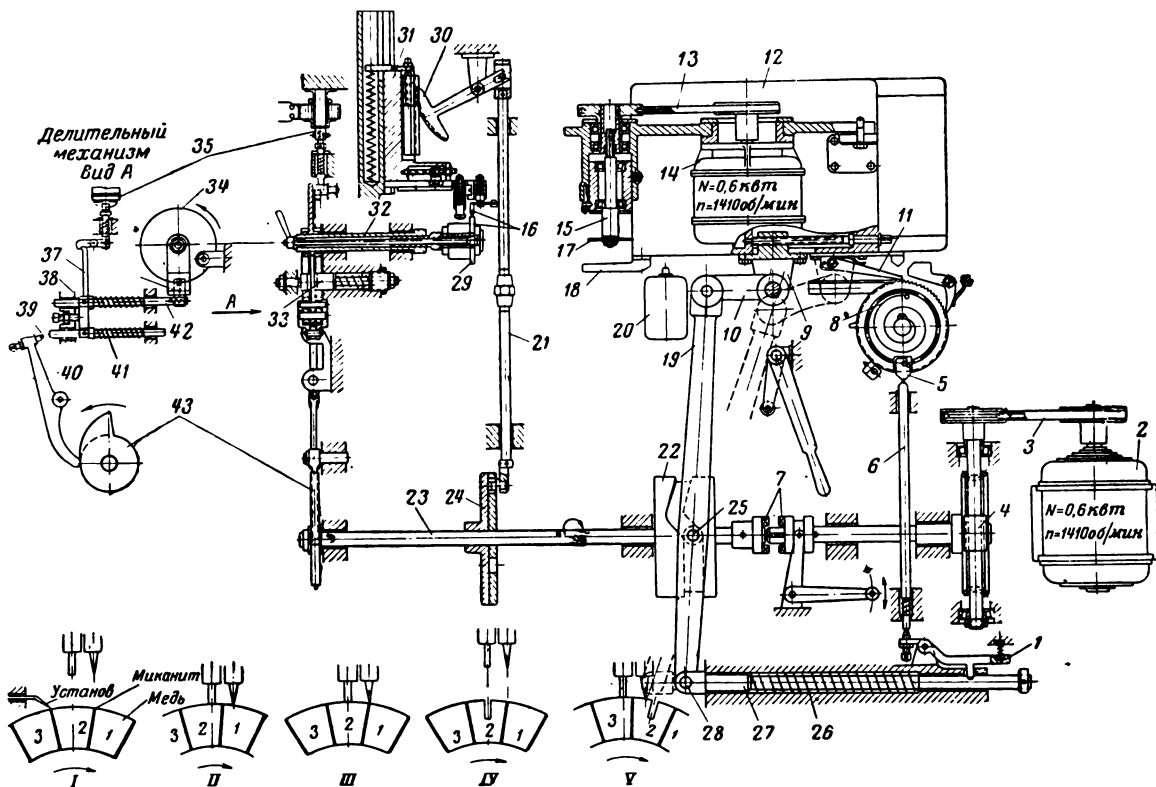


Рис. 5-12. Схема станка для фрезерования коллекторов.

труда в 2—4 раза, а при многостаночном обслуживании в 12 раз [Л. 5-6].

Полуавтомат предназначен для фрезерования коллекторов с наружным диаметром 25—100 мм. Продолжительность фрезерования одного паза 3 сек. Вручную выполняются только установка коллектора, пуск станка и снятие готового коллектора; все остальные операции производятся автоматически. Автомат снабжен контактной следящей системой, устанавливающей коллектор против фрезы серединой коллекторной пластины независимо от разности в размерах коллекторных делений. При переналадке станка с одного коллектора на другой требуется заменить только разжимную оправку для надевания коллектора. Все остальные операции по переналадке, как изменение угла поворота коллектора, установка фрезы, установка положения кулачков на суппорте фрезерной головки, производятся регулировочными винтами.

На рис. 5-12 показана кинематическая схема станка. Коллектор 29 устанавливается на разжимную оправку шпинделя 32. Фрезерование прорезей производится фрезерной головкой 12. Фреза 17 насажена на залик 15, вращаемый электродвигателем 14 через клиноремennую передачу 13. Электродвигатель 2 через клиноремennую передачу 3 и червячную пару 4 вращает распределительный валик 23, на котором насажены барабан 22, диск 24 и кулачок 43. При вращении валика 23 кулиса 19 совершает качательные движения перемещением пальца 25 в прорези барабана. Верхний конец кулисы через серьгу 10 и кронштейн 9 сообщает поступательно-возвратные движения фрезерной головке.

Кулачок 43 приводит в действие механизм поворота коллектора на одно коллекторное деление. При повороте кулачка по стрелке верхний конец рычага 40

отклоняется вправо и винт 39, ввернутый в верхний конец рычага, нажмет на торец стержня 41 делительного механизма 38. Верхний стержень 42, шарнирно овязанный с нижним стержнем рычагом 37, опирается верхним концом на крючок, удерживаемый электромагнитом 35. Правый конец стержня 42 шарнирно связан с фрикционным устройством, диск 34 которого повернется в направлении стрелки, а вместе с ним и шпиндель 32 с коллектором. Угол поворота регулируется винтом 39 в пределах от 0 до 20°.

Для установки коллекторной пластины относительно фрезы с требуемой точностью служат два электроконтакта 16, установленных на суппорте контактной головки 31. Ось одного из контактов лежит в одной вертикальной плоскости с осью шпинделя, а ось другого острого контакта лежит в вертикальной плоскости, отстоящей от оси шпинделя на величину, равную половине толщины коллекторной пластины. При повороте коллектора контактная головка подводится к коллектору при помощи диска 24, тяги 21 и зубчатого сектора 25. На рисунке показаны пять положений контактов относительно пластин коллектора. В положении I контакты подняты и установлены так, что тупой контакт находится примерно над серединой пластины. Затем контакты опускают на коллектор, который поворачивается в направлении стрелки. В положении II контакты стоят на двух пластинах коллектора и поэтому изолированы друг от друга миканитовой прокладкой. Как только острый контакт коснется края пластины 2 (положение III), электрическая цепь замкнется. Электромагнит отключится, якорь при падении отсоединит опорный крючок над рычагом 37, а пружина отбросит стержень 42 вместе с фрикционным механизмом влево. Диск 34 под действием тор-

моза остановится, а вместе с ним прекратится вращение коллектора. После того как рычаг 40 сойдет с выступа кулачка 43, диск 24 через тягу 21 и сектор 30 отводит контакты от пластины коллектора (положение IV), а фреза 17 прорезает паз по середине пластины 2. В положении V контакты снова опущены и при вращении коллектора происходит наведение пластины 3 под середину фрезы.

Распределительный валик 23 может быть отсоединен от двигателя при помощи муфты 7, которая управляется рукояткой. Автоматическое отсоединение валика по окончании фрезерования коллектора совершается храповым механизмом 8, 11, который передвигается на один зуб после фрезерования каждой пластины. При нажиме кулачка 5 на тягу 6 зуб рычага 1 выходит из зацепления с тягой 27 и ее ушко 28 под действием пружины 25 переходит в положение, показанное пунктиром, и отводит фрезерную головку от коллектора. При этом рычаг 18 нажимает на кнопку выключателя 20 и останавливает двигатель станка.

5-8. КОЛЛЕКТОРНЫЙ МИКАНИТ

В качестве изоляции между пластинами применяется специальный твердый коллекторный миканит, изготавливаемый изоляционными заводами по ГОСТ 2196-54.

Стандартом предусмотрены две марки миканита из слюды флогопит КФ-1 и КФ. Миканит марки КФ-1 имеет пониженную усадку. Основные требования, предъявляемые к коллекторному миканиту, заключаются в минимальном содержании склеивающих лаков (4—6%), в минимальной усадке, которая при давлении

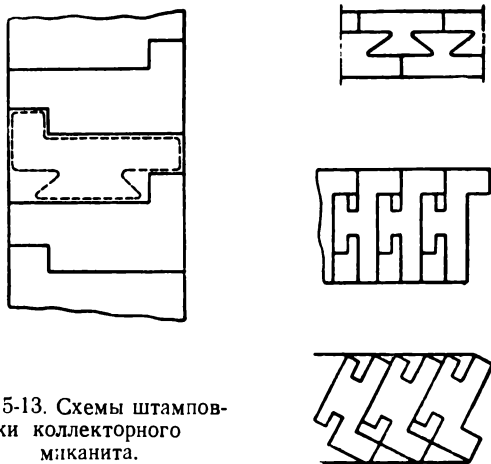


Рис. 5-13. Схемы штамповки коллекторного миканита.

600 кг/см² и температуре 20°С не должна превышать 7% для миканита марки КФ-1 и 9% для миканита марки КФ.

Размеры листов 215×465 мм. Толщины листов 0,4—1,5 мм через каждые 0,1 мм. Наиболее употребительными являются следующие толщины коллекторного миканита: для малых коллекторов 0,5 мм, для средних 0,8 мм и для больших 1,2 мм.

Коллекторный миканит является дорогим материалом. Стоимость его в зависимости от толщины 6—10 руб. за 1 кг. Поэтому при раскрое листов миканита принимаются меры для снижения отходов.

На рис. 5-13 показаны схемы штамповки миканитовых прокладок с минимальными отходами.

Для машин с повышенной нагревостойкостью изоляции применяется коллекторный миканит, выдержи-

вающий температуру нагрева свыше 600°С, в котором в качестве связующего применен аммофос (аммоний фосфорнокислый, двузамещенный, реактивный). В этом миканите листочки слюды склеиваются благодаря химической реакции, происходящей при 400°С [Л. 5-12].

Высокая стоимость миканитовой изоляции объясняется малым выходом листовой слюды из сырья и ручными способами ее обработки. Для уменьшения дефицитности и снижения стоимости разработаны методы получения изоляционных материалов из промышленных отходов слюды, получивших название слюдиниты.

Коллекторный слюдинит представляет собой спрессованный в нагретом состоянии твердый листовой материал. Он получается отливом водослюдосмоляной суспензии, приготовленной путем специальной обработки отходов слюды мусковит, и кремнийорганической или глифталевой смолы.

Коллекторный слюдинит применяют вместо коллекторного миканита.

5-9. СБОРКА ПЛАСТИН В КОЛЬЦО

Сборка пластин является ручной операцией, при которой медные пластины попеременно с миканитовыми прокладками собирают в кольцо. Эта операция производится на гладкой плите. В качестве приспособления применяют разрезное кольцо, согнутое из листовой стали толщиной 1,5—2 мм. В прорезь кольца вставляют первую пластину и остальные прислоняют к ней, чтобы они не падали. При мелкосерийном производстве сборку пластин можно производить в прессовочных кольцах.

После сборки комплект пластин перевязывают отоженной проволокой и передают на прессовку. Контроль коллектора в этой стадии заключается в проверке числа пластин и наличия изоляционных прокладок между всеми пластинами. Необходимость контроля определяется тем, что ошибки, выявленные при обмотке якоря, связаны с большими убытками.

В коллекторах крупных высоковольтных машин миканитовые прокладки должны выступать из медных пластин на торце коллектора со стороны обмотки. Промежутки между выступающими миканитовыми прокладками замазывают изоляционной замазкой для предохранения от пробоя между пластинами. Сборка таких коллекторов производится на специальном диске с выфрезерованными радиальными пазами глубиной, равной выступу миканита, а шириной на 1 мм больше толщины прокладки (рис. 5-14). Диск одновременно служит контролем числа пластин при сборке коллектора и освобождает сборщика от необходимости вести счет пластин. Для коллекторов больших машин диск получился бы слишком громоздким, поэтому сборку пластин производят на гладкой плите петушками вверх.

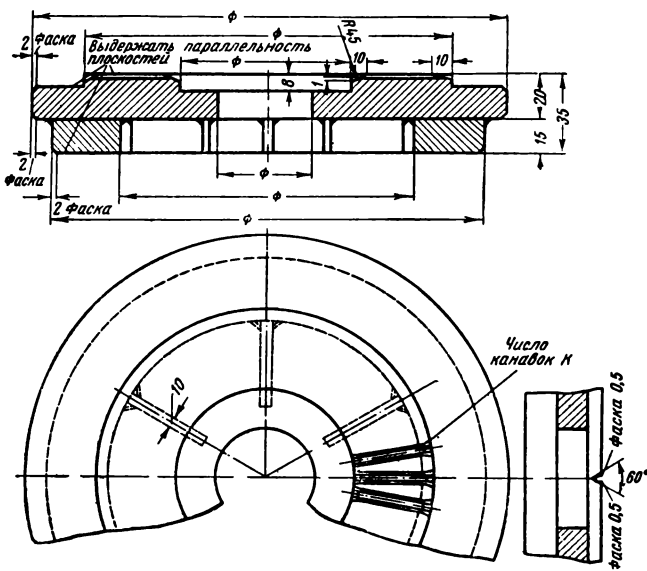
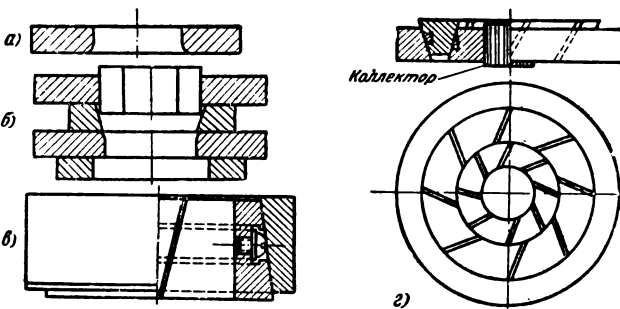


Рис. 5-14. Диск для сборки пластин в кольцо.

Для создания необходимого давления между пластинами и придания коллектору цилиндрической формы собранные в кольцо пластины подвергают прессовке в прессовочных кольцах. Применяют три разновидности прессовочных колец: 1) цилиндрические для коллекторов диаметром до 35 мм; 2) конические с плашками для коллекторов диаметром до 800 мм; 3) с радиальными болтами для коллекторов диаметром более 800 мм.

5-10. ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ ПРЕССОВОЧНЫЕ КОЛЬЦА

Цилиндрическое кольцо для прессовки коллекторных пластин (рис. 5-15,а) имеет простую форму; это важно потому, что при массовом производстве для обеспечения загрузки прессов необходимо иметь до 100 колец, в которых пластины проходят прессовку и выпечку миканита. Для плотной прессовки пластин одного кольца недостаточно, так как после усадки миканита необходимо коллектор



г. Прессовочные кольца для малых коллекторов.

допрессовать. Поэтому изготавливают комплекты, состоящие из двух или трех колец с уменьшающимися размерами внутреннего отверстия.

Диаметры отверстий рассчитывают следующим образом. Например, если коллектор состоит из 30 пластин с толщиной миканитовых прокладок 0,5 мм, то отклонения диаметров складываются из следующих составляющих:

отклонения за счет 7% усадки

миканита

$$\frac{30 \cdot 0,5 \cdot 0,07}{3,14} = 0,34 \text{ мм}$$

отклонения за счет средней величины допуска на толщину коллекторных пластин по 4-му классу точности согласно табл. 5-1

при a от 3 до 6 мм

$$\frac{30 \cdot 0,04}{3,14} = 0,38$$

Итого . . . 0,72 мм

Если диаметр коллектора после окончательной прессовки должен быть 35 мм, то размеры отверстий колец будут следующими, мм:

кольцо № 1	35,72
кольцо № 2	35,36
кольцо № 3	35,0

Первые два кольца напрессовывают последовательно одно за другим, а третье кольцо после выпечки коллектора при температуре 160°С, когда миканит размягчается.

Это кольцо служит базой при обработке торцов и ласточкиных хвостов коллекторных пластин. Для установки в цапговых и других быстродействующих патронах наружная поверхность кольца должна быть обработана по 3-му классу точности.

Кольца изготавливают из стали 45 с термической обработкой до твердости $R_c = 45-50$. На каждом кольце выбивают тип коллектора и порядковый номер кольца в комплекте. Для предохранения от задира коллекторных пластин заходная часть отверстия кольца должна быть скруглена. Радиус скругления берется наибольшим у первого кольца, так как оно должно дать комплекту пластин основную усадку.

Радиальная толщина стенки кольца должна быть достаточной, чтобы оно не деформировалось при прессовке. Согласно проверенным на практике данным отношение между наружным и внутренним диаметрами кольца следует выбирать 2,5—3. Высота кольца берется на 3—5 мм меньше длины коллекторных пластин после обработки торцов.

При разности диаметров колец, превышающей 0,5 мм, для облегчения перепрессовки применяется направляющая втулка с коническим внутренним отверстием (рис. 5-15,б).

5-11. КОНИЧЕСКИЕ ПРЕССОВОЧНЫЕ КОЛЬЦА

Для коллекторов диаметром больше 35 мм разность диаметров гладких колец получается настолько большой, что при перепрессовке колец могут образоваться задиры на поверхности медных пластин. Для снижения разности диаметров пришлось бы число колец в комплекте увеличить до 5—7, что уже становится невыгодным. Поэтому для прессовки таких коллекторов применяют конические кольца с разрезными плашками. Преимущество конических колец заключается в том, что они позволяют повышать давление между пластинами плавно и в несколько приемов, причем давление не снимается, как при перепрессовке цилиндрических колец, и поэтому исключается возможность сдвигов между медными пластинами и миканитовыми прокладками.

В последнее время прессовочные кольца с разрезными плашками стали применять и для малых коллекторов, которые раньше прессовали в гладких кольцах.

На рис. 5-15,в показано коническое кольцо с плашками для прессовки коллектора диамет-

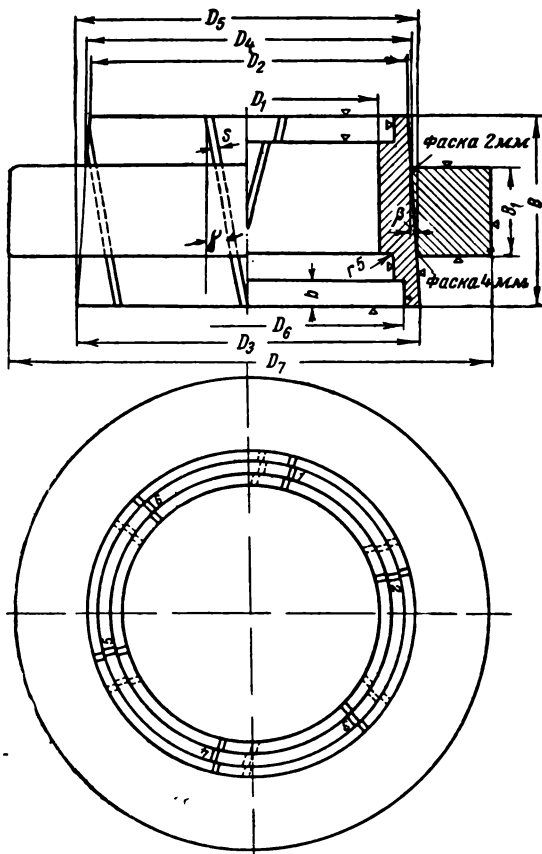


Рис. 5-16. Коническое прессовочное кольцо.

ром 52 мм и длиной пластины 35 мм. Разрезные плашки подвижно скреплены пластинками с помощью винтов. Для изготовления плашек вытачивают кольцо трапециевидного сечения, которое затем разрезают в косом направлении. Скошенные разрезы предохраняют от западания миканитовых прокладок в пропуски между плашками.

Для прессовки плашки надевают на комплект пластин, сняв с него предварительно связывающую проволоку. Затем на плашки надевают сплошное коническое кольцо, устанавливают кольца и дают на них давление гидравлического пресса. При этом плашки сжимаются и спрессовывают комплект пластин.

Угол наклона образующей конуса выбирают, исходя из условий самоторможения. Радиальное сжатие коллекторных пластин при угле 4° и перемещении кольца на 10 мм составляет $10 \cdot 2 \operatorname{tg} 4^\circ = 1,4$ мм. Чтобы кольцо имело возможность продвинуться на 10 мм, плашки должны иметь достаточную высоту. Таким образом, применение конических колец возможно только при длине коллектора не менее 30 мм.

Стремление применить конические кольца для прессовки коллекторов с меньшей длиной пластин привело к конструкции прессующего кольца, показанной на рис. 5-15,г. Оно состоит из наружного цельного кольца с коническим отверстием и двух разрезных конических колец, состоящих из восьми плашек каждое. Для предохранения от рассыпания плашки стягивают пружинной лентой. При прессовке комплект пластин вкладывают во внутреннее кольцо, а давление пресса дают на среднее. Под действием усилия пресса среднее кольцо опускается и стягивает секторы внутреннего кольца, которые сжимают коллекторные пластины. Очевидно, что при такой конструкции поступательное движение конического кольца уменьшается вдвое и оно может быть применено для коллекторов с длиной пластины порядка 15 мм.

На рис. 5-16 показана конструкция конического кольца с плашками для коллекторов диаметром до 800 мм. Конические плашки для уменьшения трения вытачивают из чугуна кольца и разрезают на несколько частей под углом. При разрезке плашки клеймят порядковыми номерами и установка их по окружности производится в порядке номеров.

При проектировании конического прессовочного кольца с плашками можно руководствоваться следующими соображениями и расчетными формулами [Л. 5-8. 5-9].

Внутренний диаметр плашек D_1 берут равным черновому диаметру коллектора D_k . Для крупных коллекторов в технологическом процессе предусмотрен контроль на замыкание между пластинами при прессовке, поэтому пластины изнутри оклеивают электрокартоном толщиной 1 мм, и тогда $D_1 = D_k + 2$ мм.

Диаметр D_2 определяется минимальной толщиной плашек, которая принимается 25 мм:

$$D_2 = D_1 + 50 \text{ мм.} \quad (5-4)$$

Если коллектор имеет ленточные петушки, которые при прессовке расположены сверху, то для надевания прессовочного кольца диаметр D_2 должен быть на 10 мм больше диаметра коллектора по петушкам D_n :

$$D_2 = D_n + 10 \text{ мм.} \quad (5-5)$$

Высоту плашек B берут в пределах 70—80% длины коллектора без петушков.

Диаметр D_3 рассчитывается по формуле

$$D_3 = D_2 + 2 B \operatorname{tg} \beta. \quad (5-6)$$

Угол конуса β берут 4 или 5°.

Высоту кольца B_1 берут в пределах 0,5 B —0,8 B ; большее значение — для коротких коллекторов.

Внешний диаметр кольца определяют по формуле

$$D_7 = D_3 + 2 B_1. \quad (5-7)$$

Диаметры кольца D_4 и D_5 определяют при условии, что при прессовке оно находится посередине высоты плашек

$$D_4 = D_2 + (B - B_1) \operatorname{tg} \beta, \quad (5-8)$$

$$D_5 = D_4 + 2 B_1 \operatorname{tg} \beta. \quad (5-9)$$

Выточка диаметром D_6 делается только для коллекторов с массивными петушками на 10 мм больше диаметра петушков D_n :

$$D_6 = D_n + 10 \text{ мм,} \quad (5-10)$$

а ширина выточки b на 5 мм больше ширины петушка.

Ширину прорезей s определяют толщиной дисковой фрезы, которая берется 2—4 мм.

Угол скоса γ выбирают так, чтобы скос перекрывал не менее трех коллекторных делений:

$$t_k = \pi D_k / K, \quad (5-11)$$

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{3t_k}{B} = \frac{10 D_k}{BK}. \quad (5-12)$$

В четырех точках, равномерно расположенных по окружности, в коническом кольце свер-

лят и нарезают отверстия для ввертывания цапф, при помощи которых производится застропливание кольца краном.

✓ 5-12. ПРЕССОВКА КОЛЛЕКТОРОВ АРОЧНОГО ТИПА В КОНИЧЕСКИХ КОЛЬЦАХ

Устанавливают на сборочной плите на подставках плашки и коническое кольцо. Проверяют правильность расположения плашек согласно выбитым на них номерам. Для проверки на отсутствие замыканий между пластинами, когда они находятся в прессовочном кольце, внутреннюю поверхность плашек оклеивают картоном. Плашки располагают так, чтобы они находились посередине длины коллекторных пластин.

Во внутреннее пространство между плашками набирают коллекторные пластины петушками кверху, чередуя их с миканитовыми прокладками. Для облегчения счета каждый десяток пластин отделяют картонной прокладкой. Миканитовые прокладки должны быть на одном уровне с нижним торцом пластин и выступать над верхним на 2—3 мм согласно чертежу. Угольником проверяют вертикальность положения коллекторных пластин по всей окружности. Затем поднимают прессовочное кольцо, вынимают из-под него подставки и опускают кольцо на плашки, следя, чтобы не было перекоса пластин. Кольцо с пластинами на переносной плите переносят на гидравлический пресс, устанавливают прессовочные стойки или сегменты и запрессовывают коллектор. После запрессовки измеряют диаметр коллектора с обеих сторон в двух перпендикулярных направлениях.

Для определения диаметра коллектора до прессовки принимают, что за счет усадки миканита и неплотностей прилегания пластин каждое коллекторное деление до прессовки будет больше окончательного на 0,1 мм. Таким образом, приращение диаметра непрессованного коллектора составит

$$\Delta D = \frac{0,1 K}{\pi}. \quad (5-13)$$

За счет приращения диаметра коническое кольцо в начале прессования будет выше окончательного положения на величину

$$h = \frac{\Delta D}{2} \operatorname{ctg} \beta. \quad (5-14)$$

Для предохранения от перекашивания плашек необходимо, чтобы коническое кольцо в начале прессовки находило на плашки на $1/3 B$.

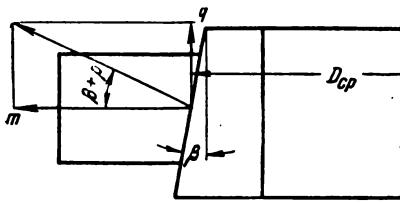


Рис. 5-17. Схема разложения сил в коллекторе.

Для упрощения надевания конического кольца на верхней части плашек рекомендуется снять дополнительный конус под углом 10° по высоте 15 мм, а углы плашек скруглить радиусом 5 мм.

Усилие прессовки Q (рис. 5-17) определяют по формуле

$$Q = 2\pi F p \operatorname{tg}(\beta + \rho), \quad (5-15)$$

где F — боковая поверхность пластин, см^2 ;

p — удельное давление между пластинами, $\text{кг}/\text{см}^2$;

β — угол образующей конуса;

ρ — угол трения, который при коэффициенте трения $\operatorname{tg} \rho = 0,3$ составляет $\rho = 16^\circ$.

При угле $\beta = 4^\circ$ и удельном давлении между пластинами $p = 350 \text{ кг}/\text{см}^2$ давление пресса на кольцо должно быть

$$Q = 800F \text{ [кг]}. \quad (5-16)$$

Давление пресса создает в коническом кольце радиальные усилия. При неоднородной плотности коллектора эти усилия могут деформировать кольцо, после чего все коллекторы будут при прессовке иметь отступление от правильной цилиндрической формы.

Ввиду того, что рассчитать возможную неоднородность коллектора очень сложно, при проектировании необходимую жесткость кольца подбирают условно по величине растягивающих усилий в сечении кольца при прессовке.

Давление пресса Q можно разложить на элементарные усилия (рис. 5-17):

$$q = \frac{Q}{\pi D_{cp}}, \quad (5-17)$$

равномерно распределенные по окружности диаметра

$$D_{cp} = \frac{D_4 + D_5}{2}. \quad (5-18)$$

На элементарном участке шириной 1 см усилие q вызывает горизонтальное усилие

$$m = q \operatorname{ctg}(\beta + \rho) \text{ [кг/см]}. \quad (5-19)$$

Эти усилия уравниваются растягивающими усилиями T , возникающими в поперечном сечении кольца.

$$2T \approx D_{cp} m = D_{cp} q \operatorname{ctg}(\beta + \rho) = \frac{Q D_{cp} \operatorname{ctg}(\beta + \rho)}{\pi D_{cp}}, \quad (5-20)$$

откуда

$$T = \frac{Q}{2\pi} \operatorname{ctg}(\beta + \rho). \quad (5-21)$$

Напряжение в кольце

$$\sigma_z = \frac{T}{S} \text{ [кг/см}^2\text{]}, \quad (5-22)$$

где сечение кольца

$$S = 0,5B_1(D_7 - D_{cp}) \text{ [см}^2\text{]}. \quad (5-22a)$$

Практика производства коллекторов показывает, что кольца являются достаточно жесткими, если напряжение в сечении кольца σ_z не превышает $800 \text{ кг}/\text{см}^2$. При более высоких напряжениях надо увеличить наружный диаметр кольца D_7 .

Если после прессовки диаметр коллектора окажется больше или меньше допускаемого, то заменяют часть прокладок между пластинами более тонкими или более толстыми на 0,2 мм и распределяют их между пластинами равномерно по окружности. Производят проверку на отсутствие замыканий между пластинами контрольной лампой мощностью 60—100 вт при напряжении 220 в.

Для запечки изоляции между пластинами коллектор устанавливают в электропечь. В прорези петушков устанавливают три термомпары, распределив их равномерно по окружности.

Контроль коллектора заключается в проверке числа пластин и наличия миканитовых прокладок между всеми пластинами. Проверка диаметра коллектора производится со следующими допусками:

для коллекторов \varnothing до 300 мм	± 2 —1
" " \varnothing от 300 до 800 мм	± 2
" " \varnothing свыше 800 мм	± 3 —2

Перекося пластин от вертикального положения допускается при длине пластины, мм;

до 200	—1
200—400	—1,5
свыше 400	—2

✓ 5-13. ПРЕССОВОЧНЫЕ КОЛЬЦА С РАДИАЛЬНЫМИ БОЛТАМИ

Для коллекторов диаметром свыше 800 мм потребовались бы очень большие размеры пресса, и установка коллекторов на плиту пресса при большом весе стала бы затруднительной, поэтому прессовка крупных коллекторов производится системой радиальных болтов с цилиндрическими плашками (рис. 5-18). Эта система имеет то преимущество, что не требует индивидуальных колец для каждого диаметра коллектора. Однако запрессовка коллектора болтами занимает значительно больше времени и требует большой внимательности и опыта, так как при несимметричной затяжке болтов нарушается цилиндрическая форма коллектора.

Плашки разрезаны фрезой толщиной 3—4 мм под углом 10—20° к вертикали, чтобы медные пластины не проваливались между ними.

Число плашек должно быть четным.

При проектировании прессовочного кольца можно руководствоваться следующими соотношениями [Л. 5-8 и 5-9]:

$$D_1 = D_k + 2 \text{ мм} \quad (5-23)$$

с учетом оклейки плашек картоном толщиной 1 мм.

Высоту плашек B берут равной $\frac{2}{3}$ длины коллектора, расстояние h между плашками и петушками коллектора не менее 5 мм.

Толщину плашек C принимают в пределах 35—55 мм. По окружности плашек проточены канавки глубиной 4—5 мм, в которые упираются концы болтов, чтобы при транспортировке прессовочного кольца плашки не выпали. Длина плашки по хорде наружной окружности 300—500 мм.

Количество горизонтальных рядов болтов бывает 2—4. Расстояние между болтами в каждом ряду принимают равным 3—4 диаметрам болта. Для прессовочных колец применяются болты М30, М36 и М42. Концы болтов закаливают до твердости $R_c = 40—45$.

Толщину кольца b берут 40—60 мм.

Для увеличения жесткости к нему снаружи приваривают два или три кольцевых ребра. В четырех точках по окружности кольца к нему приваривают цапфы для транспортировки.

Внутренний диаметр кольца D_2 подбирают так, чтобы коллектор с учетом приращения диаметра ΔD , определяемого по (5-13), свободно помещался внутри плашек. Минимальный диаметр коллектора, прессуемого в данном кольце, определяют из расчета, чтобы за-

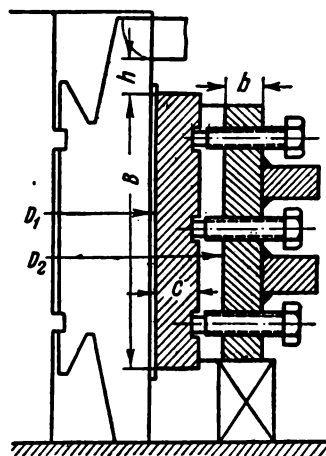


Рис. 5-18. Прессовочное кольцо с радиальными болтами.

зор между кольцом и плашками не превышал двойного диаметра болта во избежание изгиба болтов при затяжке.

✓ 5-14. ПРЕССОВКА КОЛЛЕКТОРОВ АРОЧНОГО ТИПА В КОЛЬЦАХ С РАДИАЛЬНЫМИ БОЛТАМИ

Устанавливают на плите прессовочное кольцо, проверяя правильность расстановки нажимных плашек, исправность картонных наклеек и равномерное распределение зазоров между сегментами. В кольцо устанавливают собранные медные пластины петушками вверх. Равномерно по всей окружности подтягивают болты среднего ряда. В центре окружности коллектора устанавливают центровочную колонку и циркулем проверяют ее центричность относительно кольца. Затем снова подтягивают средний ряд болтов, проверяя правильность окружности коллектора при помощи колонки с циркулем. Угольником проверяют вертикальность положения пластин по всей окружности коллектора. Затем ввертывают болты верхнего и нижнего ряда до упора в плашки. Производят затяжку болтов верхнего ряда равномерно по окружности, проверяя цилиндрическую форму коллектора циркулем центровочной колонки.

Переставляют коллектор на сборочной плите петушками вниз и устанавливают его на подставках одинаковой высоты, на которые опирается торец прессовочного кольца. В четырех диаметрально противоположных точках окружности подтягивают болты верхнего ряда, выверяя угольником вертикальность пластин. Устанавливают центровочную колонку по четырем выверенным по вертикали пластинам. Равномерно подтягивают болты верхнего ряда, выверяя окружность циркулем при по-

мощи центровочной колонки, а вертикальность пластин по угольнику. Окончательная затяжка болтов производится путем приложения к головкам болтов вращающего момента, который определяется по формуле

$$M = 1,5 \frac{d}{n} F p \text{ [кг} \cdot \text{см]}, \quad (5-24)$$

где d — наружный диаметр болта, мм;
 n — общее число болтов;
 F — боковая поверхность пластины, см²;
 p — удельное давление на боковую поверхность пластины, равное 300 кг/см².

На этот вращающий момент настраивают пневматические сболчиватели (рис. 4-34).

При затяжке болтов вручную принимают усилие одного человека 60 кг и необходимую длину рычага гаечного ключа в метрах определяют:

$$L = \frac{M}{60} \text{ [см]}. \quad (5-25)$$

Для расчета болтов на прочность пользуются формулой

$$M = 0,155 P d, \quad (5-26)$$

где P — осевое усилие болта, кг;
 d — номинальный диаметр резьбы, см.

$$P = \frac{6,45 M}{d} \text{ [кг]}. \quad (5-27)$$

Напряжение сжатия болта

$$\sigma_d = \frac{P}{S} \text{ [кг/см}^2\text{]}, \quad (5-28)$$

где S — площадь поперечного сечения стержня болта по внутреннему диаметру резьбы.
 Для болтов из стали Ст. 5 допускают напряжение 900 кг/см².

Прочность кольца проверяют по формуле

$$\sigma_z = \frac{P n}{2 \pi F_k} \text{ [кг/см}^2\text{]}, \quad (5-29)$$

где F_k — сечение кольца за вычетом резьбовых отверстий.

Напряжение в кольце из стали Ст. 3 не должно превышать 800 кг/см².

✓ 5-15. ОБРАБОТКА ЛАСТОЧКИНЫХ ХВОСТОВ

После окончательной прессовки комплект пластин вместе с прессовочным кольцом поступает на обработку ласточкиных хвостов. У малых коллекторов диаметром до 30 мм обработка конических выточек может производиться фасонным резцом, который за один проход дает окончательный профиль выточки с одной стороны ласточкина хвоста. Фасон-

ный резец дает значительное увеличение производительности по сравнению с обработкой по операциям.

Для коллекторов диаметром свыше 30 мм применение фасонного резца невозможно, так как при увеличении поверхности и глубины обрабатываемой выточки фасонный резец заклинивается вследствие большой разности окружных скоростей на внутренней и наружной режущих кромках. Поэтому ласточкины хвосты обрабатывают по операциям.

Предварительно обтачивают торец и растачивают внутреннее отверстие. Коллектор зажимают в трехкулачковом патроне за наружную поверхность прессуемого кольца. Для обработки второй стороны коллектор переворачивают в патроне. Базой для зажима служит наружная поверхность прессовочного кольца, которая, как правило, имеет некоторый перекос по отношению к пластинам. Выверка в патроне отнимает много времени и не обеспечивает соосности расточек ласточкина хвоста. Проверка соосности практически невозможна. О перекосе расточек можно судить только по разности длин ласточкина хвоста, измеренных в разных точках окружности.

В коллекторах прессуемых в кольцах с системой радиальных болтов, для выверки коллектора на станке в пластинах протачивают две канавки, показанные на рис. 5-18.

Для устранения перекосов при обработке ласточкиных хвостов в коллекторах средних машин за базу берут внутреннюю цилиндрическую поверхность в пластинах, причем база остается неизменной при обработке обеих сторон ласточкина хвоста.

На рис. 5-19 показана конструкция разжимной оправки для обработки коллектора. Оправка состоит из вала 1 с запрессованными термически обработанными центрами 6. На вал напрессован патрон 2 и заклинен коническим штифтом. В отверстия патрона вставлены три кулачка 5, которые удерживаются от выпадения фрикционными болтами 7. К концам кулачков привинчены термически обработанные накладки 8. Нижние концы кулачков имеют коническую поверхность, в которую входит конус 3, скользящий вдоль вала. В заточку конуса введена гайка 4, которая при поворачивании передвигается вдоль вала и раздвигает кулачки. Кулачки упираются во внутреннюю поверхность коллекторных пластин. Для обработки второй стороны ласточкина хвоста вся оправка вместе с коллектором должна быть перевернута в центрах станка. Таким образом исключается возможность эксцентриситета и перекоса выточек в коллекторных пластинах.

При обработке ласточкиных хвостов следует опасаться замыканий между пластинами через заусенцы. Поэтому при обработке берут небольшое сечение стружки и большие скорости резания — до 250 м/мин. Проверку на замыкание между пластинами производят внеш-

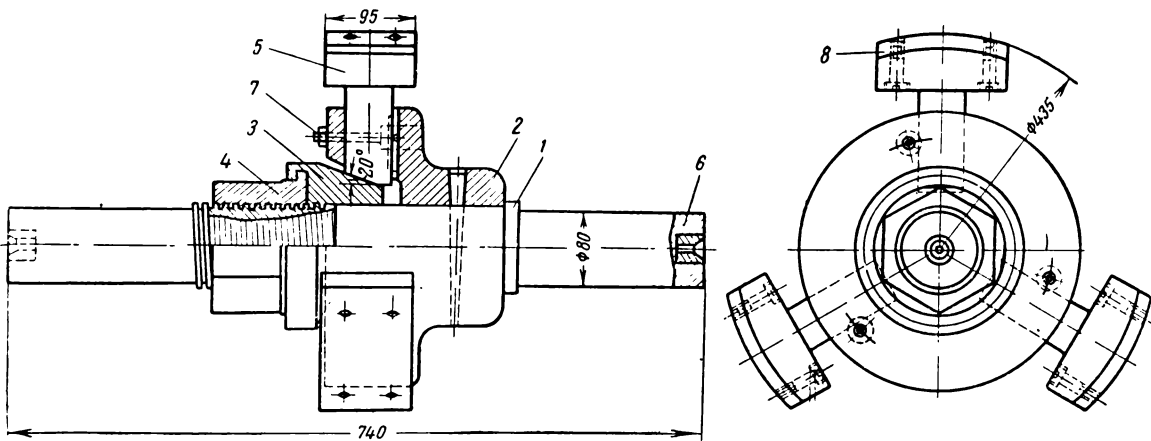


Рис. 5-19. Разжимная оправка для обработки ласточкиных хвостов.

ним осмотром, во время которого шабером снимают все заусенцы меди на поверхности миканитовых прокладок.

При проточке ласточкиных хвостов в коллекторах для измерения профиля применяют обычно два шаблона: с углом 30° для предварительной проточки и углом 33° для окончательной. Эти шаблоны не могут быть использованы для разных типов коллекторов, поэтому для каждого коллектора изготавливаются отдельные шаблоны.

В большей части коллекторов применяются одни и те же углы ласточкина хвоста, а изменяется только глубина выточки, что дает возможность применить универсальный шаблон, который может заменить целый набор шаблонов. Он состоит из профильной линейки 1 (рис. 5-20) и каретки 2. Стороны линейки образуют угол 30° на одном конце и 33° — на другом. На линейке нанесены две шкалы для установки на заданную глубину. Одна шкала служит для установки линейки при проточке угла 30° , а вторая — при проточке угла 33° . Точная установка линейки производится по нониусу, нанесенному на стенке каретки. Винт 3 и прижимная планка 4 служат для закрепления линейки

в требуемом положении. Для удобства изготовления каретка сделана составной. Применение универсального шаблона особенно эффективно при мелкосерийном производстве.

Шаблон, показанным на рис. 5-20, можно проверить только профиль выточек в пластинах, но не расстояние их от оси коллектора. Поэтому при проточке базовой поверхности и при контроле обработки пользуются диаметральным шаблоном. Для измерения втулки коллектора (см. рис. 5-22) средняя часть диаметрального шаблона должна быть изогнутой, чтобы обходить трубу поз. 2.

✓ 5-16. МЕХАНИЧЕСКИЕ ДЕТАЛИ КОЛЛЕКТОРА

К механическим деталям коллектора относятся втулки, нажимные конусы, гайки и стягивающие шпильки.

Различают две конструкции коллекторов: с двумя приставными конусами (рис. 5-1) и с одним приставным конусом (рис. 5-22). В первой конструкции упрощается обработка конусов, которая должна удовлетворять требованиям высокой точности и чистоты поверхности. В больших коллекторах такая конструкция находит исключительное применение. В малых коллекторах конструкция с двумя приставными конусами дает возможность выполнить из стали только конусы, а втулку отлить из чугуна, так как она не подвержена действию центробежных сил коллекторных пластин. Однако часто в коллекторах машин средней мощности один из конусов выполняют заодно со втулкой для уменьшения количества деталей и сопряжений при сборке.

В производстве автотракторного электрооборудования применяются коллекторы с штампованными конусами и втулками, которые скрепляются посредством развальцовки концов втулки (рис. 5-21,а). На рис. 5-21,б показана схема штамповки втулки, а на рис. 5-21,в — нажимных конусов.

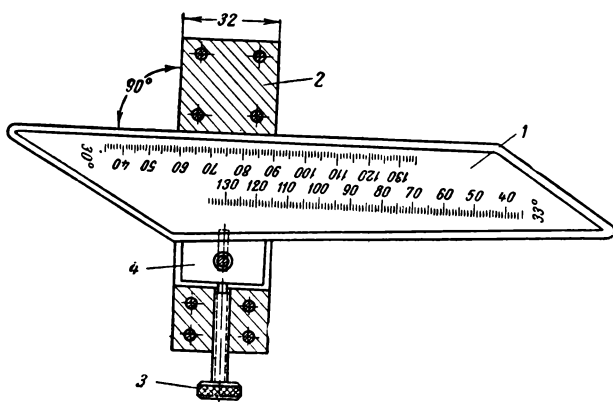


Рис. 5-20. Универсальный шаблон для обработки коллекторов,

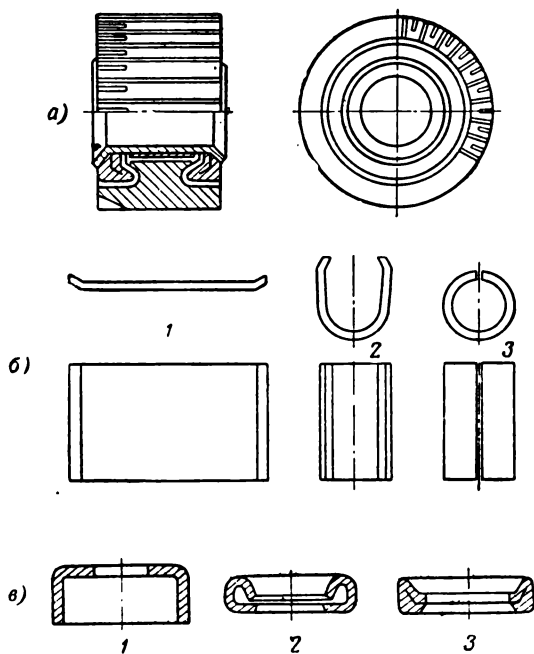


Рис. 5-21. Коллектор автомобильного генератора.

Литые втулки и нажимные конусы обычно отливают из стали, так как высокие механические напряжения не дают возможности применения чугуна даже модифицированного, с повышенными механическими свойствами. Литая втулка коллектора из-за вентиляционных каналов обычно получается сложной и требует применения для формовки сухих стержней. Втулка коллектора, выполненная совместно с одним из нажимных конусов, имеет сложную форму для выполнения отливки, так как относительно большое сечение нажимного конуса переходит в тонкие стенки самой втулки. Поэтому в последние годы наметилась тенденция к замене литых втулок сварными.

На рис. 5-22 показана конструкция сварной втулки коллектора, выполненной совместно с нажимным конусом. Для уменьшения отходов втулка сделана из нескольких частей: нажимного конуса 1, трубы 2, приставного кольца 3, ступицы 4 и шести ребер 5. Заготовка для нажимного конуса получается методом горячейковки в форме под молотом. Заготовки трубы и ступицы свертывают из листовой стали. Заготовки ребер вырезают автогеном из листовой стали. При рациональном раскрое листов стали отходы металла получаются незначительными.

Переход на сварные конструкции нажимных конусов и втулок коллектора позволил полностью освободиться от стального литья в производстве машин серии П-100.

Поверхности нажимных конусов должны быть обработаны по 2—3-му классу точности и 6—7-му

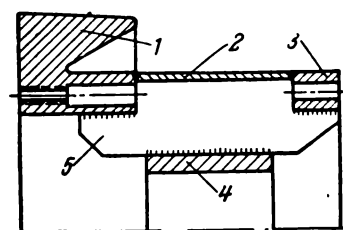


Рис. 5-22. Сварная втулка коллектора.

классу чистоты поверхности, так как следы реза значительно снижают электрическую прочность миканитовых манжет. Установить допуски на размеры конических поверхностей довольно трудно, так как линейные размеры функционально связаны с углами. Поэтому на чертежах задают номинальные размеры, а проверяют детали при обработке нормальными шаблонами на просвет. Особенно точно должен быть выдержан угол наклона внутреннего конуса в 30° , так как через него передается давление на ласточкины хвосты коллекторных пластин.

На рис. 5-23 показаны три системы проставления размеров нажимных конусов.

Система, показанная на рис. 5-23,а, хотя она широко распространена, неудобная, так как точка пересечения образующих конусов расположена вне детали и токарь, производя предварительную обдирку конуса, не имеет контрольных размеров. При изготовлении операционных шаблонов для чистовой обточки приходится размеры пересчитывать, а новые размеры, зыбиваемые на шаблонах, отсутствуют на рабочем чертеже, что затрудняет пользование чертежом при обработке.

Система проставления размеров, показанная на рис. 5-23,б, значительно удобнее; здесь размеры соответствуют детали до снятия радиуса закругления, которое производится в последнюю очередь.

Для предохранения угла миканитовой манжеты от повреждения иногда верхняя поверхность нажимного конуса выполняется с дополнительным скосом под углом $\gamma = 6-8^\circ$ к горизонтали. Форма такого конуса с обозначением проставляемых на чертеже размеров показана на рис. 5-23,в.

При длине коллекторных пластин до 150—200 мм коллекторы обычно стягивают круглой гайкой, которую навинчивают на втулку коллектора (рис. 5-1). В некоторых конструкциях после насадки коллектора на вал гайка обращена в сторону якоря. Такая конструкция является нетехнологичной, так как лишает воз-

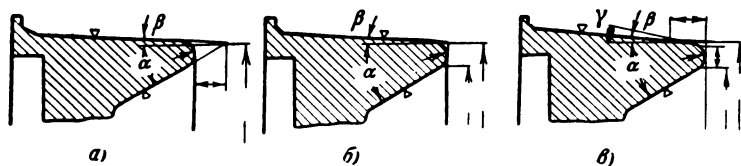


Рис. 5-23. Способы проставления размеров нажимных конусов.

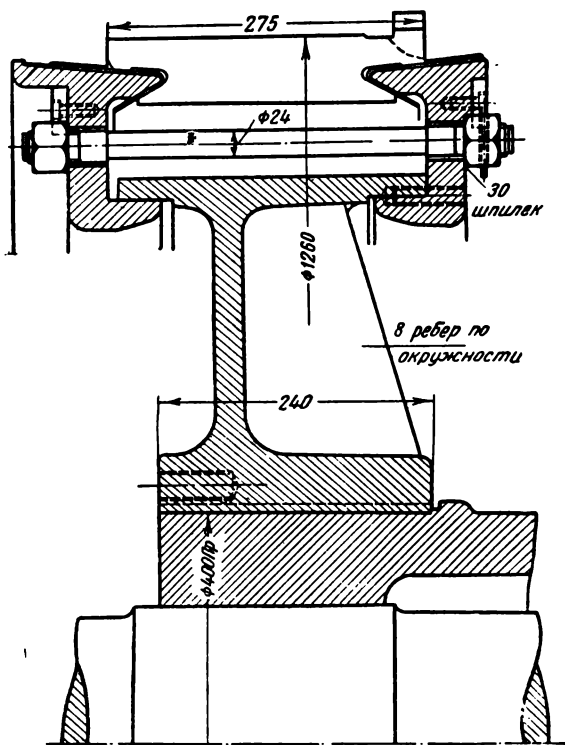


Рис. 5-24. Коллектор со стяжными шпильками.

возможности подтягивать гайку в процессе эксплуатации. Если произойдет ослабление пресовки пластин, то придется отпаивать проводники обмотки от петушков коллектора и снимать коллектор с вала.

В машинах, требующих динамической балансировки, одна из плоскостей расположения балансировочных грузов размещается на торце коллектора. Поэтому приходится усложнять форму нажимного конуса для размещения на нем канавок для балансировочных грузов. В коллекторах с пластмассовым корпусом такая возможность отсутствует. Поэтому в таких машинах на вал насаживают специальное кольцо, служащее для балансировки. Балансировка производится путем высверливания отверстий в ободе этого кольца.

Если коллекторы не имеют возможности расширяться в осевом направлении при нагревании, то длинные пластины их в процессе эксплуатации могут подвергаться выпучиванию. Для компенсации удлинения пластин в таких коллекторах всегда применяют стяжные шпильки (рис. 5-24), которые при расширении пластин удлиняются, а при охлаждении коллектора снова укорачиваются. Чтобы разгрузить нарезку шпилек от больших напряжений, ее делают утолщенной, а необходимую

упругость шпильки получают благодаря проточенной средней их части.

Во избежание деформаций петушков при прогибах вала втулка коллектора насажена на выступ корпуса якоря.

5-17. РАСЧЕТ И КОНСТРУКЦИЯ ПРЕСС-ФОРМ ДЛЯ МАНЖЕТ

Для получения однородной плотности манжеты расстояния между матрицей и пуасоном пресс-формы во всех сечениях должны быть одинаковыми. Рабочий чертеж манжеты никогда не содержит всех размеров, необходимых для изготовления пресс-формы. Эти размеры получают расчетным путем.

На рис. 5-25,а представлен чертеж манжеты с достаточным количеством размеров для построения. Однако этих размеров далеко не достаточно для изготовления матрицы и пуасона пресс-формы. Расчет пресс-формы заключается в определении всех размеров внутреннего и внешнего контуров манжеты, отстоящих друг от друга на расстоянии, равном толщине манжеты.

Расчет пресс-формы базируется на следующих основных формулах:

1. Определение координат вершин *A* и *B* двух углов с параллельными сторонами, на-

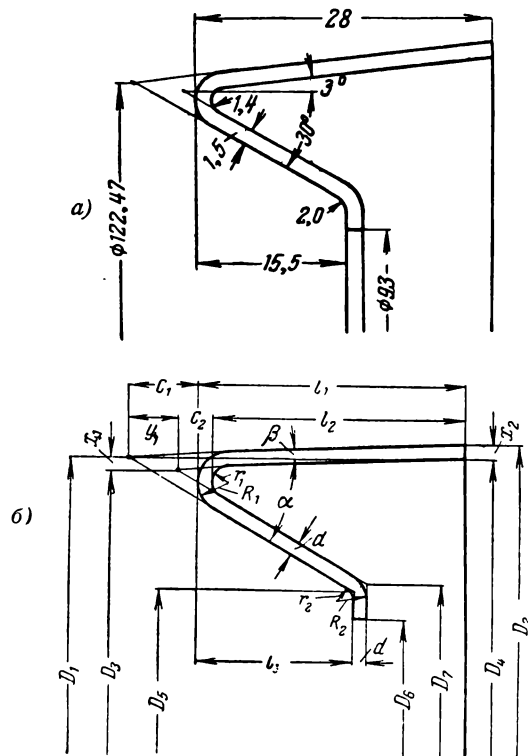


Рис. 5-25. Чертежи манжеты.
а — конструктивный; б — технологический.

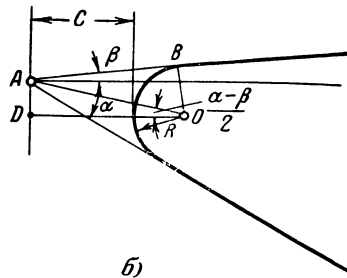
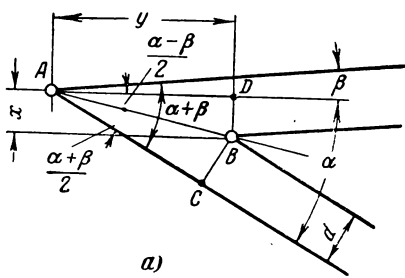


Рис. 5-26. Эскизы к формулам расчета пресс-формы.

клоненными к горизонтали под углами α и β и отстоящими одна от другой на расстоянии d (рис. 5-26,а).

Соединив точки A и B прямой, которая, очевидно, является биссектрисой угла $\alpha + \beta$, замечаем, что угол BAD , являющийся разностью углов $\frac{\alpha + \beta}{2}$ и β , равен:

$$\frac{\alpha + \beta}{2} - \beta = \frac{\alpha + \beta - 2\beta}{2} = \frac{\alpha - \beta}{2}; \quad (5-30)$$

из треугольника ABC определяется длина отрезка AB :

$$AB = \frac{d}{\sin \frac{\alpha + \beta}{2}}; \quad (5-31)$$

из треугольника ABD находим значение координат x и y :

$$x = AB \sin \frac{\alpha - \beta}{2} = d \frac{\sin \frac{\alpha - \beta}{2}}{\sin \frac{\alpha + \beta}{2}}; \quad (5-32)$$

$$y = AB \cos \frac{\alpha - \beta}{2} = d \frac{\cos \frac{\alpha - \beta}{2}}{\sin \frac{\alpha + \beta}{2}}. \quad (5-33)$$

2. Определение величины отрезка c , отсекаемого от вершины угла закруглением с радиусом R (рис. 5-26,б).

Из треугольника AOB определяем длину отрезка AO :

$$AO = \frac{R}{\sin \frac{\alpha + \beta}{2}}. \quad (5-34)$$

В треугольнике AOD сторона DO является суммой радиуса R и искомого отрезка c :

$$R + c = AO \cos \frac{\alpha - \beta}{2} = R \frac{\cos \frac{\alpha - \beta}{2}}{\sin \frac{\alpha + \beta}{2}}, \quad (5-35)$$

откуда

$$c = R \frac{\cos \frac{\alpha - \beta}{2}}{\sin \frac{\alpha + \beta}{2}} - R = R \left[\frac{\cos \frac{\alpha - \beta}{2}}{\sin \frac{\alpha + \beta}{2}} - 1 \right]. \quad (5-36)$$

При помощи этих формул можно подсчитать все размеры, требующиеся для изготовления пресс-формы.

В табл. 5-2 приведены значения встречающихся в формулах угловых функций для наиболее употребительных углов, применяемых при проектировании коллекторов.

Таблица 5-2

Значения коэффициентов

$$K_1 = \frac{\sin \frac{\alpha - \beta}{2}}{\sin \frac{\alpha + \beta}{2}} \text{ и } K_2 = \frac{\cos \frac{\alpha - \beta}{2}}{\sin \frac{\alpha + \beta}{2}}$$

α°	β°		
	2	3	6
30	$K_1 = 0,8777$ $K_2 = 3,5201$	$K_1 = 0,8219$ $K_2 = 3,4237$	$K_1 = 0,6728$ $K_2 = 3,1654$
45	$K_1 = 0,9191$ $K_2 = 2,3334$	$K_1 = 0,8811$ $K_2 = 2,2953$	$K_1 = 0,7754$ $K_2 = 2,1896$

На рис. 5-25,б представлен технологический чертеж манжеты со всеми размерами, необходимыми для изготовления пресс-формы. В качестве заданных величин принято минимальное количество размеров, которые обязательно должны быть даны в рабочем чертеже манжеты.

Эти размеры обозначены на рис. 5-25,б буквами $D_1, D_6, l_1, l_3, d, r_1, r_2, \alpha, \beta$, а числовые значения их взяты с рис. 5-25,а.

Подсчет остальных размеров производится на основе выведенных выше формул и табл. 5-2. Порядок и ход вычислений приведены в виде расчетного формуляра (табл. 5-3).

На рис. 5-27 изображена пресс-форма для манжеты, приведенной на рис. 5-25,б. Матрица пресс-формы разъемная из двух частей 1 и 2. Это упрощает процесс обработки матрицы, а при прессовке внутренняя часть 2 служит выталкивателем при выемке манжеты из пресс-формы. Планка 4 служит для вытаскивания пуансона 3.

Все рабочие поверхности пресс-формы должны быть гладко отполированы. Для уменьшения износа их обычно хромируют.

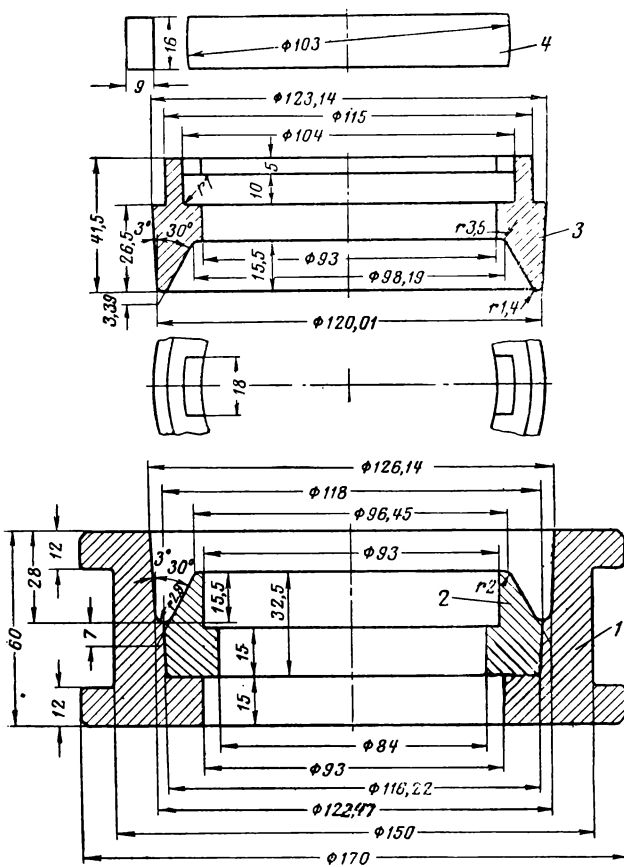


Рис. 5-27. Чертеж пресс-формы для манжеты.

В высоковольтных машинах с малыми изоляционными расстояниями (тяговые двигатели) применяются миканитовые манжеты с отворотами, которые перекрывают изоляционный цилиндр от пробоя с пластин на корпус внутри коллектора.

На рис. 5-28 показаны конструктивный и технологический чертежи манжеты с отворотами, а в табл. 5-4 дан расчетный формуляр, рассчитанный на основе размеров, приведенных на рис. 5-28,а.

Конструкция пресс-формы для манжеты с отворотами значительно сложнее. Пуансон ее делается составным по окружности из нескольких секторов.

5-18. ИЗГОТОВЛЕНИЕ МИКАНИТОВЫХ МАНЖЕТ

Для коллекторных манжет применяется формовочный миканит, изготавливаемый по ГОСТ 6122-52, или слюдинит.

Для коллекторных манжет принимают марки ФМ2А, ФФ2А и ФС2А толщиной 0,3 и 0,35 мм, электрическая прочность — не ниже 35—25 кв/мм.

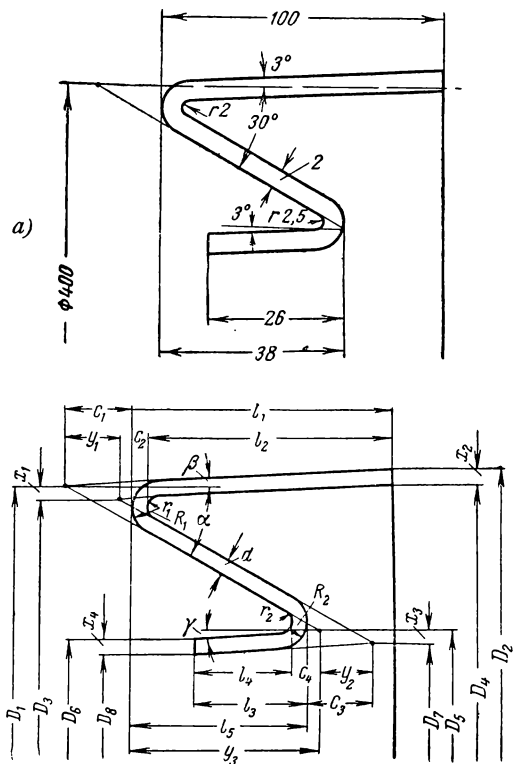


Рис. 5-28. Чертежи манжеты с отворотами. а — конструктивный; б — технологический.

Формовочный слюдинит состоит из слюдинитовой бумаги, склеенной при помощи связующего вещества, без подложки или с подложкой, покрывающей слюдинитовую бумагу с одной или обеих сторон.

Качество коллекторных манжет зависит от материала и формы заготовок, правильно выбранного технологического процесса прессовки и выпечки манжет и конструкции пресс-формы. Для закладывания в пресс-форму миканит нарезают по специальному шаблону в виде элементов кольца, носящих название сегментов, по аналогии с листами составного сердечника магнитопровода. Окружность манжеты больших размеров составляется из нескольких сегментов с перекрытием стыков таким образом, чтобы ни в одном сечении манжеты не приходилось больше одного стыка. Сегмент представляет собой развернутую поверхность двух усеченных конусов с углами при вершине 2α и 2β (рис. 5-29,а).

Ввиду того что угол α значительно больше угла β , по длине получается излишний материал, который должен был бы образовать складки и утолщать манжету. Для того чтобы избежать этого, делают вырезы.

Расчет заготовки манжеты (рис. 5-29,б) с углами $\alpha = 30^\circ$, $\beta = 3^\circ$ и припусками на обрез-

Расчетный формуляр размеров пресс-формы

R_1	$r_1 + d$	$1,4 + 1,5$	2,9
c_1	$R_1 \left[\frac{\cos \frac{\alpha - \beta}{2}}{\sin \frac{\alpha + \beta}{2}} - 1 \right]$	$2,9 [3,4237 - 1]$	7,00
D_2	$D_1 + 2(c_1 + l_1) \operatorname{tg} \beta$	$122,47 + 2(7 + 28)0,0524$	126,14
x_1	$d \frac{\sin \frac{\alpha - \beta}{2}}{\sin \frac{\alpha + \beta}{2}}$	$1,5 \cdot 0,8219$	1,23
D_3	$D_1 - 2x_1$	$122,47 - 2 \cdot 1,23$	120,01
x_2	$\frac{d}{\cos \beta}$	$\frac{1,5}{0,9936}$	1,50
D_4	$D_2 - 2x_2$	$126,14 - 2 \cdot 1,5$	123,14
y_1	$d \frac{\cos \frac{\alpha - \beta}{2}}{\sin \frac{\alpha + \beta}{2}}$	$1,5 \cdot 3,4237$	5,14
c_2	$r_1 \left[\frac{\cos \frac{\alpha - \beta}{2}}{\sin \frac{\alpha + \beta}{2}} - 1 \right]$	$1,4 [3,4237 - 1]$	3,39
l_2	$l_1 - d$	$28 - 1,5$	26,5
R_2	$r_2 + d$	$2 + 1,5$	3,5
D_5	$D_1 - 2(c_1 + l_3) \operatorname{tg} \alpha$	$122,47 - 2(7 + 15,5)0,5773$	96,45
D_7	$D_3 - 2(c_2 + l_3) \operatorname{tg} \alpha$	$120,01 - 2(3,39 + 15,5)0,5773$	98,19

ку по 10 мм на сторону производят по следующим формулам [Л. 5-1]:

$$R_1 = 9,55D_1 + 10 \text{ [мм]}, \quad (5-37)$$

$$R_2 = R_1 - a + 1,15b + c + 3,2r_1 + r_2 + 20 \text{ [мм]}, \quad (5-38)$$

$$A_1 = 0,327R_1 + x \text{ [мм]}, \quad (5-39)$$

$$A_2 = 0,327R_2 + x \text{ [мм]}, \quad (5-40)$$

$$s = \frac{0,329R_2 + x}{z} \text{ [мм]}, \quad (5-41)$$

$$t = \frac{0,329R_2 - 3,14(D_2 - 20)}{z} \text{ [мм]}, \quad (5-42)$$

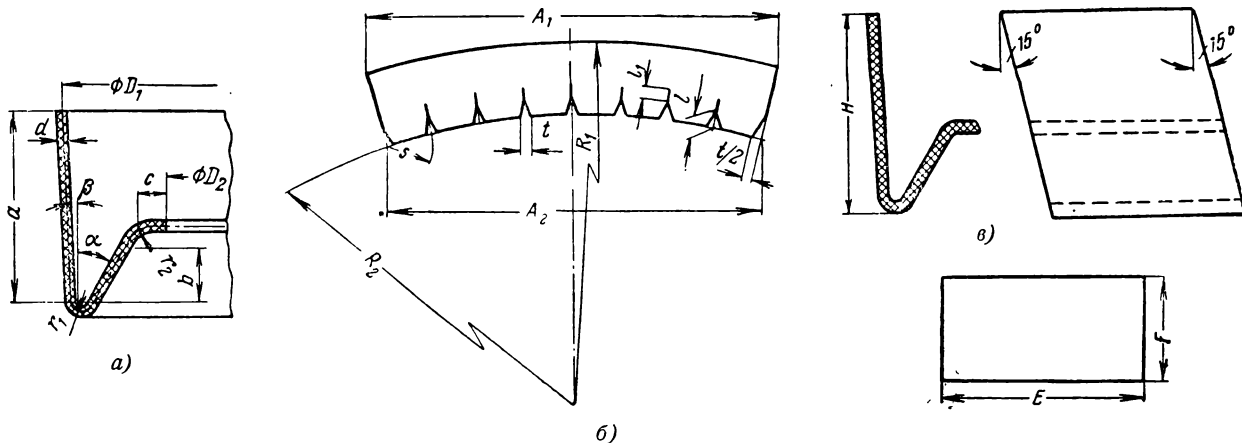


Рис. 5-29. Заготовки для манжет.

Расчетный формуляр размеров пресс-формы

R_1	$r_1 + d$	$2 + 2$	4
c_1	$R_1 \left[\frac{\cos \frac{\alpha - \beta}{2}}{\sin \frac{\alpha + \beta}{2}} - 1 \right]$	$4 [3,4237 - 1]$	9,69
L_2	$D_1 + 2(c_1 + l_1) \operatorname{tg} \beta$	$400 + 2(9,69 + 100) 0,0524$	411,50
x_1	$d \frac{\sin \frac{\alpha - \beta}{2}}{\sin \frac{\alpha + \beta}{2}}$	2·0,8219	1,64
D_3	$D_1 - 2x_1$	$400 - 3,28$	396,72
x_2	$\frac{d}{\cos \beta}$	$\frac{2}{0,9986}$	2
D_4	$D_2 - 2x_2$	$411,50 - 2 \cdot 2$	407,50
y_1	$d \frac{\cos \frac{\alpha - \beta}{2}}{\sin \frac{\alpha + \beta}{2}}$	2·3,4237	6,85
c_2	$r_1 \left[\frac{\cos \frac{\alpha - \beta}{2}}{\sin \frac{\alpha + \beta}{2}} - 1 \right]$	$2 [3,4237 - 1]$	4,85
l_2	$l_1 - d$	$100 - 2$	98
y_2	$d \frac{\cos \frac{\alpha - \gamma}{2}}{\sin \frac{\alpha + \gamma}{2}}$	2·3,4237	6,85
R_2	$r_2 + d$	$2,5 + 2$	4,5
c_3	$R_2 \left[\frac{\cos \frac{\alpha - \gamma}{2}}{\sin \frac{\alpha + \gamma}{2}} - 1 \right]$	$4,5 [3,4237 - 1]$	10,91
y_3	$l_5 + c_3 - y_2$	$38 + 10,91 - 6,85$	42,06
D_5	$D_1 - 2(c_1 + y_3) \operatorname{tg} \alpha$	$400 - 2(9,69 + 42,06) 0,5773$	340,25
l_4	$l_3 - d$	$26 - 2$	24
c_4	$r_2 \left[\frac{\cos \frac{\alpha - \gamma}{2}}{\sin \frac{\alpha + \gamma}{2}} - 1 \right]$	$2,5 [3,4237 - 1]$	6,06
D_6	$D_5 - 2(l_4 + c_4) \operatorname{tg} \gamma$	$340,25 - 2(24 + 6,06) 0,0524$	337,10
x_4	$\frac{d}{\cos \gamma}$	$\frac{2}{0,9986}$	2
D_8	$D_6 - 2x_4$	$337,10 - 2 \cdot 2$	333,10
x_3	$d \frac{\sin \frac{\alpha - \gamma}{2}}{\sin \frac{\alpha + \gamma}{2}}$	2·0,8219	1,64
D_7	$D_5 - 2x_3$	$340,25 - 3,28$	336,97

$$l = R_1 - R_2 + a + 10 \text{ [мм]}, \quad (5-43)$$

$$l_1 = 2,6r_1, \text{ но не менее } 6 \text{ [мм]}. \quad (5-44)$$

Значения приведенных в формулах величин показаны на рис. 5-29, а и в. Число вырезов z и припуск по длине хорд x выбирают по табл. 5-5.

Таблица 5-5

Число вырезов и припуски в заготовках коллекторных манжет

D_1 , мм	z	x , мм
До 60	8	4
61—90	10	4
91—130	16	7
131—170	20	7
171—220	26	7
221—280	32	7
281—400	40	10
Свыше 400	48	10

По размерам листов формовочного миканита хорда A_1 не должна превышать 1 м, поэтому заготовки манжет для больших коллекторов составляют из двух или трех частей.

Если заготовка для манжеты состоит из n частей, то для определения значений R_1 , R_2 , t , l и l_1 пользуются приведенными формулами, а остальные величины определяют по следующим формулам:

$$z_1 = \frac{z}{n}, \quad (5-45)$$

$$s_1 = \frac{0,329R_2 + nx}{z} \text{ [мм]}, \quad (5-46)$$

$$A'_1 = \frac{0,327R_1}{n} + x \text{ [мм]}, \quad (5-47)$$

$$A'_2 = \frac{0,327R_2}{n} + x \text{ [мм]}. \quad (5-48)$$

Вырезка заготовок для миканитовых манжет ножом по тарфарету представляет собой очень трудоемкую операцию. На рис. 5-30 показан штамп для вырубке контура заготовки. Прямоугольную миканитовую заготовку манжеты вкладывают в трафарет, образуемый скобами 1 и 2, прикрепленными планками 4 и 5 к плите штампа 3. Между планками расположена матрица 6. Заготовка при штамповке прижимается к матрице съемником 7 с резиновым буфером 8. Пуансоны 10 и 11 впаиваны в пуансондержатель 9. Отходы при вырубке зубцов проваливаются через пять окон в нижней плите.

Нарезанные заготовки вкладывают в матрицу пресс-формы, подогретую до 120° С. Сверху накладывают пуансон и манжету пресс-

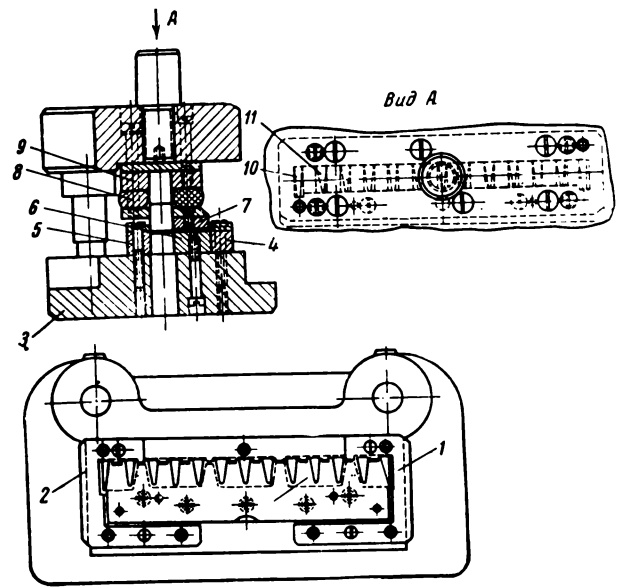


Рис. 5-30. Штамп для вырубке заготовки манжеты.

суют под прессом. Усилие пресса определяют по удельному давлению p и проекции колической поверхности на горизонтальную плоскость.

Площадь проекции при $\alpha = 30^\circ$

$$F = \pi D l \operatorname{tg} 30^\circ \doteq 1,815 D l. \quad (5-49)$$

Усилие пресса

$$Q = p F \quad (5-50)$$

при удельном давлении $p = 315 \text{ кг/см}^2$ равно:

$$Q = 570 D l \text{ [кг]}, \quad (5-51)$$

где $D = \frac{D_3 + D_5}{2}$,

$$l = l_1,$$

(рис. 5-25, б).

Пресс-форму с манжетой ставят в печь и выпекают при температуре 150° С в течение 2 ч. Затем ее вынимают из печи и охлаждают струей воздуха. Выступающие края манжеты срезают ножом или фрезеруют на станке вровень с краями пресс-формы и манжету вынимают из пресс-формы.

Электрическую прочность манжеты проверяют в специальных электродах, которые по форме похожи на пресс-форму, но для уменьшения веса имеют тонкие стенки. Манжеты испытывают напряжением переменного тока $4U + 1000 \text{ в}$, где U — рабочее напряжение машины.

5-19. ИЗГОТОВЛЕНИЕ СЕГМЕНТОВ ДЛЯ СОСТАВНЫХ МАНЖЕТ

В крупных коллекторах диаметром свыше 800 мм и для машин напряжением 3000 в каждая манжета собирается из отдельных сегментов. Стыки между сегментами располагаются под углом 15° к оси коллектора (рис. 5-29, в). Заготовка сегмента представляет собой прямоугольник с длиной E и шириной F (рис. 5-29, г). Для сегментов внутреннего и наружного слоев берут одинаковые заготовки, причем расчет ведут для наружного сегмента.

Исходными данными для расчета являются величины D_1 , D_2 , a , b , c , r_1 и r_2 , а также число n_1 сегментов в окружности манжеты. При определении размеров заготовки даются припуски 10 мм на сторону по длине заготовки и 15 мм на сторону по ширине заготовки.

Длину заготовки E определяют по формуле

$$E = \frac{\pi D_1}{n_1} + 0,27(a + r_1) + 20 \text{ мм}, \quad (5-52)$$

а ширину заготовки

$$F = a + 1,15b + c + 3,2r_1 + r_2 + 30 \text{ мм}. \quad (5-53)$$

Для расчета веса заготовки примем следующие обозначения:

n_2 — число слоев миканита в заготовке;

Q_1 — вес заготовки целой манжеты, кг;

$Q_{\text{пол}}$ — вес половины заготовки целой манжеты при диаметре манжеты свыше 300 мм, кг;

Q_2 — вес заготовки сегмента составной манжеты, кг;

d — толщина манжеты, мм;

d_m — толщина слоя миканита, мм.

Расчет проводится в следующем порядке:

Число слоев миканита в заготовке

$$n_2 = 1,1 \frac{d}{d_m}; \quad (5-54)$$

1,1 — коэффициент усадки миканита.

Вес заготовки целой манжеты

$$Q_1 = 0,347 \cdot 10^{-6} n_2 d_m (R_1^2 - R_2^2). \quad (5-55)$$

Вес заготовки половины манжеты

$$Q_{\text{пол}} = 0,174 \cdot 10^{-6} n_2 d_m (R_1^2 - R_2^2). \quad (5-56)$$

Вес сегмента составной манжеты

$$Q_2 = 2,1 \cdot 10^{-6} n_2 d_m EF. \quad (5-57)$$

Удельный вес миканита принимается равным 2,1. При определении веса заготовки для целой манжеты вырезы в заготовке не учитывают.

По рассчитанным размерам заготовок из листа гетинакса толщиной 2—3 мм вырезают разметочный шаблон. Размечают лист формовочного миканита по шаблону, укладывая шаблон так, чтобы обеспечить наиболее экономичный раскрой. На рычажных ножницах или ленточной пиле нарезают заготовки сегментов. Заготовки с одной стороны покрывают лаком и сушат при температуре окружающего воздуха в течение 30 мин. Склеивают требуемое количество заготовок для получения сегмента требуемой величины. Нагревают пресс-форму в электрической печи до 140 — 160°C , разогревают в электрической печи заготовки сегментов до размягчения. Заготовки сверху и снизу клеивают парафинированной бумагой, вкладывают в матрицу, вставляют пуансон и прессуют на гидравлическом прессе.

Давление прессы P определяют по формуле

$$P = pF, \quad (5-58)$$

где p — удельное давление 120—150 кг/см²;
 F — площадь проекции поверхности сегмента на горизонтальную плоскость:

$$F = \frac{0,785}{n_3} [D_1^2 - (D_2 - 2)^2] + (0,27H + 2) \left(\frac{D_1 - D_2}{2} + 1 \right) [\text{см}^2]; \quad (5-59)$$

здесь D_1 — наружный диаметр сегмента, см;

D_2 — внутренний диаметр сегмента, см;

H — высота сегмента, см;

n_3 — количество сегментов в кольце.

Показание манометра прессы M в атмосферах выражается формулой

$$M = \frac{4P}{\pi d^2} [amu], \quad (5-60)$$

где d — диаметр плунжера прессы, см.

Сборка сегментов на стальном нажимном конусе коллектора производится в такой последовательности.

Поверхность нажимного конуса зачищают стеклянной бумагой и тщательно протирают чистой хлопчатобумажной тряпкой. Раскладывают сегменты первого слоя так, чтобы зазор между сегментами был не более 1 мм. Затем снимают сегменты, покрывают поверхность нажимного конуса и внутреннюю поверхность сегментов лаком при помощи кисти и сушат при температуре окружающего воздуха в течение 40—45 мин. Затем сегменты нагревают в печи при 110 — 150°C , накладывают на нажимное кольцо и нажимом руки в рукавице прижимают их к поверхности кольца.

Зачистив наружную поверхность первого слоя стеклянной бумагой и протерев ее чистой хлопчатобумажной тряпкой, накладывают на кольцо второй слой сегментов, промазанных предварительно клеящим лаком. Сдвиг между стыками сегментов первого и второго слоев делают наполовину длины сегмента. Наружную поверхность второго слоя сегментов также зачищают стеклянной бумагой и протирают тряпкой.

5-20. ОБЩАЯ СБОРКА КОЛЛЕКТОРА

Перед сборкой плиту продувают сжатым воздухом и протирают начисто от грязи и пыли обтирочной ветошью. На сборочной плите устанавливают втулку коллектора, еще раз проверяют отсутствие затяжек меди в ласточкиных хвостах коллекторных пластин и отсутствие забоин на конусах втулки и нажимного кольца.

Подготовленную манжету надевают на конус втулки (рис. 5-31). Устанавливают медные пластины, находящиеся в прессующем кольце, петушками или прорезями вниз на манжету. Положение пластины коллектора по отношению к шпоночной канавке вымеряют при помощи специального приспособления. В верхнюю коническую выточку в пластинах вкладывают манжету и верхний нажимной конус.

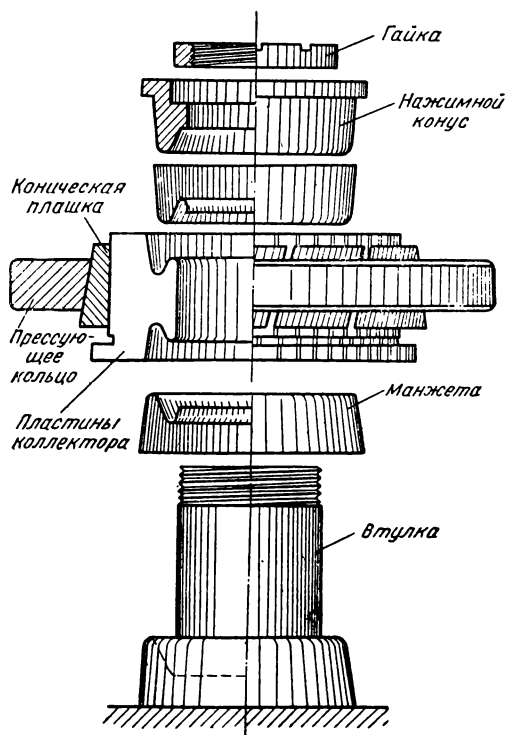


Рис. 5-31 Коллектор в процессе сборки.

Защищают зазор между манжетой и пластинами путем обвязывания киперной лентой с обеих сторон коллектора, предохраняя от металлических стружек, пыли и других посторонних предметов.

Проверяют рейсмасом горизонтальность положения торцовой поверхности медных пластин и верхнего нажимного конуса относительно сборочной плиты. Еще раз проверяют параллельность торцовой поверхности пластин и нажимного конуса относительно плиты. Допустимое отклонение 1,5 мм при диаметре коллектора до 400 мм и 2 мм при диаметре коллектора свыше 400 мм.

Выступающие части манжет обжимают стальным поясом, накрутив на них полоски картона толщиной 1—1,5 мм. В малых коллекторах вместо обжимных поясов наматывают шнуровые бандажы.

Коллектор помещают в электропечь, проверяя его нагрев термометрами, вложенными в прорези петушков. После нагревания производят прессовку коллекторов.

В процессе прессовки подтягивают гайку коллектора. В коллекторах со шпильками (рис. 5-24) подтяжку гаек следует производить не подряд, а диаметрально расположенных с одинаковым усилием. При подтяжке гаек штангенциркулем замеряют положение нажимного конуса по отношению к плите во избежание перекосов.

У крупных коллекторов диаметром свыше 800 мм после прессовки и подтяжки гаек в холодном состоянии проверяют величину зазора между нажимным конусом и торцом втулки. Минимально допустимый зазор 4—5 мм. Затем снимают металлические обжимные пояса с выступающих частей манжет и производят испытание на отсутствие замыканий между пластинами контрольной лампой и испытание электрической прочности корпусной изоляции. Только после этого с коллектора может быть снято прессовочное кольцо.

Повторной формовке подлежат все коллекторы с окружной скоростью до 10 м/сек, которые не подвергаются динамической формовке. Динамической формовке подлежат коллекторы, у которых окружная скорость при номинальной скорости вращения превышает 10 м/сек. Коллекторы, собираемые непосредственно на втулки якоря, подвергаются разгону при испытании якоря.

Для разгона напрессовывают втулку коллектора на вал разгонной установки. Выступающие края манжет защищают обжимными поясами. На призмах производят статическую балансировку коллектора и устанавливают коллектор в разгонную установку. Скорость

вращения доводят до максимальной для данного типа машин. Затем включают нагревательные спирали и доводят температуру коллектора до 120°C . При установившейся температуре коллектору дают повышенную скорость вращения, равную 125% номинальной. После разгона подтягивают гайки коллектора ключом. Коллекторы подвергают динамической формовке дважды. Если при подтяжке гаек после второй формовки часть гаек будет поворачиваться больше чем на 90° , то коллектор подвергается динамической формовке третий раз.

Отделка коллектора заключается в намотке шнуровых бандажей на выступающей части манжеты. Бандажи покрывают лаком дважды с просушкой в течение 40—60 мин. У коллекторов с манжетами, собранными из сегментов, предохранительные бандажи делают не из шнура, а из киперной ленты, конец которой сшивают нитками. Благодаря этому осуществляется защита против пыли в стыках между сегментами.

Болты и гайки законтривают против самоотвинчивания.

5-21. ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ КОНСТРУКЦИИ КОЛЛЕКТОРА

Для обеспечения высокого качества и упрощения технологии изготовления коллекторов при проектировании и выполнении рабочих чертежей следует учитывать следующие соображения.

а) Сопряжение нажимного конуса с втулкой

Сопряжение нажимного конуса с втулкой имеет важное значение в конструкции коллектора. Прежде всего необходимо учитывать возможность перемещения нажимного конуса вследствие допусков на обработку и усадки миканитовых манжет. Поэтому надо предусматривать запас резьбы $e=3-5$ мм по обе стороны гайки (рис. 5-32). Если запас резьбы слишком мал, то гайка может упереться в выступ втулки коллектора и дальнейшее передвижение конуса будет невозможным.

Длина посадки $2e$ нажимного конуса на втулке должна быть не меньше 6—8 мм, чтобы обеспечить его центрирование во избежание биения коллектора.

Сопряжение диаметров втулки и нажимного конуса обычно выполняется с допусками скользящей посадки 2 или 3-го класса точности. Применение посадок с натягом не рекомендуется, так как натяг бесполезно затрудняет осевое передвижение конуса при подтяжке гайки.

Шпоночное соединение втулки с нажим-

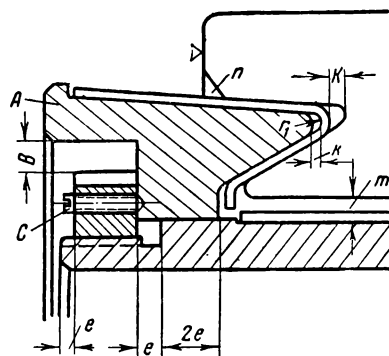


Рис. 5-32. Сопряжения деталей коллектора.

ным конусом является совершенно бесполезным, так как проворачивание конуса при вращении гайки невозможно вследствие большой силы трения между конусом и манжетой. Предохранение гайки от самоотвертывания осуществляется винтом e , конец которого входит в отверстие конуса.

Торец нажимного конуса A не должен быть слишком тонким, так как через него передается давление пресса при сборке коллектора на втулку и при подтягивании гайки.

б) Сопряжение манжеты с пластинами и нажимным конусом

Пробой коллектора на корпус почти всегда происходит в вершине конуса. Электрическая прочность манжеты зависит в значительной степени от радиуса закругления r_1 , который надо делать не менее толщины манжеты. При малых радиусах закруглений (меньше 1 мм) чешуйки слюды ломаются при прессовке манжеты и прочность манжеты резко снижается. Это требование не распространяется на манжеты из формовочного слюдинита.

Между манжетой, пластинами и нажимным конусом должны быть предусмотрены осевые зазоры k не менее 1,5 мм, предохраняющие вершину конуса манжеты от механических повреждений при прессовке коллектора и увеличивающие надежность против пробоя.

Для предохранения от повреждения манжеты резцом при подрезке торца коллектора должна быть предусмотрена выточка n , которая делается при расточке пластин в прессовочном кольце.

Расчет на изгиб ласточкина хвоста коллекторных пластин следует производить не на усилие центробежных сил, а на усилие прессовки коллектора на втулке. Это усилие больше чем усилие центробежных сил и выбирается из расчета давления $\cdot 300$ кг/см² поверхности прилегания манжеты к медным пластинам.

Расстояние t между нижней кромкой медных пластин и втулкой должно быть возможно большим, особенно в тех случаях, когда внутренняя поверхность коллектора не обрабатывается. Увеличение этого расстояния позволяет также увеличить допуск на внутренний диаметр коллектора при прессовке в кольцо и тем самым часто обходиться без сложной и дорогой операции калибровки пластин перед сборкой. Расстояние B должно быть достаточным для надевания на гайку ключа.

в) Выбор толщины коллекторных пластин

В слишком тонких коллекторных пластинах затруднено фрезерование петушков, о чем было сказано в § 5-7. С другой стороны, слишком толстые коллекторные пластины (свыше 20 мм в верхнем основании) также являются нежелательными. Во-первых, их нельзя штамповать, что удорожает процесс резки полос, а во-вторых, коллекторы, составленные из толстых пластин, всегда имеют повышенное биение. Это можно объяснить тем, что центробежные силы, приходящиеся на единицу боковой поверхности пластин, становятся слишком большими, между тем как в спрессованном комплекте пластин боковое сцепление играет большую роль в сохранении коллектором цилиндрической формы. Поэтому при проектировании следует избегать применения очень толстых пластин за счет увеличения числа пластин.

г) Посадка втулки на вал

Коллекторы насаживают на вал с натягом прессовой посадки 2-го класса точности. Такую посадку необходимо делать, учитывая, что под действием центробежной силы коллекторных пластин втулка подвергается растягивающим усилиям, которые несколько уменьшают величину натяга. Коллектор насаживают на шпонку, чтобы фиксировать положение пластин коллектора относительно пазов якоря.

5-22. КОЛЛЕКТОРЫ БЫСТРОХОДНЫХ МАШИН С БАНДАЖНЫМИ КОЛЬЦАМИ

При окружной скорости свыше 35 м/сек прочность коллекторов с миканитовыми манжетами становится недостаточной и в таких машинах применяют коллекторы с бандажными кольцами, откованными из стали и напрессованными на наружную поверхность коллектора. Для изолировки бандажных колец от медных пластин на коллектор накладывают миканитовые изоляционные пояски (рис. 5-33).

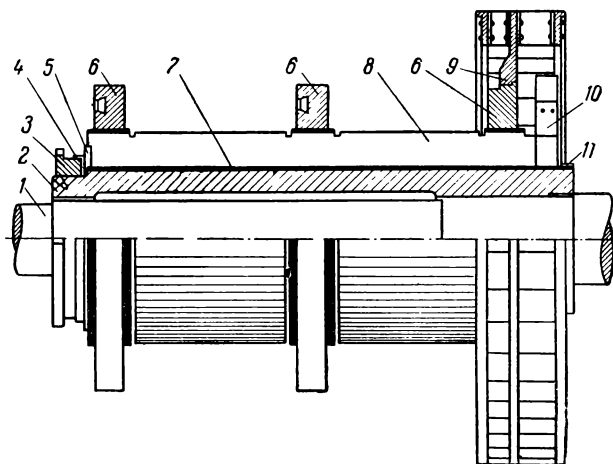


Рис. 5-33. Коллектор с бандажными кольцами.

1—вал; 2—конусная втулка; 3—гайка; 4—металлическая шайба; 5—изоляционная шайба; 6—бандажное кольцо; 7—миканитовая изоляция; 8—пластина коллектора; 9—вентилятор; 10—петушок; 11—шнуровой бандаж.

Для прессовки пластин применяют прессовочные кольца с коническими плашками. Если коллектор имеет два бандажных кольца, то пластины прессуют в одном прессовочном кольце (рис. 5-34,а). Для коллекторов с тремя бандажными кольцами прессовка производится в двух кольцах, причем они расположены большими диаметрами конусов в разные стороны и между ними устанавливают промежуточные колонки (рис. 5-34,б). Таким образом, прессовка обоими кольцами производится одновременно, благодаря чему пластины не перекашиваются.

Если при прессовке диаметр коллектора окажется больше или меньше допускаемого, то следует заменить часть миканитовых прокладок тоньше или толще нормальных на 0,2 мм. Эти прокладки должны быть распределены равномерно по окружности.

Спрессованный коллектор с кольцами помещают в электропечь и нагревают при 130—

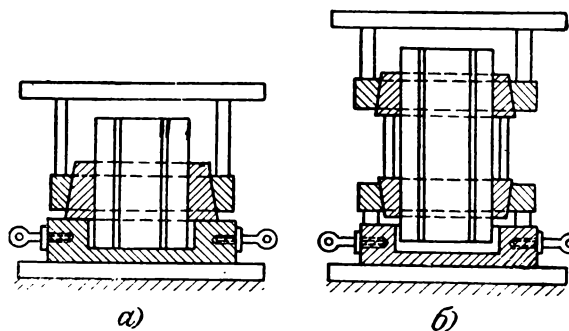


Рис. 5-34. Прессовка коллектора коническими кольцами.

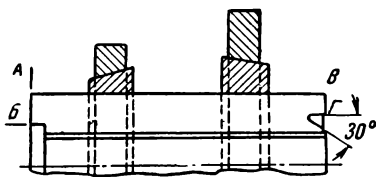


Рис. 5-35. Обработка торцов и центрирующих выточек.

170°С в течение 4—6 ч. Затем производят вторую прессовку.

Коллектор устанавливают на токарный станок (рис. 5-35). Подрезают торец А и протачивают центрирующую заточку В. После этого коллектор устанавливают на станке другой стороной, центрируя его по заточке В. При второй установке подрезают торец В и вытачивают коническую выточку Г.

Такая обработка производится для коллекторов с тремя бандажными кольцами. У коллекторов с двумя бандажными кольцами с обеих сторон протачивают центрирующие замки.

Внутрь коллектора вводят оправку с центрирующими дисками (рис. 5-36). На диски дают давление, равное 10—15% давления при запрессовке меди, и стягивают диски гайкой. Затем спрессовывают с коллектора прессующее кольцо большего диаметра, которое расположено со стороны конической выточки в пластинах. Оправку устанавливают в центрах токарного станка и обрабатывают поверхность коллектора в виде канавок, в которые будут вкладываться миканитовые полоски. Чистота поверхности при обработке ∇_4 .

Коллектор с оправкой устанавливают вертикально на подставках и продувают сжатым воздухом. Поверхность медных пластин промывают бензином и тщательно удаляют все зачатки меди между соседними пластинами. Поверхность поясков покрывают клеящим лаком и сушат в течение 20—30 мин. Нарезанные полоски миканита также покрывают лаком с одной стороны и подогревают их на электрической плитке до размягчения миканита. Затем полоски миканита накладывают лакированной стороной на поверхность коллектора и прижимают по всей поверхности лоскутом бязи. Следующие полоски накладывают с перекрытием. Когда при обходе коллектора подходят к первой полоске, то конец ее поднимают лопаткой и подсовывают под него последнюю полоску (см. рис. 7-4). Поверх миканитовых прокладок накладывают два слоя телефонной бумаги. Затем устанавливают опорные металлические сегменты и кольца с радиальными болтами (рис. 5-37). Под стыки сегментов вкладывают стальные полоски и

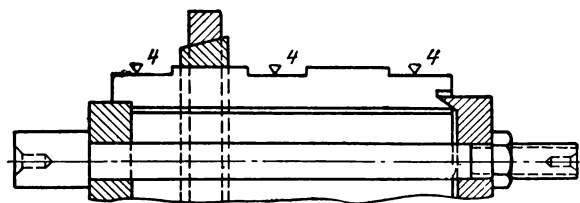


Рис. 5-36. Обработка канавок под изоляционные пояски.

равномерно затягивают болты по окружности в направлении укладки миканитовых полосок. На всех поясках направление укладки миканитовых полосок должно быть одинаковым, чтобы при обточке они не задирались резцом. После этого коллектор снова устанавливают в электропечь для запечки изоляции поясков. Качество запечки проверяют после снятия обжимных колец путем простукивания поясков стальным стержнем $\varnothing 6$ —10 мм. Хорошо выпеченная изоляция должна издавать звонкий звук.

Коллектор устанавливают в центрах токарного станка и обрезают ^{аэрозолью} изоляцию поясков до требуемого по чертежу размера. Окончательная доводка размеров поясков производится шлифовкой мелкой стеклянной шкуркой. Направление вращения станка должно быть согласовано с направлением наклейки полосок миканита.

Бандажные кольца нагревают до температуры 600—630°С в электропечи, индукционным методом или токами высокой частоты. Нагретые кольца насаживают на изоляционный поясик и после охлаждения проверяют плотность посадки, ударяя молотком весом около 0,6 кг по торцу кольца. При этом кольца не должны сдвигаться. После этого снимают второе прессующее кольцо, вынимают из коллектора оправку и проверяют на отсутствие замыканий между пластинами контрольной лампой при напряжении 220 в.

Внутреннюю поверхность коллекторных пластин растачивают на конус с проверкой конусным калибром. Коллектор напрессовывают на вал разгонной установки давлением 10—15% давления запрессовки коллектора в прессовочных кольцах. Вал с коллектором устанавливают в центрах токарного станка и

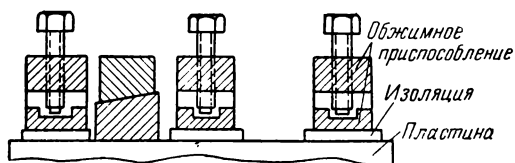


Рис. 5-37. Прессовка изоляционных поясков.

обрабатывают наружную поверхность бандажных колец с припуском не менее 1 мм для чистовой обработки. Затем производят предварительную обточку рабочей поверхности коллектора между бандажными кольцами и окончательную обработку поверхности пластин и бандажного кольца со стороны петушков. Устанавливают коллектор с валом на призму и производят статическую балансировку, чтобы при разгоне коллектора избежать больших вибраций.

После этого на разгонной установке производят динамическую формовку коллектора. Сначала вращают коллектор со скоростью 50% номинальной. Включают подогрев и нагревают коллектор при вращении до температуры 130° С, принимая за температуру коллектора температуру рабочего пространства печи. Формовка коллектора производится в течение 2 ч при номинальной скорости вращения и температуре 120—130° С.

По окончании формовки нагретому коллектору сообщают разгонную скорость вращения 125% номинальной в течение 20 мин при включенной нагревательной печи. Затем останавливают разгонную установку, снимают крышку и проверяют индикатором биение бандажных колец и рабочей поверхности коллектора. Если при этом обнаруживается выступание пластин более 0,03 мм, то эти пластины отмечают и повторяют режим формовки.

После снятия с разгонной установки протачивают рабочую поверхность коллектора, оставив припуск для обработки коллектора на якоре. Вторично производят разгон коллектора с нагревом и проверяют биение коллектора. По окончании формовки коллектор спрессовывают с вала.

Для фрезеровки прорезей в коллекторных пластинах коллектор устанавливают верти-

кально на поворотный стол фрезерного станка и закрепляют на нем. После фрезеровки прорезей для петушков переставляют коллектор другой стороной и фрезеруют прорези для вентиляционных крылышек.

Затем коллектор устанавливают на стол сверлильного станка и сверлят отверстия под штифты в прорезях пластин для крепления петушков. Прорези и отверстия продувают сжатым воздухом. В прорезях устанавливают петушки, заштифуют их и пропаивают электропаяльником.

Втулку под насадку коллектора изолируют миканитом и протачивают. В коллекторе растачивают отверстие под втулку, подрезают торцы и снимают по торцам закругления указанными в чертеже радиусами. Коллектор протирают тряпкой, смоченной в бензине, удаляют затяжки меди на внутренней торцевой поверхности коллектора и вторично промывают чистым бензином. Затем проверяют внешним осмотром качество пайки петушков и контрольной лампой отсутствие замыканий между пластинами. Втулку устанавливают вертикально, протирают изоляцию лоскутом бязи, смоченным в бензине, и надевают коллектор, нагретый до 120° С. Щупом проверяют зазор между коллектором и изоляцией втулки. Щуп 0,1 мм не должен входить более чем на 10 мм от торца коллектора.

Когда коллектор охладится до температуры окружающего воздуха, проверяют на отсутствие замыканий между пластинами электролампой, устанавливают изоляционные и стальные шайбы, наворачивают гайку на конец втулки и затягивают ее. Затем выправляют петушки, шлифуют стеклянной шкуркой изоляцию, выступающую из-под бандажных колец, и на выступы накладывают защитные пояски.

ГЛАВА ШЕСТАЯ

КОЛЛЕКТОРЫ НА ПЛАСТМАССЕ

6-1. ТИПЫ КОЛЛЕКТОРОВ НА ПЛАСТМАССЕ

Коллекторы на пластмассе уже в течение многих лет применяются в микродвигателях.

Применение пластмасс внесло радикальное изменение в технологию коллекторов. Пластмасса впрессовывается во внутреннее отверстие коллектора, поэтому отпадают требования точности и чистоты поверхности выточек в пластинах и обработка на станках может быть заменена штамповкой пластин [Л. 6-6]. Трудоемкость и стоимость коллекторов на пластмассе ниже, чем коллекторов со

стальными корпусами, изолированными миканитовыми манжетами. Коллекторы на пластмассе более устойчивы в эксплуатации в отношении сохранения правильной цилиндрической формы.

Разработка новых видов пластмасс с улучшенными физическими и механическими свойствами и конструкций коллекторов на пластмассе, армированных стальными кольцами, открыли возможность применения коллекторов на пластмассе диаметром до 500 мм. Ведущая роль в разработке коллекторов больших

диаметров на пластмассе принадлежит Рижскому электромашиностроительному заводу. Коллекторы диаметром 210 мм уже выпускаются в серийном производстве. Осваиваются коллекторы тяговых двигателей диаметром 460 мм [Л. 6-1, 6-5].

В свою очередь в области микродвигателей широкое распространение получили коллекторы на пластмассе с совершенно новой конструкцией и технологией без применения профильной коллекторной меди и миканитовых прокладок между пластинами. Комплект пластин этих коллекторов получается методами ударного прессования, порошковой металлургии или штамповкой из листовой меди.

К недостаткам коллекторов на пластмассе следует отнести пониженную теплопроводность пластмассового корпуса, что может повести к увеличению нагрева пластин, и невозможность ремонта; в случае обгорания пластин, пробоя изоляции или повреждения пластмассы машина выходит из строя. Поэтому в машинах мощностью в десятки и сотни киловатт должна быть обеспечена абсолютная надежность коллекторов на пластмассе. Выход из строя коллектора одной машины может свести к нулю экономию, полученную от применения десятков и сотен машин с коллекторами на пластмассе.

Особенно тщательно следует проверять механические и физические свойства пластмасс и их устойчивость при длительной эксплуатации.

По конструкции и технологии коллекторы на пластмассе можно разделить на коллекторы из профильной полосовой меди и коллекторы с прессованными комплектами пластин.

Каждый из этих типов имеет много разновидностей.

Основными задачами технологии коллекторов на пластмассе, кроме перечисленных в § 5-2, являются следующие:

1. Разработка и внедрение новых типов пластмасс с высокими физическими и механическими свойствами.

2. Уменьшение времени прессовки и выпечки.

3. Разработка новых конструкций с уменьшенной трудоемкостью и себестоимостью.

4. Обеспечение надежности в эксплуатации.

5. Автоматизация процессов производства.

6. Стандартизация размеров коллекторов и централизация их производства.

6-2. КОЛЛЕКТОРЫ ИЗ ПРОФИЛЬНОЙ ПОЛОСОВОЙ МЕДИ

Этот тип коллекторов на пластмассе является пока основным и охватывает диапазон диаметров 20—500 мм.

В микромашинах с диаметром коллектора до 30 мм (рис. 6-1) в пластмассовом корпусе формируют отверстие, которым коллектор насаживается на поверхность вала, имеющую сетчатую накатку. Перед насадкой коллектора поверхность вала смазывают бакелитовым или

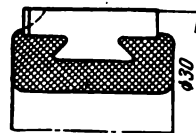


Рис. 6-1. Коллектор на пластмассе без втулки.

глифталевым лаком и коллектор так прочно приклеивается к валу, что снять его без разрушения невозможно.

Коллекторы больших диаметров имеют стальную втулку 1 (рис. 6-2), которая вставляется в пресс-форму и при прессовке прочно соединяется с коллектором. Для лучшего сцепления с пластмассой 2 во втулке проточены кольцевые канавки. Для повышения надежности коллекторы армируют стальными кольцами 3, представляющими собой два витка проволоки, сваренных в стык и между собой. Для того чтобы стальные кольца не создавали замыканий между пластинами коллектора, миканитовые прокладки и медные пластины штампуют разными штампами и выступы миканита 4 не позволяют кольцам прикоснуться к пластинам 5.

В зависимости от допусков на толщину медных пластин диаметры коллекторов изме-

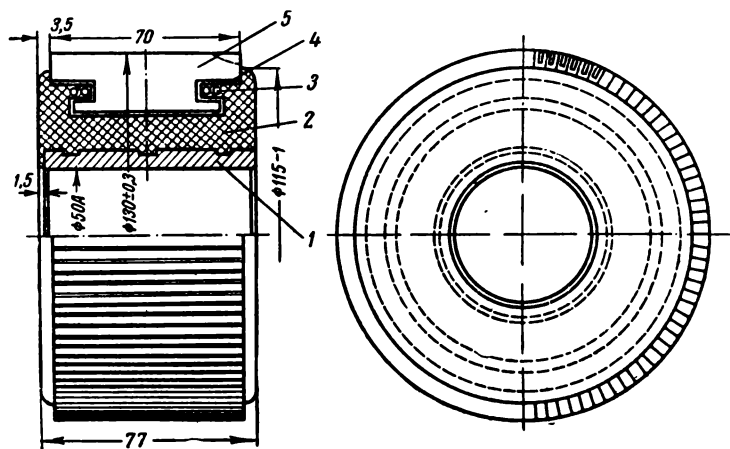


Рис. 6-2. Коллектор машины ПН-28,5.

Таблица 6-1

Заводская себестоимость коллектора генератора РД-2Г

Статья расходов	Коллектор со стальным корпусом, руб.	Коллектор на пластмассе К6, руб.
Материалы	44,43	31,50
Зарплата	2,63	1,75
Цеховые расходы	6,20	4,15
Заводские расходы	1,91	1,28
Заводская себестоимость	53,17	38,68

няются, поэтому приходится иметь два типа проволочных колец с разностью диаметров 1 мм.

Бóльшие отклонения диаметров коллекторов устраняют калибровкой медных пластин и миканитовых прокладок. Для обеспечения достаточной плотности коллектора пластины подвергают четырехкратной прессовке в коническом кольце.

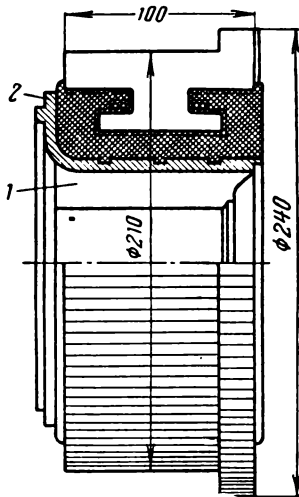


Рис. 6-3. Коллектор генератора РД-2Г.

На рис. 6-3 показан коллектор генератора типа РД-2Г для освещения поездов, выпускаемого Рижским электромашиностроительным заводом [Л. 6-8]. Конструкция коллектора аналогична изображенной на рис. 6-2, за исключением втулки, в которой сделаны вентиляционные каналы 1 и кольцевой бортик 2 для крепления вентилятора. Пластины коллектора штампуют из профильной полосовой меди с окончательными размерами нижней части пластины и с припуском на обработку рабочей поверхности коллектора и петушков.

На рис. 6-4 показан последовательный штамп для вырубki пластин. Матрица 6

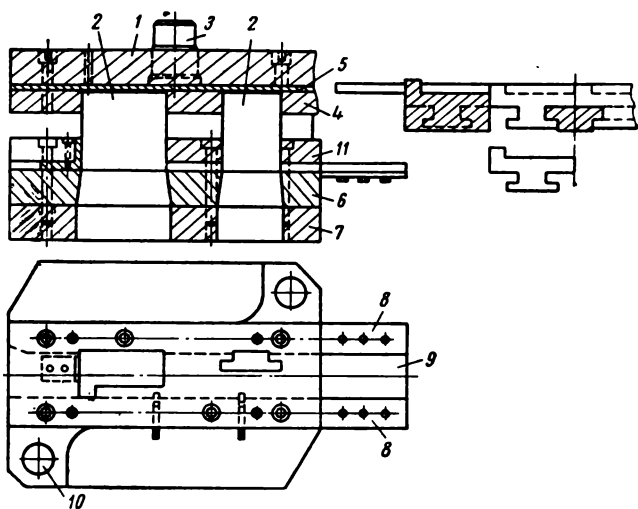


Рис. 6-4. Штамп для пластин коллектора.

укреплена на плите 7. Рабочая плоскость матрицы наклонена под углом профиля полосы. Таким образом, верхняя сторона полосы лежит в горизонтальной плоскости, что предохраняет пуансоны от изгибающих усилий. Для направления полосы служат планки 8 и 9. Пуансоны 2 через пуансонодержатель 4 закреплены в плите 1, которая крепится к ползуну прессы хвостовиком 3. Торцы пуансонов упираются в закаленную пластину 5. Штамп снабжен двумя направляющими колонками 10. Сбрасыватель 11 служит для съема полосы с пуансонов. Первый пуансон вырубает перемычку между пластинами, а второй — наружный контур пластины. Раскрой полосы и последовательность переходов показаны на рисунке.

В табл. 6-1 приводится себестоимость этого коллектора до и после перехода на пластмассу. Следует отметить, что при снижении стоимости миканитовых манжет в связи с переходом на формовочный слюдинит разница себестоимостей должна уменьшиться.

6-3. КОЛЛЕКТОРЫ С ПРЕССОВАННЫМИ И ШТАМПОВАННЫМИ ЗАГОТОВКАМИ ПЛАСТИН

В коллекторах на пластмассе с пластинами из профильной полосовой меди еще сохраняются основные недостатки конструкции и технологии: 1) большие отходы меди; 2) наличие прокладок между пластинами из дорогого коллекторного миканита и 3) трудоемкие операции сборки и прессовки пластин в кольцах.

Для коллекторов диаметром до 30 мм удалось решить поставленные проблемы путем замены профильной меди цилиндрическими заготовками комплекта пластин. Для этого

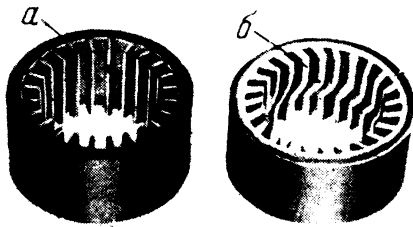


Рис. 6-5. Прессованная заготовка коллекторных пластин.

было применено ударное прессование медного цилиндра с внутренними зубцами, число которых равно числу пластин коллектора (рис. 6-5,а). Прессовать можно из штампованных листовых кружков, отрезков прутков или толстостенных трубок в эксцентриковых прессах при помощи штампов с цилиндрической матрицей и зубчатым пуансоном [Л. 6-4]. Затем заготовку обрабатывают по торцам на токарном станке. При штамповке из кружков при этом отрезают доньшко, образуемое при прессовке. Для лучшего сцепления с пластмассой зубцы выгибают (рис. 6-5,б) специальным штампом. Для этого в отверстие заготовки вставляют два зубчатых пуансона на глубину, равную $\frac{1}{3}$ высоты заготовки, и ударом штампа поворачивают один пуансон по отношению к другому на 20° . Эта операция освобождает от необходимости вытачивать ласточкины хвосты.

После этого заготовку вставляют в пресс-форму и запрессовывают пластмассой (рис. 6-6). Разделение пластин производят или фрезерованием или обточкой коллектора. Последний метод более производителен, но для уменьшения расхода меди необходимо иметь в заготовке тонкий ободок между зубчиками. Это достигается при прессовании из трубчатых заготовок.

Метод ударного прессования позволяет значительно снизить расход материалов и трудоемкость изготовления и открывает возможность комплексной автоматизации производства коллекторов. В табл. 6-2 приведены каль-

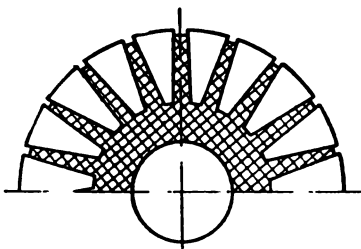


Рис. 6-6. Коллектор с прессованной заготовкой пластин.

куляции трех типов коллекторов диаметром 26 мм: 1) из профильных пластин со стальным корпусом; 2) из тех же пластин на пластмассе и 3) с прессованной заготовкой пластины [Л. 6-3].

Таблица 6-2

Калькуляция коллекторов микродвигателей диаметром 26 мм

Виды затрат	Коллектор из профильной полосовой меди со стальным корпусом		Коллектор из профильной полосовой меди на пластмассе		Коллектор из прессованной заготовки пластин на пластмассе	
	вес, кг	сумма, руб.	вес, кг	сумма, руб.	вес, кг	сумма, руб.
Миканит коллекторный	0,025	0,20	0,025	0,20	—	—
Миканит формовочный	0,050	1,14	—	—	—	—
Медь коллектора	0,182	0,21	0,182	0,21	0,050	0,04
Пластмасса (АГ-4)	—	—	0,025	0,11	0,025	0,11
Сталь	0,850	0,06	0,051	0,01	—	—
Итого	1,61		0,53		0,15	
Зарплата	Время, мин	Сумма, руб.	Время, мин	Сумма, руб.	Время, мин	Сумма, руб.
Ручные операции	66	0,20	40	0,13	—	—
Прессовочные операции	31	0,09	17	0,06	17	0,05
Станочные операции	68	0,22	19	0,07	19	0,08
Итого	0,51		0,26		0,14	
Всего	2,12		0,79		9	

Как видно из сравнения табл. 6-1 и 6-2, эффективность применения пластмасс в коллекторах микродвигателей значительно выше, чем в коллекторах крупных машин.

При получении заготовок коллекторных пластин методом ударного прессования еще остаются отходы коллекторной меди при штамповке кружков, отрезке доньшек и торцовании заготовки. При прессовке коллекторов малых диаметров быстро выходят из строя зубчатые пуансоны. Стойкостью пуансонов ограничивается высота зубцов, а следовательно, и запас на изнашивание коллектора в эксплуатации. Все эти конструктивные и технологические недостатки устраняются при получении заготовки металлокерамическим способом из медного порошка с последующей термообработкой (рис. 6-7). При этом толщина ободка между зубцами составляет всего 0,8 мм и разделение пластин можно производить путем обточки коллектора. Повышенная высота зубцов улучшает сцепление их с пластмассой и повышает срок службы коллектора. При такой технологии не только отсутствуют отходы коллекторной меди, но

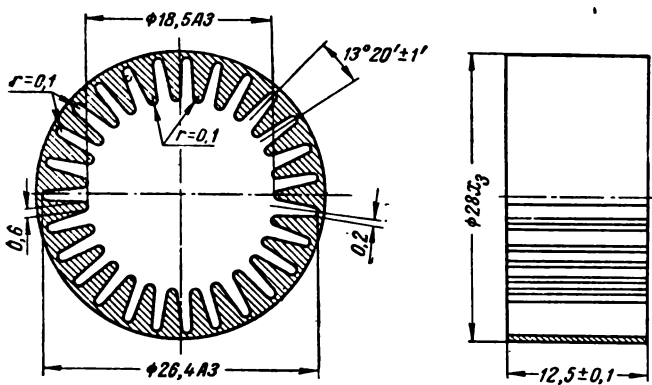


Рис. 6-7. Металлокерамическая заготовка коллекторных пластин.

в качестве сырья для медных порошков могут быть использованы отходы меди, получаемые в производстве обмоток и других медных деталей.

В коллекторах тихоходных микромашин находит применение способ получения заготовки из листовой меди [Л. 5-2]. Для этого из

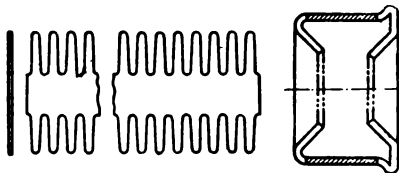


Рис. 6-8. Коллектор с заготовкой пластин, штампованной из листовой меди.

полоски меди выштамповывают зубчики по числу коллекторных пластин и свертывают полоску в кольцо (рис. 6-8). Затем зубчики загибают и внутрь кольца впрессовывают пластмассу. Полоски разделяют на отдельные пластины, фрезеруя между ними пазы.

В коллекторах с малым числом пластин при диаметре до 6—8 мм пластинки нарезают из медной полосы, сгибают по дуге и размещают на изоляционной трубке из полихлор-

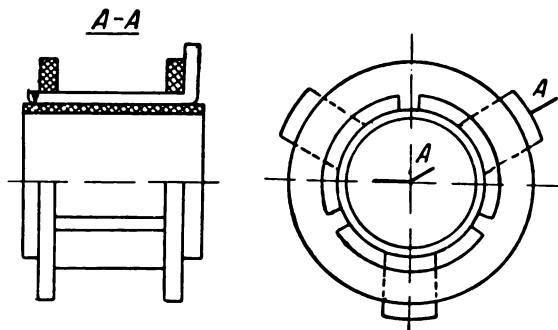


Рис. 6-9. Коллектор микродвигателя.

винила (рис. 6-9). Пластинки удерживаются штампованными изоляционными шайбами, в отверстиях которых выштампованы пазы для пластинок. Обмотку явора припаивают к отогнутым концам пластинок.

6-4. ПЛАСТМАССЫ ДЛЯ КОЛЛЕКТОРОВ

Для коллекторов на пластмассе широко используется асбрезольная масса марки К-6. Она изготавливается на основе фенольноформальдегидных смол резольного типа с минеральным волокнистым наполнителем — асбестом. Эта пластмасса имеет достаточную механическую прочность и нагревостойкость, допуская температуры до 200°C . К недостаткам ее можно отнести сравнительно невысокую электрическую прочность из-за наличия в асбестовом волокне железистых включений. В машинах с повышенным напряжением это может вызвать замыкание между коллекторными пластинами. Пластмассу К-6 нельзя применять в качестве изоляции между пластинами в коллекторах с прессованными заготовками пластин вследствие ее малой текучести и наличия проводящих включений. В последнее время начат выпуск новой прессовочной массы АГ-4 марок В и С на основе модифицированной фенольноформальдегидной смолы с наполнителем из стекловолокна. Эта масса обладает высокими механическими и диэлектрическими свойствами. Если для пластмассы К-6 предел прочности при растяжении лежит в пределах $250\text{—}690\text{ кг/см}^2$, то для пластмассы АГ-4В он составляет $800\text{—}1200\text{ кг/см}^2$, а для пластмассы АГ-4С— $5000\text{—}7000\text{ кг/см}^2$. Но стоимость пластмассы АГ-4 в несколько раз выше, чем стоимость массы К-6. Масса марки АГ-4В выпускается в виде стекловолокна, пропитанного смолой, а масса марки АГ-4С — в виде пропитанных смолой стеклотент различных размеров [Л. 6-2].

Прессованная масса АГ-4 имеет следующие существенные преимущества перед К-6:

а) высокую механическую прочность, дающую возможность изготавливать коллекторы диаметром свыше 200 мм без армировочных колец; в тех случаях, когда по условиям прочности и эксплуатационной надежности неизбежно применение армировочных колец, их можно выполнять из массы АГ-4С вместо стали (рис. 6-10); такая замена особенно важна для высоковольтных коллекторов, где применение стальных армировочных колец опасно в отношении замыкания между пластинами;

б) время термообработки массы АГ-4 меньше, чем массы К-6, что сокращает длительность технологического цикла и уменьшает потребное число пресс-форм;

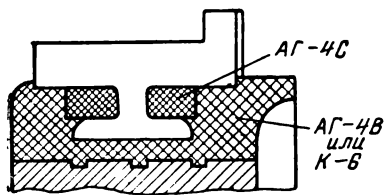


Рис. 6-10. Коллектор с армировочными кольцами.

в) отсутствие в пластмассе АГ-4 железистых включений позволяет широко применять ее в производстве коллекторов высоковольтных машин.

В процессе прессования пластмассу закладывают в полость пресс-формы по весу. Очень выгодно при производстве пластмассовых изделий предварительно прессовать таблетки требуемых размеров и форм. Это дает следующие преимущества:

а) значительно улучшаются условия хранения прессовочной массы в связи с уменьшением возможности выветривания летучей части связующих;

б) сокращается размер пресс-формы благодаря уменьшению загрузочного пространства;

в) экономится время загрузки пластмассы в пресс-форму;

г) значительно улучшается качество прессования за счет более быстрой загрузки массы, чем обеспечивается одновременность ее затвердевания;

д) снижается возможность образования вздутий в пластмассе вследствие сокращения объема воздуха в загрузочной камере.

Таблетки делают в форме сплошного или полого цилиндра, что определяется конструкцией коллектора и пресс-формы. На рис. 6-11 показана пресс-форма для прессовки таблеток в виде полых цилиндров. Она состоит из двух частей: нижней и верхней. Нижняя часть, в которой находится матрица 5, укрепляется плитой 2 к столу пресса. Матрица связана с плитой колонками 3 в нижней части матрицы расположены отверстия для прохода стержней, связывающих кольцевой выталки-

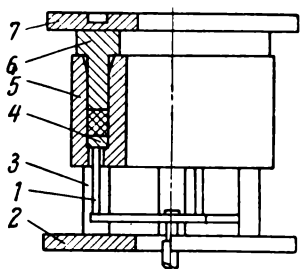


Рис. 6-11. Пресс-форма для прессовки таблеток.

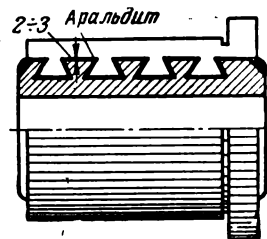


Рис. 6-12. Коллектор на пластмассе аральдит.

ватель 4 с выталкивателем пресса 1. Верхняя часть пресс-формы состоит из кольцевого пуансона 6 и плиты 7.

Некоторыми зарубежными заводами для производства коллекторов применяется пресс-материал на базе смолы аральдит. Аральдит— сложное полиэфирное соединение, состоящее из насыщенных полиэфиров и моностиролов. Полимеризация его начинается после добавления катализаторов и происходит в зависимости от количественного содержания и свойств катализатора в течение нескольких часов при температуре окружающего воздуха и снижается до нескольких минут при нагреве до 110—130° С. Требуемые свойства аральдитам придают различные наполнители, в зависимости от которых они могут быть в окончательном виде пластичными подобно резине или твердыми и подвергаться всем видам механической обработки.

Аральдит применяется в коллекторах со стальными корпусами, в которых он заменяет миканитовые манжеты и цилиндры и обеспечивает большую монолитность коллектора.

На рис. 6-12 показана конструкция коллектора быстроходной машины. Для предохранения от изгибания пластин под действием центробежной силы во втулке коллектора и в пластинах нарезана крупная резьба трапецеидального сечения. Комплект пластин навертывается на втулку, а зазор между ними в 2—3 мм заполняется аральдитом под вакуумом.

Коллекторы с применением аральдита построены в диапазоне диаметров 110—650 мм и окружными скоростями 80—20 м/сек.

6.5. ПРЕСС-ФОРМЫ ДЛЯ КОЛЛЕКТОРОВ

Для запрессовки коллекторов в пластмассу применяют два типа пресс-форм: съемные и стационарные. Съемные обладают небольшой производительностью и поэтому применяются только в мелкосерийном производстве. Перед прессовкой каждого коллектора пресс-форма ставится в печь для нагрева. Это значительно снижает производительность труда

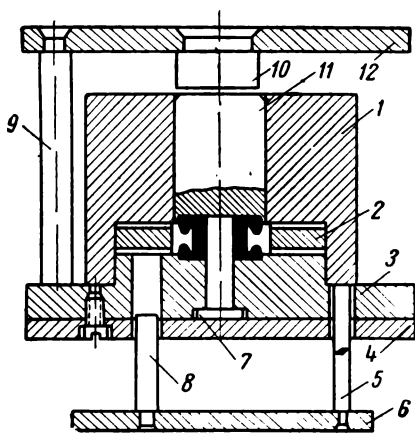


Рис. 6-13. Съемная пресс-форма.

и делает работу утомительной, так как приходится много раз переносить горячую пресс-форму из печи под пресс и обратно. Отсутствие регулировки и контроля нагрева часто приводит к снижению качества коллекторов.

На рис. 6-13 показано устройство съемной пресс-формы. Комплект коллекторных пластин с прессовочным кольцом 2 кладется на матрицу 3 пресс-формы и накрывается обоймой 1. В центральное отверстие обоймы засыпается пластмасса. Затем вставляется пуансон 11 и подвергается давлению пресса. По окончании прессовки пресс-форма ставится на стойки нижнего диска 6, а сверху накладывается диск 12 с тремя длинными стойками 9 и центральным сухарем 10, опирающимся на пуансон матрицы.

При давлении пресса стойки 9 и 5 сдвигают обойму с матрицы, а сухарь 10 выталкивает пуансон вместе с запрессованным коллектором. Стойки 8 служат для сталкивания коллектора со стержня пресс-формы 7, который формирует отверстие для вала. После прессовки с коллектора сбивают прессовочное кольцо и помещают его в печь для выпекания пластмассы.

На рис. 6-14 показана стационарная пресс-форма для коллектора, изображенного на рис. 6-2. Верхняя часть пресс-формы закреплена в траверсе гидравлического пресса двумя ушками, приваренными по углам плиты 4. По бокам от прорези в ушке вставлены два штыря, верхние поверхности которых прошлифованы вместе с верхней нагревательной плитой, благодаря чему плита предохраняется от изгибания крепящими болтами. В плите 4 запрессованы двухступенчатый пуансон 6 с диаметрами ступеней 115 и 50 мм, четыре ограничителя хода траверсы 3, упирающиеся в упоры 2 нижней части пресс-формы и две направляющие колонки 1, которые скользят в направляющих втулках нижней части пресс-формы. Верхние торцы этих деталей упираются в закаленную пластину 5, проложенную между основной и нагревательной плитами.

Нижняя часть пресс-формы состоит из обойм 11 и 13, в которые запрессована матрица 12. Обоймы привинчены болтами к плите 15, в центре которой врезана вставка 14, формирующая нижнюю сторону пластмассового корпуса коллектора. Плита 15 опирается на четыре стойки 16, через которые она скреплена с нижней плитой 19, прикрепленной к столу пресса. Нагревательные элементы расположены во внутренних полостях деталей 4, 13, 15 и 19. Нагрев пресс-формы регулируется терморегулятором. В центральной части

плиты 19 проходит стержень 20, нижняя часть которого связана с выталкивателем пресса. Верхняя часть стержня ввинчена в планку 18, к которой прикреплены четыре толкателя 17.

Процесс прессовки производится следующим образом. Когда верхняя часть пресс-формы поднята, коллектор, нагретый до 150—170° С, вместе с прессовочным кольцом ставится на толкатели 17 и опускается в отверстие матрицы 12, причем торцы пластин коллектора ложатся на бортик вставки 14. Затем устанавливаются загрузочную матрицу 7, которая торцом прижимается к коллекторным пластинам, а замком входит в расточку матрицы 12. Загрузочная матрица запирается двумя стержнями 8, из которых левый на продольном разрезе не показан. Стержни скользят во втулках выступов обоймы 11 и при помощи рычажной передачи 9, приводимой в действие рукоятками 10, могут вдвигаться и выдвигаться.

Втулка коллектора, нагретая до 100—170° С, надевается на нижнюю ступень пуансона 6, на которой она удерживается шариком, поджимаемым пружиной. Затем в полость загрузочной матрицы вкладывают таблетку пластмассы и траверса пресса начинает медленно опускаться до соприкосновения ограничителей 3 с упорами 2. В процессе прессовки пластмасса подвергается давлению 450—500 кг/см², а температура пресс-формы поддерживается в пределах 170—180° С. Время выдержки коллектора под давлением зависит от толщины пластмассы и составляет 1,5 мин на 1 мм толщины для пластмассы марки К-6 и 1 мин на 1 мм толщины для пластмассы марки АГ-4В.

По окончании прессовки траверса пресса подни-

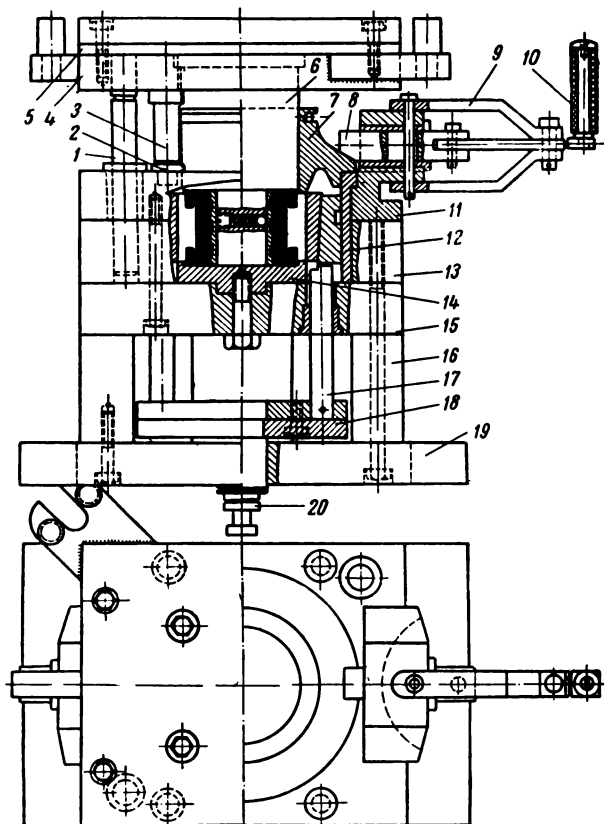


Рис. 6-14. Стационарная пресс-форма.

мается, матрица 7 отпирается и снимается ухватиком, который захватывает ее за кольцевую проточку в шейке. Толкатели 17 выдвигают спрессованный коллектор из матрицы 12, и он захватывается ухватиком за кольцевую проточку в прессовочном кольце.

При прессовке малых коллекторов в целях повышения производительности труда и лучшего использования гидравлического пресса применяют многогнездные пресс-формы, прессующие одновременно два—восемь коллекторов. Их соединяют в блок, который состоит из трех основных частей: основания, средней части и пуансонодержателя (рис. 6-15) [Л. 6-7]. Пуансонодержатель и основание закрепляются на прессе как обычные стационарные пресс-формы. Средняя часть соединяется с нижним толкателем пресса. Все три части блока соединяются опорными дистанционными планками 4.

Сборка блока производится следующим образом. В среднюю плиту 2 вставляют верхние матрицы 7 и закрепляют винтами 8. В пуансонодержатель вставляют пуансоны 3, закрепляя их планками 6, которые притягиваются к плите болтами 5. Сборка блока занимает 5—10 мин.

В процессе работы вкладывают коллекторы в нижние матрицы 1, устанавливают их в блок и опускают среднюю плиту 2. В камеры плиты вкладывают таблетки пластмассы и опускают пуансоны, создавая давление. По окончании выдержки поднимают пуансоны и среднюю плиту, снимают с блока за рукоятки 9 нижние матрицы, опрокидывают их и вынимают коллекторы. Затем вкладывают новую партию коллекторов и производят следующий цикл.

После выемки из пресс-формы коллекторы помещают в печь, в которой производят запечку в течение

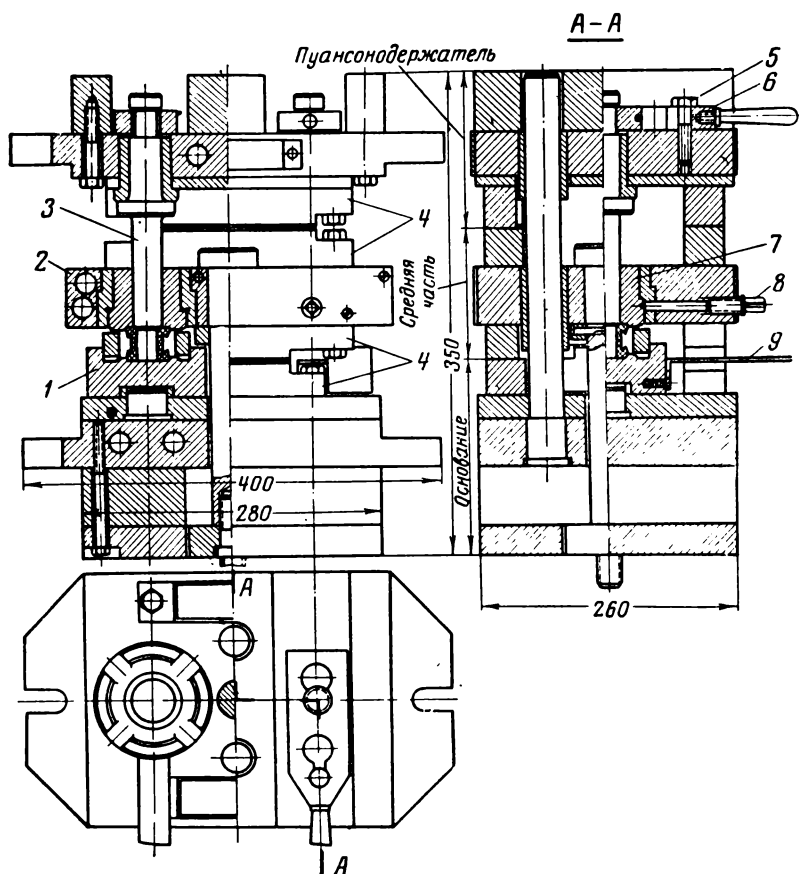


Рис. 6-15. Многогнездная пресс-форма.

5—8 и для повышения механической и электрической прочности пластмассы.

Однако в последнее время ряд заводов, выпускающих коллекторы на пластмассе, отказался от запечки коллекторов после прессовки без заметного ухудшения их качества.

ГЛАВА СЕДЬМАЯ

КОНТАКТНЫЕ КОЛЬЦА

7-1. ТИПЫ КОНТАКТНЫХ КОЛЕЦ

Контактные кольца применяются в синхронных машинах, крупных асинхронных двигателях и преобразователях. Что касается асинхронных двигателей мощностью до 100 квт, то для них основным исполнением являются двигатели с короткозамкнутым ротором. С контактными кольцами выполняются только асинхронные двигатели специализированного назначения с регулировкой скорости (крановые двигатели и т. п.).

По конструкции и технологии контактные

кольца бывают: а) с болтовым креплением; б) с холодной прессовкой на втулку; в) с горячей прессовкой на втулку; г) на пластмассе.

7-2. КОНТАКТНЫЕ КОЛЬЦА С БОЛТОВЫМ КРЕПЛЕНИЕМ

Кольца с болтовым креплением применяются в крупных машинах. Основанием для колец служит чугунная втулка с лучами, через отверстия которых проходят шпильки, прикрепляющие кольца к втулке. Контактные кольца изолированы от втулки и шпилек изо-

7-3. КОНТАКТНЫЕ КОЛЬЦА С ХОЛОДНОЙ ПРЕССОВКОЙ НА ВТУЛКУ

В асинхронных двигателях малой мощности, до 100 квт, применяют холодную прессовку контактных колец на втулку. В качестве изоляционного материала применяют полоски электрокартона с проложенными между ними слоями лакоткани или миканита для повышения влагостойкости. Технологический процесс прессовки здесь происходит в обратном порядке, т. е. втулку контактных колец впрессовывают в отверстие с проложенной изоляцией.

Полоски электрокартона требуемой толщины вкладывают внутрь колец так, чтобы стыки их распределялись равномерно по окружности. Изоляция собирается из электрокартона толщиной 0,4 и 0,1 мм. Полоски толщиной 0,1 мм служат для регулировки натяга. Сначала набирают изоляцию толщиной по чертежу. Внутрь контактных колец вставляют гильзу, свернутую из листовой стали толщиной 1,5 мм (рис. 7-2). Она предохраняет слои изоляции от смятия при прессовке. Втулку контактных колец с конической заточкой на конце вставляют в отверстие гильзы и запрессовывают давлением гидравлического пресса. Для того чтобы кольца не сдвигались с места во время прессовки, между ними вкладывают стальные прокладки. Натяг прессовки контролируют по манометру гидравлического пресса. Если давление меньше расчетного, то добавляют одну полоску электрокартона.

Кольца с холодной прессовкой на втулку как по трудоемкости, так и по стоимости материала обходятся значительно дешевле ко-

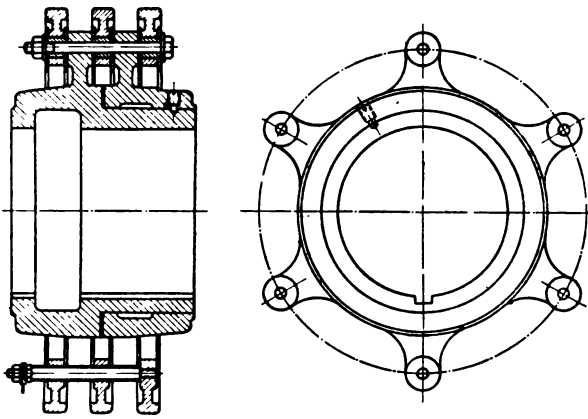


Рис. 7-1. Контактные кольца с болтовым креплением.

ляционными трубочками и шайбами из миканита или из текстолита. В асинхронных двигателях с тремя контактными кольцами втулка состоит из двух частей (рис. 7-1), надетых одна на другую для того, чтобы при сборке можно было установить среднее кольцо.

Втулку и поддерживающее кольцо обрабатывают на токарных и карусельных станках в зависимости от размеров деталей. Особое внимание нужно обращать на точность сверления отверстий в лучах и в контактных кольцах. При серийном производстве детали сверлят в кондукторах. При единичном производстве отверстия в лучах втулки сверлят по разметке и используют их в качестве кондуктора для сверления отверстий в контактных кольцах. Изоляционные детали при мелкосерийном производстве вытачивают из бакелитовых трубок, а шайбы штампуют из листового гетинакса. При крупносерийном производстве изоляционные детали прессуют из пластмасс в пресс-формах. При обработке контактных колец оставляют припуск на окончательную обработку колец после посадки их на вал. В промежутках между лучами втулки пропускают три контактные шпильки для подвода тока к кольцам.

Преимущества контактных колец с болтовым креплением заключаются в хорошем охлаждении колец, которые почти по всей поверхности омываются воздухом, и малом весе конструктивных деталей. Но контактные кольца с болтовым креплением менее надежны в отношении прочности крепления и биения. По мере усадки изоляционных материалов крепление колец может ослабевать. Поэтому избегают их применения в машинах с тяжелыми условиями работы (частыми пусками, резкими торможениями и реверсированием).

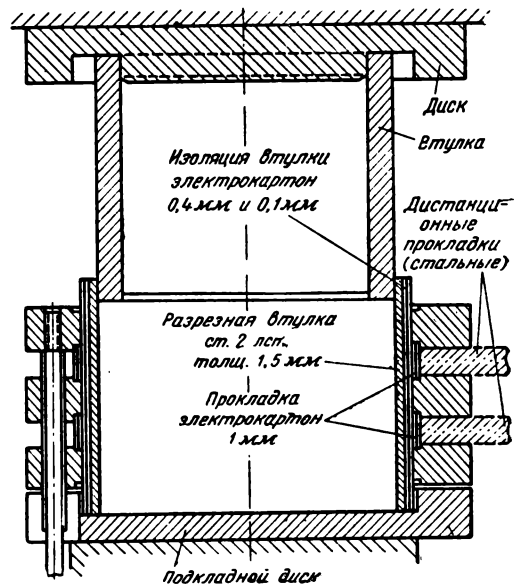


Рис. 7-2. Процесс запрессовки втулки.

лец с горячей прессовкой. Однако их надежная работа может быть достигнута только при том условии, если применяют тщательно просушенные и пропитанные изоляционные материалы и обеспечен надежный контроль за натягом прессовки по манометру гидравлического пресса.

7-4. КОНТАКТНЫЕ КОЛЬЦА С ГОРЯЧЕЙ ПРЕССОВКОЙ НА ВТУЛКУ

Контактные кольца с горячей прессовкой на втулку являются наиболее надежными в эксплуатации и поэтому находят применение в крупных машинах и при тяжелых условиях работы (рис. 7-3). Для изоляции колец 3 от втулки 2 применяется формовочный миканит 1 толщиной 0,5—0,7 мм по ГОСТ 6122-52. Перед посадкой колец производят омиканичивание наружной поверхности втулки. Расчет размеров заготовок из формовочного миканита и их количество производят по следующим формулам:

$$b = \frac{(d + 2)t}{c} \quad (7-1)$$

$$n = \frac{3,3D}{t} \quad (7-2)$$

где b — длина заготовки, мм;
 c — толщина заготовки, мм;
 d — толщина изоляции после механической обработки, мм;
 t — шаг наложения, мм;
 D — диаметр втулки, мм;
 n — количество заготовок на одну втулку;
 a — ширина заготовки, равная длине втулки +10 мм.

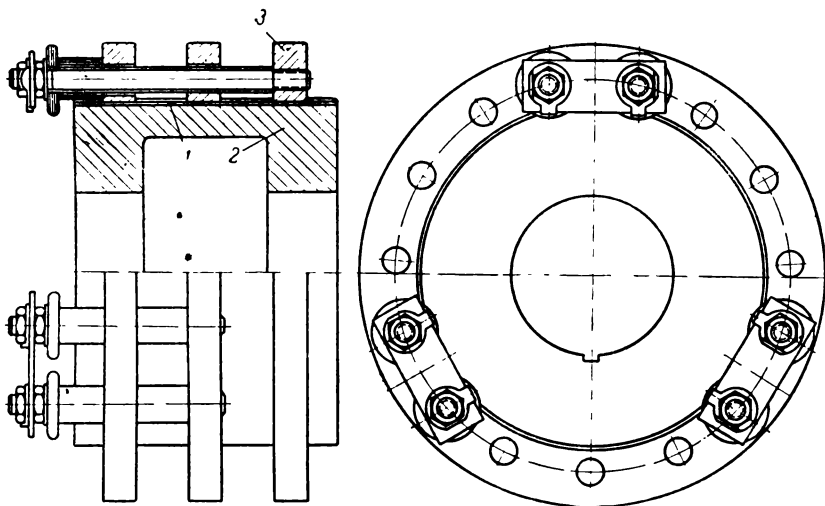


Рис. 7-3. Контактные кольца с горячей посадкой на втулку.

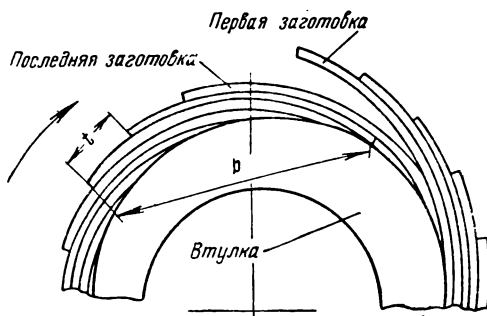


Рис. 7-4. Изолировка втулки миканитом.

Значение t берут 10—15 мм, а $c = 0,5—0,7$ мм.

В (7-1) цифра 2 представляет собой односторонний припуск в миллиметрах на механическую обработку. В (7-2) количество заготовок увеличено на 5% с учетом отходов миканита. Миканитовую изоляцию на втулку накладывают следующим образом. Нарезают на рычажных ножницах требуемое число заготовок, смазывают поверхность втулки и одну сторону миканитовой заготовки лаком и сушат на воздухе не менее 30 мин. Миканитовую заготовку подогревают на электрической плитке до размягчения миканита. Заготовку кладут лакированной стороной на холодную втулку и прижимают ее по всей поверхности лоскутом из бязи. Таким же образом укладывают следующие заготовки миканита, смещая их на величину шага наложения (рис. 7-4). Дойдя до первой заготовки, приподнимают ее над поверхностью втулки лопаткой и продолжают накладывать листочки миканита, пока между первым и последним слоями заготовки останется сдвиг, равный величине шага наложения.

Затем смазывают последнюю заготовку миканита лаком, вынимают лопатку и прижимают заготовки друг к другу в месте стыка лоскутом бязи. Поверх изоляции втулку обертывают двумя слоями телефонной бумаги. Снаружи накладывают внахлестку три-четыре сегмента из листовой стали толщиной 1 мм. Сегменты скрепляют стальной проволокой. Втулку надевают на оправку и устанавливают на бандажировочный станок.

Закрепив конец бандажной проволоки $\varnothing 2$ мм в патроне станка, наматывают сплош-

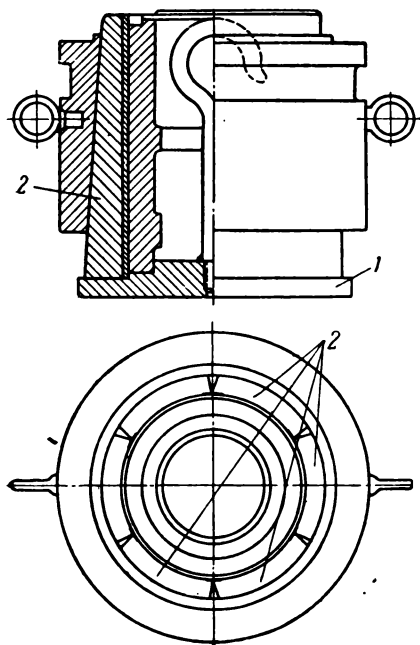


Рис. 7-5. Прессовка миканитовой изоляции.

ной бандаж с натяжением 180—200 кг. Навивку начинают от середины изолированной части втулки и ведут в направлении к сердечнику ротора. Вращение втулке сообщают в направлении наклейки заготовок изоляции. При подходе бандажной проволоки к проволочной стяжке ее снимают. Аналогично бандажируют вторую половину втулки. Это делается для того, чтобы в середине втулки не образовалось утолщения миканитовой изоляции. Конец бандажной проволоки закрепляют в скобочке из жести и запаивают.

Забандажированную втулку помещают в электрическую печь при температуре 130° С и выдерживают в течение 2 ч. После первой выпечки втулку вынимают из печи, охлаждают до 40—50° С и снимают проволочный бандаж.

Затем снова бандажируют втулку проволокой и запекают в электрической печи при температуре 150° С в течение 5 ч. Втулку охлаждают до 40—50° С и снимают бандаж.

После этого в третий раз бандажируют втулку, запекают при температуре 180° в течение 6 ч, охлаждают до 30° С и снимают бандаж.

Качество изоляции проверяют простукиванием по поверхности изоляции металлическим предметом. Хорошо выпеченная изоляция при простукивании должна давать звонкий металлический звук. Поверхность изоляции должна быть гладкой и чешуйки слюды не должны отставать от ее поверхности.

Перед посадкой колец поверхность изоляции обрабатывают резцом на токарном станке. Вращение планшайбы станка должно быть противоположно направлению наклеивания заготовок. Скорость резания берется в пределах 40—70 м/мин, подача резца не более 0,3 мм, а глубина резания 0,8—1,5 мм.

Способ прессовки изоляции при помощи наматывания бандажей имеет ряд недостатков: трудоемок, замена бандажей производится прерывисто со снятием давления на изоляцию; нет полной уверенности в соблюдении трех режимов выпечки и прессовки.

Поэтому более совершенным следует признать процесс прессовки изоляции при помощи конических колец с плашками, подобным кольцам для прессовки коллекторов (рис. 5-16). Эти кольца отличаются от коллекторных значительно меньшей радиальной толщиной, так как жесткость их обеспечивается самой втулкой контактных колец.

После наложения изоляции на втулку ее устанавливают на основание пресс-формы 1 (рис. 7-5) и снаружи устанавливают конические плашки, проложив в стыках плашек 2 по всей длине втулки полоски белой жести шириной 50—70 мм. На плашки надевают прессовочное кольцо. Собранный пресс-форму ставят в электрическую печь и нагревают до 140—150° С. Затем пресс-форму с кольцом ставят на стол гидравлического пресса и прессуют с усилием равным 0,65—0,75 полного давления.

Величину давления пресса рассчитывают по формуле

$$P = 1,26DHp \text{ [кг]}, \quad (7-3)$$

где D — диаметр прессуемой втулки, см;

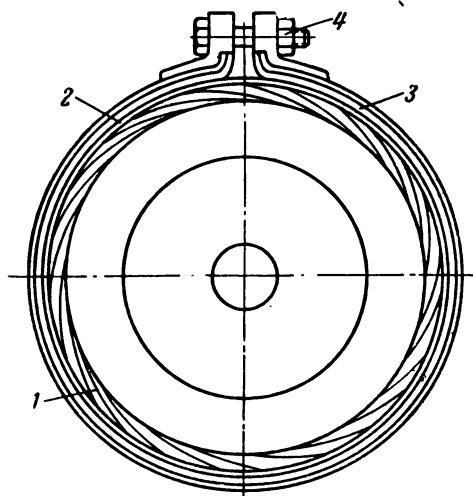


Рис. 7-6. Хомуты для прессовки изоляции.

H — высота прессуемой втулки;
 p — удельное давление, равное 50 кг/см^2 .

Показание манометра рассчитывают по формуле

$$A = \frac{4P}{\pi d^2} = \frac{P}{F},$$

где A — показание манометра, кг/см^2 ;

P — давление прессы, кг ;

F — площадь плунжера, см^2 ;

d — диаметр плунжера, см .

Пресс-форму снова помещают в печь и выпекают при $170\text{--}180^\circ\text{C}$ в течение 4 ч. Затем ставят под пресс, дают полное давление и охлаждают, не снимая давления, до температуры окружающего воздуха. Снимают давление прессы, разбирают пресс-форму и вынимают втулку.

Для контактных колец гидрогенератора пресс-форма получилась бы слишком громоздкой. Поэтому после наложения миканитовой изоляции 1 ее обертывают киперной лентой (рис. 7-6), а поверх нее кладут стальные листы 2 внахлестку. Перекрытие стальных листов должно быть в пределах $50\text{--}60 \text{ мм}$, а направление в противоположную сторону по отношению к нахлестке заготовок изоляции. Стальные листы стягивают хомутами 3 по всей высоте втулки. Расстояние между соседними хомутами должно быть $10\text{--}15 \text{ мм}$. Болты 4 располагают так, чтобы они не мешали затягиванию хомутов.

Если размеры втулки позволяют, ее помещают для выпекания изоляции в термостат. Втулки больших размеров вместе с хомутами устанавливают на плиту, изолировав ее от плиты прокладками из асбестового картона, и нагревают втулку изнутри газовыми горелками. В процессе выпечки подтягивают гайки на хомутах.

Для насадки колец изолированную втулку устанавливают на ровной плите (рис. 7-7). Расставляют равномерно по окружности вокруг втулки четыре подставки 1 для фиксации положения первого кольца 2. Первое контактное кольцо нагревают в термостате до $350\text{--}450^\circ\text{C}$, надевают его на втулку, легко ударяя по кольцу свинцовой кувалдой. Затем на первое кольцо устанавливают четыре стальные подставки требуемой высоты и насаживают второе нагретое кольцо. Насаживают на нее

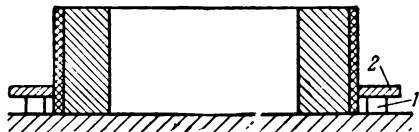


Рис. 7-7. Насадка контактного кольца.

втулку контактные кольца охлаждают либо на воздухе, либо воздушным вентилятором, либо струей сжатого воздуха.

По охлаждении проверяют изоляцию колец на электрическую прочность и производят механическую обработку втулки и контактных колец. Поверхность изоляции втулки покрывают лаком и сушат на воздухе не менее 4 ч. Затем бандажируют изоляцию льнопеньковым шнуrom.

7-5. КОНТАКТНЫЕ КОЛЬЦА НА ПЛАСТМАССЕ

Для запрессовки в пластмассу контактные кольца вкладывают в разъемную пресс-форму (рис. 7-8). Ввиду того что контактные кольца не создают на пластмассу нагрузки от действия центробежной силы, условия работы пластмассы здесь гораздо легче, чем в коллекторах.

Для подвода тока к кольцам служат медные пластинки, которые приваривают к внутренним стенкам кольца, распределяя их рав-

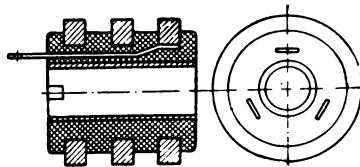


Рис. 7-8. Контактные кольца на пластмассе.

номерно по окружности. При запрессовке пластмассы часто наблюдается замыкание между выводными пластинками и соседними контактными кольцами, так как давлением пластмассы пластинки прижимаются к кольцам. Поэтому до прессовки на медные пластинки надевают изоляционные трубочки, которые должны быть предусмотрены в конструкции колец.

В крановых двигателях серии МТ сначала опрессовывают изоляционными материалами втулку контактных колец (рис. 7-9), а затем насаживают на нее контактные кольца, нагре-

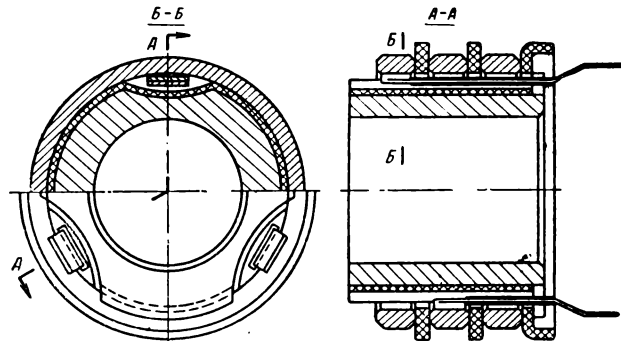


Рис. 7-9. Контактные кольца кранового электродвигателя

тые до 300—350° С. Выводные пластины припаяны к кольцам твердым припоем, а во втулке для них предусмотрены впадины. Между кольцами устанавливают изоляционные шайбы из дугостойкого изоляционного материала. Со стороны обмотки ставится кольцо углового сечения, которое совместно с неподвижной перегородкой защищает внутреннее пространство двигателя от щеточной пыли.

7.6. МАТЕРИАЛ КОНТАКТНЫХ КОЛЕЦ

В старых машинах контактные кольца как токонесущие детали изготавливались исключительно из цветного литья — бронзы или латуни. Электролитическая медь для литых контактных колец не применялась, так как она плохо заполняет формы при литье и поверхность отливки получается покрытой мелкими раковинами.

При пересмотре конструкций с точки зрения экономии цветных металлов оказалось, что по условиям плотности тока необязательно все сечение кольца делать из цветного металла. В связи с этим появились контактные кольца из черных металлов с медными обод-

ками. [Л. 7-1]. Ввиду того что механическая напрессовка ободков на кольцо из черного металла создает большие напряжения, были разработаны методы наплавки цветного металла на основание из черного металла. Такие кольца сохранились и по настоящее время.

Но в кольцах с наплавленными ободками слабым местом является контакт между токоподводящей шпилькой и ободком. На рис. 7-10 показана конструкция биметаллического контактного кольца, в котором этот недостаток отсутствует. Нерабочая часть кольца 2 отлита из чугуна, а обод 1 — из латуни. Заготовка чугунной части кольца представляет собой шайбу с двумя выемками, отлитую в стальной форме и обработанную по наружной поверхности и посадочному отверстию. Предварительно подогретая шайба вставляется в другую металлическую литейную форму и заливается снаружи латунью. После остывания производится механическая обработка кольца. Так как в чугунной шайбе проточена канавка и сделаны выемки, то латунный обод прочно охватывает чугунную шайбу, не допуская тангенциальных смещений. Выступы латунного обода служат для ввертывания контактных шпилек. Эта конструкция дала экономию 12,6 кг латуни на один электродвигатель и хорошо себя зарекомендовала в эксплуатации.

В последнее время для микромашин стали применять контактные кольца, спрессованные из порошков, дающие большую экономию цветных металлов [Л. 7-2].

Дальнейшими исследованиями было установлено, что контакт между щеткой и контактным кольцом остается достаточно надежным, если кольцо выполнено из черных металлов. В связи с этим в современных конструкциях машин находят применение контактные кольца из стали и чугуна.

7.7. СОЕДИНЕНИЕ КОНТАКТНЫХ КОЛЕЦ С ОБМОТКОЙ

Существует несколько конструкций соединений контактных колец с обмоткой. В машинах старых типов применяли круглые контактные шпильки, которые ввертывали в резьбу, нарезанную в кольцо (рис. 7-3). Однако резьба является плохим контактом в токовой цепи. Механические напряжения и плотность тока неравномерно распределяются между витками резьбы, и поэтому получаются местные нагревы и искрение. С течением времени нагретые поверхности окисляются, что еще более ухудшает контакт. В результате этого образуются дуги и соединения разрушаются.

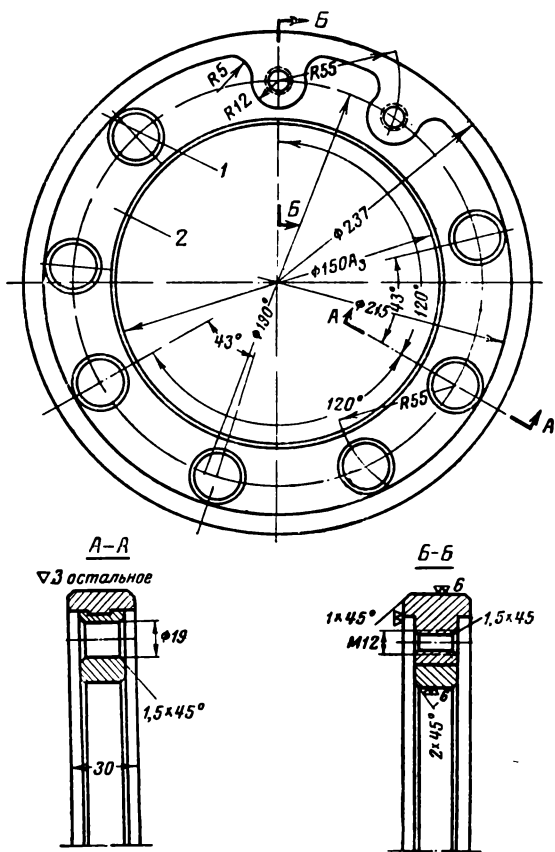


Рис. 7-10. Биметаллическое кольцо.

Поэтому в современных машинах резьба служит лишь для направления контактных шпилек. Электрический контакт между шпилькой и кольцом осуществляется посредством сварки. На рис. 7-11 показаны формы зенковок. Шпилька ввертывается так, что конец ее выступает над дном зенковки и углубление заполняется медным электродом. Цифрами показан порядок наложения сварочных швов. Для уменьшения окисления шва применяются обмазанные электроды. Состав обмазки: марганцевая руда 16,7%, плавиковый шпат 30,8%, графит серебристый 15,4%, пассивированный ферросилиций 30,8%, алюминий в порошке 2,3%, мел технический 4%. Сварка производится на переменном токе от сварочного трансформатора или на постоянном токе от сварочного генератора. Сварочный ток 250 а при напряжении 60—70 в.

Приварка шпилек к контактным кольцам значительно повышает надежность их в эксплуатации, но создает некоторые технологические трудности. Когда контактные шпильки ввертывались в кольца, то эта операция проводилась в конце сборки. Поэтому бандажи на миканитовую изоляцию между кольцами можно было наматывать на станке. При сваренных с кольцами шпильках намотку веревочных бандажей приходится производить вручную, продерживая их под каждой шпилькой крючком.

Контактные шпильки имеют и конструктивный недостаток. Он заключается в том, что из-за шпильки приходится искусственно увеличивать радиальную высоту кольца. Она состоит из следующих четырех зон: а) расстояние от внутреннего отверстия кольца до шпильки; б) диаметр шпильки; в) расстояние от шпильки до окружности сработанного кольца и д) запас на сработку кольца. Это не

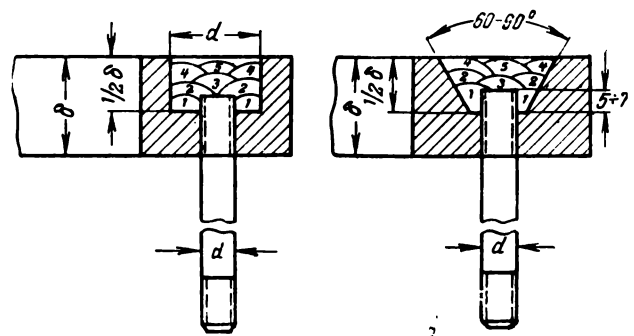


Рис. 7-11. Соединения шпильки с контактными кольцами.

только ведет к большому расходу металла, но создает затруднения при конструировании подшипниковых узлов. В современных асинхронных двигателях контактные кольца расположены на консоли вала за подшипниковым щитом. Для удобства разборки машины необходимо, чтобы при разборке подшипниковый щит можно было снять через контактные кольца. Поэтому в машинах без капсул подшипников диаметр контактных колец должен быть меньше наружного диаметра шарикоподшипника.

При наличии контактных шпилек это почти неосуществимо, особенно в двигателях малой мощности. Этот недостаток устраняется, если вместо контактной шпильки применить медные шины, которые приваривают или припаивают к контактному кольцу (рис. 7-9). На внутренней окружности кольца продавливают канавки. Эти канавки делают двух размеров. Меньшие в месте приварки кольца и большие в соседних кольцах, через которые должна быть пропущена изолированная медная шина. Применение контактных шин вместо шпилек делает более надежным и соединения их с обмоткой.

ГЛАВА ВОСЬМАЯ

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ОБМОТОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

8-1. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБМОТОЧНЫХ РАБОТ

Технология обмоток имеет специфические особенности, резко отличающие их от других деталей электрических машин. Это объясняется тем, что в обмотках медные или алюминиевые провода комбинируют различными способами с изоляционными материалами. Большое число витков обмотки и слоев изоляционных материалов делает неопределенными значения допусков на размеры обмоток. К обмоткам предъявляется ряд требований:

электрическая и механическая прочность изоляции, нагревостойкость, влагостойкость, диэлектрические потери и проницаемость, гигроскопичность и др.

По мере развития электромашиностроения к обмоткам предъявляются все новые требования. Это связано с повышением мощности, напряжения машин и нагрева обмоток. Наибольшую сложность представляют обмотки машин с непосредственным охлаждением газом или жидкостями проводников, которые выполняются полыми и должны быть снабжены

специальными устройствами для входа и выхода охлаждающих агентов.

Обмоточное производство можно разделить на две области: изготовление обмоток и укладка их в пазы сердечников. Процессы изготовления обмоток в значительной мере механизированы вплоть до организации поточных линий производства отдельных элементов обмоток. Что касается укладки обмоток, то за исключением роторов и некоторых статоров машин малой мощности эти процессы производятся вручную.

Трудоемкость обмоточных работ составляет 20—40% общей трудоемкости электрических машин, повышаясь с увеличением напряжения машины. Например, чтобы изготовить обмотку статора гидрогенератора мощностью 57 тыс. кВт и напряжением 13,8 кВ, надо переработать 17 т обмоточной меди, 4 т различных слюдяных изоляционных материалов, намотать свыше 330 км хлопчатобумажных и асбестовых лент, напаять 110 кг припоя. Трудоемкость обмоточных работ по сравнению с трудоемкостью остальных деталей электрических машин за последние 20—30 лет выросла в 1,3—1,5 раза. Это объясняется опережением механизации и автоматизации изготовления механических деталей и повышением сложности выполнения обмоток.

Нельзя не отметить, что за тот же период в области обмоточного производства произошли решающие изменения. Переход от однослойных обмоток к двухслойным, замена гильзовой изоляции непрерывной, щипаной слюды слюдинитами, применение кремнийорганической, полиэфирной и других видов изоляции, водноэмульсионных лаков и др. неузнаваемо изменили производственные процессы и повысили надежность обмоток в эксплуатации.

Во многих случаях резкое повышение производительности отдельных процессов достигалось не за счет простой механизации существующих, а путем перестройки принципов технологии и конструкции обмоток, а иногда и самой машины.

В качестве примеров можно привести: механизацию наложения витковой изоляции высоковольтных катушечных обмоток, замену ленточной изоляции покрытием катушек полиэфирными лаками, применение прямоугольных проводов с эмалевой изоляцией взамен волокнистой, заливка алюминием роторов с радиальными вентиляционными каналами, обмотки с печатными схемами, применение специального профиля меди для катушек крупных гидрогенераторов и т. п.

Дальнейшие достижения в области механи-

зации и автоматизации обмоточного производства возможны за счет совместной работы расчетчиков, конструкторов и технологов электрических машин.

8-2. ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ТЕХНОЛОГИИ ОБМОТОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Дальнейшее совершенствование и развитие обмоточного производства ставят перед технологией следующие задачи:

1. Механизация обмоточных работ за счет введения новых более производительных и усовершенствованных станков и приспособлений.

2. Разработка и внедрение полуавтоматических станков для обмотки роторов и статоров машин малой мощности.

3. Замена дорогих и дефицитных изоляционных материалов без снижения качества обмоток.

4. Экономия меди за счет более точных расчетов намочных шаблонов и уменьшения припусков на выводные концы.

5. Замена меди алюминием в обмотках.

6. Замена оловянисто-свинцовых припоев твердой пайкой.

7. Разработка и внедрение новых изоляционных материалов.

8. Повышение коэффициента заполнения паза медью за счет снижения толщины изоляции.

9. Повышение надежности обмоток в эксплуатации.

10. Разработка и внедрение новых методов контроля обмоток в процессе производства.

11. Освоение обмоток с полыми проводниками для непосредственного охлаждения.

12. Механизация и автоматизация процессов пропитки обмоток.

13. Освоение и широкое внедрение обмоток с печатными схемами.

8-3. ОБМОТОЧНЫЕ ПРОВОДА

Для обмоток электрических машин применяются обмоточные провода с волокнистой, эмалевой и комбинированной изоляцией и голые провода круглого, прямоугольного и фасонного сечений. В дореволюционной электротехнической промышленности было всего пять марок обмоточных проводов: ПБД и ПБО с двумя и одним слоем хлопчатобумажной обмотки; ПШД и ПШО с двумя и одним слоем обмотки из натурального шелка и ПЭ с эмалевой изоляцией.

Современное электромашиностроение применяет различные марки обмоточных проводов, число которых приближается к сотне. Это

объясняется повышением требований, предъявляемых к обмоткам электрических машин, и разработкой новых изоляционных материалов. Провода с эмалевой изоляцией круглые и прямоугольные все в большей степени заменяют провода с волокнистой изоляцией, что резко повышает заполнение пазов проводниками. Провода с усиленной изоляцией дают возможность устранить в обмоточных цехах процессы наложения витковой изоляции [Л. 8-3].

Алюминий представляет собой мощный резерв электрификации. Без значительного роста применения алюминиевых проводов нельзя поднять производство электрических машин до уровня, обеспечивающего темпы сплошной электрификации страны. Замена 1 тыс. т меди алюминием дает экономию капиталовложений в цветную металлургию около 1,75 млн. руб. и, что особенно важно, сокращает сроки наращивания новых мощностей. Если в 1958 г. объем выпуска алюминиевых проводов составлял всего 1%, то в 1965 г. алюминиевые провода должны составлять 25% общего выпуска обмоточных проводов [Л. 8-2].

При намотке многовитковых катушек требуемая длина провода определяется самим процессом намотки, а для одновитковых и стержневых обмоток заготовка должна быть отрезана до начала процесса гибки. Длина заготовки должна быть точно определена, так как при излишней длине много меди пойдет в отходы, а при недостаточной длине отрезанный кусок провода не может быть использо-

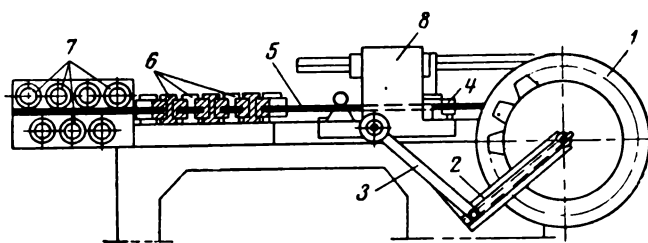


Рис. 8-1. Станок для рихтовки и резки проводов.

ван для данной обмотки. Отрезка заготовок для стержневых обмоток обычно объединяется с правкой шины, сматываемой с бухты. Ввиду того что резка и правка меди носят в электропромышленности массовый характер, для этой цели применяется специальное оборудование.

На рис. 8-1 показано устройство станка для правки и резки медных шин. В левой части станка расположены две группы роликов. Одни из них 6 расположены вертикально и служат для правки шин 5 на ребро, другие 7 — горизонтально и правят шину на плоскость. Расстояния между роликами каждой группы может регулироваться и устанавливается в зависимости от размеров сечения шин.

В средней части станка виден ползун 8 с зажимом 4 для захвата конца шины. Ход ползуна устанавливается в зависимости от длины заготовки. В правой части станка расположен нож, режущий шину после того, как ползун протянул требуемую длину заготовки. Ползун приводится в движение, и ход его регулируется кривошипным механизмом 2, 3. Если необходимая длина заготовки больше хода ползуна, то станок настраивают так, чтобы нож включался после нескольких оборотов колеса 1. Зажим на ползуне захватывает конец шины только при рабочем ходе. При обратном ходе губки зажима расходятся и свободно скользят вдоль шины.

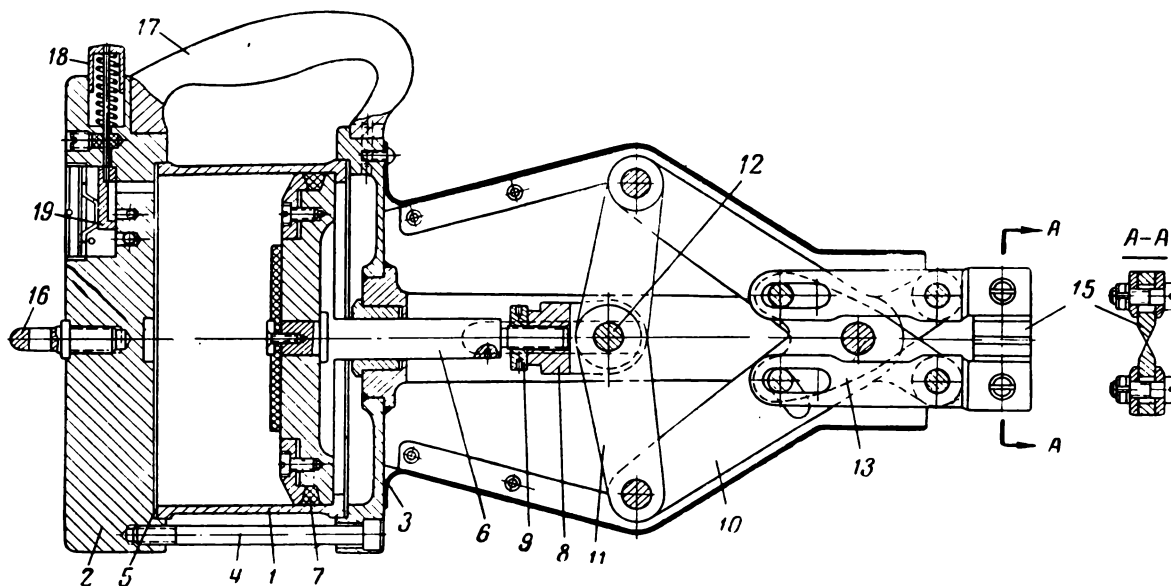


Рис. 8-2. Пневматические кусачки.

Шина вводится в станок с левой стороны и проходит сначала между горизонтальными, а затем между вертикальными роликами. Отрезанные заготовки выходят с правой стороны станка.

По сравнению с ручной резкой и правкой меди такой станок значительно увеличивает производительность труда и обеспечивает одинаковую длину нарезаемых заготовок.

После намотки многосвитковых катушек на шаблоны или отмеривания заготовки для гибки провод или шина отрезается от бухты.

На рис. 8-2 показано устройство пневматических кусачек с параллельно перемещающимися ножами, которые значительно облегчили операции резки по сравнению с ручными кусачками.

Кусачки состоят из стального пневматического цилиндра 1, ограниченного с одной стороны силиuminовой крышкой 2, а с другой — стальной сварной вилкой 3, которые плотно стянуты винтами 4. Для уплотнения цилиндра с обеих сторон предусмотрены прокладки 5 из электрокартона. Поршень, сваренный с валом 6, снабжен прорезиненной манжетой 7, вырезанной из клиновидного ремня. На хвостовую часть вала на вернуту на резьбе серья 8 и гайка 9. На рычаги 10, шарнирно соединенные с серьгой поршня через рычаги 11 осью 12, крепятся рычаги 13. К рычагам 13 крепятся сменные ножи 15. Положение режущих кромок регулируется за счет овального отверстия и рифлений. Более точная регулировка зазора между ножами осуществляется серьгой 8 и гайкой 9. Для разрезки шины пневматические кусачки подвешивают над намоточным станком на пружине, к которой они крепятся подъемным кольцом 16. Для подвода пневматических кусачек к рабочему месту служит алюминиевая ручка 17. В крышку 2 встроена золотниковая система с воздухопроводящими каналами. При нажмении пальцем на кнопку 18 золотник 19 перемещается и в цилиндр со стороны крышки подается сжатый воздух. При этом происходит резка металла. При давлении воздуха в сети 4 ат кусачки развивают усилие 5 т. Для безопасности работы предусмотрен щиток, предохраняющий пальцы от попадания между рычагами.

8-4. ИЗОЛЯЦИЯ ОБМОТОК

Изолировать отдельные проводники или катушки можно двумя способами: обматыванием лентой или обертыванием широкой полосой изоляционного материала. В свою очередь обматывать лентой можно вразбежку, в стык или внахлестку.

Обматывание лентой вразбежку (рис. 8-3,а) не создает изоляционного слоя и применяется только для стягивания проводников катушки в процессе их прессовки или пропитки. Стягивающая лента может быть временной, т. е.

сниматься перед наложением основной изоляции, или быть постоянной и оставаться на катушке.

Обматывание лентой в стык (рис. 8-3,б) применяется только для верхнего слоя изоляции, которая служит в качестве механической защиты лежащих под ним слоев изоляции. Например, обматывание полотняной или асбестовой лентой в стык применяется для пазовых частей катушки в целях увеличения коэффициента заполнения паза.

Обматывание лентой внахлестку (рис. 8-3,в) применяется для наложения на проводник или катушку основной изоляции. Обматывание внахлестку производится с перекрытием предшествующего витка ленты наполовину или треть ширины. При обматывании лентой внахлестку геометрическая толщина изоляции получается вдвое больше, чем толщина, которая рассчитывается на пробой изоляции. Это удвоение толщины изоляции сильно сказывается на уменьшении коэффициента заполнения паза. Тем не менее обматывание лентой является единственным способом изоляции катушек высоковольтных машин, так как позволяет осуществить непрерывную изоляцию катушки с плавным переходом от пазовых частей к лобовым.

В машинах с напряжением до 500 в широко применяется так называемая гильзовая изоляция, при которой пазовые части изолируют широкой полосой изоляционного материала, а лобовые обматывают лентой. При изолировке посредством обертывания катушки полосой изоляционного материала, ширина которой равна длине изолируемого участка, соотношение между геометрической и расчетной толщинами изоляции получается более выгодным с точки зрения заполнения паза. Если для изоляции достаточно одного слоя изоляционного материала, то для закрепления концов полосы применяют перекрытие по двум сторонам сечения катушки (рис. 8-3,г). При большом числе слоев можно ограничиться перекрытием на одной стороне сечения (рис. 8-3,д). Таким образом, при большом числе слоев получается значительная выгода в общей толщине изоляции по сравнению с изолировкой лентой. Кроме того, обертывание широкой полосой изоляционного материала дает большую экономию времени, требуемого для изолировки. Однако посредством обертывания можно изолировать только прямолинейные части катушки, лобовые же части можно изолировать, только обматывая лентой.

Обматывание лентой вручную является очень трудоемким процессом. При изолировке 1 пог. м обмотки лентой шириной 20 мм

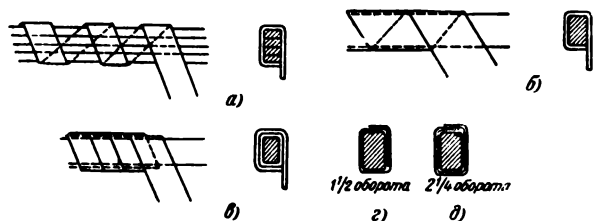


Рис. 8-3. Способы изолировки.

в $1/2$ нахлестки работнице приходится 200 раз переложить рулончик с лентой из одной руки в другую. В настоящее время процесс изолировки в значительной степени механизирован путем создания станков, которые оплетают лентой не только прямолинейные участки, но также изогнутые и замкнутые контуры катушек.

На рис. 8-4 показан настольный изолировочный станок, принцип устройства которого лег в основу многих изолировочных станков.

Ролик с лентой 7, укрепленный на вращающемся кольце 2, обегает вокруг сечения изолируемой катушки 8, которой от руки сообщается равномерное поступательное движение. Для ввода катушки в корпус станка 4 и во вращающемся кольце 2 сделаны прорезы, которые в положении, изображенном на рисунке, совпадают. Кольцо приводится во вращение от шкива электродвигателя через круглый ремень 5, который проходит через направляющие ролики 1 и 6 и охватывает кольцо 2 с задней стороны, чтобы не пересекать прорезы для ввода катушки. Сторону катушки кладут на неподвижный упор 3 поддерживающего рычага. Эффективность применения станка зависит от длины изолируемой катушки. Для коротких катушек станок может оказаться невыгодным по сравнению с ручной изолировкой.

В процессе изготовления катушек приходится не только наносить на проводники изоляцию, но совершать и обратный процесс снятия изоляции проводов с выводных концов катушек, которые будут спаиваться по схеме соединений. Эта операция носит массовый характер и для нее разработаны специальные станки. Рабочим инструментом являются металлические щетки, состоящие из стального проволочного кольца, на которое надевают согнутые вдвое пучки стальной волнистой проволоки. Проволоке придают волнистость, пропуская ее между рифлеными валиками. Щетки насаживают на втулки и зажимают фланцами гайки. Щетки закрыты кожухом, в котором сделаны щели для подвода концов катушек. Пыль, выделяемая в процессе работы, удаляется вентилятором.

Пазовая изоляция служит для защиты изоляции катушек от механических повреждений

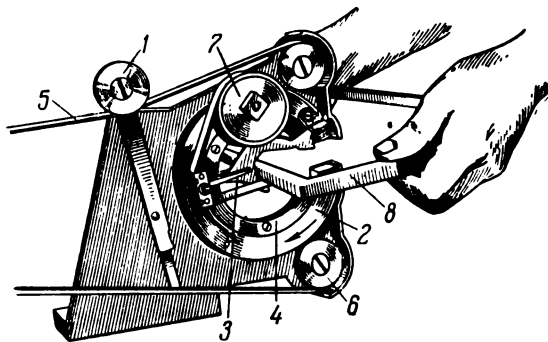


Рис. 8-4. Изолировочный станок.

шероховатостями на стенках пазов. Во всыпных обмотках пазовая изоляция одновременно изолирует обмотку от корпуса, так как другой изоляции катушки обмотки не имеют, кроме изоляции самого провода. В обмотках из изолированных катушек пазовая изоляция играет роль механической защиты. Только обмотки статора высоковольтных машин вкладывают в пазы без дополнительной пазовой изоляции, так как катушки несут на себе много слоев изоляции, из которых последний выполняет роль механической защиты. Это обычно киперная или асбестовая лента, которой пазовые части катушек обматывают в стык или внахлестку.

Пазовая изоляция представляет собой однослойную или многослойную U-образную скобочку, материалы которой подбирают в зависимости от класса изоляции обмотки. Для класса А применяют электрокартон и лакоткань, а для нагревостойкой обмотки гибкий миканит или стекломиканит. При полуоткрытых пазах пазовая гильза должна быть достаточно жесткой, чтобы не сминаться проводниками обмотки при укладке их в пазы.

В статорных всыпных обмотках в течение многих лет применяется трехслойная пазовая гильза, состоящая из двух полосок электрокартона 1 и 3 и одной полоски лакоткани 2 между ними (рис. 8-5,а). Внешняя полоска электрокартона защищает лакоткань от повреждения стенками паза. Внутренняя полоска электрокартона защищает лакоткань от смятия проводниками обмотки, а изоляцию проводников от повреждения коронками зубцов. Поэтому она имеет большую ширину и концы ее выступают из паза. Это создает дополнительные трудности по срезанию выступающих краев электрокартона после укладки обмотки в пазы. Однако и после срезания краев эта полоска остается более широкой, чем другие, поэтому при заклинивании пазов она образует складки внутри паза.

Для устранения этих затруднений проведение модификация пазовой изоляции. Все три полоски нарезают одинаковой ширины, а в процессе укладки обмотки в паз вставляют дополнительные вкладыши 4 из электрокартона или фибры (рис. 8-5,б). После укладки всех проводников в пазы их вытаскивают из паза и вставляют в следующей.

Общая толщина трехслойной гильзы получается до 0,6—0,65 мм. В машинах малой мощности такая гильза вместе с воздушными прослойками между полосками изоляции занимает до 30% площади паза, что сильно уменьшает заполнение паза медью. Кроме того, воздушные прослойки рез-

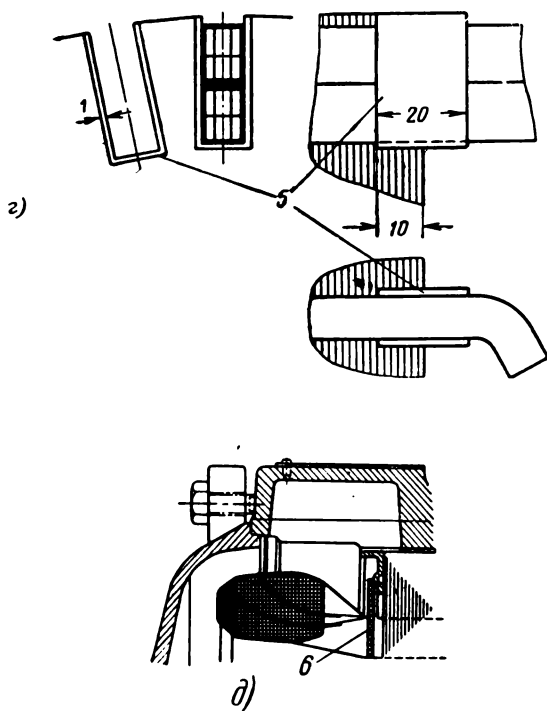
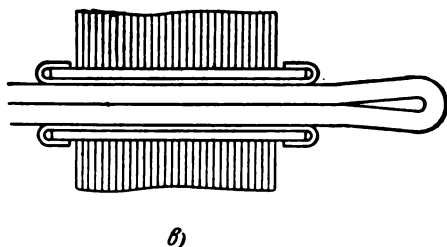
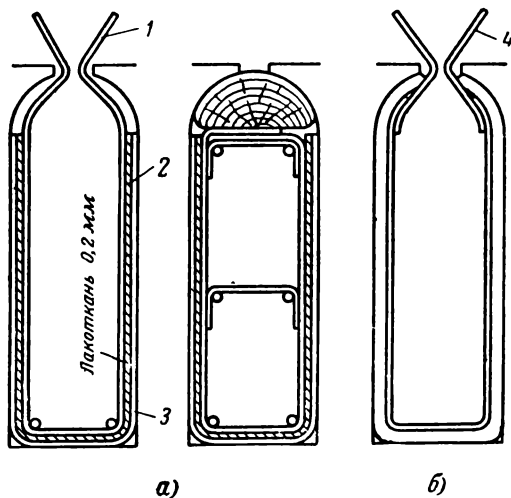


Рис. 8-5. Пазовая изоляция.

ко снижают теплопроводность пазовой изоляции, что ведет к повышению нагрева обмотки.

Толщина пазовой изоляции может быть значительно снижена путем замены составной гильзы пленкоэлектрокартоном, представляющим собой полосу электрокартона толщиной 0,15 мм, оклеенную триацетатной пленкой толщиной 0,05 мм. Таким образом уменьшается число слоев изоляции, пленка путем приклеивания защищается от смятия проводниками и устраняются воздушные прослойки.

В новой единой серии асинхронных двигателей применена еще более прочная и совершенная пазовая изоляция. Для двигателей в защищенном исполнении при классе изоляции Е в качестве пазовой изоляции применяется лавсан толщиной 0,05 мм в сочетании с электрокартоном ЭВ толщиной 0,2 мм и стеклотканью ЛСЭ-1 толщиной 0,17 мм. Для двигателей в закрытом исполнении 2—5-го габаритов предусматривается применение изоляции, состоящей из лавсана толщиной 0,05 мм в сочетании с электрокартоном ЭВ толщиной 0,15 мм для 2—3-го габаритов и 0,2 для 4—5-го габаритов. Для двигателей в закрытом исполнении 6—9-го габаритов с изоляцией класса F пазовая изоляция состоит из стекломиканита Г1ФГ1 толщиной 0,22 мм в сочетании со стеклолакотканью ЛСК-7 толщиной 0,15 мм и электрокартоном толщиной 0,15 мм.

Анализ пробоев изоляции электрических машин с гильзовой изоляцией показывает, что слабым местом является выход гильзы из паза. Это объясняется или разрывом гильзы при укладке обмотки или прорезанием ее углом зубца. Поэтому выступающие концы пазовых гильз должны быть защищены. В качестве мер защиты применяются: 1) опиливание граней зубцов перед укладкой обмотки; 2) поддержка выступов пазовых гильз изоляцией обмоткодержателей, которая должна доходить до дна паза; 3) укрепление выступающих концов гильз путем отворотов (рис. 8-5,в); 4) применение расширенных и углубленных пазов на концах сердечника с вкладыванием в них U-образных скобочек 5 (рис. 8-5,г), как это делается в крановых двигателях; 5) надевание на выступающие концы гильз штампованной из фибры или электрокартона гребенки 6 (рис. 8-5,д), как это делается в первых габаритах асинхронных двигателей единой серии.

8-5. ВОПРОСЫ ЭКОНОМИКИ ОБМОТЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

В себестоимости электрических машин материалы составляют 60—80%, из них на обмотки приходится в низковольтных маши-

нах с бумажной изоляцией 18—20%, а в вы-р/кг
соковольтных машинах 60—70%.

Приближенно можно считать, что стоимость материалов в машине составляется из трех примерно равных частей: 1) изоляция; 2) активные материалы (электротехническая сталь и медь) и 3) конструкционные материалы [Л. 8-1].

Поэтому при технико-экономических расчетах электрических машин главное внимание должно быть уделено обмоткам.

На рис. 8-6,а приведены графики цен круглых, а на рис. 8-6,б прямоугольных обмоточных проводов наиболее употребительных марок. Как видно на рисунке, цены проводов резко растут с уменьшением диаметра. Поэтому замена одного провода двумя параллельными помимо ухудшения заполнения паза повышает и стоимость самой обмотки. Провода с эмалевой изоляцией по сравнению с волокнистой более выгодны по цене и по толщине изоляции.

В табл. 8-1 приведены цены наиболее употребительных изоляционных материалов. С уменьшением толщины и повышением нагретостойкости растет стоимость изоляции.

Таблица 8-1

Цены изоляционных материалов

Наименование материала	Толщина, мм	Цена за 1 кг, руб.
Миканит гибкий ГМС2, ГМЧ2	0,15	42,90
	0,2—0,25	27,20
	0,3 и выше	11,70
Миканит гибкий ГФ	0,15	27,50
	0,2—0,25	19,20
	0,3 и выше	10,40
Стекломиканит гибкий Г1ФГ	0,22—0,5	18,80
Стекломиканит Г2ФГ	0,25—0,4	17,90
Миканит формовочный ФМ	0,5—0,6	19,10
	0,1—0,3	46,60
	0,2—0,4	28,20
Миканит коллекторный КФ	0,4—0,5	12,40
	0,5—0,6	5,20
	0,7 и выше	3,20
Микафолы ММГ	0,15—0,2	30,30
	0,2	12,40
	0,3	10,0
Микалента ЛМ	0,08	43,80
	0,13	29,60
	0,08	26,90
Микалента ЛФ	0,13	18,60
	5—50	0,75
	5—50	1,08
Гетинакс А	5—29	3,0
Гетинакс Б	5—29	3,40
Текстолит А	0,3	3,45
Текстолит Б	0,4—0,5	2,80
Пленкоэлектрокартон		Цена за 1 м, руб.
Лакоткань ЛХ1	0,17—0,24	1,70
Лакоткань ЛШ1	0,1	2,38
Стеклолакоткань СЛТЗ	0,15	1,22

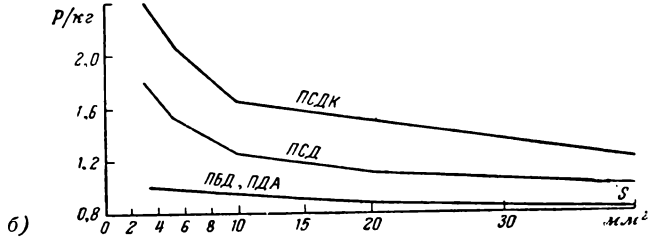
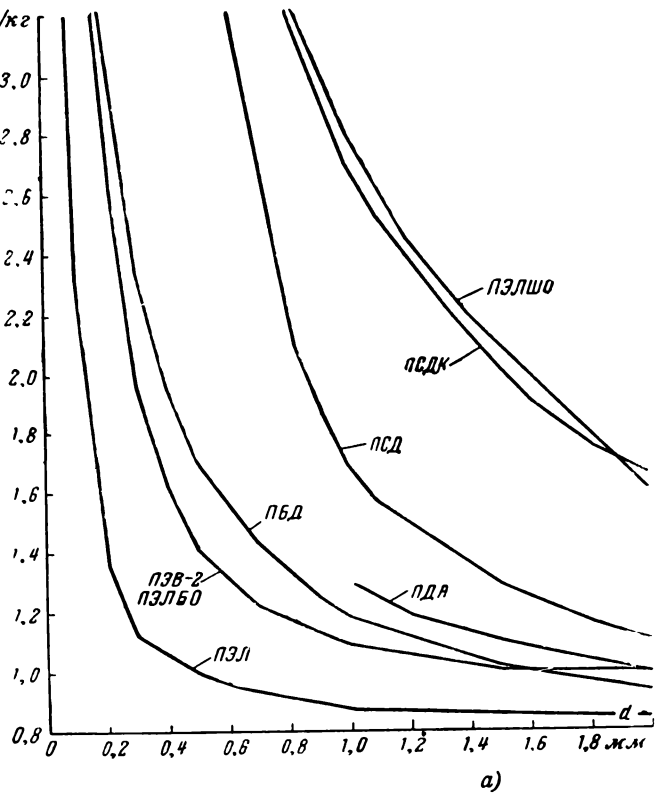


Рис. 8-6. Цены обмоточных проводов.

В себестоимость обмоток входит также зарплата на их выполнение, определяемая нормированием обмоточных работ.

Для обработки металлов резанием разработаны расчетные формулы для определения машинного времени, которые применяются в течение многих лет и достигли высокой степени точности.

Для штамповочных и сборочных работ разработаны обоснованные нормативы, позволяющие объективно оценивать трудоемкость отдельных операций и приемов.

Что касается укладки обмоток, то до последнего времени не были выявлены даже факторы, влияющие на трудоемкость процесса, а тем более их количественные значения.

Трудоемкость всыпных обмоток зависит в основном от следующих факторов: 1) диа-

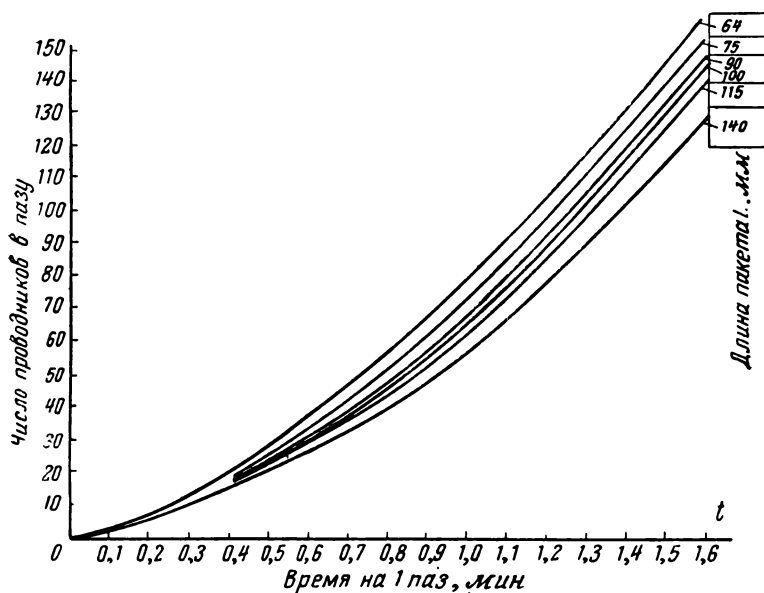


Рис. 8-7. Нормы времени на укладку всыпных обмоток.

метра провода и числа проводов в пазу; 2) диаметра расточки и длины статора; 3) ширины прорези паза; 4) числа пазов и коэффици-

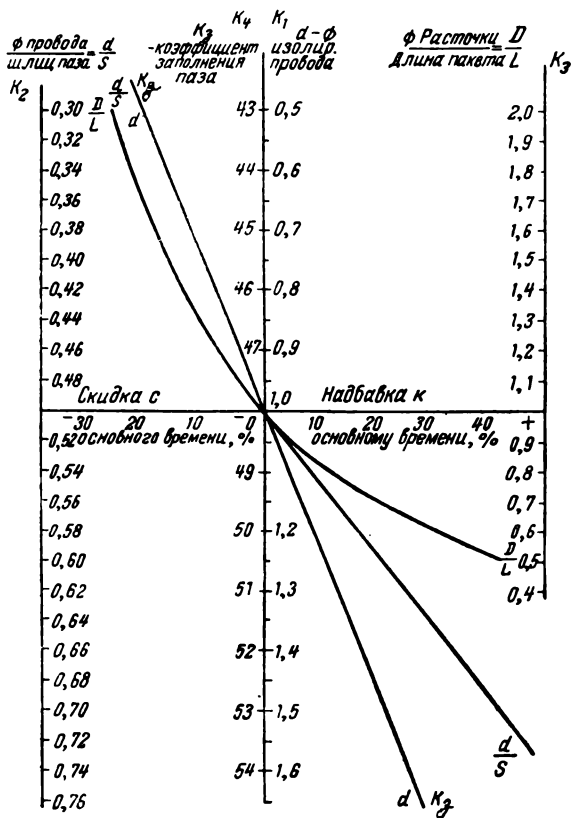


Рис. 8-8. Поправочные коэффициенты к нормам времени.

видно, что трудоемкость укладки зависит от диаметра изолированного провода, возрастая с увеличением диаметра. Трудоемкость повышается при увеличении отношения диаметра провода к ширине прорези паза. Время, требующееся на укладку обмотки, уменьшается при увеличении диаметра статора и повышается с ростом коэффициента заполнения.

Нормирование процессов укладки обмотки производят следующим образом. Зная длину пакета статора и число проводников в пазу, определяют основное время по графикам (рис. 8-7).

По обмоточным данным определяют коэффициенты

$$k_1 \approx d, \quad k_2 \approx \frac{d}{s}, \quad k_3 \approx \frac{D}{L}, \quad k_4 \approx k_3.$$

На оси абсцисс (рис. 8-8) находят поправочные коэффициенты Π_1, Π_2, Π_3 и Π_4 , кото-

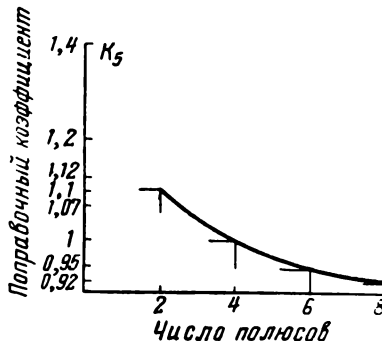


Рис. 8-9. Поправочный коэффициент к нормам времени.

рые могут быть со знаком + (надбавка) или — (скидка).

Для учета числа полюсов вводят поправочный коэффициент k_5 , значение которого находят по кривой рис. 8-9.

Основное оперативное время укладки обмотки статора определяют по формуле

$$T_0 = tz(1 \pm \Pi_1)(1 \pm \Pi_2)(1 \pm \Pi_3)(1 \pm \Pi_4)k_5 \text{ мин,}$$

где t — основное время, мин, по графикам (рис. 8-7);

z — число пазов статора.

Вспомогательное время на 1 статор определяют по кривой рис. 8-10 в зависимости от веса пакета статора и прибавляют к оперативному времени.

Приведенные в кривых значения соответствуют нормам, достигнутым на передовых предприятиях, изготавливающих электродвигатели 3—5-го габаритов. Эти нормы отражают затраты времени при расчлененной укладке обмотки на конвейере. При укладке на одном рабочем месте нормы должны быть увеличены в 1,3—1,5 раза.

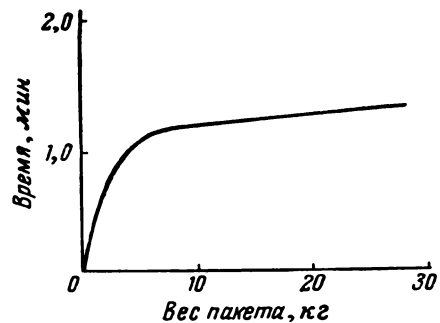


Рис. 8-10. Вспомогательное время на укладку обмоток

Описанная методика может быть применена для разработки нормативов укладки сыпной мягкой однослойной и двухслойной обмоток статоров электродвигателей любых исполнений и мощностей. Для дополнительных работ при более сложной конструкции обмотки необходимо составить добавочные кривые и в формулу расчета ввести дополнительные коэффициенты [Л. 8-4].

ГЛАВА ДЕВЯТАЯ

ЯКОРНЫЕ ОБМОТКИ МАШИН ПОСТОЯННОГО ТОКА

9-1. ТИПЫ ЯКОРНЫХ ОБМОТОК

Якорные обмотки машин постоянного тока по технологии изготовления можно разделить на следующие типы:

- 1) ручные обмотки;
- 2) катушечные обмотки из круглого провода;
- 3) катушечные обмотки из прямоугольного провода;
- 4) одновитковые обмотки;
- 5) стержневые обмотки.

Ручные обмотки применяют в машинах малой мощности. Они отличаются от катушечных тем, что их наматывают проводом непосредственно в пазы якоря. При массовом производстве обмотку якорей производят на специальных полуавтоматических станках.

Катушечные обмотки из круглого провода разделяются на две разновидности в зависимости от формы паза, которая может быть полузакрытой или открытой. В первом случае обмотки являются сыпными с гильзовой изоляцией, а во втором — шаблонными, катушки которых наматывают на шаблонах, растягивают, изолируют, пропитывают и в готовом виде укладывают в открытые пазы якоря.

Катушки из прямоугольного провода отличаются от шаблонных катушек из круглого провода намоткой на шаблоны специальной формы, за счет чего катушки получаются с двойной головкой. Это необходимо для упрощения укладки их в пазы и повышения надежности в эксплуатации.

Одновитковые обмотки по технологии резко отличаются от катушечных. Катушки этих обмоток не наматывают на станках, а выгибают на специальных приспособлениях, затем изолируют, пропитывают и укладывают в пазы якоря.

Стержневые обмотки выполняют из полукатушек, и поэтому они имеют соединения между стержнями со стороны, противоположной коллектору.

Лягушачьи обмотки являются некоторой разновидностью одновитковых или стержневых обмоток.

9-2. РУЧНЫЕ ОБМОТКИ ЯКОРЯ

Ручные обмотки применяются в машинах с полузакрытыми пазами с диаметром якоря до 80 мм. Они имеют два главных преимущества перед шаблонными обмотками:

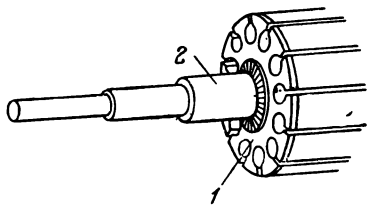


Рис. 9-1. Якорь с ручной обмоткой.

1) значительно меньшую длину витка, а следовательно, меньший вылет лобовых частей;

2) возможность механизации укладки обмотки в пазы [Л. 18].

В настоящее время все процессы выполнения ручных обмоток, за исключением соединения выводов обмотки с коллектором, механизированы в значительно большей степени, чем шаблонных. Таким образом, их название характеризует не процесс выполнения, а способ расположения проводников в пазах.

Лобовые части ручных обмоток прилегают к торцу якоря и огибают вал. Для предохранения от замыкания обмотки с сердечником с каждой стороны якоря ставят изоляционные листы 1 (рис. 9-1) толщиной 1—2 мм, которые штампуют из электрокартона, фибры или текстолита, а части вала изолируют лентой или трубочками 2. От стенок паза обмотки изолируют пазовыми гильзами, которые на 1—2 мм длиннее сердечника якоря вместе с изоляционными крайними листами.

Ручные обмотки требуют применения проводов с повышенной прочностью изоляции. Современные провода с высокопрочной эмалевой изоляцией применяются для обмоток с диаметром провода до 0,6—0,8 мм. При больших диаметрах применяют провода с двойной волокнистой или комбинированной изоляцией.

При ручной намотке якорь кладут концами вала на деревянную стойку или держат якорь в руке, а другой рукой вкладывают провод в пазы. Катушку с проводом устанавливают около обмотчика на вращающейся деревянной подставке. По мере заполнения пазов проводом обмотку в пазу осаживают фибровым клином, который натирают парафином. Намотку следует вести, натягивая провод и избегая перекрещивания проводов в пазах. При недостаточном натяжении провода лобовые части обмотки не уложатся на торцах якоря. Во время намотки необходимо следить за целостностью изоляции провода во избежание витковых замыканий, а также чтобы изоляционные гильзы не сдвигались с места, так как это поведет к замыканию обмотки на корпус.

9-3. СХЕМЫ РУЧНЫХ ОБМОТОК ЯКОРЯ

Схемы ручных обмоток якоря имеют некоторые особенности по сравнению со схемами катушечных. В ручных обмотках первые катушки кладут обеими сторонами на дно паза. Обматывают якорь обычно до насадки коллектора и для присоединения к коллектору в обмотке оставляют выводные петли, которые выпускают из каждого паза по числу секционных сторон.

Рассмотрим следующие примеры схем ручных обмоток.

На рис. 9-2 дана схема обмотки якоря машины постоянного тока со следующими данными:

число пазов	$z = 10$
число секционных сторон	$U_n = 3$
число витков в секции	$w_c = 37$
шаг по пазам	$y_z = 4$
шаг по коллектору	$y_k = 1$
число коллекторных пластин	$K = 30$
число проводов в пазу	$N_z = 222$

После изолировки пазов приступают к обмотке якоря. Начало провода обматывают вокруг вала, чтобы провод не сдвинулся при намотке. Обмотку ведут одним проводом в следующем порядке. Сначала наматывают 37 витков первой секции из паза 1 в 5. Затем из паза 1 выпускают первую петлю длиной около 40 мм и в те же пазы наматывают вторую секцию. После намотки второй секции снова выпускают петлю, которую делают длиннее первой на 10—15 мм для того, чтобы их можно было различить при соединении обмотки с коллектором; затем наматывают третью секцию и выпускают петлю длиннее второй на 10—15 мм. Переводят провод, не отрывая его от бухты, в паз 2. Теперь намотка будет производиться из паза 2 в 6. Наматывают также три секции по 37 витков и после намотки каждой секции выпускают петли разной длины.

Аналогично обматывают пазы 3—7 и 4—8. При этом все пазы будут заполнены только наполовину, так как пока укладывают нижний слой. Следующие секции должны наматываться из паза 5 в 9, но половина паза 5 уже занята секциями первой катушки.

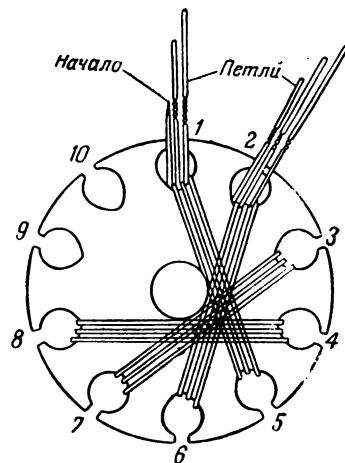


Рис. 9-2. Схема ручной обмотки якоря.

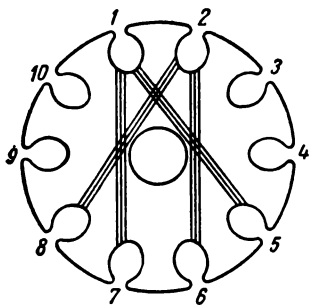


Рис. 9-3. Схема обмотки в елочку.

Следовательно, когда будет закончена намотка секции из паза 5 в 9, то паз 5 будет заполнен целиком.

Затем намотку производят из паза 6 в 10, при этом целиком заполняют паз 6 и из 7 в 1, причем оба эти паза заполняют целиком и провода обмотки будут обеими сторонами лежать в верхнем слое. Последними будут заполнены пазы 10 и 4. Из последней секции паза 10 выйдет конец обмотки, который следует соединить с началом обмотки, выходящим из паза 1. Таким образом, вся обмотка якоря намотана одним непрерывным проводом. Из каждого паза выходят по три петли разной длины. Петля является концом одной секции и началом следующей. Каждую петлю надо присоединить к коллекторной пластине, зачистив изоляцию провода и отрезав лишнюю длину петли.

Чтобы секции в обмотке не перекрещивались, надо при соединении петель с коллекторными пластинами брать их в определенном порядке: короткая, средняя, длинная из паза 1, затем короткая, средняя, длинная из паза 2 и т. д.

В данной схеме обмотки есть один недостаток, заключающийся в том, что на торце якоря лобовые части будут укладываться не симметрично. Лобовые части первых катушек будут плотно прилегать к торцу якоря, а последних в верхнем слое обмотки — выпучиваться. В малых быстроходных машинах это создает несбалансированность якоря и при вращении он будет вибрировать. Сбалансировать якорь дополнительными грузами трудно, так как на маленьком якоре бывает мало места для балансировочных грузов.

Чтобы избежать этого, применяют специальные схемы намотки, при которых лобовые части располагаются более симметрично. К таким схемам относятся схемы обмотки якоря «в елочку» и двуххордовой.

На рис. 9-3 дана схема обмотки якоря в елочку со следующими данными:

число пазов	$z = 10$
число секционных сторон	$U_{\text{с}} = 1$
число витков в секции	$w_{\text{с}} = 10$
шаг по пазам	$y_z = 4$
шаг по коллектору	$y_k = 1$
число коллекторных пластин	$K = 10$
число проводов в пазу	$N_z = 20$

Обмотку якоря начинают с паза 1. В этой обмотке каждая катушка состоит из одной секции. Однако первую секцию не наматывают целиком из паза 1 в 5, а разбивают на две части и наматывают равными шагами: пять витков из паза 1 в 5 и пять витков из паза 1 в 7. Таким образом, после намотки первой секции паз 1 заполнен наполовину, а 5 и 7 — на одну четверть. Затем переходят в паз 2 и из него наматывают

пять витков в паз 6 и пять витков в 8. Таким же образом намотку продолжают дальше. Обмотку в елочку уже нельзя производить одним непрерывным проводом, так как катушки наматывают не подряд. Поэтому в процессе намотки их отрезают от бухты, а на выводные концы надевают бумажные ярлычки с обозначениями 1н, 1к, 2н, 2к и т. д., где цифры обозначают номера секций, буква «н» — начало, а «к» — конец секции. По окончании обмотки якоря надо произвести соединение концов, причем надо соединять выводы не подряд, а в порядке номеров, т. е.

1 к	соединяется с	2н	и присоединяется к пластине	1
2 к	"	3н	"	2
3 к	"	4н	"	3
4 к	"	5н	"	4
5 к	"	6н	"	5
6 к	"	7н	"	6
7 к	"	8н	"	7
8 к	"	9н	"	8
9 к	"	10н	"	9
10 к	"	1н	"	10

На рис. 9-4 показана двуххордовая обмотка якоря с теми же техническими данными, что и предыдущая. Эта обмотка получила такое название потому, что намотка производится по двум хордам, симметрично расположенным по отношению к валу. Намотка производится в такой последовательности. Сначала наматывают пять витков из паза 1 в 5, затем переводят намотку из паза 10 в 6. Следующие две хорды наматывают из паза 1 в 7 и из паза 2 в 6. Затем обе хорды продолжают сдвигать по часовой стрелке, захватывая каждый раз по две пары пазов.

Соединение секций двуххордовой обмотки производится по тем же данным, что и обмотки в елочку.

По окончании обмотки якоря на вал насаживают коллектор и соединяют выводные концы с пластинами коллектора. Для этого необходимо зачистить изоляцию на петлях, вложить их в прорези пластин и запаять.

На рис. 9-5 показан обмотанный якорь с ручной обмоткой.

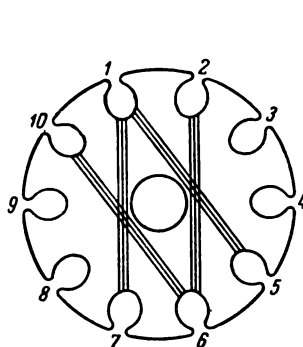


Рис. 9-4. Схема двуххордовой обмотки.

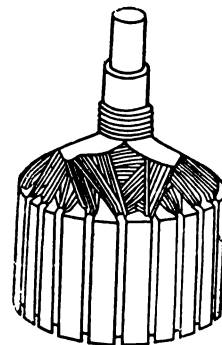


Рис. 9-5. Якорь с ручной обмоткой.

9.4. СТАНКИ ДЛЯ ИЗОЛИРОВКИ ПАЗОВ

При крупносерийном и массовом производстве якорей с ручными обмотками изолировка пазов производится на полуавтоматических станках, повышающих производительность труда в 5—6 раз.

Для якорей с тонкими зубцами изолировка пазов производят непрерывной лентой, которая огибает контуры пазов и коронки зубцов. Это предохраняет при обмотке от попадания проводников якоря между пазовой гильзой и стенкой паза. После обмотки якоря изоляцию на зубцах разрезают и края гильз загибают в пазы.

При широких коронках зубцов якоря изолировка непрерывной лентой приводит к большому расходу изоляции, поэтому каждый паз изолируют отдельной гильзой, края которой выступают из паза на 3—4 мм.

На рис. 9-6 показана кинематическая схема полуавтоматического изолировочного станка типа 0-04 завода АТЭ-1 [Л. 17].

Привод станка осуществляется от электродвигателя 1 через ременную передачу 2 с натяжным роликом 4 и муфту сцепления 6 на вал 5 с четырьмя кулачками.

При наладке станка муфту 6 расцепляют педалью 3, а вал 5 поворачивают маховиком 23. Кроме того, муфта 6 имеет автоматическое управление через тягу 8 и кулису 7 для остановки станка после изолировки якоря.

Лента электрокартона 14 подается к якорю с рулона роликами 15 и 16, которые овязаны с валом 5 клиноремной передачей 22.

Кулачок 10 через тягу 11 с роликом на конце управляет механизмом 27 зажима и подачи ленты. Вслед за ним кулачок 19 через тягу 17 с роликом 18 вводит в паз пуансон 29, который расправляет и прижимает ленту к стенкам паза. Пружина 26 возвращает пуансон в исходное положение. После этого кулачок 13 через тягу 9 с роликом 12 приводит в действие нож 28, перерезающий ленту.

Якорь поворачивается на одно зубцовое деление собачкой 30, приводимой в действие тягой с роли-

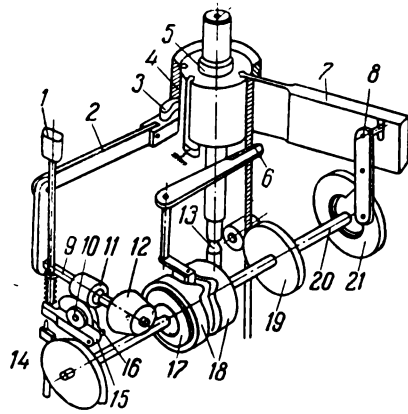


Рис. 9-7. Кинематическая схема изолировочного станка

ком 20 от звездочки 21, имеющей число впадин, равное числу пазов якоря. После изолировки всех пазов кулачок 25 нажмет на ролик 24, который через тягу 8 и кулису 7 расцепляет муфту 6 и останавливает станок.

Станок предназначен для изолировки якорей диаметром 29 мм с числом пазов $z=7$.

На рис. 9-7 показана кинематическая схема станка для укладки изоляции в пазы якорей диаметром 70—80 мм [Л. 9-3].

На распределительном валике 20 установлены кулачки 18 и 21, диски 19 и коническая шестерня 17. Диски 19 подают ленту электрокартона с рулона при помощи выступающих зубчатых секторов. Длину подачи ленты можно изменять, сдвигая диски один по отношению к другому. Ленту отрезает нож 6, который приводится в движение при помощи кулачка 18. Отрезанный конец ленты толкателем 7 вводится в паз якоря. Толкатель приводится в действие рычагом 8 при помощи кулачка 21. Изолируемый якорь 5 вставляется в обойму 4 и опирается на нижний центр 13. Поворот якоря на одно зубцовое деление осуществляется собачкой 3, установленной на ползуне 2, который получает возвратно-поступательное движение от кривошипа, насаженного на валик 9. Валик приводится во вращение через конические шестерни 12 и 17 от валика 20.

После изолировки всех пазов станок останавливают концевым выключателем 14 при помощи червячной передачи 11 и 16, кулачка 10 и рычага 15. Станок пускают нажатием кнопки 1. Полный цикл работы станка состоит из подачи ленты, отрезки мерного куска ленты и укладки ее в пазы.

Станок имеет сравнительно небольшой вес (35 кг), удобен и надежен в эксплуатации. Применение станка увеличило производительность труда по изолировке пазов в 3 раза.

9.5. СТАНКИ ДЛЯ ОБМОТКИ ЯКОРЕЙ

Для намотки провода в пазы якоря применяют полуавтоматические станки различных типов. Выбор типа станка определяется размерами якоря, диаметром обмоточного провода, числом полюсов и схемой обмотки.

Существующие обмоточные станки имеют следующие конструкции:

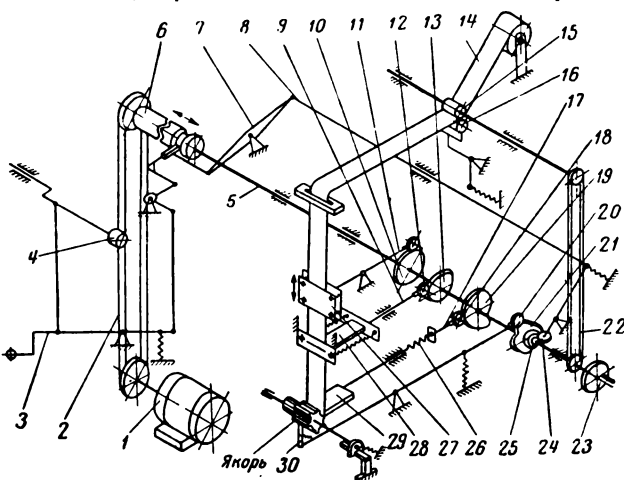


Рис. 9-6. Кинематическая схема изолировочного станка.

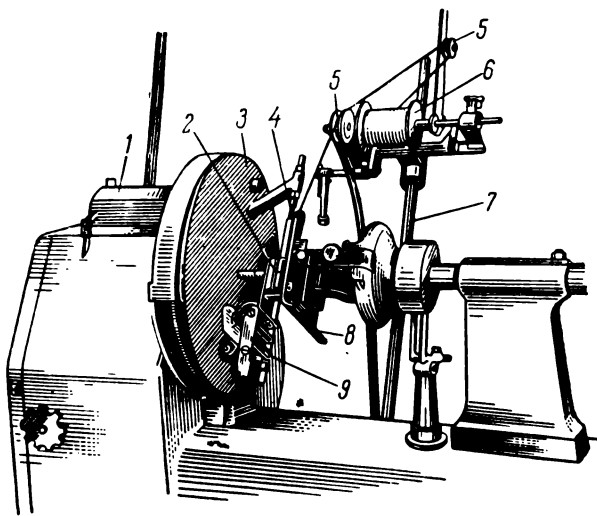


Рис. 9-8. Обмоточный станок для якорей.

1) с вращением якоря при обмотке вокруг оси, перпендикулярной оси вала; провод наматывается в пазы с катушки по направляющим крыльям;

2) с неподвижным якорем; провод вводится в пазы вращающимся вокруг якоря водилом;

3) челночного типа, в которых челнок с проводом движется возвратно-поступательно вдоль паза, а якорь после каждого хода челнока поворачивается на величину шага обмотки то в одну, то в другую сторону;

4) якорь совершает возвратно-поступательные движения и повороты на величину шага обмотки, наматывая в пазы обмотку; провод подается через отверстие иглы, которая периодически поднимается и опускается.

На рис. 9-8 показан обмоточный станок первого типа с установленным на нем якорем. Якорь 2 устанавливается в центрах 4, укрепленных на планшайбе 3, и при работе станка вращается со скоростью 500—1000 об/мин вместе с планшайбой. Провод подается через ролики 5 с катушки 6, установленной на стойке 7, и направляется в пазы якоря крыльями 8, вращающимися вместе с якорем.

Схема работы станка при обмотке якоря с числом проводов в пазу 240, числом секционных сторон 2 и числом витков в секции 60 включает следующие операции:

1) якорь устанавливают в центрах станка, провод вводят в паз и конец его закрепляют за вал;

2) счетчик оборотов 1 станка устанавливают на число, равное числу витков в секции;

3) после пуска станка планшайба делает 60 оборотов, после чего автоматически выдвигается один крючок 9, расположенный на стойке планшайбы, за который зацепляется один виток провода в виде петли;

4) планшайба делает еще 60 оборотов и выпускает второй более длинный крючок, за который зацепляется вторая петля провода;

5) планшайба автоматически останавливается, направляющие крылья отходят от якоря, зуб планшайбы поворачивает якорь на одно пазовое деление, в котором якорь запирается защелкой;

6) крылья снова упираются в якорь, и планшайба начинает вращаться, повторяя операции 3 и 4. Операции 3, 4 и 5 повторяются столько раз, сколько пазов имеет якорь, после чего обмотанный якорь снимают со станка.

Станок имеет три крючка, что позволяет обматывать якоря с числом секционных сторон 1, 2 и 3, и предназначен для обмотки якорей микродвигателей проводом с диаметром до 0,5 мм, где он особенно эффективен при укладке сотен проводников в пазу, заменяя 10—12 обмотчиц, укладывающих проводники вручную.

На рис. 9-9 показана кинематическая схема станка завода АТЭ-1 для обмотки якорей автомобильных генераторов, работающего на таком же принципе. Якорь диаметром 71 мм обматывается проводом марки ПЭЛБД диаметром 1,16 мм; число секционных сторон 4, число витков секции 4, скорость вращения планшайбы 350 об/мин [Л. 17].

Полуавтомат состоит из механизмов: натяжения провода, укладки его в пазы, отрезки провода после намотки одной катушки, поворота якоря на одно зубцовое деление.

Привод осуществляется от электродвигателя 11 через редуктор и фрикционную муфту 1 на вал 1. Этот вал приводит в движение:

1) вал 1, который приводит в движение планшайбу 2, на которой установлены центры 3; 2) вал 4, который приводит в движение якорь 5; 3) вал 6, который приводит в движение катушку 7; 4) вал 8, который приводит в движение крылья 9; 5) вал 10, который приводит в движение крючок 10; 6) вал 11, который приводит в движение электродвигатель 11.

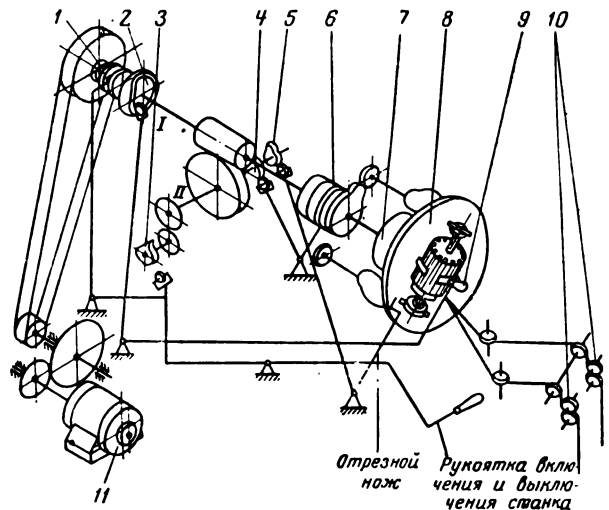


Рис. 9-9. Кинематическая схема обмоточного станка.

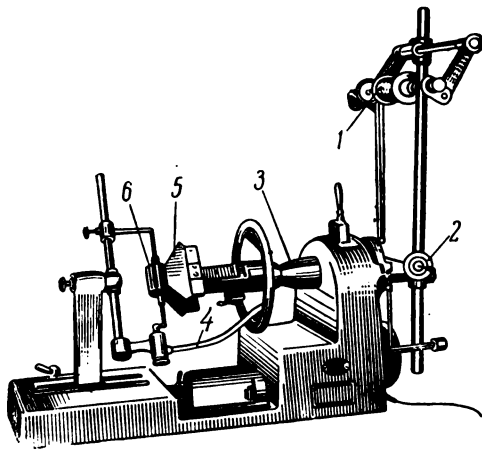


Рис. 9-10. Обмоточный станок типа НП-02.

1) механизм укладки провода через дисковый копир 2, который соединен тягами с направляющими крыльями 9;

2) распределительный вал II, на котором закреплены кулачок отрезки провода 5, кулачок 4, фиксирующий поворотный кулачок 6, и кулачок 3 автоматического останова станка после обмотки якоря;

3) через кулачок 6 механизм 7 поворота якоря, закрепленного на планшайбе 8.

Станок снабжен натяжным механизмом 10.

На рис. 9-10 показан обмоточный станок второго типа, предназначенный для обмотки якорей диаметром до 110 мм и длиной сердечника до 100 мм при диаметре провода до 1,2 мм; скорость вращения 470 об/мин. В этом станке якорь в процессе обмотки неподвижен, а поворот его после намотки одной катушки производится вручную [Л. 9-1]. При неподвижном якоре удобнее наблюдать за укладкой провода при намотке и подправлять его. Но такие станки менее производительны и поэтому реже применяются. Провод с катушки 1 через направляющие ролики 2 и отверстие в шпинделе 3 подводится к вращающемуся водилу 4, которое вкладывает проводники обмотки в пазы якоря 6. Для направления провода служат крылья 5, прижимаемые к окружности якоря.

Обмоточные станки первых двух типов удобны для обмотки якорей двухполюсных машин, в которых проводники катушки укладываются в пазы, расположенные диаметрально противоположно. Для четырех и шестиполюсных машин, а также для обмоток с переменным шагом применяют станки третьего и четвертого типов.

На рис. 9-11 показана принципиальная схема обмоточного станка челночного типа [Л. 2].

Якорь 1 закрепляется в центре станка и при помощи шатунного механизма 2 может совершать колебательные движения вокруг своей оси. Другой шатунный механизм 4 сообщает возвратно-поступательные движения оправке челнока 5. Все механизмы станка приводятся от электродвигателя 3.

Работа станка за время намотки одного витка состоит из следующих операций:

1) челнок движется вдоль якоря, вводя один проводник в паз;

2) челнок останавливается, а якорь поворачивается на одно полюсное деление;

3) челнок движется вдоль неподвижного якоря в обратном направлении, вводя провод в другой паз;

4) когда челнок пройдет всю длину паза, якорь поворачивается на полюсное деление в обратном направлении.

После намотки катушки в два паза якорь вручную поворачивают на одно пазовое деление и работа станка продолжается.

Из рассмотрения кинематики станка ясно, что он обладает гораздо меньшей производительностью по сравнению со станками с вращающимся якорем. Поэтому станки челночного типа применяют для намотки якорей с небольшим числом проводов в пазу, диаметром более 1 мм.

Эти станки удобны для намотки многополюсных якорей. Станки челночного типа могут быть выполнены как с горизонтальным, так и с вертикальным ходом челнока.

Для улучшения коммутации, пусковых характеристик и снижения шумов почти все современные микродвигатели выполняют со скошенным пазом якоря или ротора. Скос пазов вносит дополнительные трудности в процесс намотки, как ручной, так и механической. При обмотке на станках с вращающимся якорем направление скоса паза должно соответствовать направлению вращения якоря.

На рис. 9-12 показана кинематическая схема станка четвертого типа, у которого якорь совершает поступательные и поворотные движения, связанные с намоткой витков обмотки в пазы. Это обмоточный станок универсального типа, приспособленный для обмотки роторов и якорей микродвигателей $\varnothing 20-40$ мм проводом $\varnothing 0,05-0,2$ мм, с прямыми и скошенными пазами, с различными схемами обмоток как с постоянным шагом по пазам, так и концентрических с наименьшим шагом по пазам $y_z = 1$ [Л. 9-2].

На каретке 9 станка установлен шпиндель 11, в котором закрепляются и одновременно обматываются два якоря. Провод, идущий с катушки 17, установленной на стойке 16, надевают на ролики 20 и 24, продевают в отверстие специальной иглы 27 и закрепляют на валу. В процессе намотки одного витка оба якоря совершают следующие движения: поступательно-возвратные вдоль оси вала; поворот вокруг оси на угол скоса пазов; поворот на величину шага обмотки в крайних положениях каретки.

Поступательно-возвратные перемещения осуществляются движениями каретки, а повороты якорей — вращением шпинделя.

Число ходов каретки регулируется скоростью вращения приводного двигателя в пределах до 200 двойных ходов в минуту.

Привод станка осуществляется от электродвигателя 1 через червячный редуктор 2, фрикционную муфту 3 и клиноременную передачу. Включение производится педалью 5, связанной тягой 4 с муфтой. По-

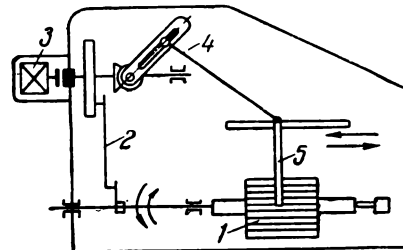


Рис. 9-11. Схема обмоточного станка челночного типа.

9-6. КАТУШЕЧНЫЕ ОБМОТКИ ИЗ КРУГЛОГО ПРОВОДА

Обычно катушка якорной обмотки имеет несколько секционных сторон, которые определяются отношением числа коллекторных пластин к числу пазов. Поэтому катушки наматывают сразу с нескольких барабанов с обмоточной медью. Перед началом наматки обмоточные стороны перемазывают на пустые барабаны по числу секционных сторон наматываемых катушек.

Число проводников в сечении катушки равно произведению числа секционных сторон на число витков секции. При проектировании обмотки необходимо учитывать технологические соображения.

Укладка проводников в открытом пазу при диаметре провода более 1 мм производится правильными рядами.

В шаблонной обмотке проводники в пазу располагаются так же, как на намоточном шаблоне. Поэтому для удобства наматки секционные стороны катушки надо располагать по ширине пазы, а витки — по глубине.

На рис. 9-13, а—в показаны примеры расположения проводников в пазу для трех обмоток. На рис. 9-13,а — поперечное сечение катушки с числом секционных сторон $u_n=4$, числом параллельных проводников $n=2$ и числом витков $w_c=2$, причем намотка производится сразу с восьми барабанов, шаблон делает два оборота и при каждом обороте укладывается два слоя проводников. На рис. 9-13,б показано сечение катушки с числом секционных сторон $u_n=3$ и числом витков $w_c=4$, намотку ведут с трех барабанов, а шаблон делает четыре оборота. И наконец, на рис. 9-13,в показано сечение катушки с теми же техническими данными, что и на рис. 9-13,б, но с иным расположением проводников в пазу. Очевидно, что при таком расположении проводников катушку нельзя наматывать сразу тремя проводниками, а придется наматывать одним проводом в три приема: сначала нижний ряд, потом средний и, наконец, верхний. При этом время наматки возрастет более, чем в 3 раза. Кроме

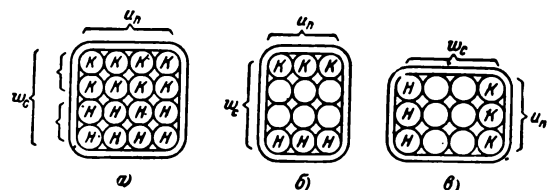


Рис. 9-13. Расположение проводников в пазу.

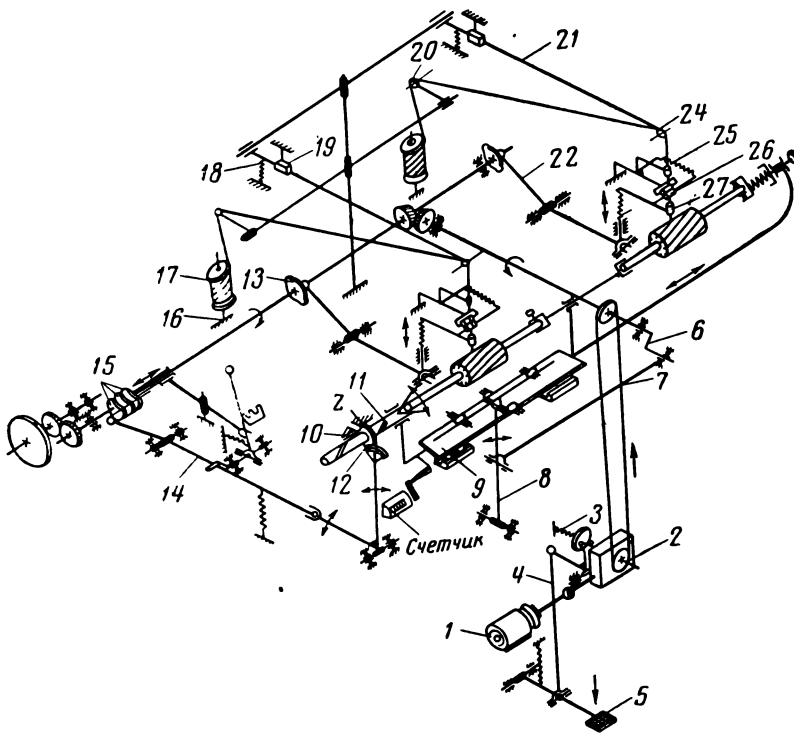


Рис. 9-12. Кинематическая схема обмоточного станка.

ступательно-возвратные движения каретки сообщаются кривошипом 6 через шатун 7 и рычаг 8. Повороты на угол скоса пазов якоря получают от шпинделя 11, на наружной поверхности которого сделана спиральная канавка, которая соединена с пальцем 10, закрепленным в шестерне z. При поступательном движении каретки шестерня неподвижна и шпиндель поворачивается относительно нее на угол скоса пазы.

При намотке якорей с прямым пазом канавка в шпинделе должна быть направлена по образующей цилиндра.

Повороты шпинделя на величину шага обмотки производятся в крайних положениях каретки за счет вращения шестерни сектором 12, который получает импульсные движения от блока кулачков 15 через рычаг 14.

На рисунке показан блок 15, состоящий из трех кулачков, требующийся для обмотки ротора сельсина с концентрической обмоткой при числе катушек в катушечной группе, равном 3. Для обмоток с постоянным шагом нужен только один кулачок.

В крайних положениях каретки иглы 27 опускаются, вводя провод в паз. При повороте якоря на величину шага образуются лобовые части витков, после чего иглы поднимаются, а каретка движется в обратную сторону. Опускание игл осуществляется кулачками 13 и рычагами 22, а подъем — пружинами. Стопорные механизмы 26, состоящие из двух роликов, сжимаемых пружинами, служат для того, чтобы провод не мог быть захвачен иглой при ее подъемах, а также для создания натяжения провода. Над роликами установлены направляющие втулки 25. Рычаги 21, служащие опорами для роликов 24, имеют упругую подвеску на пружинах 18 для предохранения от обрывов провода при намотке. Упоры 19 ограничивают подъем рычагов 21.

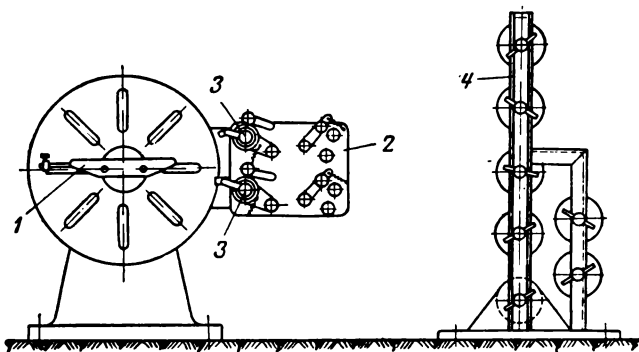


Рис. 9-14. Намоточный станок для якорных катушек.

того, при выходе выводных концов из боковой стороны паза усложняется процессе укладки их в прорези коллекторных пластин.

Катушки обмотки якоря имеют небольшое число витков: 2—6, поэтому не требуется их наматывать на сложных автоматических станках. Для намотки якорных катушек обычно используют простые станки, относящиеся к так называемому нестандартному оборудованию, изготовляемому самим заводом.

В процессе намотки катушки станок должен преодолевать усилие торможения провода, необходимое для плотного облегания контура шаблона, и обеспечивать плавный пуск и быструю остановку.

При намотке якорных катушек машин постоянного тока в несколько проводов качество намотки зависит от равномерного натяжения всех проводов. На рис. 9-14 показано натяжное устройство для круглого провода Новочеркасского электровозостроительного завода [Л. 9-6]. Намотка производится на шаблон — лодочку 1 с винтом для закрепления концов проводов. Система роликов смонтирована на плите 2, укрепленной на двух направляющих 3 намоточного станка. Стойка 4 служит для установки барабанов с проводом.

Провод направляет и натягивает система роликов (рис. 9-15). Они находятся на кронштейнах 1 с пру-

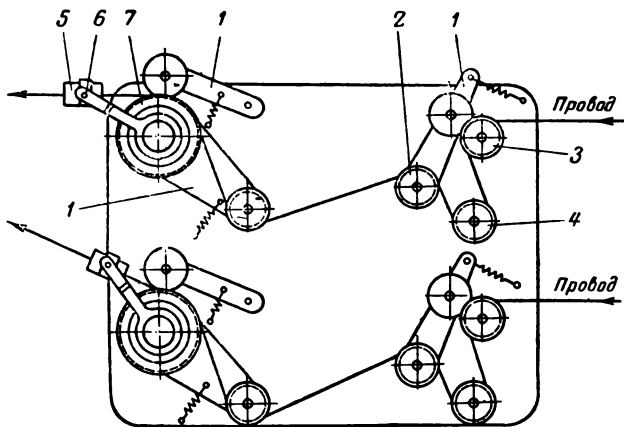


Рис. 9-15. Натяжное приспособление для проводов.

жинами. Ролики 2, 3 и 4 $\varnothing 50$ мм изготовлены из бронзы. Концевые ролики 7 $\varnothing 100$ мм помещены на направляющих намоточного станка. На этих же направляющих смонтирована фибровая подвижная плашка 5, которая может поворачиваться на оси 6 и направлять пучок проводов на намоточный шаблон.

В основании плашки выфрезерован паз, размер которого обеспечивает прохождение пучка проводов. Если необходимо уменьшить натяжение проводов, то ролики 4 остаются свободными, а провод направляется с ролика 3 на ролик 2.

9-7. КАТУШКИ С ДВОЙНОЙ ГОЛОВКОЙ

Многовитковые якорные катушки могут быть намотаны и из провода прямоугольного сечения. Для удобства укладки катушек в пазы и соединения с коллекторными пластинами они обычно изготавливаются с двойной головкой со стороны якоря, противоположной коллектору (рис. 9-16). При этом нижний слой выводных концов со стороны коллектора выходит под лобовыми частями катушек, а верхний — над ними, благодаря чему выволы не нужно перегибать на якоря при соединении их с коллекторными пластинами.

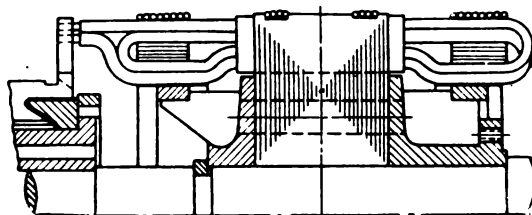


Рис. 9-16. Обмотка якоря из катушек с двойной головкой.

Такие перегибы легко выполняются в катушках из круглого провода (см. рис. 9-17). Если же катушка намотана прямоугольным проводом, то выгибать выводные концы без повреждения изоляции при укладке катушек очень трудно.

Для образования двойной головки катушку наматывают на шаблонах с двумя ручьями для верхней и нижней сторон катушки.

Сущность конструкции катушек с двойной головкой состоит в том, что перекрещивание проводников, которое при круглых проводах было со стороны коллектора, перенесено на противоположную сторону якоря. Преимущество такого способа заключается в том, что перекрещивание проводников в двойной головке менее опасно, так между ними проложена дополнительная изоляция, а в процессе укладки на якоря головка катушки не подвергается таким сильным деформациям, как выводные концы.

9-8. РАСЧЕТ НАМОТОЧНЫХ ШАБЛОНОВ ДЛЯ ЯКОРНЫХ КАТУШЕК

Размеры намоточных шаблонов должны быть точно рассчитаны, так как от них зависит качество укладки катушек в пазы, надежность обмотки в эксплуатации, расход обмоточной меди и размеры лобовых частей обмотки. Особенно точно должен быть рассчитан шаблон для якорных катушек, лобовые части которых укладываются на обмоткодержателях вплотную. Практикуемый иногда способ пригонки размеров шаблона посредством нескольких проб с проверкой укладки катушек на якоре занимает очень много времени и обходится дорого. Кроме того, такой способ лишает возможности изготовлять катушки до получения сердечника якоря, а процесс пригонки размеров шаблонов почти никогда не доводится до конца и заканчивается на первом более или менее удовлетворительном результате.

На рабочих чертежах указываются размеры катушки в развернутом виде на две плоскости. Однако эти размеры являются или недостаточными для изготовления шаблона, или не соответствуют требуемым. На конструктивных чертежах обмоток развертку дуговых частей катушки обычно рассчитывают по средним диаметрам, в то время как для изготовления шаблона необходимо их рассчитывать по внутренним диаметрам. Приводимая методика расчета дает возможность рассчитать и изготовить шаблон с достаточной точностью и без предварительной проверки укладки катушек в пазы. Для определения периметра шаблона необходимо рассчитать внутренний периметр развернутой катушки (рис. 9-17), который состоит из пазовых и лобовых частей со стороны коллектора и со стороны привода.

Таблица 9-1

Прямолинейные вылеты пазовых частей катушек

Линейное напряжение, в	с, мм
До 150	8
Свыше 150 до 400	10
400 " 700	12
700 " 1 200	16
1 200 " 2 000	22
2 000 " 3 000	32

Прямолинейная часть катушки складывается из конструктивной длины сердечника l и прямолинейных участков c от торца сердечника до точки перехода к лобовой части. Выбор величины участка c имеет очень важное

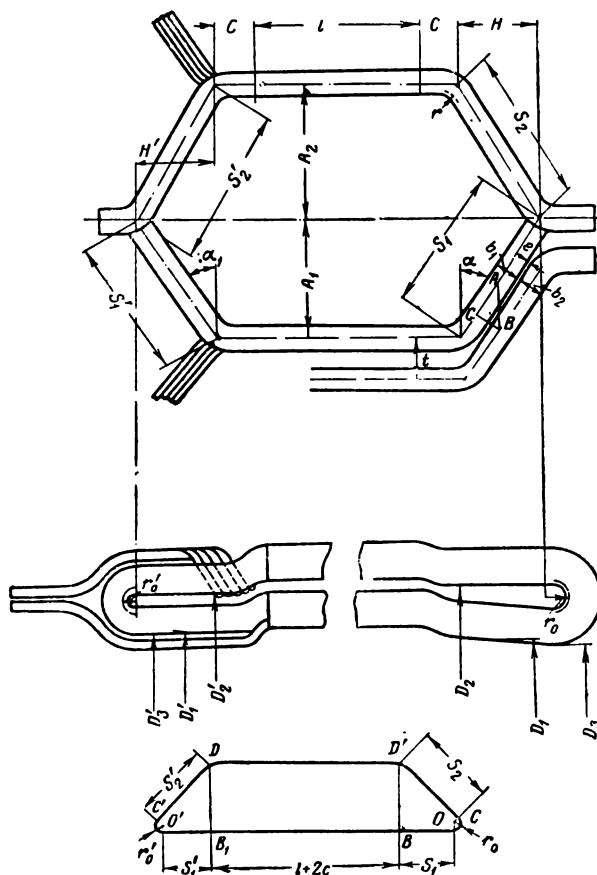


Рис. 9-17. К расчету намоточного шаблона.

значение для надежности обмотки; при недостаточных размерах c изоляцию на углах зубцов пробивает (табл. 9-1).

Радиус закругления r в местах перехода прямолинейной части катушки в лобовую берут 3 мм при толщине проводника до 1 мм и 5 мм — при толщине больше 1 мм.

Расчет лобовых частей заключается в определении наименьшего угла наклона лобовых частей α , при котором их можно уложить на якоре. Как видно на рис. 9-17, с уменьшением угла α уменьшается зазор e между лобовыми частями катушки. При расчете зазор e считают равным 0,5—1,5 мм в самом тесном месте между сторонами катушки с утолщенной изоляцией. Меньшее значение берут для катушек, состоящих из небольшого числа проводников крупного сечения, которые имеют меньшее стремление к распушению.

Из треугольника ABC определяем:

$$\sin \alpha = \frac{b}{t}, \quad (9-1)$$

$$\text{где } b = 0,5(b_1 + b_2) + e; \quad (9-2)$$

b_1 и b_2 — толщины смежных лобовых частей с учетом утолщений изоляции;

$$t = \frac{\pi D_3}{z}, \quad (9-3)$$

где z — число пазов, откуда

$$\sin \alpha = \frac{bz}{\pi D_3}. \quad (9-4)$$

При определении угла α принимается наименьший диаметр D_3 укладки проводников на якоре, так как на этой окружности зазор между катушками будет наименьшим.

Расстояние между прямолинейными частями катушки, измеренное числом пазов, равно шагу катушки по пазам y_z , а поскольку средняя линия катушки делит шаг пополам, то развертки A_1 и A_2 можно определить по следующим формулам:

$$A_1 = 0,5y_z \frac{\pi D_1}{z} = 1,57 \frac{y_z}{z} D_1, \quad (9-5)$$

$$A_2 = 1,57 \frac{y_z}{z} D_2. \quad (9-6)$$

В этих формулах D_1 и D_2 являются диаметрами поверхностей, на которые разворачиваются нижние проводники лобовых частей катушки.

Вылет лобовых частей

$$H = A_1 \operatorname{tg} \alpha. \quad (9-7)$$

Развернутые длины лобовых частей определяются:

$$S_1 = \sqrt{A_1^2 + H^2}, \quad (9-8)$$

$$S_2 = \sqrt{A_2^2 + H^2}. \quad (9-9)$$

Развернутая длина головки по внутреннему радиусу

$$l_2 = \pi r_0, \quad (9-10)$$

где r_0 в зависимости от высоты проводника берут по табл. 9-2.

Таблица 9-2

Радиусы закругления головки катушки

Высота проводника, мм	r_0
До 8	3
Свыше 8 до 12	4
" 12 " 15	5
" 15	6

Размеры лобовых частей со стороны коллектора рассчитывают по совершенно аналогичным формулам, и входящие в расчет вели-

чины обозначены теми же буквами со штрихами.

Угол наклона лобовых частей со стороны коллектора α' получается меньше за счет увеличения диаметра D_3' по сравнению с D_3 .

На основании расчетов форму и размеры сердечника намоточного шаблона можно определить следующим образом: точки O и O' являются центрами радиусов закруглений. Длина нижней стороны шаблона соответствует развернутой длине нижней половины катушки, т. е. сумме размеров $l + 2c + S_1 + S_1'$.

Восстановим из точек B и B' перпендикуляры к нижней стороне шаблона. Проведя из точек O и O' окружности радиусами r_0 и r_0' , сделаем из точек C и C' засечки радиусами S_2 и S_2' .

Точки пересечения этих засечек с перпендикулярами, восстановленными из точек B и B' , дадут точки D и D' профиля сердечника шаблона. Таким образом, форма шаблона в виде лодочки является не случайной, а определяется формой развернутой на плоскость катушки.

9-9. РАСТЯЖКА КАТУШЕК

Заготовка катушки, снятая с намоточного шаблона, имеет плоскую форму. На якоре стороны катушки должны лежать в двух пазах, расположенных по окружности якоря. Операция разведения сторон катушки называется растяжкой и производится на специальных станках. Эти станки, вначале работавшие с ручным приводом, в настоящее время на всех заводах механизированы. На рис. 9-18 показано устройство растяжного станка с пневматическим приводом.

Пазовые части катушки вкладывают в разъемные планки 3 и зажимают винтами 4. Головки катушек зажимают винтами 5 в головных кулачках 1, которые могут перемещаться вверх и вниз по стойкам 2 и 6.

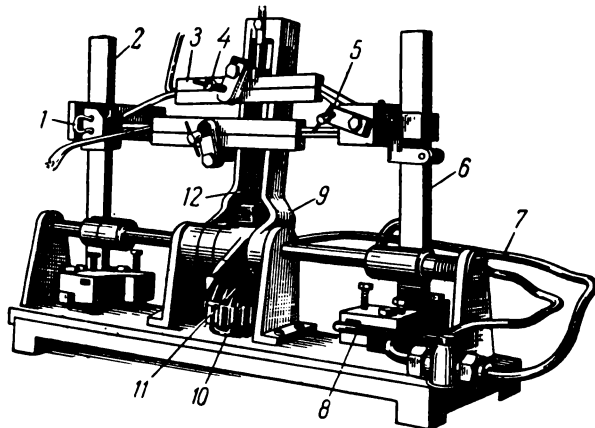


Рис. 9-18. Растяжной станок.

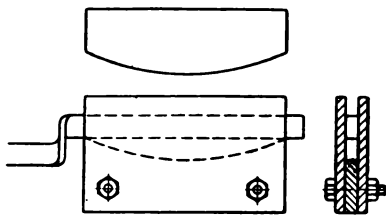


Рис. 9-19. Шаблон для выгибания лобовых частей.

Управление станком производится поворотом рукоятки 8 воздухораспределительного крана, который направляет сжатый воздух от магистрали по трубкам 7. Воздух, поступающий в цилиндр, сообщает поступательное движение связанной с поршнем рейке, сцепленной с шестерней 10. На одном валу с шестерней 10 насажена коническая шестерня 11, которая сцеплена зубьями с коническими зубчатыми секторами на концах рычагов 9 и 12. При вращении конической шестерни зубчатые секторы поворачиваются в разные стороны и раздвигают концы рычагов 9 и 12 с зажимами в них пазовыми частями катушки. Таким образом пазовые части катушки разводят на расстояние шага обмотки по пазам.

У катушек, снятых с растяжного станка, пазовые части расположены в параллельных плоскостях. Между тем на якоре они должны быть расположены под углом, соответствующим углу между двумя пазами, в которых вкладывают стороны катушки, а лобовые части катушки должны располагаться по винтовым линиям.

Радиусы винтовых линий для лобовых частей подсчитывают по формулам:

для S_1 :

$$R_1 = 0,5 \left(\frac{S_1}{A_1} \right)^2 D_1; \quad (9-11)$$

для S_2 :

$$R_2 = 0,5 \left(\frac{S_2}{A_2} \right)^2 D_2; \quad (9-12)$$

для S'_1 :

$$R'_1 = 0,5 \left(\frac{S'_1}{A_1} \right)^2 D'_1; \quad (9-13)$$

для S'_2 :

$$R'_2 = 0,5 \left(\frac{S'_2}{A_2} \right)^2 D'_2. \quad (9-14)$$

Для придания катушке окончательной формы лобовые части выгибают в специальных шаблонах (рис. 9-19).

9-10. ОДНОВИТКОВЫЕ ОБМОТКИ

Процесс изготовления одновитковых катушек (рис. 9-20) из прямоугольного провода начинают с резки провода на куски. Эту операцию при серийном производстве выполняют

на протяжно-отрезных станках (рис. 8-2). При сечениях проводника до 20—30 мм² катушки выполняют из изолированного провода. Проводники больших сечений подвергаются значительным усилиям при гибке, причем изоляция их нарушается. Поэтому предпочитают гнуть их из голых шин с последующей изоляцией каждого проводника катушки.

Основной операцией изготовления одновитковых якорных секций является загибка шин на ребро. На рис. 9-21 показано устройство загибочного станка завода «Динамо» с электрическим силовым приводом и пневматическим зажимом шин [Л. 9-7].

Основанием станка служит квадратный стол 2, на плите 3 которого укреплен горизонтальный пневматический цилиндр 11 для бокового зажима пакета медных шин. Под крышкой стола расположены: электродвигатель 10 с червячным редуктором 8 и вертикальный вал 9 червячной шестерни, который несет на себе палец 13 с насаженным на него роликом 12. Поворачиваясь, палец загибает шину на ребро при помощи сменного прижимного клина. Клин закладывают между двумя плитами приспособления, из которых нижняя 6 укреплена непосредственно на крышке стола, а верхняя 7 — на ввернутых в крышку шарнирах 4. Шарниры регулируются по высоте в зависимости от толщины пакета шин. Прижим верхней плиты, а вместе с ней и пакета производят винтом 5, отводимым в сторону при подъеме плиты. Расстояние от концов шин до места загибки фиксируют подвижным упором 1.

Для работы на станке набирают пакет шин в количестве, равном числу секций в катушке. Пакет вкладывают до упора в паз, образуемый оправкой с заданным радиусом изгиба головки и сменной подвижной планкой, связанной с горизонтальным пневматическим цилиндром. Затем опускают верхнюю плиту приспособления и при помощи винта с маховиком прижимают ее к сменной оправке и к пакету шин. Пакет зажимают пневматическим цилиндром и включают электродвигатель. Червячная шестерня с вертикальным валом приводит во вращение и при помощи пальца с роликом поворачивает клин с пакетом на 180°, производя загибку головки. После того как шестерня возвратится в исходное положение, освобождают вертикальный прижим, откидывают верхнюю плиту и снимают пакет шин.

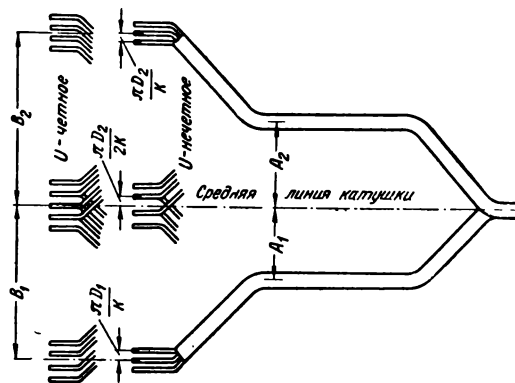


Рис. 9-20. Одновитковая катушка якоря.

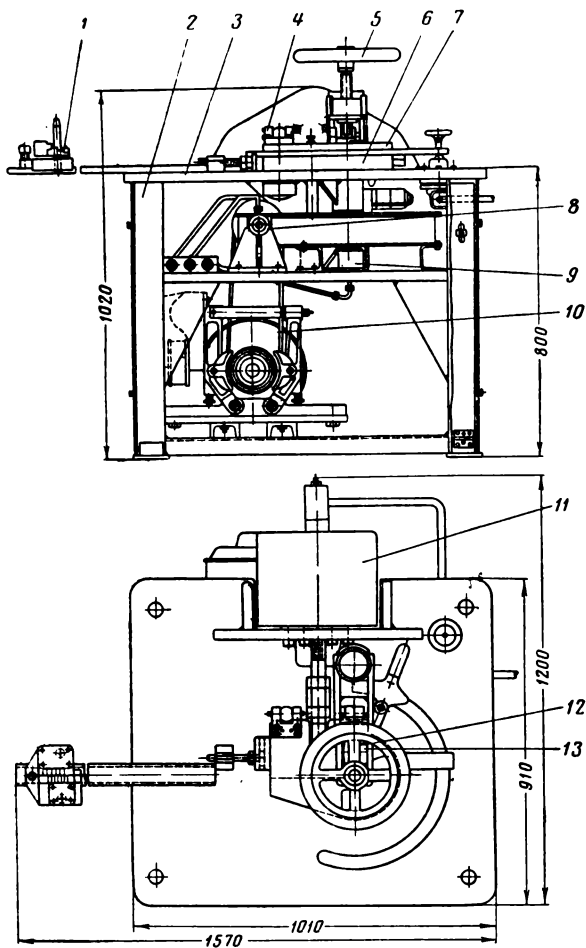


Рис. 9-21. Станок для гибки шин на ребро.

После загибки шин на ребро производят остальные операции гибки одновитковых катушек. Раньше эти операции выполняли для каждой шины отдельно на простых операционных приспособлениях, которые зажимали в тиски. Однако такой процесс не обеспечивал требуемой точности размеров шин, что выявлялось при складывании их в пакет.

Если посмотреть на расположение шин в катушке (рис. 9-20), то видно, что хотя все они имеют одинаковую развернутую длину, но расстояния от концов шин до мест изгиба, а также радиусы закруглений у всех шин разные. Чтобы обеспечить правильное расположение шин в катушке, производят гибку всего пакета одновременно в специальных гибочных приспособлениях.

На рис. 9-22 показано универсальное гибочное приспособление завода «Динамо» для формовки верхней стороны одновитковой катушки якоря [Л. 9-7]. Оно представляет собой макет части якоря. Лобовые части катушки формуют в щелях 3 и 5, образованных между сменными планками приспособления. Пакет проводников, согнутых на ребро, вкладывают в щель приспособления и зажимают головку катушки клином и двумя эксцентриками 6 и 7. Затем выгибают пакет рукой и ударом молотка через фибровую прокладку осаживают шины на дно щели 5, формируя лобовую часть катушки. Прижимают пакет к планке 4, которая формирует пазовую часть катушки. Наконец, выгибают вторую лобовую часть катушки 3 и выводные концы 2, соединяемые с пластинами коллектора.

На данном приспособлении можно гнуть катушки разных типов машин, заменяя сменные планки. Для гибки катушек разной длины можно удлинять или укорачивать пазовую часть, передвигая подвижную часть 1 приспособления в овальных пазах основания.

По окончании формовки верхней стороны катушки передают на другое гибочное приспособление для формовки нижней стороны.

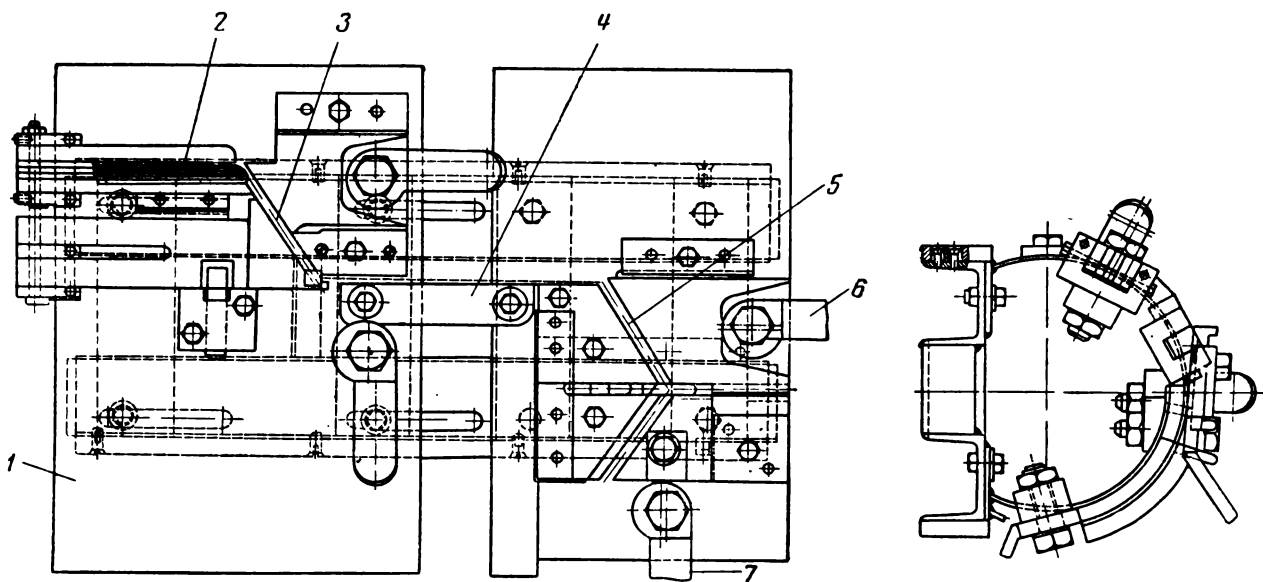


Рис. 9-22. Приспособление для формовки одновитковых катушек.

На рис. 9-23 показан схематический разрез станка завода «Электрик» с пневматическим приводом для пространственной гибки одновитковых катушек петлевой двухполюсной обмотки из шинной меди сечением $2,44 \times 10,8$ мм [Л. 9-4].

Гибка катушек производится в полом цилиндра I, который при помощи шпонок 2 неподвижно закреплен в стойках 3. На цапфах цилиндра могут вращаться шестерни 4, сцепленные с рейками 6. Рейки соединены траверсой 7 и приводятся в движение пневматическим цилиндром III. При движении траверсы вправо шестерни будут поворачиваться против часовой стрелки и увлекать за собой планку 5, которая скользит по окружности цилиндра.

В полые цапфы цилиндра I вставлены шейки коленчатого вала 8. На концах шеек насажены на шпонках 9 шестерни 10, сцепленные с рейками 11, которые соединены траверсой 12 и приводятся в движение пневматическим цилиндром II. При движении траверсы влево коленчатый вал повернется по часовой стрелке. Благодаря встречному вращению планки 5 и коленчатого вала 8 на специальных шаблонах производится пространственная гибка катушки.

Заготовкой для катушки служит согнутая на ребро шина. Она вставляется в станок и зажимается между шаблоном и рычагом 14, который движется вдоль оси станка под действием пневматического цилиндра I, соединенного с рычагом при помощи штока 13.

Станок имеет электромагнитную схему управления и повышает производительность труда в 4—5 раз по сравнению с гибкой катушек вручную.

У мягких многовитковых катушек выводные концы выгибают при укладке обмотки в пазы, поэтому при наматке катушек они остаются свободно висящими.

При формовке одновитковых катушек выводные концы шин должны быть расположены против коллекторных пластин, в которые они должны быть вложены.

Для волновой обмотки размеры B_1 и B_2 определяются по формулам (рис. 9-20):

$$B_1 = 0,5 y_k \frac{\pi D_1}{K} = 1,57 \frac{y_k}{K} D_1, \quad (9-15)$$

$$B_2 = 1,57 \frac{y_k}{K} D_2, \quad (9-16)$$

где y_k — шаг по коллектору;

K — число коллекторных пластин;

D_1 и D_2 — диаметры цилиндрических поверхностей, на которых уложены нижний и верхний слои лобовых частей.

При нечетном числе секционных сторон катушки размеры B_1 и B_2 откладывают от средней линии катушки до средних выводных концов, как

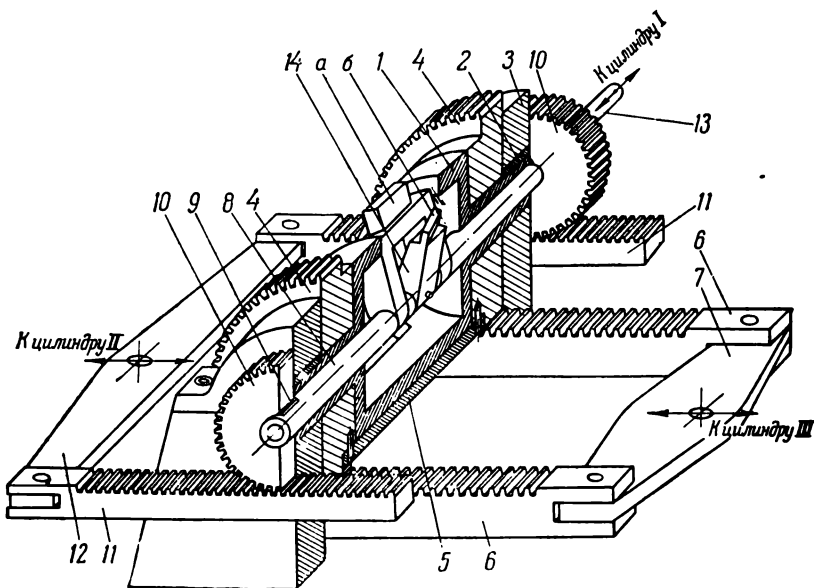


Рис. 9-23. Станок для пространственной гибки одновитковых катушек.

показано на рис. 9-20, а концы сдвинуты от этой линии на расстояние $\frac{\pi D_1}{2K}$ — для нижней стороны катушки и на $\frac{\pi D_2}{2K}$ — для верхней.

Как при четном, так и при нечетном числе секционных сторон расстояние между выводными концами нижнего слоя:

$$\frac{\pi D_1}{K},$$

а между выводными концами верхнего слоя

$$\frac{\pi D_2}{K}.$$

Расположение выводных концов петлевой обмотки при четном и нечетном числе секционных сторон катушки указано на том же рисунке. Проводники верхнего слоя сдвинуты на одно коллекторное деление по отношению к проводникам нижнего слоя, средняя линия катушки при четном числе секционных сторон проходит через средний выводной конец, а при нечетном — посередине между двумя выводными концами.

По размерам B_1 и B_2 устанавливают упоры на гибочных приспособлениях.

Размеры A_1 и A_2 и лобовых частей одновитковых катушек рассчитывают совершенно аналогично многовитковым катушкам (§ 9-8).

9-11. СТЕРЖНЕВЫЕ ОБМОТКИ ЯКОРЯ

При диаметрах якоря, превышающих 500 мм, одновитковые катушки якорных обмоток получают очень громоздкими, поэтому

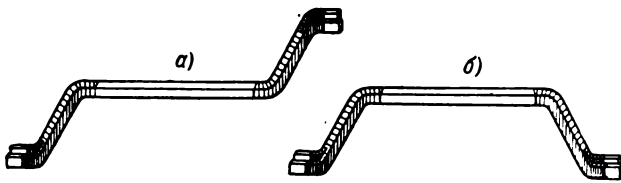


Рис. 9-24. Стержни якорной обмотки.
а — волновой; б — петлевой.

в крупных машинах применяют стержневые обмотки, состоящие из полукатушек (стержней, рис. 9-24).

Стержневые обмотки называют также разрезными. Их применяют для волновой части лягушачьих обмоток и в ступенчатых обмотках, у которых проводники катушки, лежащие в нижнем слое в одном пазу, в верхнем распределены в двух.

Процессы гибки и прессовки стержневых обмоток значительно упрощаются по сравнению с катушечными. Для пазовой части стержней применяют гильзовую изоляцию благодаря тому, что их можно ставить в обкаточные станки для утюжки изоляции (рис. 12-16).

Однако в стержневых обмотках усложняется процесс обмотки якоря за счет пайки стержней и изолировки паяных соединений. Для упрощения изолировки мест пайки, на них надевают заранее заготовленные колпачки, которые сверху обматывают лентой.

Технологический процесс изготовления стержневых обмоток подробно изложен в гл. 12 о роторных обмотках, которые являются типичными представителями стержневых. Что касается укладки в пазы, то разница между якорными и роторными обмотками заключается в том, что роторные обмотки вкладывают с торца ротора в закрытые пазы, а якорные — в открытые. В связи с этим стержни на якоре не надо гнуть.

9-12. ОБМОТКИ ЯКОРЯ С УМЕНЬШЕННЫМИ ПОТЕРЯМИ В МАССИВНЫХ ПРОВОДНИКАХ

Как известно, в обмотках якоря появляются дополнительные потери в сечении проводника, которые зависят от высоты проводника. Поэтому в статорных обмотках машин переменного тока проводники прямоугольного сечения всегда кладут в пазы широкой стороной, обращенной к дну паза. Наоборот, в машинах постоянного тока проводники обращены к дну паза узкой стороной. Это объясняется тем, что при таком расположении удобнее соединять проводники с пластинами коллектора. При высоте проводника, превышающей так называемую критическую высоту, зависящую от

частоты тока в якоре, проводник разделяют по высоте на два параллельных (рис. 9-25). Обмотки с разделенными проводниками вызывают дополнительные трудности в отношении гибки стержней и изолировки.

Большой интерес представляет обмотка якоря, разработанная на заводе «Электротяжмаш» имени Ленина, в которой проводники в пазу расположены плашмя, что значительно снижает добавочные потери (рис. 9-26). Для соединения с коллектором концы секций подвергают прессовке, при которой сечение проводника деформируется и входит в пятачки коллекторных пластин узкой стороной сечения.

В этой обмотке есть и еще одна особенность. Обмотка хотя и ступенчатая, но выполнена из неразрезных катушек, благодаря чему отпадают трудности, связанные с процессом

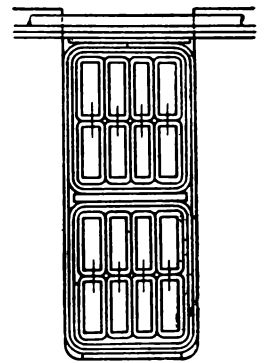


Рис. 9-25. Обмотка с разделенными по высоте проводниками.

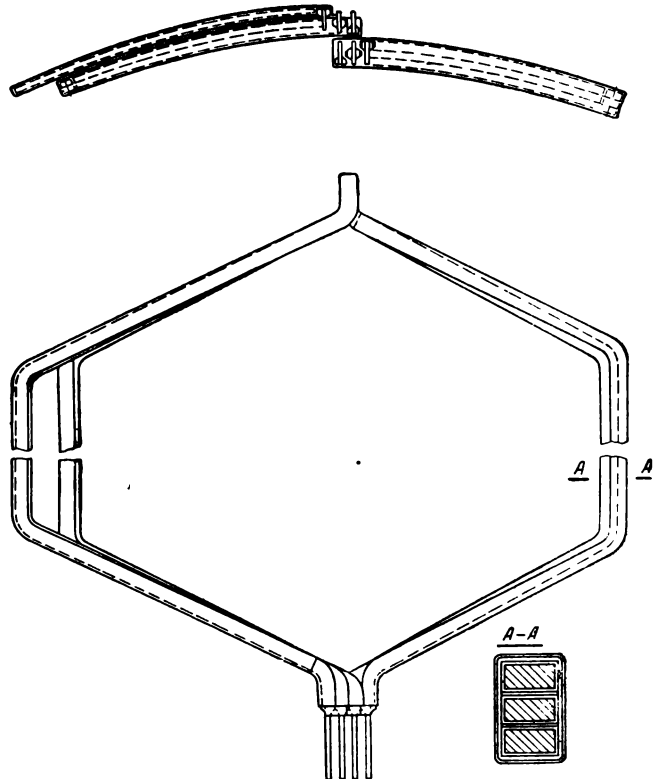


Рис. 9-26. Катушка ступенчатой обмотки с горизонтальным расположением проводников в пазу.

пайки головок со стороны, противоположной коллектору, и их изолировки.

Приведенные примеры показывают, что многие положения, которые десятилетиями считались непреложными, могут быть изменены путем совместной работы конструкторов и технологов электрических машин.

9-13. ИЗОЛИРОВКА ЯКОРНЫХ КАТУШЕК

В многовитковых и одновитковых катушках из изолированного провода межвитковая изоляция имеется на самом проводнике. Поэтому в процессе изготовления обмоток приходится наносить на катушки только изоляцию всей катушки. Она разделяется на пазовую, изоляцию лобовых частей и дополнительную изоляцию головок, перегибов и выводных концов катушек.

Ввиду того что машины постоянного тока общего применения строятся на напряжение не выше 440 в, открываются большие возможности для использования гильзовой изоляции пазовых частей.

В зависимости от класса изоляции она выполняется из электрокартона и лакоткани при изоляции класса А и из микафолия при изоляции класса В. Гильзовая изоляция пазовых частей значительно снижает трудоемкость по сравнению с обматыванием лентами, так как из-за коротких пазовых участков приходится обматывать лентами вручную.

Изоляция лобовых частей служит главным образом для скрепления витков катушки и выполняется тафтяной лентой у машин средней мощности и киперной или асбестовой у машин большой мощности. Выводные концы секций, перегибы и головки катушек изолируют дополнительно лентой из лакоткани при изоляции класса А и шелко-слюдяной при изоляции класса В.

Значительно сложнее обстоит дело с изолировкой одновитковых катушек из голых шин. Здесь необходимо наносить сначала витковую изоляцию на стержни, а затем корпусную изоляцию на катушку. Такие обмотки обычно выполняются с изоляцией класса В, поэтому витковая изоляция состоит из микаленты. Для создания витковой изоляции каждая шина должна быть обмотана лентой по всему контуру. Суммарная толщина изоляции занимает значительный процент общей ширины паза. Например, если толщина шины составляет 1,08 мм, а изоляция микалентой толщиной 0,1 мм вполуперекрышку дает суммарную толщину на обе стороны шины 0,4 мм, то на витковую изоляцию приходится $\frac{0,4}{1,08} \cdot 100 =$

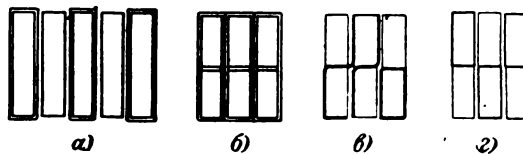


Рис. 9-27. Изоляция одновитковых обмоток.

$= 37\%$ толщины меди. Микалента — дорогой материал, и изолировка секций якорной катушки производится вручную. С другой стороны, миканитовая изоляция толщиной 0,4 мм между соседними шинами, где действует напряжение не более 35 в, является излишне прочной. Поэтому в производстве обмоток применяется ряд способов, дающих экономию микаленты, снижение трудоемкости изолировки и повышение коэффициента заполнения паза.

На рис. 9-27 показан ряд способов изоляции одновитковых катушек из голых шин. На рис. 9-27,а изолирована не каждая шина, а через одну, что вдвое сокращает расход материалов и затраты труда. При четном числе секционных сторон желательнее, чтобы крайние шины были изолированы, так как в лобовых частях они соприкасаются с соседними катушками.

Особенную сложность представляет изоляция обмоток с разделенным проводом. Между параллельными проводниками, расположенными один над другим, нет никакого напряжения, тем не менее в целях снижения потерь в сечении проводников они должны быть изолированы друг от друга. Попытки прокладывать между ними полоску изоляционного материала, а затем оба проводника вместе изолировать микалентой не удалось, так как невозможно удержать прокладку между проводниками на всем периметре катушки (рис. 9-27,б). На рис. 9-27,в и г показаны другие варианты изоляции катушек с разделенным проводником.

Решающее влияние на уменьшение толщины витковой изоляции может дать применение проводников с эмалевой изоляцией. В обмотках статора уже получены удовлетворительные результаты в этой области. На обмотках с большим сечением проводников, у которых эмалевая изоляция в процессе формовки может быть нарушена, возможно нанести дополнительную изоляцию в виде полиэфирных смол на изогнутые витки обмотки.

9-14. РАЗМЕТКА ЯКОРЯ ПОД ОБМОТКУ

Проводники всякой катушечной обмотки распределяются в пазах поровну. Поэтому достаточно правильно уложить в пазы и соеди-

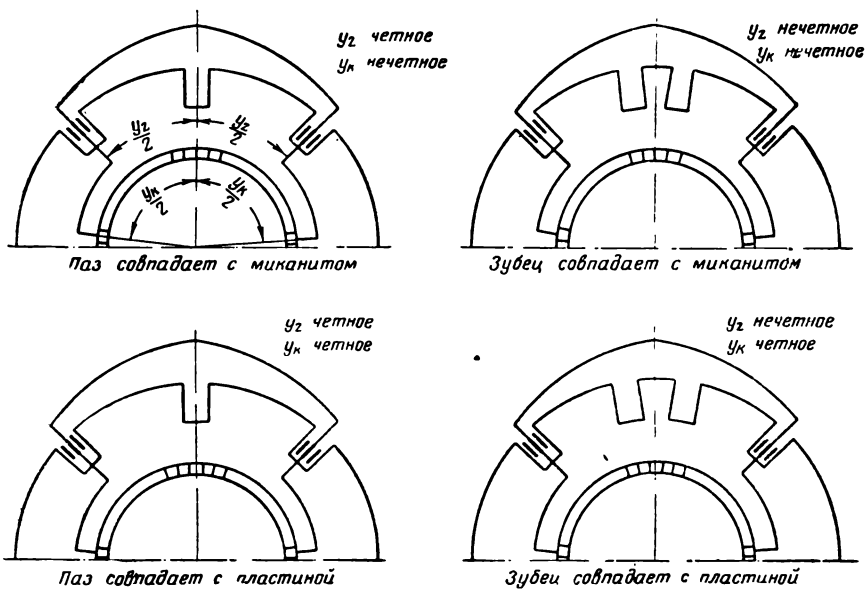


Рис. 9-28. Схемы разметки якоря с волновой обмоткой.

нить с коллектором первую катушку, а остальные будут располагаться относительно нее симметрично. Практические схемы якорной обмотки представляют собой торцовые схемы с обозначением только первой катушки и указанием пазов, куда вкладывают ее стороны, и

ма, а коллекторные пластины выбитыми на торцах точками.

Разметку ведут от оси симметрии. Существуют два способа разметки. В первом за ось симметрии принимают среднюю линию катушки, а во втором разметку ведут от первого паза.

На рис. 9-28 показаны схемы разметки якоря по первому способу. Ось симметрии может проходить на якоре через паз или через зубец, а на коллекторе через пластину или через миканитовую прокладку в зависимости от четности или нечетности шагов по пазам и по коллектору. На рисунке приведены все четыре возможных варианта положения оси симметрии. Ось симметрии на якоре находят посредством натянутой вдоль якоря нити или специального шаблона. Для фиксирования оси симметрии при штамповке листов шпоночную канавку располагают по линии паза или зубца в зависимости от схемы; шпоночную канавку во втулке коллектора долбят по окончании сборки по линии коллекторной пластины или миканитовой прокладки.

Эта система имеет некоторые недостатки. Шпоночная канавка в листах якоря должна быть расположена различно в зависимости от того, четный или нечетный шаг по пазам. Это исключает возможность применения данной системы разметки для различных обмоток, в которых используют один штамп листа якоря. Кроме того, не обеспечивается выполнение условий симметрии обмотки при четном числе секционных сторон.

Этих недостатков можно избежать при другой системе разметки, если вести ее не от середины катушки, а от первого паза, в который вкладывают нижнюю сторону первой катушки. Таким образом, независимо от шага по пазам шпоночная канавка в листах якоря всегда располагается посередине паза.

Такая система применима для волновых и петлевых обмоток с четным и нечетным числами секционных сторон.

На рис. 9-29, а—г приведены схемы левых волно-

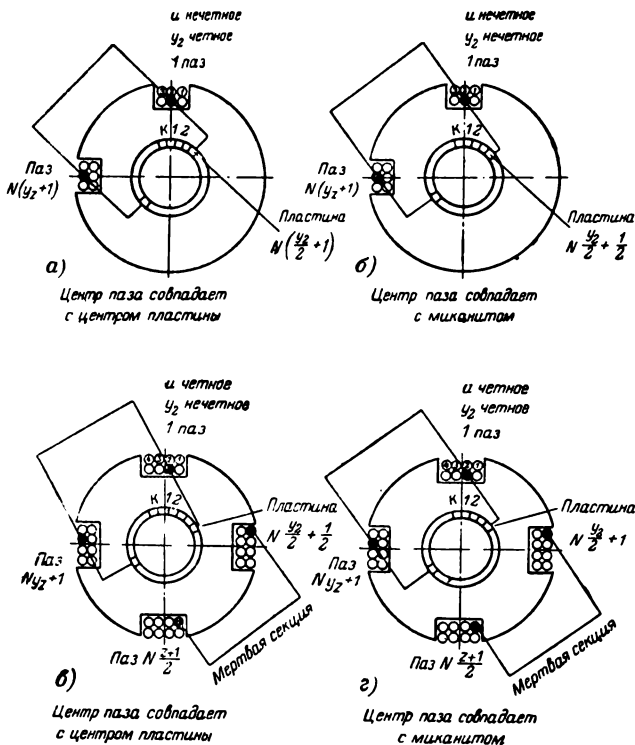


Рис. 9-29. Схемы разметки якоря с волновой обмоткой.

Установку щеток по линии добавочных полюсов применяют очень редко; при такой установке нижние концы секций по выходе из паза идут к коллектору по прямому направлению, а верхние изгибаются на целое полюсное деление.

9-15. УКЛАДКА ОБМОТКИ В ПАЗЫ

Процесс укладки катушек в пазы и присоединения выводных концов обмотки к пластинам коллектора называют обмоткой якоря. Укладке катушек в пазы предшествуют следующие операции: лакировка сердечника якоря, изолировка пазов и нажимных шайб и разметка якоря под обмотку.

Для производства обмотки якоря машин средней мощности устанавливают шейки вала на роликовые опоры, а якоря крупных машин — на деревянные опоры. Деревянные опоры должны иметь полукруглые выемки для шеек вала, которые для уменьшения трения смазывают техническим вазелином.

Контрольной лампой напряжением 220 в проверяют отсутствие замыканий между коллекторными пластинами. Тщательно осматривают пазы, освещая их переносной лампой. В пазах не должно быть выступающих заусенцев. Сердечники якоря продувают сухим сжатым воздухом, покрывают изоляционным лаком при помощи пульверизатора и сушат на воздухе не менее 5 ч.

В пазы якоря вставляют предусмотренные чертежом гильзы, которые нарезают и комплектуют на заготовительном участке обмоточного цеха. Гильзы должны выступать над поверхностью якоря и по длине якоря с каждой стороны.

Изоляцию нажимных шайб получают со склада в комплектованном виде. Изоляционные материалы для нажимных шайб должны соответствовать классу нагревостойкости обмотки.

Поверхности обмоткодержателей протирают тряпкой, смоченной в ксилоле, и покрывают эмалью из пульверизатора.

На цилиндрическую поверхность обмоткодержателя наматывают полосу ткани, указанной в чертеже. Из отдельных полос миканита или электрокартона в зависимости от класса нагревостойкости набирают указанную в чертеже толщину, сдвигая начала отдельных слоев не менее чем на 15 мм, и склеивают их клеем. Закрепляют конец киперной ленты на деревянном клине, вбитом в один из пазов якоря, и начинают вращать якорь, подкладывая под ленту набранные полосы изоляционного материала. Затем завертывают свисающий край ткани на полосы изоляционного материала так, чтобы ткань заходила на них

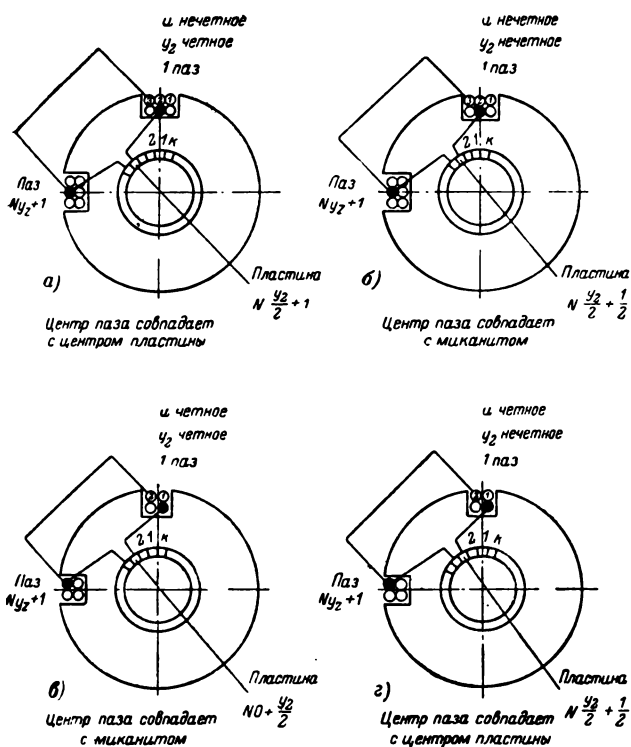


Рис. 9-30. Схемы разметки якоря с петлевой обмоткой.

вых обмоток четырехполюсной машины с четным и нечетным числом секционных сторон.

Совпадение паза с коллекторной пластиной или миканитовой прокладкой зависит от четности или нечетности числа секционных сторон и переднего частичного шага обмотки y_2 .

Для волновой обмотки

$$y_2 = y_k - y_1,$$

где y_1 (задний частичный шаг) $= y_2 U_{\text{п}}$.

Как видно на схемах, нумерация пазов ведется против часовой стрелки, а коллекторных пластин — по часовой стрелке.

На этих схемах нумеруют не все проводники паза, а только секционные стороны, поэтому при многовитковых катушках проводники паза, замыкающиеся в секции или являющиеся параллельными, не нумеруются.

Для обмоток с мертвыми проводниками (рис. 9-29, в и г) щетки должны быть сдвинуты с геометрической нейтрали на $1/8$ коллекторного деления против часовой стрелки, если смотреть со стороны коллектора.

На рис. 9-30 даны схемы правых петлевых обмоток четырехполюсной машины, построенные по той же системе. Нумерацию пазов и коллекторных пластин в этих схемах ведут против часовой стрелки. Для петлевой обмотки

$$y_2 = y_1 - y_k.$$

Все схемы разметки построены для нормальных обмоток, у которых выводные концы катушек по выходе из паза изгибаются наполовину полюсного деления и в машинах с добавочными полюсами щетки на коллекторе устанавливаются точно по линии главных полюсов.

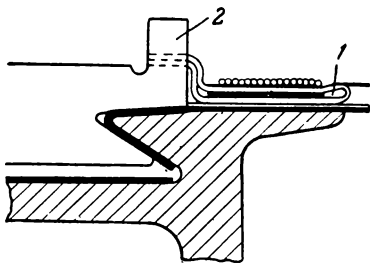


Рис. 9-31. Установка уравнительных соединений.

не менее чем на 50 мм с каждой стороны. Место оклейки миканита тканью прогревают горячим утюгом, чтобы ткань приклеилась к миканиту. Поверхность изолированных обмоткодержателей покрывают эмалью и сушат на воздухе.

Если поверхность обмоткодержателя подходит к торцу якоря, то изолировку обмоткодержателя производят до вставки гильз в пазы. Толщина изоляции должна быть такой, чтобы выступающие концы лазовых гильз ложились на нее без изломов. Таким образом, гильзы предохраняют от разрывов при забивании катушек в пазы.

В крупных машинах изоляцию обмоткодержателей прикрепляют к ободу нажимной шайбы с внутренней стороны винтами, которые ввинчивают в заранее просверленные в ободу отверстия. В изоляции также сверлят отверстия для прохода крепящих винтов. Потайные головки винтов углубляются в конических цевках в ободу обмоткодержателя.

Уравнительные соединения в машинах должны быть уложены на якоре до укладки катушек в пазы. Уравнительные соединения, располагаемые под лобовыми частями катушек на обмоткодержателях устанавливаются следующим образом (рис. 9-31). Выгибают по поверхности обмоткодержателя нижние стороны вилочных уравнительных соединений 1. Обтягивают обмоткодержатель киперной лентой, подложив под нее петлю из той же ленты. Оттягивая ленту за петлю, подсовывают под нее нижнюю сторону уравнительного соединения, конец его вкладывают в петушок 2 коллекторной пластины. После укладки трех-четырех уравнителей подбивают лопаткой их лобовые части одну к другой. Между слоями нижних и верхних лобовых частей уравнителей прокладывают полоски миканита или электрокартона согласно чертежу. Отсчитывают шаг уравнительных соединений и соединяют верхние стороны катушек с петушками коллектора. После установки всех уравнительных соединений кладут полоски картона или миканита и затягивают киперной лентой.

В крупных машинах роль уравнительных соединений играют ленточные петушки коллекторных пластин. Они отличаются от обычных петушков тем, что направлены от коллекторной пластины не радиально, а наклонно (рис. 9-32). Два хомутика 1 и 4 разрезной обмотки, имеющие одинаковый потенциал, соединяются двумя петушками. Очевидно, что в данном случае в машине должны быть расположены два ряда петушков: передний ряд 3 и задний 2. Такая обмотка может быть выполнена только с полным числом уравнительных соединений, а не по одному на паз, как делают в машинах средней мощности. Полное число уравнительных соединений обязательно, так как чем больше уравнительных соединений, тем лучше они выполняют свою роль. Уравнительные соединения в петушках хорошо охлаждаются и не требуют дополнительного расхода изоляционных материалов.

В обмотке с уравнительными соединениями в петушках коллекторная пластина, соединенная с проводниками обмотки, расположена не посередине катушки, как на рис. 9-28, а сдвинута на одно полюсное деление. Благодаря этому изменяется полярность щеток на коллекторе. Те щетки, которые при обычной схеме имели знак плюс, получают знак минус, и наоборот. Но это не сказывается на работе машины. Следует иметь это в виду лишь при соединении обмотки якоря с обмотками возбуждения и с сетью.

Процессы укладки катушечных и стержневых обмоток имеют свои особенности. Для удобства укладки в пазы катушечные обмотки обычно выполняют так, что правая сторона катушки, если смотреть со стороны коллектора, лежит на дне паза, а левая — в верхней части паза. Обмотчик вкладывает в пазы якоря нижние стороны катушек в количестве, охватывающем шаг обмотки по пазам. Выводные концы первой катушки вкладывают в отмеченные при разметке якоря коллекторные пластины. Нижние стороны катушек осаживают на дно паза ударами молотка по пластине из фибры. Выводные концы

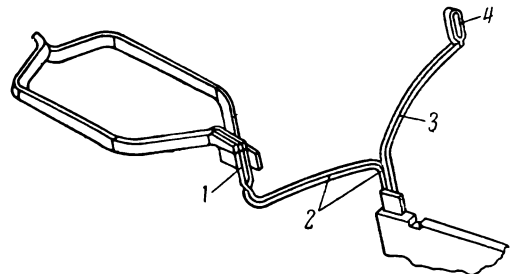


Рис. 9-32. Уравнительные соединения в петушках.

обмотки плоскогубцами и лопатками опускают на дно прорези в коллекторных пластинах. Верхние стороны катушек временно вкладывают в пазы по шагу обмотки, хотя нижние части этих пазов пока не заполнены.

После укладки катушек первого шага верхние стороны катушек попадают в пазы, в которых уже лежат нижние стороны. Поэтому между слоями обмотки в пазу вкладывают прокладки и окончательно осаживают верхние стороны.

В процессе укладки обмотчик проверяет размеры вылета лобовых частей и рихтует их лопаткой, плотно прижимая нижние стороны катушек к изолированным обмоткодержателям. Когда в процессе укладки катушек доходят до пазов, в которые временно были вложены стороны катушек, их поднимают из пазов, вкладывают нижние стороны катушек, а затем вынутые верхние. После этого все катушки оказываются вложенными в пазы, а их выводы — в петушки коллекторных пластин.

Края пазовых гильз, выступающие из пазов, срезают ножом, проводя им вдоль якоря. Затем оставшиеся края гильзы загибают в пазы. Пазовые части обмотки стягивают временным бандажом из киперной ленты. В лобовых частях между слоями обмотки вкладывают полоски изоляционного материала согласно чертежу.

При укладке стержневых обмоток сначала вкладывают в пазы все нижние стороны стержней, оставляя верхние невложенными. Затем укладывают изоляцию на нижние стороны лобовых частей стержней и в пазы. После этого кладут в пазы и в коллекторные пластины верхние стороны стержней. Между ленточными петушками забивают деревянные клинышки.

После укладки обмотки длинные концы стержней, выступающие из хомутиков петушков, срезают круглой пилой, установив якорь на бандажировочный станок. Заусенцы меди снимают напильником.

Одновременно с укладкой катушек в пазы якоря вкладывают нижний слой выводных концов катушек в коллекторные пластины. При этом выводные концы переплетают изоляционной лентой. Выводные концы первой катушки вкладывают в коллекторные пластины, отмеченные при разметке якоря под обмотку. Следующие выводные концы вкладывают подряд. Необходимо следить лишь за тем, чтобы выводные концы не перехлестывались, а присоединялись к коллекторным пластинам в той же последовательности, в которой они выходят из пазов якоря.

Если катушка имеет много выводных концов и намотана из тонкой проволоки, то на выводные концы обеих сторон катушки надевают разноцветные чулки. Тогда последовательность вкладывания выводных концов в пластины коллектора определяют чередованием цветов. При вкладывании верхнего слоя выводных концов чередование цветов должно быть таким же, как и при укладке нижнего.

Необходимо обратить внимание на то, что если будет перепутана последовательность укладки нижнего слоя выводных концов, т. е. часть проводов будет перехлестнута, то это повлечет за собой лишь незначительную несимметрию напряжения между коллекторными пластинами при условии, что верхний слой будет вложен в такой же последовательности, как и нижний. Если же последовательность укладки верхнего слоя не соответствует последовательности укладки нижнего, то такая обмотка идет в брак. Поэтому при вкладывании верхнего слоя выводных концов катушек в коллекторные пластины обмотчик обязательно должен проверить контрольной лампой соответствие вкладываемого провода проводу нижнего слоя [Л. 18].

Эту проверку производят следующим образом. Предположим, что все катушки вложены в пазы, а нижний слой выводных концов вложен в коллекторные пластины. Обмотчик приступает к вкладыванию в коллекторные пластины верхнего слоя выводных концов, начиная с паза 1 (рис. 9-33). Для проверки нужно приложить один провод контрольной лампы к коллекторной пластине 48, отсчитать от нее 46 пластин в соответствии с шагом обмотки по коллектору и прикоснуться вторым проводом, подведенным от сети через контрольную лампу, поочередно ко всем трем верхним концам катушки, выходящим из паза 1. Контрольная лампа зажжется только при соединении с одним из выводных концов катушки, так как только он соединен с коллекторной пластиной 48 через виток обмотки. Найденный таким образом выводной конец нужно вложить в коллекторную пластину 2. Затем обмотчик переставляет первый провод контрольной лампы с коллекторной пластины 48 на 47, а вторым проводом ищет среди оставшихся двух выводных концов катушки, выходящих из паза 1, такой, при котором лампа зажжется. Этот выводной конец следует вложить в коллекторную пластину 1. Остальные выводные концы находят и вкладывают таким же образом. Если искомым выводной конец находится первым, т. е. контрольная

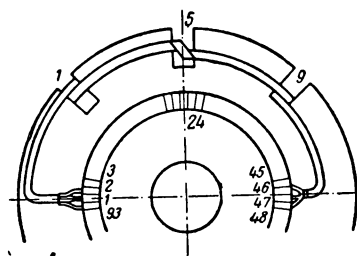


Рис. 9-33. Практическая схема обмотки.

лампа загорается при соединении провода от сети с первым же наугад выбранным выводным концом катушки, то все же для большей уверенности рекомендуется коснуться и остальных выводных концов и убедиться, что лампа при этом не загорается. Эта дополнительная проверка необходима во избежание следующих ошибок. Допустим, что провод от контрольной лампы сдвинулся и замыкается не с одной, а с двумя соседними пластинами, например 47 и 48. Тогда при нахождении первого выводного конца для укладки во вторую коллекторную пластину обмотчик может принять за нужный ему выводной конец соседний с ним, так как контрольная лампа будет гореть при соединении с обоими концами.

19-16. ОТДЕЛКА ЯКОРЯ

После укладки в пазы обмотки якоря, пайки обмотки с коллектором, забивки клиньев, пропитки и намотки бандажей необходимо выполнить следующие операции: заделать выступающий край миканитовой манжеты коллектора, обточить, продорожить, отшлифовать и отполировать рабочую поверхность коллектора. Эти операции объединяют под общим названием — отделка якоря.

а) Заделка миканитовой манжеты. Коллекторные пластины надежно изолированы от втулки и от нажимных конусов при помощи манжет и цилиндра из высокопрочного диэлектрика — миканита. Поэтому пробой изоляции на корпус внутри коллектора — явление очень редкое. Гораздо чаще якорь выходит из строя вследствие пробоя или перекрытия выступающего из-под пластин края миканитовой манжеты. Поверхность манжеты должна быть защищена несколькими слоями киперной ленты от расслаивания миканита при вращении якоря. Намотка киперной ленты имеет и другое значение. Как видно на рис. 5-1, между выточкой в коллекторных пластинах и миканитовой манжетой имеется щель, в которую могут проникать пыль и влага. При намотке киперной ленты эту щель закрывают.

Пробой манжеты объясняется тем, что при работе машины щеточная пыль значительно снижает электрическую прочность окружающей среды. Слой угольной пыли, оседая на поверхности манжеты, вызывает перекрытие изоляции. Средством борьбы с этим явлением служит лакировка киперной ленты, покрывающей манжету для придания ей гладкой, блестящей поверхности, на которой пыль не может удерживаться. Лакировка производится путем четырехкратного покрытия киперной ленты, торцов коллекторных пластин и конуса коллектора глифталевой эмалью с последующей сушкой каждого слоя в печи. Перед наложением последнего слоя следует очистить поверхность изоляции стеклянной бумагой.

Наружную поверхность якоря покрывают серой эмалью с целью создать водонепроницаемую пленку, которая защищает обмотку от проникновения влаги, а поверхность якоря от ржавления. Покрытие производят пульверизатором, после чего якорь подвергают сушке. Продолжительность и температура сушки устанавливаются технологическими инструкциями в зависимости от сорта эмали и изоляции якоря.

б) Обточка коллектора. Окончательную обработку рабочей поверхности коллектора производят на токарном станке после лакировки и сушки якоря. Конец вала поддерживается вращающимся центром станка, а шейка вала опирается на люнет, чем достигается concentричность обрабатываемой поверхности коллектора и шейки вала. Благодаря этому при вращении якоря в подшипниках машины после сборки коллектор будет иметь минимальное биение, что благоприятно сказывается на работе щеток. Коллектор обрабатывают резцами с пластинками из твердых сплавов при высоких скоростях резания с минимальной подачей и глубиной резания.

в) Продороживание коллектора. В практике работы машин постоянного тока замечается, что по прошествии некоторого срока миканитовая изоляция между пластинами начинает выступать над поверхностью коллектора. Это явление может быть объяснено несколькими причинами.

Во-первых, истирание медных пластин коллектора щетками происходит быстрее, чем срабатывание миканитовых прокладок. Во-вторых, медные пластины изнашиваются не только вследствие трения щеток, но и переноса частиц меди на положительную щетку при искрении на коллекторе, которое в большей или меньшей степени всегда наблюдается при работе машины. Искра под щеткой представляет собой маленькую электрическую дугу, имеющую высокую температуру. Вследствие искрения медь коллекторных пластин в расплавленном состоянии переносится на щетки. Этим объясняется то, что после длительной работы машины на контактной поверхности положительных щеток появляются медные вкрапления, а поверхность коллектора делается шероховатой. Наконец, миканитовая изоляция может выступать над поверхностью коллектора из-за взаимного перемещения меди и миканита при периодических нагреваниях и остываниях коллектора во время работы машины и при остановках, так как при нагревании диаметр коллектора увеличивается за счет температурного расширения меди, а при остывании снова уменьшается.

Выступление изоляции над поверхностью коллектора даже на незначительную высоту, выражающуюся в сотых долях миллиметра, сильно ухудшает работу щеток на коллекторе, так как при этом увеличивается трение и нарушается контакт между щеткой и пластинами коллектора. Для того чтобы избежать этого, во всех коллекторных машинах производят продороживание коллекторов.

Продороживание состоит в том, что миканитовая изоляция между пластинами углубляется на 0,5—0,8 мм путем выфрезеровывания миканитовых прокладок. Таким образом, поверхность коллектора покрывается продольными дорожками в местах вырезки слюды, откуда операция продороживания получила свое название.

Продороживание коллекторов производят на станках, обычно переделываемых из старых токарных станков, к которым пристраивают фрезерную головку. Продороживают фрезами диаметром 15—20 мм, чтобы фреза не доходила до пегушков. Установка и подача фрезы в течение десятилетий производились вручную. Это объясняется тем, что коллекторные деления имеют отклонения размеров за счет допусков на толщину медных пластин и миканитовых прокладок. Кроме того, вследствие перекоса пластин в пределах допуска миканитовая прокладка, как правило, не совпадает с образующей коллектора.

На Харьковском заводе «Электротяжмаш» имени Ленина впервые в практике электромашиностроения построен полуавтоматический станок для продороживания коллекторов, на котором достигнуто увеличение производительности в 15 раз с одновременным улучшением качества [Л. 17].

Кинематическая схема станка показана на рис. 9-34. Якорь устанавливают в центрах станка и соединяют хомутиком с планшайбой передней бабки. Задняя бабка 1 при помощи реечной передачи может передвигаться по направляющим станины 11 и снабжена выдвигной линолью. В передней бабке 10 смонтированы механизм мгновенного переключения муфт, кулачковые муфты, коробка скоростей, шпиндель 9 и насос для смазки. К коробке скоростей крепится фланцевый электродвигатель 16, приводящий в движение механизмы подачи. Фреза 2 приводится от электродвигателя 4 через систему шестерен. Фрезерная головка помещается в ползун 7, совершающем при фрезеровании движение подачи фрезы и обратный ход ползуна по окончании фрезерования одного паза. При обратном ходе ползун поднимается над коллектором. Ползун вместе с колонкой 5 может поворачиваться вокруг оси 8 для

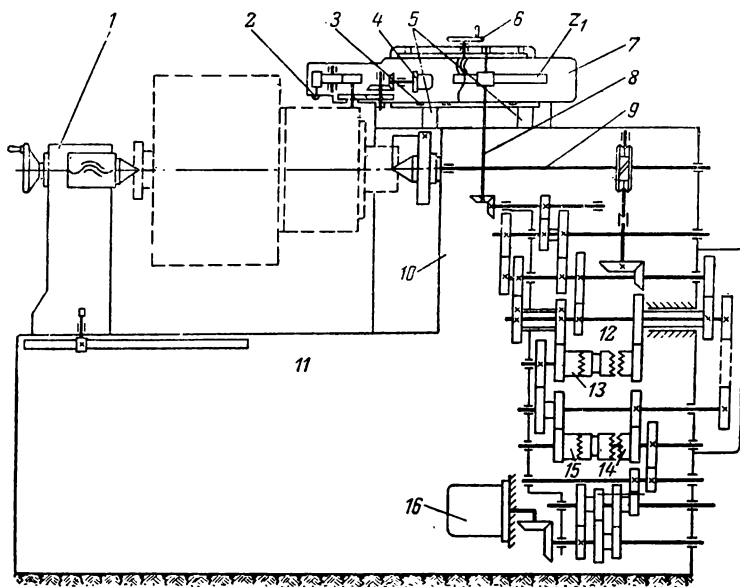


Рис. 9-34. Станок для продороживания коллекторов.

установки фрезы на угол перекоса пластин. Для фрезерования коллекторов с различным перекосом пластин предусмотрена конструкция плавающей фрезы, которая направляется пластинами коллектора. Установка ползуна по высоте производится при помощи винтовой пары, вращаемой маховичком 6. Для поступательных движений ползуна служит реечная передача с рейкой 21. Величина хода ползуна регулируется переставными упорами 3.

Станок имеет автоматическую электромагнитную систему управления, производящую рабочее и возвратное движение ползуна и поворачивание якоря на одно коллекторное деление. Система контактов, аналогичная показанной на рис. 5-12, обеспечивает совпадение фрезы с миканитовой прокладкой между пластинами. Электромагнитная система управления переключает муфты, из которых муфта 12 включает поворот якоря, 13 — возвратное движение ползуна, 14 включает подачу ползуна, а 15 выключает поворот якоря.

Станок может быть применен также для фрезерования прорезей в коллекторах для проводников обмотки якоря.

Для продороживания коллектора крупных машин применяют переносные фрезерные станочки с ручной подачей, в которых фреза направляется роликом, катящимся по одной из канавок.

Во избежание попадания медных стружек в обмотку лобовые части при продороживании коллектора следует закрывать чехлом.

г) Шлифование и полировка коллектора. При обточке резцом невозможно получить достаточную чистоту поверхности коллектора, необходимую для хорошей работы щеток. Кроме того, в процессе продороживания на пластинах могут появиться риски и царапины; поэтому необходимы шлифование и полировка поверхности коллектора.

Для шлифования следует применять абразивные круги, не проводящие тока. Наибольшее распространение получили искусственные шлифовальные круги, в состав которых входит пемза. Применяется также пемза, пропитанная керосином. Шлифовальный круг должен быть предварительно обработан по цилиндрической поверхности.

Поверхность коллектора полируют вогну-

той деревянной колодкой, обработанной по радиусу цилиндрической поверхности коллектора и покрытой стеклянной бумагой мелких номеров. Часто полировка при помощи колодки выполняется после обточки и заменяет шлифование коллектора абразивными кругами. Полировка колодкой со стеклянной бумагой применяется и в процессе эксплуатации машины для снятия шероховатостей и нагара.

ГЛАВА ДЕСЯТАЯ

СТАТОРНЫЕ ОБМОТКИ КАТУШЕЧНЫЕ

10-1. ТИПЫ СТАТОРНЫХ ОБМОТОК

По технологии изготовления статорные обмотки разделяются на несколько типов (рис. 10-1).

Основное разделение статорных обмоток на однослойные и двухслойные не вносит существенного различия в намотку катушек. Например, при полузакрытых пазах намотка катушек всыпных однослойных и двухслойных обмоток не имеет почти никакого различия. Однако в отношении укладки в пазы они существенно отличаются друг от друга.

Для асинхронных электродвигателей мощностью до 5 квт, изготавливаемых методами массового производства, имеет большее значение ряд преимуществ однослойных обмоток перед двухслойными. Эти преимущества заключаются в том, что в каждом пазу лежат проводники одной катушки, поэтому отсутствует прокладка в середине паза, повышается коэффициент заполнения и снижается трудоемкость укладки катушек в пазы. Еще более важным свойством однослойных обмоток является то, что катушки вкладываются в па-

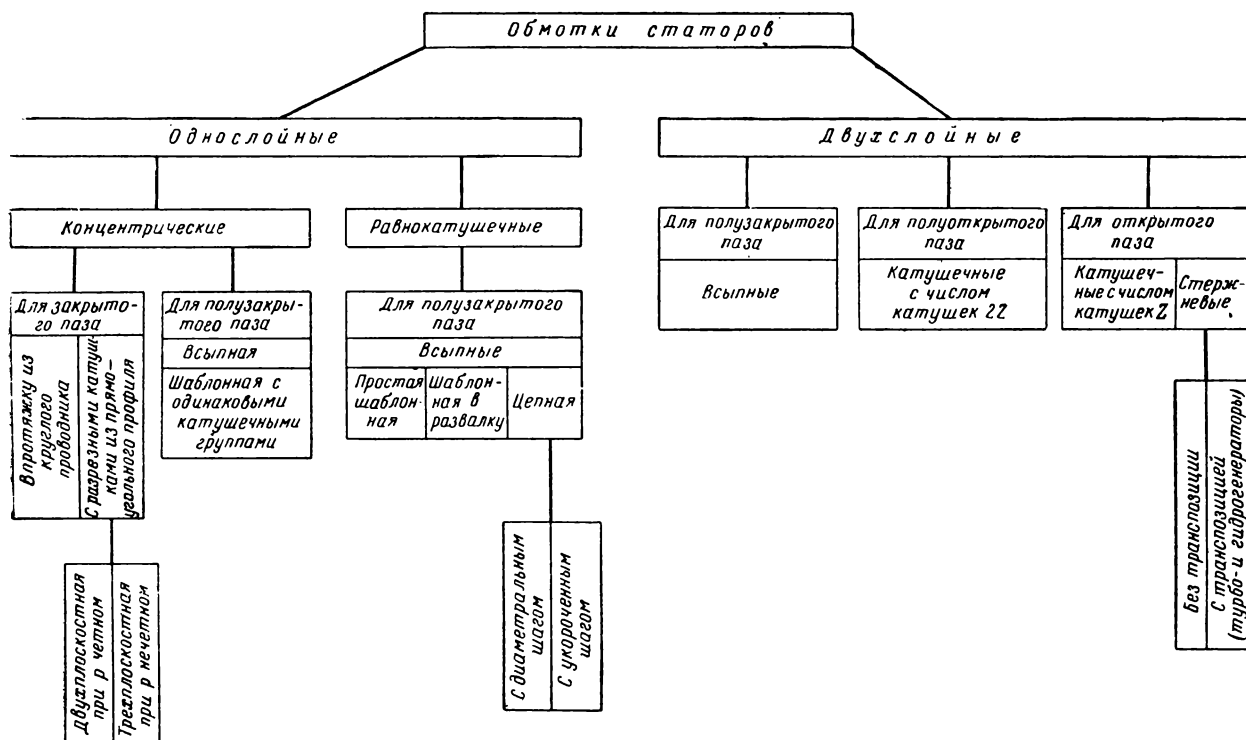


Рис. 10-1. Типы статорных обмоток.

зы сразу обеими сторонами, а потому не мешают укладке следующих катушек, что дало возможность применить полуавтоматические станки для укладки обмотки статора в пазы. В двухслойных обмотках первые катушки, охватывающие шаг обмотки, сначала вкладываются только нижними сторонами, а верхние стороны временно остаются в отверстиях статора не вложенными в пазы. Это не создает больших затруднений в машинах с внутренним диаметром статора более 300 мм, но в малых машинах, особенно двухполюсных, отогнутые стороны катушек сильно затрудняют процесс укладки в пазы остальных катушек.

Единственным недостатком однослойных обмоток является то, что в одних из них (концентрических) укорочение шага совсем не допускается, в других же (цепных) оно не может быть выбрано любым и не дает возможности устранить влияние высших гармонических. Однако при массовом производстве приходится отдать предпочтение технологическим упрощениям выполнения обмоток.

Однослойные обмотки в современных сериях асинхронных двигателей выполняются из круглого провода с катушками, намотанными на шаблонах и вкладываемыми в полузакрытые пазы статора (вспынные обмотки).

В машинах мощностью выше 5 кВт применяются двухслойные обмотки. Как видно на схеме рис. 10-1, основным признаком разделения двухслойных обмоток является форма паза. При полузакрытой форме паза применяются вспынные обмотки с катушками, намотанными круглым проводом. Изоляция катушек от корпуса гильзовая для напряжений до 500 в. В машинах старых серий вспынные обмотки применялись только для двигателей мощностью до 10—15 кВт. В единой серии асинхронных двигателей область применения вспынных обмоток значительно расширена в пределах мощностей до 100 кВт. При полуоткрытой форме паза применяются катушечные обмотки с катушками, намотанными прямоугольным проводом, изолированными и пропитанными. Кроме изоляции катушек, в паз вкладывается защитная гильза. По условиям вкладывания в пазы в каждом слое в пазу помещается две катушки (§ 10-11). В старых сериях полуоткрытая форма паза применялась в диапазоне мощностей 15—400 кВт. В единых сериях в связи с расширением применения вспынных обмоток область использования полуоткрытых пазов сократилась и заключена в диапазоне мощностей 100—400 кВт при напряжениях до 500 в.

Открытая форма паза применяется для машин мощностью свыше 400 кВт, а также для

машин 100—400 кВт при напряжениях выше 500 в. Как видно на схеме, статорные обмотки при открытых пазах разделяются на катушечные и стержневые. Последние применяются в машинах большой мощности с числом проводников в пазу, равным двум.

10-2. КОНЦЕНТРИЧЕСКИЕ ОБМОТКИ

Концентрическую обмотку можно назвать родоначальницей всех обмоток машин переменного тока, так как до 30-х годов она имела почти исключительное применение в широком диапазоне мощностей от одного до десятков тысяч киловатт. С концентрическими обмотками строились как низковольтные, так и высоковольтные машины напряжением до 10 кв. Все эти машины имели закрытую форму паза, поэтому технология выполнения и укладки обмоток имела специфические особенности, редко встречаемые в современном производстве. Однако их нельзя забывать, так как в эксплуатации еще имеется большое количество машин с концентрическими обмотками, которые периодически попадают на заводы для ремонта. На ремонтных базах часто приходится иметь дело с концентрическими обмотками. Они до сих пор изучаются в общих курсах электрических машин.

Концентрические обмотки статора малых машин из круглого провода при закрытой форме паза наматывали в протяжку. Изоляция паза при напряжении до 220 в состояла из нескольких слоев электрокартона, который наматывали на деревянную линейку и вставляли в пазы с торца статора или ротора. В пазы, в которые должны быть намотаны стороны катушки, вставляли стальные спицы диаметром на 0,1 мм больше диаметра изолированного провода в количестве, равном числу проводов в пазу. В соседние пазы внутри шага катушки вставляли хвостовики деревянных шаблонов, вокруг которых выгибали лобовые части катушек (рис. 10-2). Процесс намотки велся, начиная с внутренней катушки кату-

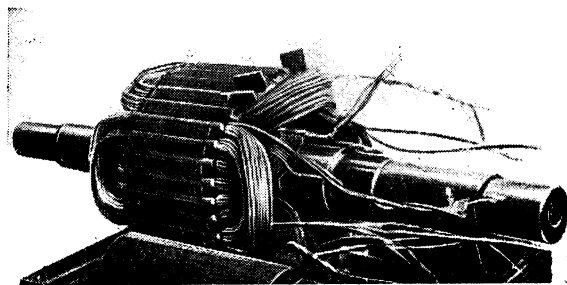


Рис. 10-2. Намотка концентрической обмотки в протяжку.

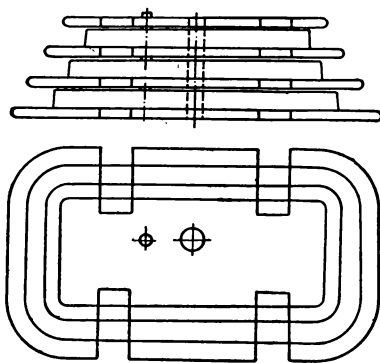


Рис. 10-3. Намоточный шаблон для концентрической обмотки.

шечной группы. Внутри катушки должно оставаться $2q$ свободных пазов.

Процесс намотки катушки концентрической обмотки выполняли в следующем порядке. Отмеряли от бухты длину провода, равную развернутой длине катушки (несколько десятков метров), и натирали его парафином. Намотку производили два обмотчика. Первый обмотчик вытягивал из паза пассатижами одну спицу, а второй проталкивал вслед за спицей конец обмоточного провода до тех пор, пока конец провода не выйдет с противоположной стороны статора. Первый обмотчик захватывал конец провода и протягивал его через паз. В это время второй направлял провод, не допуская резких перегибов и образования барашков. Когда весь отмотанный от бухты провод был протянут через паз, второй обмотчик вытягивал спицу из следующего паза по шагу обмотки, а первый просовывал вслед за спицей конец провода и, направляя провод, укладывал на шаблонах первый виток лобовой части катушки.

Таким образом укладывали и следующие витки до тех пор, пока два паза не заполнились. Спицы из пазов вынимали в определенной последовательности, обеспечивающей расположение витков в пазу по чертежу.

Для намотки второй катушки группы отматывали от бухты провод длиной, равной развернутой длине катушки, и отрезали его. Стальные спицы переставляли в следующие паза и аналогично наматывали вторую катушку катушечной группы. Таким образом, две катушки оказывались намотанными одним непрерывным проводом.

Как известно, в концентрических обмотках встречаются катушечные группы с длинными и с короткими лобовыми частями. Сначала наматывали все катушечные группы с короткими отогнутыми лобовыми частями, а между

ними вматывали катушки с длинными лобовыми частями.

Из этого описания можно представить, насколько трудоемким был процесс намотки в протяжку. В сравнении с укладкой в пазы современных всыпных обмоток он занимал в 8—10 раз больше времени.

Следует отметить, что при изготовлении новых машин иногда приходится возвращаться к старым методам производства. Так, например, обмотки статора погружных двигателей для бурения скважин после неудачных попыток выполнения в виде катушек, намотанных на шаблонах, стали наматывать в протяжку. Особенностью конструкции этих двигателей является совершенно неестественное отношение диаметра к длине. При диаметре статора порядка 200 мм длина активной части достигает 6 м.

Иногда совершенно неправильно утверждают, что намотка в протяжку вызывалась тем, что концентрические обмотки имеют переменный шаг по пазам в отличие от равнокатушечных обмоток, которые называют шаблонными. В действительности необходимость намотки в протяжку вызывалась не схемой обмотки, а закрытыми пазами. В единой серии асинхронных двигателей двух первых габаритов применяются концентрические обмотки, которые при полузакрытой форме паза наматываются на шаблон и вкладываются в пазы через прорези. Разница между концентрическими и равнокатушечными обмотками заключается только в форме шаблона, который делается ступенчатым в соответствии с разной шириной катушек в катушечной группе (рис. 10-3). Концентрические обмотки имеют даже преимущество перед равнокатушечными цепными обмотками, заключающееся в том, что в концентрической обмотке катушки одной группы располагаются в соседних пазах, в то время как в цепной они распределяются по окружности статора, что исключает намотку

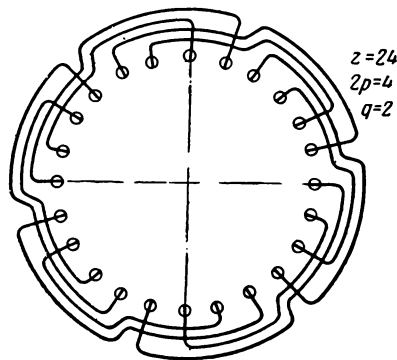


Рис. 10-4. Схема концентрической обмотки.

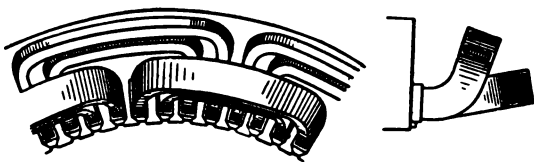


Рис. 10-5. Двухплоскостная концентрическая обмотка.

катушечной группы непрерывным проводом (рис. 10-10).

На рис. 10-4 показана схема концентрической обмотки, применяемой в единой серии асинхронных двигателей. Особенностью этих обмоток является то, что одна сторона катушки выполнена с длинной лобовой частью, а другая с короткой. Это дало возможность избежать двух намоточных шаблонов и все катушечные группы наматывать на одном шаблоне. В лобовых частях катушки отдельных катушечных групп переплетаются.

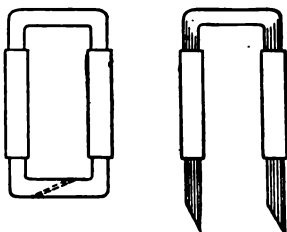


Рис. 10-6. Концентрическая обмотка из разрезных катушек.

В машинах большей мощности концентрические обмотки выполнялись из прямоугольного провода. Катушки наматывали на шаблонах различной формы. Число разновидностей шаблонов определялось произведением числа пазов на полюс и фазу и числа плоскостей лобовых частей. Число катушечных групп в концентрической обмотке определяется по формуле

$$K = 3p, \quad (10-1)$$

где K — число катушечных групп;
 p — число пар полюсов.

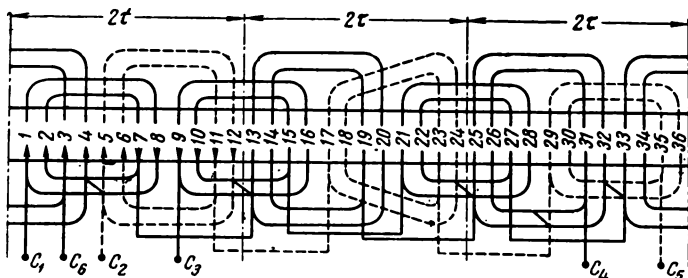


Рис. 10-7. Концентрическая обмотка с перекошенной катушкой.

При четном числе пар полюсов число катушечных групп получается также четным. Поэтому лобовые части их можно расположить в двух плоскостях (рис. 10-5). Обмотки с длинными и короткими лобовыми частями называются поэтому двухплоскостными.

В высоковольтных машинах паз изолировали миканитовыми гильзами. Намотанную на шаблоне катушку надо было вставить в пазы. Для этого одну лобовую часть катушки разрезали и разгибали (рис. 10-6). Стороны катушки вставляли в пазы, а затем снова соединяли и спаивали проводники на лобовых частях. Таким образом, экономилось время на укладку обмотки в пазы по сравнению с обмоткой в протяжку, но зато появлялся новый процесс соединения, спаивания и изолирования проводников в лобовых частях.

При нечетном числе пар полюсов число катушечных групп получается также нечетным. Поэтому лобовые части нельзя расположить в два слоя, так как одна из катушек получается несимметричной с перекошенными лобовыми частями (рис. 10-7). В высоковольтных машинах наличие перекошенной катушки снижает изоляционное расстояние между лобовыми частями катушек разных фаз. Для устранения перекошенной катушки искусственно увеличивают число катушек вдвое. Для этого каждую катушку разбивают на две и их лобовые части выгибают в разные стороны. Таким образом, при нечетном числе пар полюсов лобовые части катушек располагаются в трех плоскостях, откуда обмотки получили название трехплоскостных (рис. 10-8).

10-3. РАВНОКАТУШЕЧНЫЕ ОДНОСЛОЙНЫЕ ОБМОТКИ

Равнокатушечными называются обмотки, состоящие из катушек с одинаковым шагом. Их можно разделить на следующие три типа: простая шаблонная, шаблонная «в развалку», цепная.

Для удобства изготовления катушки шаблонных обмоток обычно наматывают на ша-

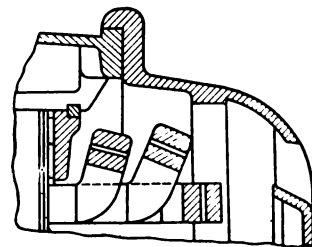


Рис. 10-8. Трехплоскостная концентрическая обмотка.

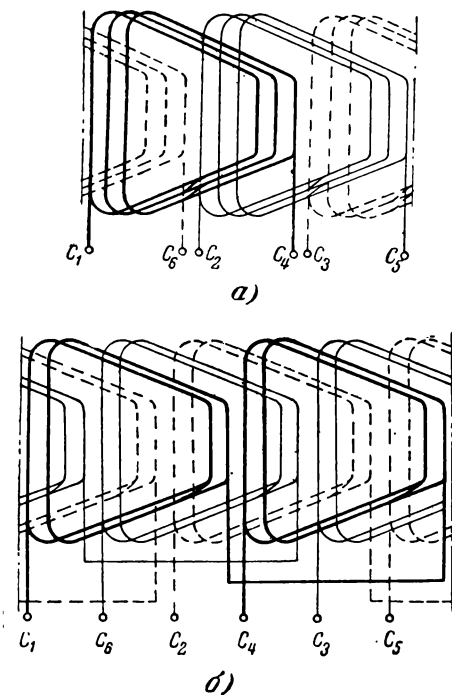


Рис. 10-9. Равнокатушечные однослойные обмотки.

блон в форме трапеции. На рис. 10-9,а показана схема простой шаблонной обмотки, а на рис. 10-9,б схема шаблонной обмотки в развалку. Обмотка в развалку применяется при большом числе пазов на полюс и фазу для облегчения укладки лобовых частей. Шаблоновые обмотки выполняются обычно без укорочения шага.

Цепные обмотки также выполняются в развалку, но здесь короткие и длинные стороны катушек чередуются, т. е. развалка производится не по подгруппам, а по катушкам. Цепные обмотки позволяют получить несколько более компактную укладку лобовых частей,

чем другие равнокатушечные обмотки (рис. 10-10). Шаг цепной обмотки должен быть равен нечетному числу, так как длинные стороны катушек занимают нечетные номера пазов, а короткие — четные. Поэтому укорочение шага может быть сделано только на четное число пазов [Л. 8].

10-4. ДВУХСЛОЙНЫЕ ВСЫПНЫЕ ОБМОТКИ

Двухслойные всыпные обмотки применяются в диапазоне мощностей от десятков ватт до 100 квт. Они наматываются на шаблоны катушечными группами, причем число катушек в катушечной группе равно q . Намотка катушечной группы непрерывным проводом уменьшает количество выводных концов, благодаря чему упрощается процесс соединения катушечных групп и уменьшается возможность перепутывания концов при монтаже схемы.

В машинах малой мощности идут на дальнейшее упрощение соединений, наматывая всю фазу одним непрерывным проводом. Таким образом, после укладки в пазы обмотка будет иметь только шесть выводных проводников, представляющих собой начала и концы фаз. Следовательно, процесс соединения схемы совершенно отпадает.

Для намотки фазы намоточные шаблоны «лодочки» набирают на оправку так, что у четных катушечных групп длинные стороны шаблона расположены справа, а у нечетных — слева. После снятия с шаблона катушечные группы имеют вид, показанный на рис. 10-11,а. Однако в таком порядке они не могут быть вложены в пазы по двум причинам: во-первых, все катушечные группы имеют одинаковую полярность и, во-вторых, лобовые части их расположены несимметрично. Оба эти препят-

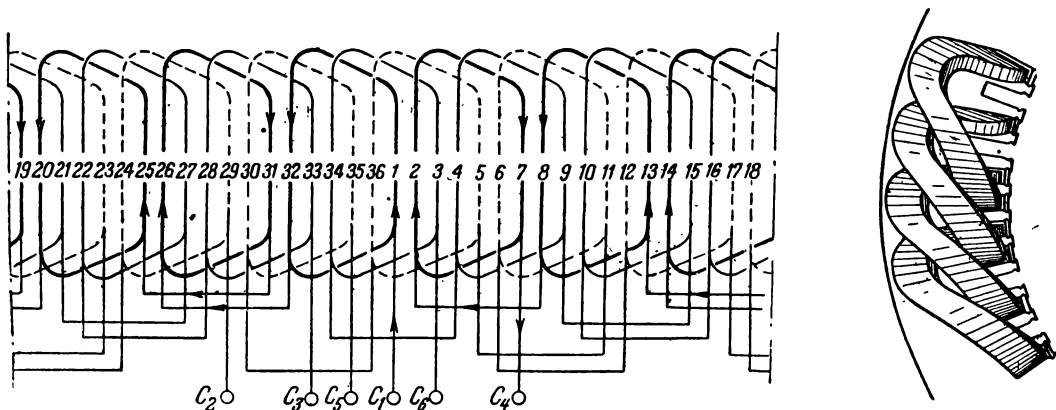


Рис. 10-10. Цепная обмотка.

ствия устраняются после того, как четные катушечные группы будут перевернуты на 180° (рис. 10-11,б). Теперь катушечные группы можно укладывать в пазы. Между катушечными группами должны быть соединения достаточной длины согласно расположению катушечных групп на статоре.

До последнего времени в электромашиностроении существовало мнение, что катушки из круглого провода нельзя наматывать с числом параллельных проводников более четырех. Это ограничивало область применения всыпных обмоток мощностью 15—20 кВт при напряжении 220 в. В единой серии асинхронных двигателей впервые в практике электромашиностроения были применены всыпные обмотки для электродвигателей мощностью до 100 кВт. При этом освоена намотка катушечных групп до шести катушек в группе с числом параллельных проводников до 12. Это дало возможность повысить производительность труда на участках намотки катушек и укладки обмоток в пазы по сравнению с обмотками из жестких катушек при полукоткрытых пазах статора. Совершенно отпали процессы изолировки, прессовки и рихтовки жестких катушек на этом диапазоне мощностей.

Изоляция всыпных обмоток от корпуса осуществляется при помощи пазовых гильз, которые были описаны в гл. 8.

Мягкие катушки статора наматывают из проводов с эмалевой и эмалево-волокнистой изоляцией. Раньше провода с эмалевой изоляцией применяли только в статорах машин малой мощности. Для машин большей мощности использовали провода марки ПЭЛБО, а иногда и ПБД. При замене волокнистой изоляции эмалевой получается большое увеличение заполнения пазы. Поэтому на всех заводах, выпускающих асинхронные двигатели мощностью до 100 кВт, производится постепенная замена проводов с волокнистой изоляцией проводами с эмалевой изоляцией марки ПЭВ-2, что позволяет увеличить мощность машины при тех же габаритах. При переходе на провода с эмалевой изоляцией необходимо подбирать соответствующий номер пропиточного лака. Лак 447 плохо прилипает к эмалевой изоляции, и его заменяют лаками 321-Т, АРБ-1 и АФ-17.

В последнее время кабельная промышленность начала выпускать новые марки проводов с эмалевой изоляцией, обладающие рядом преимуществ по сравнению с ПЭВ-2. На заводе имени Владимира Ильича был изготовлен ряд машин с проводами марки ПЭВТЛ-2, эмалированными полиуретановым лаком.



Рис. 10-11. Непрерывная намотка фазы обмотки.

Преимущества этих проводов заключаются в следующем:

а) провода марки ПЭВТЛ по нагревостойкости могут быть отнесены к классу Е, а провода ПЭВ к классу А;

б) провода ПЭВТЛ по механической и электрической прочности не уступают проводам ПЭВ, а по влагостойкости превосходят их;

в) провода ПЭВТЛ не требуют зачистки эмали при лужении и паянии, что повышает производительность труда в процессе соединения схем.

Провода марки ПЭВТЛ могут выпускаться с разными расцветками эмали, что исключает надевание цветных чулок на выводные концы обмоток. Это особенно важно для обмоток якорей, концы которых должны присоединяться к коллекторным пластинам в определенном порядке.

На ряде заводов медные провода заменяют алюминиевыми. Электропроводность алюминия в 1,63 раза меньше, чем меди. Поэтому для сохранения прежней мощности при переходе на алюминиевую обмотку надо увеличить диаметр провода и размеры пазов, что связано с изменением штампов и увеличением размеров машины. Все это учитывают при проектировании машин с алюминиевыми обмотками.

При переводе на алюминиевые обмотки существующих двигателей единой серии возможны следующие варианты.

Если статор двигателя обматывался медным проводом марки ПЭЛБО, то в двигателях малой мощности удается заменить провод алюминиевым с эмалевой изоляцией марки ПЭЛРА-2. Меньшая толщина изоляции алюминиевого провода позволяет увеличить диаметр голого провода и сохранить ту же мощность двигателя.

В двигателях с эмалевым медным проводом при переходе на алюминиевый приходится снижать мощность или допускать уменьшение коэффициента полезного действия из-за увеличения потерь в обмотке.

10-5. НАМОТОЧНЫЕ СТАНКИ ДЛЯ КАТУШЕК

Асинхронные двигатели выпускаются в значительно больших количествах, чем машины постоянного тока. Поэтому для намотки

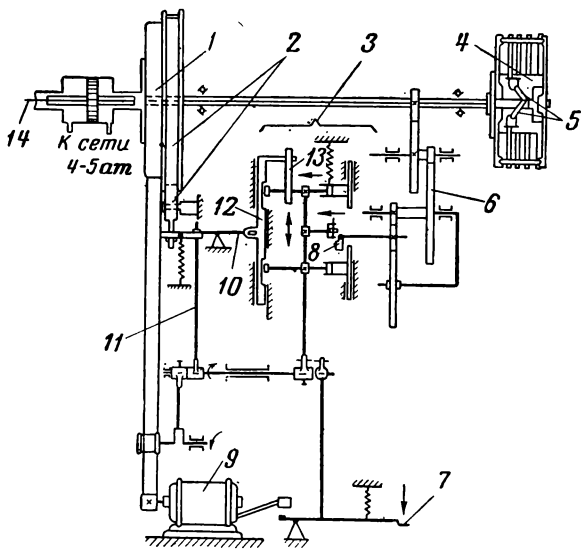


Рис. 10-12. Кинематическая схема намоточного станка.

статорных катушек требуются станки, обладающие высокой производительностью. Это достигается за счет высоких скоростей вращения шпинделя, механизации съема с шаблона намотанных катушек и автоматического останова станка после намотки требуемого числа витков.

На рис. 10-12 приведена кинематическая схема намоточного станка завода ХЭМЗ [Л. 17]. Станок имеет полый шпиндель, приводимый во вращение электродвигателем 9 через ременную передачу 1. Рядом с передачей на шпиндель насажен шкив 2 ленточного тормоза, который тягой 11 соединен с педалью включения 7. Таким образом, при останове станка шпиндель автоматически затормаживается, предупреждая ослабление натяжения провода. Через шпиндель и систему шестерен 6 электродвигатель вращает механизм 3 автоматического останова станка после намотки требуемого числа витков, который может быть установлен в пределах 4—25 витков.

Станок останавливается под действием кулачка 8 на зуб 13 механизма зацепления 12. При этом освобождается тяга 11 и, двигаясь вверх, увлекает за собой рычаг 10.

Для съема намотанной катушечной группы станок оборудован пневматическим цилиндром 14, который через тягу, проходящую через полый шпиндель, действует на шарнирный механизм 5 намоточного шаблона 4. При этом головки шаблона сдвигаются к центру и катушечная группа легко снимается с шаблона [Л. 10-2].

Для намотки следующей катушечной группы надо завести в шаблон конец провода и включить станок.

10-6. НАМОТОЧНЫЕ ШАБЛОНЫ ДЛЯ ВСЫПНЫХ ОБМОТОК

На рис. 10-13 показана конструкция намоточного шаблона для катушечной группы всыпной статорной обмотки с числом катушек в группе до 4. По плите 1 с пазом трапеце-

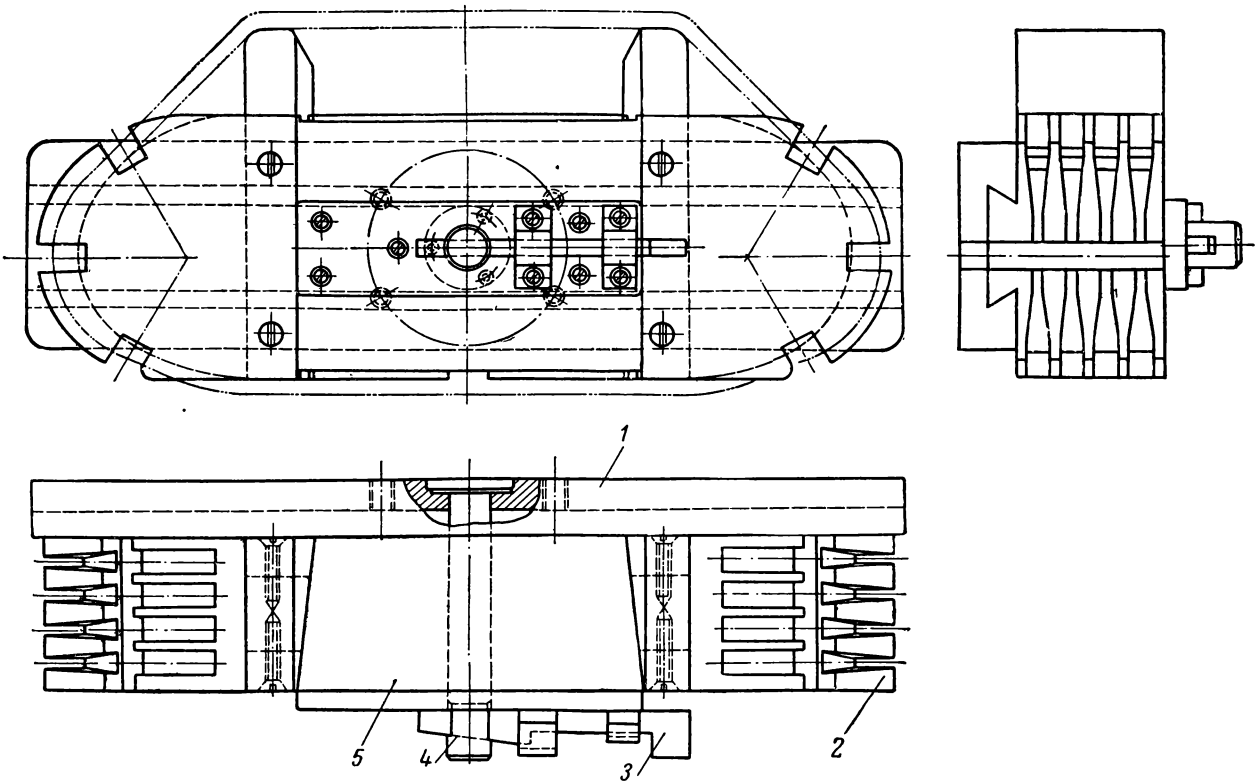


Рис. 10-13. Намоточный шаблон для всыпной обмотки.

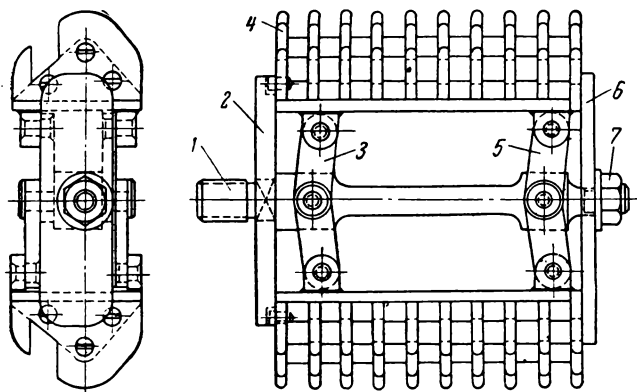


Рис. 10-14. Шарнирный намоточный шаблон.

идального сечения могут передвигаться колодки 2 с хвостовиками соответствующей формы. В середине шаблона закреплен штырь 4, на который надет раздвижной клин 5, запирающийся клиновидной задвижкой 3.

На рисунке показано рабочее положение шаблона. После намотки катушечной группы задвижку 3 выбивают, клин 5 вынимают, колодки 2 сдвигают к центру и намотанные катушки легко снимают с шаблона. Заменяя клин 5, можно наматывать на этом же шаблоне катушки разной длины. Детали шаблона выполняются из твердых пород дерева.

Крепление намоточного шаблона к шпинделю намоточного станка раньше производилось планками и болтами. При замене шаблона много времени затрачивалось на снятие установки и выверку шаблона на станке. Для снижения потери времени к шаблону привертывают втулку с внутренней резьбой, которую наворачивают на шпиндель намоточного станка. Благодаря этому шаблон можно сменить в 5—7 раз быстрее.

При большом числе пазов на полюс и фазу сборные шаблоны для намотки катушечной группы получаются тяжелыми и трудоемкими в изготовлении. При работе с такими шаблонами много времени затрачивается на снятие намотанной катушечной группы с шаблона. Эти недостатки устраняются в шарнирных шаблонах. На рис. 10-14 показано устройство шарнирного шаблона с желобками, на котором можно наматывать катушечную группу, содержащую до девяти катушек [Л. 10-1].

Работа на шарнирном шаблоне производится следующим образом. Конец обмоточного провода закрепляют за оправку 1. Затем наматывают первую катушку, подкладывая шпагат для связывания витков. После намотки первой катушки через прорези в шаблоне переходят к намотке следующих.

После намотки всей катушечной группы намотчица отвинчивает гайку 7 примерно на одну нитку резьбы и снимает планку 6. При повороте планок 3 и 5 вокруг осей головки 4 сходятся к центру, освобождая намотанные катушки.

Для намотки следующей катушечной группы корпуса отжимают обратно до упорной планки 2, надевают планку 6 и зажимают ее гайкой 7.

10-7. УКЛАДКА ВСЫПНЫХ ОБМОТОК В ПАЗЫ

Прежде чем приступить к укладке катушек в пазы, статор продувают сжатым воздухом, очищая его от пыли и опилок, которые могут вызвать пробивание изоляции.

Нажимные шайбы статора изолируют несколькими полосками электрокартона, толщину и количество которых подбирают так, чтобы они доходили до дна паза и служили опорой для выступающих из паза концов пазовых гильз, предохраняя их от разрыва при отгибании лобовых частей обмотки.

Катушки двухслойной обмотки укладывают в пазы группами так, как они были намотаны на шаблоне. Укладку производят следующим образом. Провода обмотки распределяют в один слой и вкладывают сторону катушки в паз (рис. 10-15). Сначала в пазы вкладывают стороны катушек, прилегающие к дну паза, а другие стороны оставляют невложенными в пазы до тех пор, пока не будут вложены нижние стороны катушек во все пазы, охватываемые шагом обмотки. После этого следующие катушки вкладывают в пазы одновременно нижними и верхними сторонами. Между верхними и нижними сторонами катушек в пазах устанавливают прокладки из электрокартона толщиной 0,3 мм, согнутые в виде скобочки (рис. 8-5,а). Перед установкой прокладки сжимают нижние стороны катушек, надевают на них прокладку и затем осаживают провода на дно паза металлической оправкой (рис. 10-16), вводя ее в паз с торца

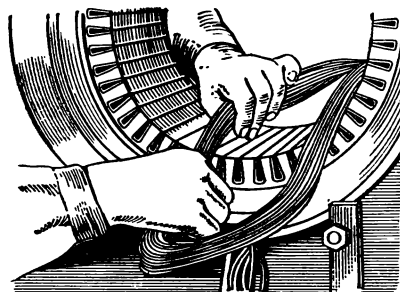


Рис. 10-15. Укладка в пазы всыпной обмотки.

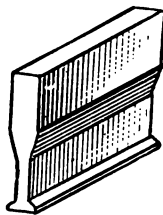


Рис. 10-16. Оп-
равка для ук-
ладки всыпной
обмотки.

статора. Прокладки делают изогнутыми, так как они более надежно отделяют друг от друга провода двух катушек. Такие же прокладки вкладывают между верхней стороной катушки и деревянным клином, удерживающим обмотку в пазах. После заполнения паза проводами внутренний слой пазовой изоляции, выступающий из прорези паза, срезают угло-

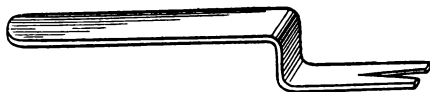


Рис. 10-17. Угловой нож

вым ножом (рис. 10-17). Перед забиванием клина необходимо загнуть оправкой края изоляционной прокладки.

В лобовых частях между группами катушек, принадлежащими к разным фазам, ставят прокладки из электрокартона, оклеенного латоканью.

При укладке обмотки статора машин малых размеров сильно затрудняют работу стороны катушек, которые остаются невложенными в пазы в процессе укладки первого шага (рис. 10-18,а). Рационализаторы-обмотчики предложили для таких машин другой порядок укладки катушек в пазы, схематически показанный на рис. 10-18,б. При этом способе первые катушки кладут в пазы сразу двумя сторонами и осаживают их на дно паза. После того как будет уложено число катушек, охватывающих шаг обмотки, следующие катушки будут укладываться одной стороной на дно

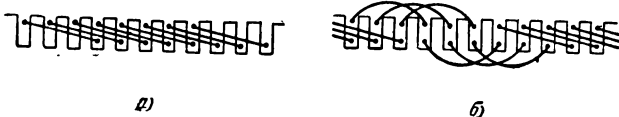


Рис. 10-18. Порядок укладки обмотки в пазы.

паза, а другой — в верхнюю часть его. Последние катушки будут обеими сторонами занимать верхние части паза [Л. 2].

10-8. МЕХАНИЗАЦИЯ ОБМОТОЧНЫХ РАБОТ

В процессе обмотки статоров появляются операции, требующие затраты значительных физических усилий. Так, например, поворачивать статор электродвигателя вручную очень трудно, а при поворотах краном уходит много времени на ожидание крана.

На рис. 10-19 показан поворотный стол для обмотки статоров средних размеров. Стол расположен на одном уровне с поверхностью верстака 8, в котором вырезаны круглые гнезда. Стол состоит из верхнего поворотного диска 1 и нижнего неподвижного 6, прикрепленного к верстаку болтами 5. В дисках проточены канавки, в которые уложены стальные шарики 4, обеспечивающие легкое вращение диска. Ось вращения 7 неподвижно укреплена на нижнем диске. В верхнем диске запрессована бронзовая втулка 2, в которой просверлено отверстие для смазки. Для фиксации положения верхнего диска служит защелка 3, которая входит в пазы верхнего диска. Поворотный стол значительно облегчает труд обмотчиков и повышает производительность труда. Кроме того, обмотку статора теперь делает один обмотчик, который, не сходя с места, поворачивает статор к себе то одной, то другой стороной. До изготовления поворотного стола обмотка статора производилась двумя обмотчиками.

Для обмотки статоров больших габаритов применяется приспособление для поворачивания статора вокруг горизонтальной оси (рис. 10-20). Перед установкой на приспособление с обеих сторон статора болтами 9 укрепляют кольца 10, центрирующиеся по заточке в станине планками 11. Затем статор устанавливают краном на ролики поворотного приспособления 3 и 7, на которые он опирается кольцами 10. Три ролика 3 гладкие, а ведущий ролик 7 имеет канавку, в которую входит борт кольца 10. Поворот статора в любую сторону осуществляется червячной передачей, состоящей из червячного винта 6 и шестерни 8 с помощью съемной рукоятки 1. Вращение червяка 6 передается на червячную шестерню 8 с роликом 7, в трапециевидную канавку которого входит кромка кольца 10. Основание приспособления 4 и стойки 5 выполнены сварными. Стойки прикреплены к основанию болтами 2, и расстояние между ними можно изменять посредством перестановки болтов в пазах. Благодаря внедрению поворотного приспособления на обмотке статоров крупных габаритов производительность труда обмотчиков повысилась почти в 2 раза.

В 1950 г. электропромышленность начала осваивать единую серию асинхронных двигателей в диапазоне мощностей 0,6—100 квт. Эта серия заменила девять разрозненных се-

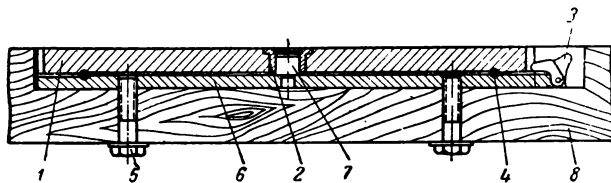


Рис. 10-19. Поворотный стол для обмотки статоров.

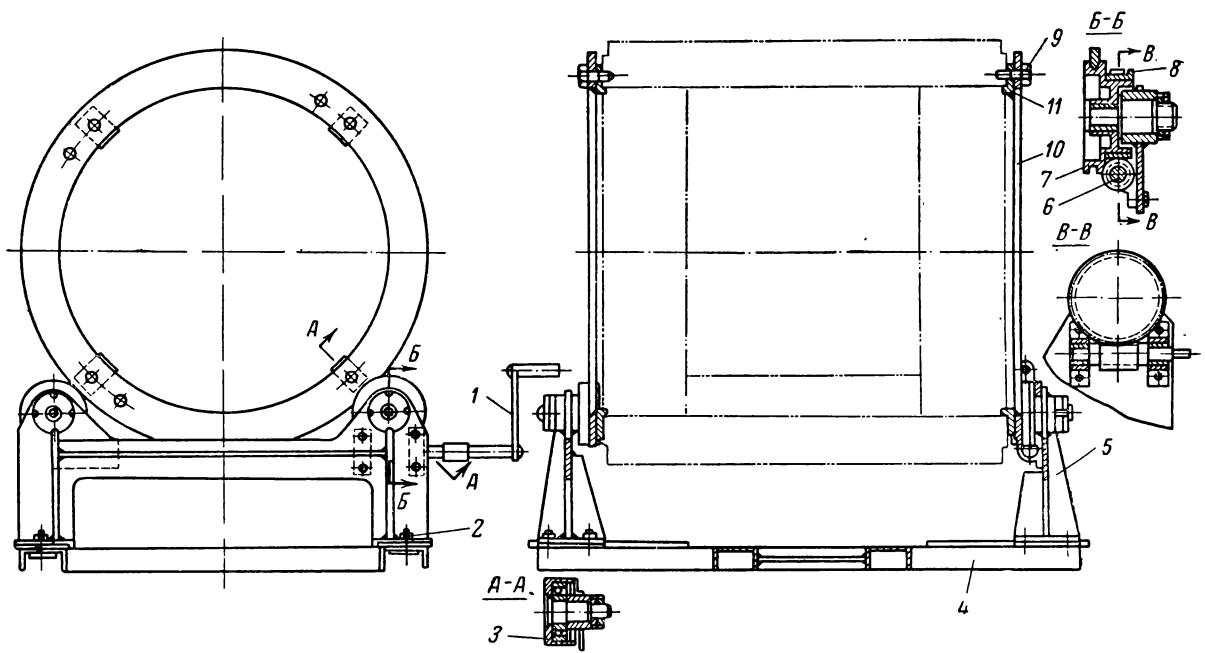


Рис. 10-20. Поворотное приспособление для статоров.

рий электродвигателей, причем число конструктивных разновидностей сократилось в несколько раз. Была проведена специализация заводов, и каждый завод начал выпускать не всю серию двигателей, как раньше, а только один или два соседних по мощностям габарита двигателей, что резко повысило количество выпускаемых на данном заводе двигателей одного типа.

В связи с этим потребовалось перестроить обмотку двигателей на поточную с применением конвейеров.

Для обмотки статоров применяются различные типы конвейеров как ленточного, так и роторного типов.

При введении конвейера процесс обмотки разделяют на отдельные части со специализацией обмотчиков на определенных операциях. Во всяком статоре первые катушки укладываются значительно легче и быстрее, чем следующие, у которых труднее укладывать лобовые части. Поэтому на разных рабочих местах укладывается разное число катушек. Например, процесс обмотки статора двигателей единой серии А-82 разделен на девять частей в соответствии с числом рабочих мест на конвейере. На первом рабочем месте обмотчики вкладывают в пазы 10 катушек, на следующих пяти рабочих местах по шесть катушек; затем на двух рабочих местах по четыре катушки. На последнем, девятом рабочем месте производятся укладка верхних сторон катушек первого шага, которые оставались невло-

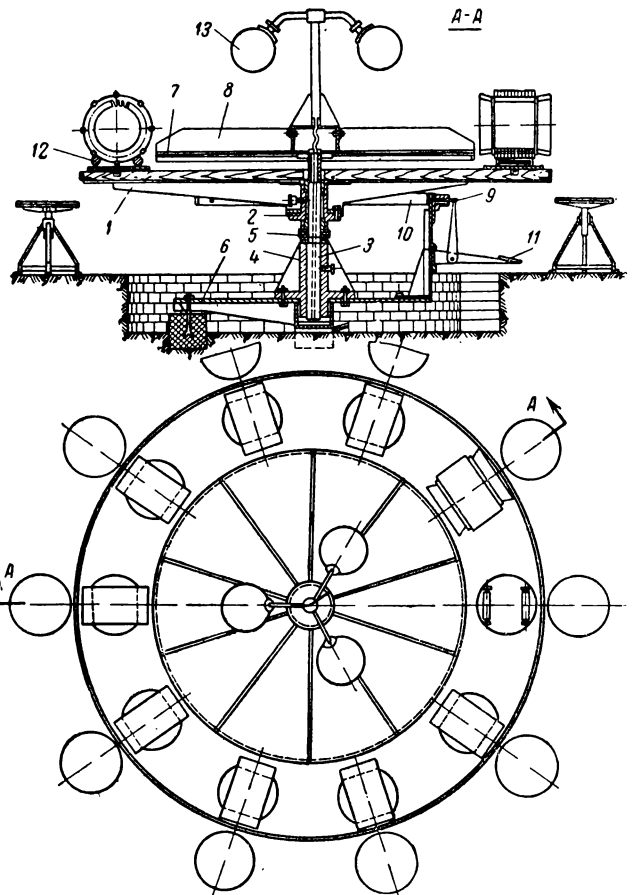


Рис. 10-21. Обмоточный конвейер карусельного типа.

женными в пазы, окончательная формовка лобовых частей и сдача статора контролеру. Каждая из девяти операций занимает примерно одно и то же время, что необходимо для установления ритма передвижения конвейера.

На рис. 10-21 показан конвейер карусельного типа для обмотки статоров. Сварной каркас 1 укреплен на чугунной втулке 2, которая свободно вращается вокруг неподвижной оси 3, закрепленной в опоре 4. Осевое давление воспринимает упорный шарикоподшипник 5. Опора 4 покоится на фундаментной крестовине 6. Круглая полка 7 разделена перегородками 8 на 10 секций по числу рабочих мест на конвейере и служит для укладки материалов и инструментов. Поворотный стол фиксируется защелкой 9, которая входит в отверстие обода 10, обшитого сверху деревянными досками. Поворот стола легко производится от руки при нажатии на педаль 11, освобождающую защелку.

Статор электродвигателя ставится на поворотное приспособление 12 в виде роликов. Провода местного освещения проложены в отверстие оси и подведены к трем шаровым светильникам 13. Диаметр стола при 10 рабочих местах составляет 3 м. Одно рабочее место является загрузочным. На него подаются статоры, подготовленные к обмотке, с вложенными в пазы гильзами.

10-9. ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКИЕ ОБМОТОЧНЫЕ СТАНКИ ДЛЯ СТАТОРОВ

Машины переменного тока малой мощности являются самыми массовыми объектами в электропромышленности. Поэтому автоматизация такого процесса, как укладка обмоток в пазы статора, является очень актуальной. Но эта операция представляет большую сложность для механизации и автоматизации. Это объясняется тем, что пазы расположены на внутренней окружности статора и поэтому нельзя для обмотки применить простое вращательное движение статора, как это имеет место в полуавтоматических станках для обмотки роторов (рис. 9-8).

Все известные принципы построения статорообмоточных станков можно разделить условно на четыре группы.

В станках I группы обмотка укладывается челноком, совершающим движения, воспроиз-

водящие форму витка, которая должна образоваться внутри статора. Продольные движения образуют пазовые части обмотки, а касательные — лобовые. Станки работают при неподвижном статоре.

II группа — это станки, в которых витки обмотки образуются за счет продольных движений челнока и чередующихся с ними касательных движений статора. Челнок только укладывает провод в пазы, а за счет движений пакета статора образуются лобовые части.

В III группе станков обмотки укладываются в статор по одному витку по шаблонам, неподвижно укрепленным относительно статора.

К IV группе относятся станки для отдельной намотки катушек вне статора с последующей укладкой их в пазы. Как и при ручной укладке, сначала на шаблон наматывается катушка, а затем особым рабочим органом станка эта катушка вдвигается в пазы.

Первым трем группам станков свойственны некоторые общие недостатки. Это прежде всего сложность движений, необходимых для образования витков внутри статора. В очень небольшом и тесном пространстве внутри статора приходится образовывать виток и укладывать его в пазы и по лобовым частям обмоток. Это предопределяет сложность конструкции станка, трудность наладки и обслуживания, а часто и нестабильность работы.

Кроме того, тяжелые массивные рабочие органы, которые совершают возвратно-поступательные движения, своей инерцией замедляет работу станков, что влияет на производительность. Эти инерционные усилия не могут быть погашены при больших скоростях, которые следовало бы задать рабочим органам станка.

На рис. 10-22 показано устройство обмоточного станка второй группы. Статор вставляют в патрон 2, вращающийся в двух стойках 1. Внутри патрона движется штанга 3 челнока 7. Провод сматывается с катушки 4. Механизм станка приводится в движение от вращающегося распределительного барабана с помощью рычагов 5, 6 и 8. Цикл работы состоит из восьми движений, во время которых наматывается один виток обмотки [Л. 2].

После закрепления конца проводника механизм станка производит следующие движения: 1) челнок движется вдоль статора при помощи рычага 5; 2) он перемещается радиально рычагами 8, вводя проводник в паз; 3) статор поворачивается на угол, соответствующий шагу обмотки, при помощи рычага 6; 4) челнок выходит из пазы; 5) движется вдоль статора в обратном направлении; 6) перемещается радиально, вводя проводник в паз; 7) статор поворачивается в обратную сторону; 8) челнок поднимается в исходное положение.

Рис. 10-22 приведен лишь для пояснения принципа работы станков челночного типа. Конструкция его является примитивной и не соответствует современным приводам.

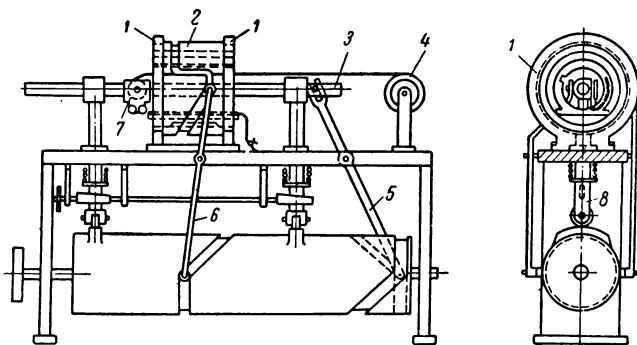


Рис. 10-22. Схема обмоточного станка челночного типа

На рис. 10-23 показан обмоточный станок третьей группы швейцарской фирмы «Микафил». Такие станки работают на ХЭЛЗ на обмотке статоров электродвигателей для холодильников.

Технологический процесс работы на станке состоит в следующем:

1) статор 1 вставляют в планшайбу 2 и закрепляют кулачками;

2) ставят шаблон 4, зажимая крючками 6 и рукояткой 5;

3) вставляют манжету 3 и соединяют со статором; 4) от укладчика подводят провод в паз статора и закрепляют на диске, надевая на него чулочек;

5) нажимают педаль для включения фрикциона и начинают автоматическую намотку вокруг колодки; 6) отжимают рукоятку, вынимают вставную часть шаблона — колодки, придерживающую катушку;

7) в паз вставляют межслойную прокладку;

8) отжимают боковой рычаг и поворачивают диск; 9) переходной виток закладывают в следующий паз, вкладывая в него прокладку;

10) снова ставят шаблон, регулируют щели для прохода в пазы провода и наматывают вторую катушку.

Намотка катушки происходит в результате согласованного действия обмоточной руки и подхватывающих крючков слева и справа.

В конце хода вперед обмоточная рука быстро поворачивается на угол между пазами, в которые вкладывается катушка. В начале этого движения передний крюк, двигаясь справа налево, подхватывает обмоточный провод, образуется петля, которая располагается немного ниже козырька шаблона.

Затем обмоточная рука идет назад вдоль правого паза, стаскивая провод с переднего крюка и втягивая провод под козырек шаблона, за счет чего образуется лобовая часть витка (передняя).

Укладка задней лобовой части происходит аналогично, только с помощью заднего подхватывающего крюка.

Станки IV группы позволяют получить высокую производительность за счет того, что в них скорости рабочих органов не играют такой роли, как в станках первых трех групп. Намотка секций производится по существу тот процесс, который имеется на обычных намоточных станках: простым вращательным движением на шаблон укладывается катушка. Затем шаблон выводится из катушки и она каким-либо рабочим органом вкладывается в пазы статора. Это движение вкладывания совершается с весьма малой линейной скоростью, потому что все витки данной катушки укладываются по существу одновременно и время укладки не определяет производительность станка, которая лимитируется операцией намотки.

Как правило, станки IV группы могут быть только узкоспециализированными. Универсальный станок такого типа практически получить невозможно. Дело в том, что размеры шаблонов, на которые укладываются катушки и самого рабочего органа, который вводит катушку в пазы статора, определяются разме-

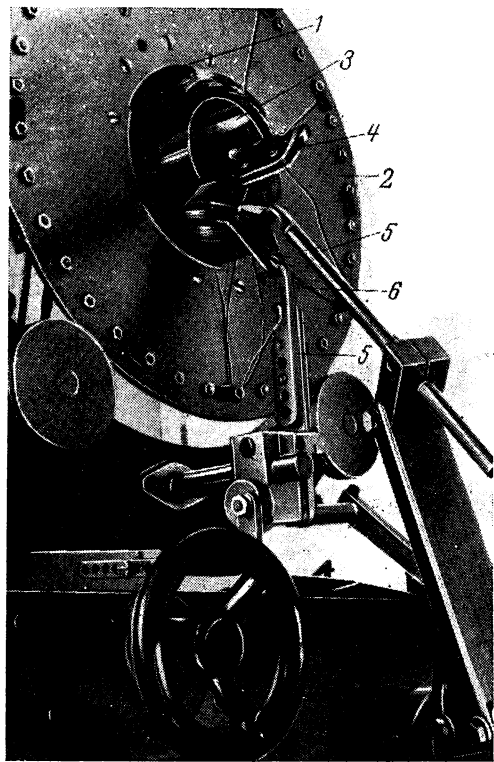


Рис. 10-23. Обмоточный станок для статоров ST-1 фирмы «Микафил».

рами статора и обмотки. Число витков и их средняя длина определяет форму и размеры шаблона, а внутренняя расточка статора — размеры укладываемого рабочего органа, форма которого зависит также и от шага катушки укладываемой обмотки. Таким образом, станок должен быть приспособлен к конкретному типу двигателей с определенными размерами статора и обмотки.

Правда есть возможность переналадки станка на другие типы статоров того же диаметра. Легко изменять также количество укладываемых витков катушки и диаметр провода. Однако габариты статоров, определяющие их диаметральные размеры, должны оставаться неизменными, иначе пришлось бы заменять рабочие части станка, что нерационально.

Следует отметить, что выпуск двигателей единой серии одного исполнения настолько велик, что создание для них узкоспециализированных станков целиком оправдывается. Применение в любом серийном заводе нескольких типоразмеров станков различных исполнений оказывается вполне целесообразным.

Результаты работ, проведенных ВНИИЭМ за период 1951—1959 гг. по проверке различных принципов построения станков для уклад-

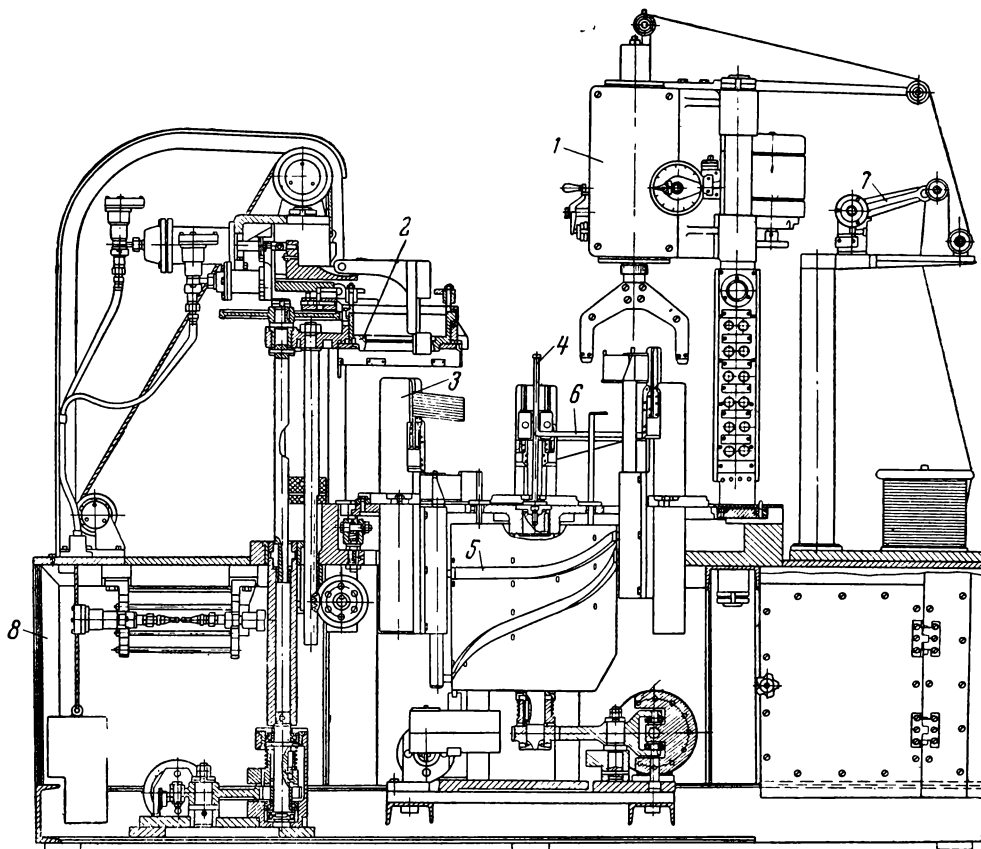


Рис. 10-24. Обмоточный станок ОС-627-31.

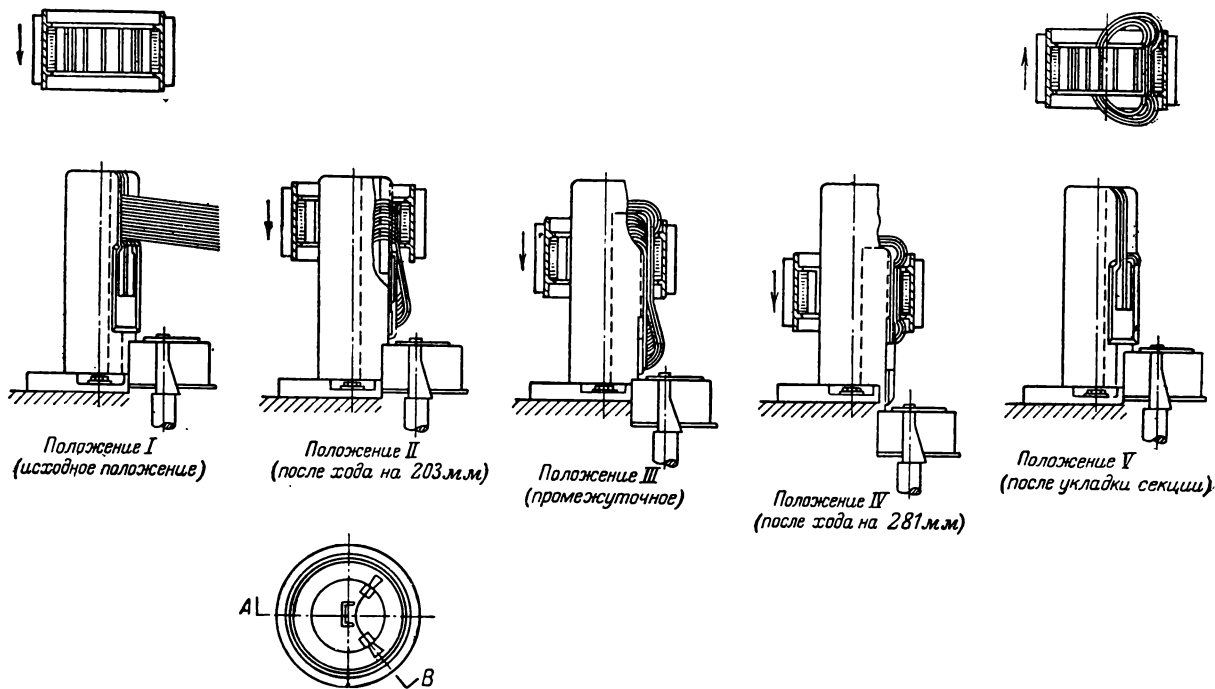


Рис. 10-25. Схема укладки катушки.

ки мягких статорных обмоток показали, что наиболее рациональным для статоров мелких и средних машин (до 5-го габарита единой серии) следует признать признак раздельной намотки рядовых катушек и последующей их укладки в аксиальном направлении в пазы.

На рис. 10-24 показан обмоточный станок типа ОС-627-31 НИИЭлектромеханики, предназначенный для обмотки статоров электродвигателей единой серии 3-го габарита. Расчетная производительность станка 120 статоров в смену при 3 мин чистого технологического времени на один статор [Л. 10-4].

Станок ОС-627-31 представляет собой четырехпозиционный карусельный полуавтомат револьверного типа с электропневматическим управлением. Основными узлами станка являются: сматывающее приспособление 7, намоточная головка 1, поворотный стол 5, оправки 3 и 4, механизм межкатушечной петли 6, статорная головка 2 и станина 8.

Главные рабочие узлы станка — намоточная и статорная головки. Связующим звеном служат оправки, вертикально укрепленные на круглом поворотном столе. Они предназначены для передачи намотанных рядовых катушек от намоточной головки к статорной и для введения их вместе с прокладками в пазы статора. Взаимодействие узлов и заданная последовательность их работы обеспечиваются электропневматической схемой управления.

В цикл образования на станке катушки концентрической обмотки входят следующие основные операции:

- 1) намотка вращающимся мотовилом на неподвижный шаблон рядовой многослойной катушки;
- 2) поворот стола на 90° , вытягивание межкатушечной петли провода, закрепление внутренней головки катушки на оправке;
- 3) поворот стола в следующую позицию на 90° и удаление из катушки, защемленной на оправке, намоточного шаблона;
- 4) укладка катушки в пазы статора путем надвигания на оправку с катушкой статора в аксиальном направлении; закрытие пазов крышками; съем катушки с оправки.

В основу станка положен следующий принцип действия: вращающимся мотовилом на шаблон наматывается рядовая катушка, одна из лобовых частей которой защемляется в оправке. Шаблон удаляется из катушки, и на оправку с защемленной катушкой начинает надвигаться вдоль оси статор (рис. 10-25). В этом положении ось оправки совпадает с осью статора (поло-

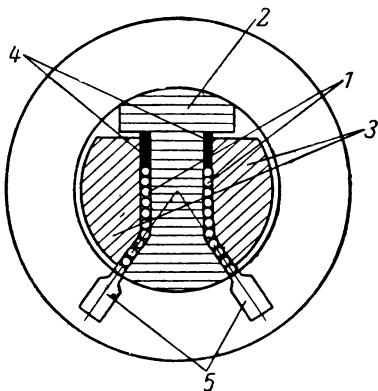
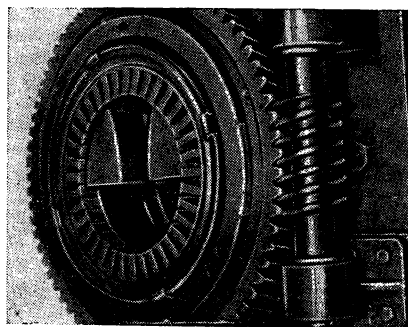
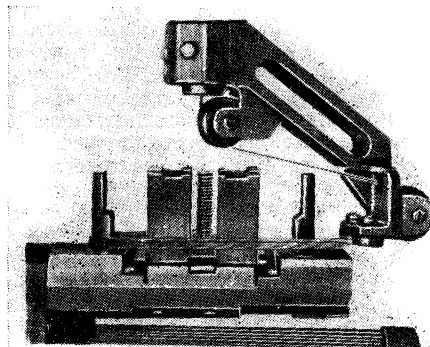


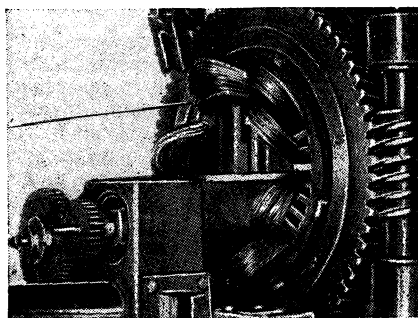
Рис. 10-26. Схема обмоточного станка завода „Вольта“.



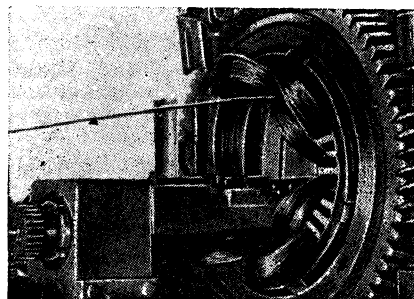
а)



б)



в)



г)

Рис. 10-27. Операции обмотки статора на станке.

жение I), причем проводники катушки выходят из щели оправки в точках, расположенных против прорезей тех пазов статора, в которые будет уложена катушка. При опускании статора оправка входит в его отверстие, а боковые стороны катушки постепенно деформируются и вдвигаются в пазы (положение II), так как толщина катушки в местах выхода из оправки меньше ширины прорези паза.

При дальнейшем опускании статора начинает опускаться и ползун оправки (положение III). Щель оправки открывается, и верхние лобовые части витков катушки постепенно сбрасываются с головки ползуна. Этому способствуют выталкиватели, которые удерживают внутренние витки, не позволяя им опускаться вслед за статором и ползуном. При этом имеет место некоторое взаимное проскальзывание проводников катушки.

В самом нижнем положении все витки оказываются уложенными в пазы статора, а лобовые части сгруппированными в пучки овального сечения (положение IV). Одновременно с катушкой в пазы вдвигаются картонные крышки, предохраняющие витки обмотки от выпадения из пазов. Затем статор с вложенной катушкой поднимается в верхнее положение, катушка снимается с оправки и уходит со статором (положение V). После возврата статора в верхнее положение лобовые части уложенной катушки отжимаются от центра к периферии. Этот цикл на каждом статоре повторяется столько раз, сколько катушек образуют обмотку. Катушки с различным шагом вкладывают через одну: вначале внутреннюю малую, а затем охватывающую ее большую катушку. После укладки каждой группы катушек статор поворачивается на 120° .

На заводе «Вольта» проводят работы по созданию станка для укладки однослойной равнокатушечной обмотки статора электродвигателей единой серии 5-го габарита [Л. 10-5].

Катушка 1 (рис. 10-26) наматывается на специальный подвижной шаблон 2 в один ряд. Шаблон с намотанной катушкой вводится в расточку статора, образуя с неподвижным шаблоном 3 щель, ширина которой на 0,2 мм больше диаметра изолированного провода. Всыпающие планки 4 приводятся в движение и последовательно выталкивают проводники из щели шаблона в пазы 5, возвращаясь затем в исходное положение.

На рис. 10-27 показаны отдельные операции процесса намотки и укладки в пазы катушки статора.

Статор с вложенными в пазы пильзами вставляют в оправку с эксцентриковыми зажимами и устанавливают в поворотное устройство станка, которое поворачивает статор на заданный угол после укладки катушки в пазы (рис. 10-27,а). Витки катушки наматываются на шаблон в один ряд вне статора вращающимся моторилом (рис. 10-27,б). После намотки катушки шаблон вдвигается в расточку статора (рис. 10-27,в), где помещается неподвижный шаблон и происходит укладка катушки в пазы. Отгибка лобовых частей обмотки с обеих сторон статора производится специальными формовщиками (рис. 10-27,г).

По окончании формовки шаблон и всыпающие планки возвращаются в исходное положение, статор поворачивается на угол, соответствующий схеме обмотки.

Весь цикл укладки одной катушки на макетном образце обмоточного станка занимает 1 мин.

10-10. СХЕМЫ СТАТОРНЫХ ОБМОТОК

После укладки катушек в пазы статора приступают к соединению выводных концов катушечных групп по схеме.

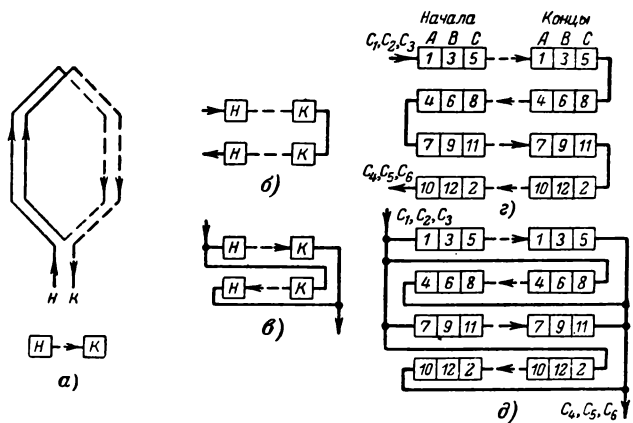


рис. 10-28. Табличная схема обмотки статора.

При изучении обмоток трехфазного тока обычно пользуются развернутыми схемами. Но для практического пользования они неудобны. Поэтому в производстве пользуются упрощенными практическими схемами. Существуют два вида практических схем: табличные схемы с изображением катушечной группы в виде двух квадратиков, из которых один является началом катушечной группы, а другой концом, и торцовые схемы с изображением катушечной группы в виде дуги.

На рис. 10-28 показана практическая схема первого вида для четырехполюсной машины [Л. 7].

Построение табличных схем основано на следующем принципе. При выполнении соединений между катушечными группами обмотчик имеет дело только с началами и концами этих групп и совершенно не обязан знать, каким шагом были намотаны катушки и сколько катушек содержит катушечная группа. Основным элементом при выполнении соединений является катушечная группа, точнее, ее начало и конец. На основании этого можно прежде всего упростить схему катушечной группы, заменив ее двумя квадратиками (рис. 10-28,а), из которых один будет обозначать начало, а другой — конец катушечной группы. Соединительная линия между ними и будет условно изображать электрическую цепь катушечной группы с обозначением стрелкой направления тока. На рис. 10-28,б показано последовательное, а на рис. 10-28,в параллельное соединение катушечных групп. При этом направление тока в катушечных группах остается неизменным.

Приняв такие условные обозначения, можно перейти к схеме обмотки статора машины трехфазного тока. При укладке катушечных групп они размещаются в пазы подряд. При соединении же их надо отделить катушечные

группы фаз *A*, *B* и *C*. Если мы посмотрим на любую развернутую схему обмотки до выполнения соединений, то увидим, что начала и концы катушечных групп правильно чередуются.

Если какую-нибудь произвольно выбранную группу мы отнесем к фазе *A*, то следующая катушечная группа в этой фазе будет иметь № 4, следующая за ней — № 7 и т. д.

Таким образом, одну фазу можно изобразить двумя столбиками из квадратиков с № 1, 4, 7, 10 и т. д. Теперь надо найти номер первой катушки фазы *B*. Она должна быть сдвинута на 120 эл. град. от начала фазы *A*. Это соответствует расстоянию, занятому двумя катушечными группами, поэтому разность номеров катушечных групп между началами фаз будет всегда 2. В любой схеме катушечная группа 2 представляет собой конец фазы *C*. Чтобы изобразить трехфазную обмотку, расположим три столбика квадратиков, обозначающих начала фаз рядом, хотя они и не соединяются электрически. Аналогично расположены столбики концов фаз. Такая схема будет универсальной для всякой трехфазной обмотки независимо от шага обмотки и числа пазов на полюс и фазу. Число полюсов на такой схеме обозначается числом квадратиков в вертикальном столбике.

Теперь осталось обозначить способы соединения катушечных групп в фазах. На рис. 10-28, *г* показано последовательное соединение групп, а на рис. 10-28, *д* — параллельное в четырехполюсной обмотке.

На основании такой схемы очень просто можно выполнить соединение катушечных групп. При последовательном соединении катушечных групп отгибают выводы фазы *A*, идущие от катушечных групп 1, 4, 7, 10 и т. д. Начало первой катушечной группы пойдет на дощечку зажимов и будет обозначено *C1*. Затем согласно правилу соединений в двухслойных обмотках будут соединены выводы катушечных групп: начало 4 с началом 7, конец 7 с концом 10. Если машина четырехполюсная, то начало 10 пойдет на дощечку зажимов и будет обозначено *C4*. Соединения в фазах *B* и *C* будут выполняться совершенно аналогично.

При параллельном соединении катушечных групп в фазе *A* надо присоединить к одному выводу начала катушечных групп 1 и 7 и концы 4 и 10, ко второму выводу — концы 1 и 7 и начала 4 и 10. Как видно, направление токов в катушечных группах, а следовательно, и полярность катушечных групп при параллельном соединении сохраняются теми же, что и после последовательном соединении.

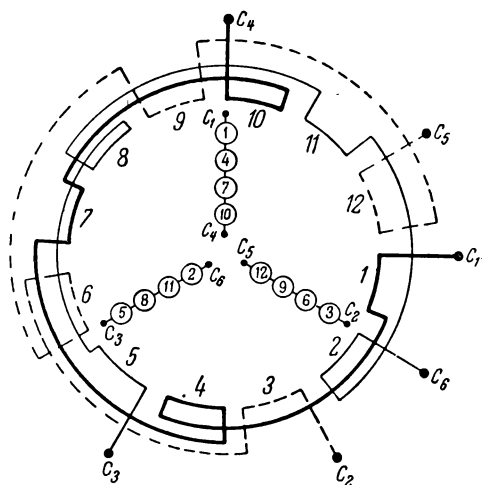


Рис. 10-29. Практическая схема обмотки статора.

Аналогично можно составить схемы обмоток с другим числом полюсов и различными схемами соединения катушек [Л. 7].

На рис. 10-29 показан другой вид практической схемы обмотки. На ней катушечные группы изображены дугами, которые пронумерованы по окружности статора [Л. 8].

Для наглядности схемы фазы обмотки изображены различными линиями. Такими же линиями обозначены соединения между катушечными группами, причем видно, где соединяются начала и концы групп для получения различной полярности. В центре схемы условно изображены кружочками последовательно соединенные катушечные группы в каждой фазе.

Такие практические схемы имеют широкое распространение на электромашиностроительных заводах.

10-11. ОБМОТКИ СТАТОРА ПРИ ПОЛУОТКРЫТЫХ ПАЗАХ

При мощности свыше 100 кВт ток статора не позволяет применять круглый провод для статорных катушек и поэтому переходят на катушки из прямоугольного провода. Для этого необходима форма паз с параллельными стенками. Такими пазами могут быть открытый и полуоткрытый. В машинах мощностью до 400 кВт при напряжениях до 500 в применяют полуоткрытый паз, так как он по сравнению с открытым имеет меньшую почти в 2 раза ширину прорези, что позволяет снизить намагничивающий ток и повысить cos φ двигателя.

На рис. 10-30 показан порядок заполнения полуоткрытого пазы. В каждом слое помещаются две катушки, откуда общее число

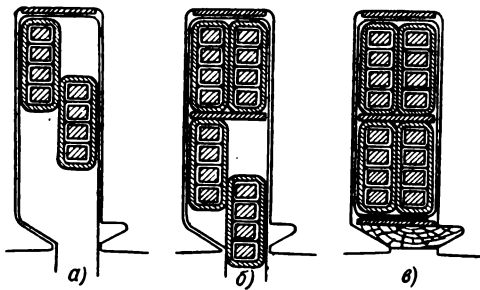


Рис. 10-30. Порядок укладки катушек в полуоткрытые пазы.

катушек равно $2z$. При большом сечении провода намотка нескольких катушек непрерывным проводом затруднительна, поэтому предпочитают наматывать катушки раздельно, что является одним из недостатков обмоток в полуоткрытых пазах, так как число выводов достигает $4z$ и соединение схемы становится сложным и трудоемким. Усложняется и процесс укладки катушек в пазы по сравнению с обмотками в открытых пазах. Тем не менее полуоткрытая форма паза применяется в указанном диапазоне мощностей для повышения $\cos \phi$ и снижения пульсационных потерь.

Следует отметить, что вследствие несимметричной формы паза расположение выводных концов катушек не может быть произвольным. Они будут расположены или с одной, или с другой стороны статора в зависимости от того, какой стороной кладут листы. Поэтому при сборке сердечника на чертеже необмотанного статора должен быть указан порядок укладки листов.

10-12. КАТУШЕЧНЫЕ ОБМОТКИ ПРИ ОТКРЫТЫХ ПАЗАХ СТАТОРА

Машины мощностью больше 400 кВт и все машины напряжением выше 500 в выполняются с открытыми пазами, в которые вкладываются изолированные и компаундированные катушки. На рис. 10-31 показаны варианты порядка намотки катушек. Проводники в пазу могут располагаться в один или два ряда.

Наиболее простыми являются способы намотки, показанные на рис. 10-31, а и б. Однако при намотке по схеме б получается большое напряжение между выводными концами обмотки. Для снижения напряжения применяют намотку по схеме в. Такая намотка представляет большие трудности. Как видно на схеме, в каждом ряду надо делать переходы вначале справа налево, а затем слева направо. Проводник приходится все время переключать из одного ряда в другой. Переходы

делают в лобовой части или в гололке катушки. Места переходов следует сдвигать по длине лобовой части во избежание чрезмерного утолщения катушки в одном месте. Переходы дополнительно изолируют.

При намотке по схеме г вначале наматывают один вертикальный ряд, а затем при обратном направлении вращения станка — второй. Переход делают в головке катушки. Иногда ряды наматывают отдельно и в местах соединения проводники спаивают.

Прогрессивным направлением является замена волокнистой изоляции проводников эмалевой изоляцией. Подобная замена стала возможна после освоения кабельными заводами провода ПЭВП прямоугольного сечения с изоляцией эмалью винифлекс [Л. 10-3].

На заводе имени Владимира Ильича была проведена работа по замене проводов марок ПБД и ППТБО в статорных обмотках проводом марки ПЭВП. Применение этого провода позволяет сократить пазы низковольтных машин на 0,7 мм по ширине и 5—7 мм по высоте, а высоковольтных на 0,5 мм по ширине и 4—9 мм по высоте, что снижает их вес на 5—7%. Кроме того, экономится дефицитная хлопчатобумажная пряжа.

Для склеивания витков пазовые части катушки были обернуты широкими полосами бакелизированной бумаги. Промазка лаками оказалась ненужной, так как лак не затекает между плотно лежащими витками эмалированных проводов. При растяжке лодочек изоляция эмалированных проводов не повреждалась, а сами провода при испытаниях на влагостойкость показали лучшие результаты, чем провода ПБД.

Были построены высоковольтные машины с обмотками из проводов марок ПЭВП и ПЭТВП эмалированных лаком 124. Витки катушек этих обмоток дополнительно обматывали синтолентой. Испытания машин с ка-

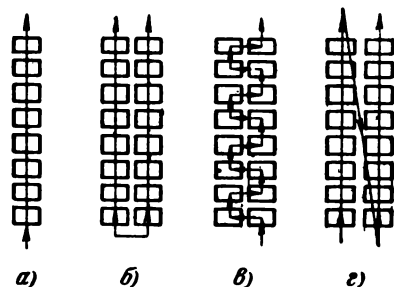


Рис. 10-31. Катушечные обмотки статора в открытых пазах.

тушками, намотанными из эмалированных проводов, дали хорошие результаты и подтвердили целесообразность замены в высоковольтных машинах проводов марки ПБД проводами марок ПЭВП и ПЭТВП.

10-13. РАСЧЕТ НАМОТОЧНЫХ ШАБЛОНОВ ДЛЯ СТАТОРНЫХ КАТУШЕК

Расчет периметра намоточного шаблона для жестких катушек статорной обмотки производится следующим образом. [Л. 7] (рис. 10-32).

Длина прямой части катушки

$$l + 2c, \quad (10-2)$$

где l — ширина сердечника статора;
 c — бурт по табл. 10-1.

Таблица 10-1

Размеры статорных катушек, мм

Напряжение машины, в	c	Зазор e при высоте катушки		r_0
		до 50 мм	свыше 50 мм	
До 500	20—25	4,5	4,5	6
3 000	35—40	4,5	4,5	12
6 000	50—55	4,5	6,5	15

Расстояние между пазовыми частями

$$A_1 + A_2 = \frac{\pi(R_1 + R_2)}{z} y_z. \quad (10-3)$$

Зазор e между лобовыми частями выбирается по табл. 10-1, после чего находим угол наклона лобовых частей:

$$\sin \alpha = \frac{b + e}{t}, \quad (10-4)$$

где

$$t = \frac{2\pi R_1}{z}. \quad (10-5)$$

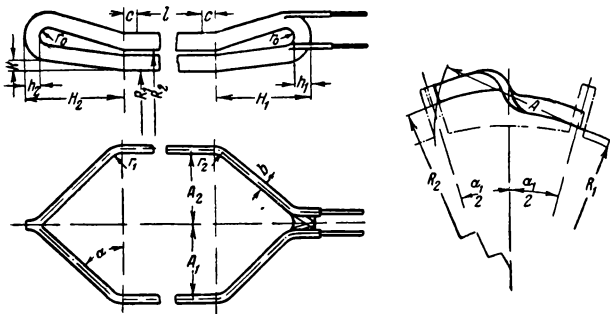


Рис. 10-32. К расчету намоточного шаблона.

Вылеты лобовых частей

$$H_1 = \left[r_2 \left(\frac{1}{\sin \alpha} - 1 \right) + \frac{A_1 + A_2}{2} \right] \operatorname{tg} \alpha + h_1; \quad (10-5)$$

$$H_2 = \left[r_2 \left(\frac{1}{\sin \alpha} - 1 \right) + \frac{A_1 + A_2}{2} \right] \operatorname{tg} \alpha + h_2, \quad (10-7)$$

$$r_2 = r_1 + \frac{b}{2}, \quad (10-8)$$

где r_1 — радиус закругления по меди выбирают для катушек без изоляции из микаленты 25 мм и с изоляцией 50 мм.

Внутренний радиус головки r_0 выбирают по табл. 10-1.

Отгиб лобовой части делается на угол $\beta = 6 - 8^\circ$.

$$K = (H_2 - h_2 - r_0) \operatorname{tg} \beta. \quad (10-9)$$

На рис. 10-32 показан размер A , по которому устанавливается станок для растяжки катушек:

$$A = \sqrt{R_1^2 + R_2^2 + 2R_1R_2 \cos(\alpha_1 - 2\gamma)}, \quad (10-10)$$

где

$$\alpha_1 = \frac{360^\circ}{z} y_z; \quad (10-11)$$

$$\sin \gamma = \frac{b_0}{2R_1}; \quad (10-12)$$

b_0 — толщина катушки без изоляции.

10-14. РАСТЯЖКА КАТУШЕК

Жесткие многovitковые катушки статора наматывают на плоские шаблоны, в то время как для укладки в пазы им должна быть придана выгнутая форма, соответствующая сектору статора, охватываемому катушкой.

В результате растяжки заготовка катушки («лодочка») должна принять такую форму, чтобы оси сечений обеих сторон катушки лежали на двух радиальных линиях с центральным углом α_1 между ними, равным угловому шагу катушки (рис. 10-32). Радиальные линии должны пересекаться в точке, которая является центром статора. Средним радиусом катушки является расстояние от центра статора до средней точки между верхней и нижней сторонами катушки. Расстояние между сторонами катушки равно сумме толщин корпусной изоляции катушки и прокладки между катушками в пазу. Нижняя точка головки катушки обычно бывает приподнята над радиусом расточки статора на величину K [Л. 6].

Кинематическая схема одного из типов растяжных станков показана на рис. 10-33. Пазовые части катушки зажимаются в обоймах 1 и 2 специальными зажимами. Обойма 2 нижней стороны катушки в процессе растяжки остается неподвижной, а обойма 1 верхней стороны катушки отклоняется рычагом 3 на угол α_1 . Для настройки станка на растяжку катушек разных типов расстояние a может изменяться в горизонтальном направлении, а обойма 1 передвигаться по высоте. Расстояние K между сторонами плоской заготовки катушки определяется шириной намоточного шаблона.

Головки катушки также зажимаются в специальные не показанные на рисунке кулачки, которые могут перемещаться в горизонтальном направлении и возвращаются обратно посредством пружин.

Для настройки станка необходимо рассчитать размеры H и a , связанные следующими соотношениями:

$$H + K = C + R_{cp}; \quad (10-13)$$

$$R_{cp} = C + H. \quad (10-14)$$

Решая совместно эти уравнения, находим:

$$H + K = 2C + H, \quad (10-15)$$

откуда $C = \frac{K}{2}$,

$$H = R_{cp} - \frac{K}{2}; \quad (10-16)$$

$$a = C \operatorname{ctg} \frac{\alpha_1}{2} = \frac{K}{2} \operatorname{ctg} \frac{\alpha_1}{2}. \quad (10-17)$$

Для растяжки катушек применяются станки с пневматическими цилиндрами. Пневматический привод надежен и прост в изготовлении и всегда обеспечен сжатым воздухом,

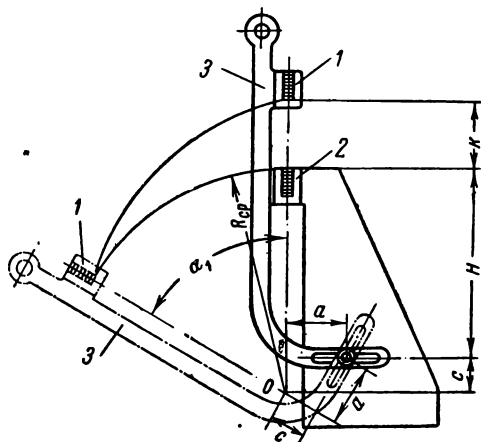


Рис. 10-33. Кинематическая схема растяжного станка.

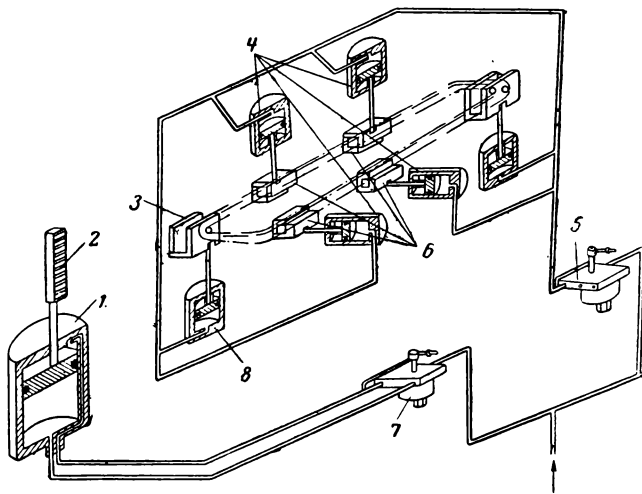


Рис. 10-34. Схема растяжного станка с пневматическим приводом.

который необходим в обмоточных цехах. Большие размеры рабочих цилиндров при низком давлении в заводских сетях окупаются простотой изготовления, что особенно важно потому, что эти станки не производятся в централизованном порядке и изготавливаются каждым заводом для собственных нужд.

На рис. 10-34 показана схема растяжного станка завода имени Владимира Ильича [Л. 17].

Пазовые части статорной катушки зажимаются в планках 6, приводимых в действие пневматическими цилиндрами 4. В головки катушки продевают шпильки и зажимают их в головных кулачках 3, приводимых в действие пневматическими цилиндрами 8. Механизм растяжки состоит из двусторонней рейки 2, соединенной с поршнем пневматического цилиндра 1. При поступательном движении рейки сцепленные с ней зубчатые секторы поворачивают в противоположные стороны рычаги, на которых зажаты пазовые части катушек. Станок управляется двумя пневматическими кранами 5 и 7 двойного действия.

10-15. ПРЕССОВКА И РИХТОВКА КАТУШЕК

В процессе растяжки катушки не получают точных размеров, необходимых для укладки в пазы, так как катушки обладают значительной упругостью, а лобовые части в процессе растяжки ничем не формируются. Пазовые части катушки вследствие разбухания изоляции и неплотностей между витками не имеют точных размеров, соответствующих размерам паза. Ввиду этого у жестких катушек прессуют пазовые и рихтуют лобовые части.

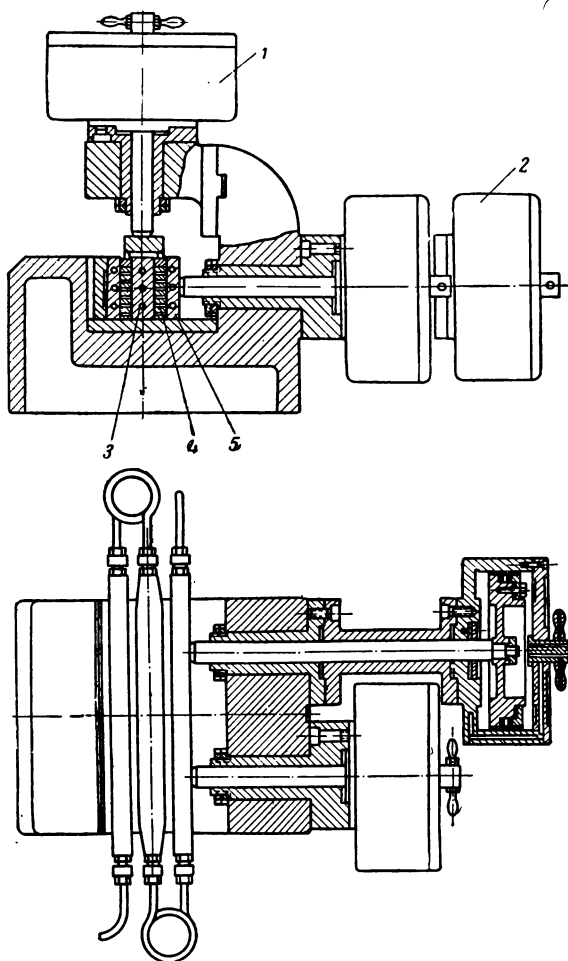


Рис. 10-35. Прессовка пазовых частей катушки.

После прессовки пазовые части катушек должны быть жесткими, между проводниками не должны образовываться воздушные промежутки при хранении катушек. Для этого проводники катушки перед прессовкой смазывают клеем. В качестве склеивающего вещества применяются изоляционные материалы, пропитанные лаками, имеющими свойство полимеризоваться (бакелитовый, глифталевый). Процесс прессовки пазовых частей заключается в том, что катушку подвергают нагреву при давлении и последующему охлаждению, не снимая давления. При нагреве связующие вещества размягчаются и заполняют поры изоляции, а при охлаждении затвердевают и скрепляют проводники катушки.

На рис. 10-35 показан пресс для пазовых частей с пневматическим приводом, состоящим из верхнего 1 и двух боковых цилиндров 2. Заготовки-лодочки, снятые с намоточного шаблона, проходят прессовку в этом прессе. Внутри катушки вставляется средний стержень 3, а снаружи два боковых 5. Для нормализации

размеров стержней намоточные шаблоны выполняются с одинаковой шириной сердечника. Закладываемые в пресс катушки разделяются стальными прокладками 4. В качестве теплоносителя применяется водяной пар, а для охлаждения вода. Время выдержки катушек под прессом зависит от размеров катушки и толщины изоляции [Л. 6].

Однако для укладки в пазы недостаточно иметь точные размеры пазовых частей катушки. Необходимо еще, чтобы они лежали на сторонах угла, образующего шаг катушки. При растяжке пазовым частям придается только приблизительно правильное угловое положение. Окончательная формовка катушки производится в рихтовочном приспособлении.

На рис. 10-36 показано такое приспособление с применением пневматического зажима пазовых частей. После зажима пазовых частей правят лобовые части по размерам приспособления, обколачивая их молотком через фибровую прокладку. Детали рихтовочного приспособления изготавливаются из алюминиевых сплавов.

Из-за наличия в производстве сравнительно большой номенклатуры типоразмеров электродвигателей приходится для катушек каждого из них иметь свой макет. Даже в том случае, когда тип электродвигателя остается без изменений и построение лобовых частей одно и то же, макеты должны быть разные вследствие разных длин статоров, а следовательно, и разных длин самих обмоток.

Для сокращения числа рихтовочных макетов предложена конструкция раздвижного макета (рис. 10-37). Он состоит из плиты 1 с вмонтированными в нее четырьмя призматическими шпонками 2. На плите с направлением по шпонкам установлены две алюминиевые колдки: левая 3 и правая 4, выполняющие роль собственно макета и соответствующие конфигурации кату-

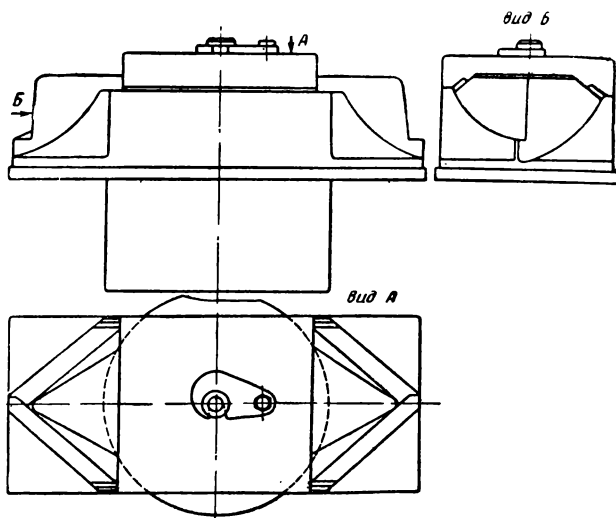


Рис. 10-36. Приспособление для рихтовки катушек.

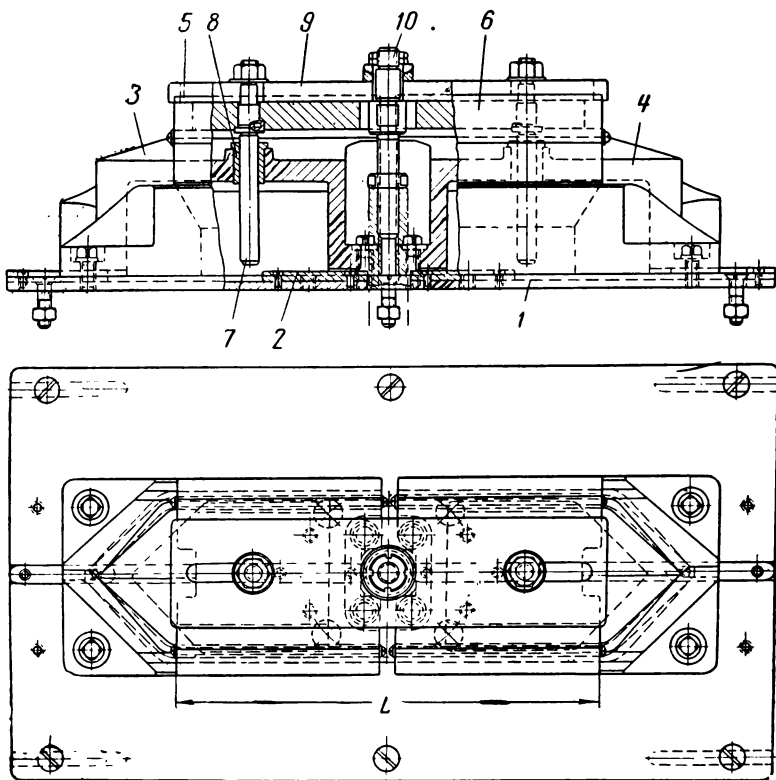


Рис. 10-37. Раздвижной макет для рихтовки катушек

шек. Колодки накрываются алюминиевыми крышками 5 и 6 с жестко встроенными в них стержнями 7. Стержни входят во втулки 8 колодок и тем обеспечивают крышкам надлежащее направление.

Обе крышки колодок при помощи тех же стержней 7 соединены с общей стальной траверсой 9, которая в свою очередь связана со штоком поршня пневматического цилиндра тягой 10. Благодаря сквозной продольной шпоночной канавке в колодках и соответствующей прорези в траверсе можно раздвигать и сдвигать колодки в заданных пределах. Тем самым можно настроить макет для рихтовки обмоток с разными длинами пазовых частей при одинаковой конфигурации лобовых частей.

10-16. ВИТКОВАЯ ИЗОЛЯЦИЯ

Для статорных обмоток на напряжение 3 000 в и выше изоляция обмоточного провода марки ПБД недостаточна, и поэтому в процессе изготовления катушек на провод накладывают дополнительную витковую изоляцию. Процесс нанесения витковой изоляции в течение долгого времени выполнялся вручную. После намотки на шаблон в форме лодочки витки катушки раздвигали и изолировали вручную, обматывая микалентой. Для того чтобы судить об огромной трудоемкости такой работы, достаточно сказать, что для изолировки 1 пог. м каждого проводника работнице приходилось 170 раз оборачивать рукой ролик

микаленты вокруг периметра витка, а катушка состоит из 12—16 витков. Естественно, что такая большая трудоемкость лимитировала пропускную способность изоляционных цехов. До 90% рабочих-сдельщиков изоляционного цеха завода «Электросила» было занято на ручных операциях.

Первым шагом в области механизации явилось машинное наложение витковой изоляции высоковольтных катушек асинхронных машин мощностью 100—800 квт, 14—15-го габаритов. Механизация этого процесса была основана на том, что шаблон для намотки катушек в форме лодочки был заменен цилиндрическим шаблоном с той же длиной периметра. Это дало возможность вместо переменной скорости продвижения проводника получить равномерную скорость и заменить ручной труд изолировочным станком [Л. 7].

На рис. 10-38 показана кинематическая схема намоточно-изолировочного станка типа ШЛМ завода «Электросила» для наложения витковой изоляции. Станок приводится во вращение от электродвигателя 5 через ремень и шкив. Для разъединения станка с приводом служат фрикционная муфта 6 и гаечный выключатель, сидящие на промежуточном валике. Этот валик через зубчатую передачу 7 вращает механический обмотчик 2, состоящий из наклонно установленного диска с надетым на него роликом ленты 3, которая при вращении обмотчика оплетает проводник, движущийся через шпindelь станка 1.

Через другую зубчатую передачу приводится во вращение червячная пара, приводящая в свою очередь во вращение намоточный шаблон. Скорости вращения шаблона и механического обмотчика должны быть согласованы таким образом, чтобы провод передвигался за один оборот обмотчика на величину перекрытия ленты. Цилиндрический шаблон 4 состоит из сегментов для удобства снятия намотанной катушки. Провод подается на станок с барабанов 8. Число барабанов определяется числом параллельных проводников катушки.

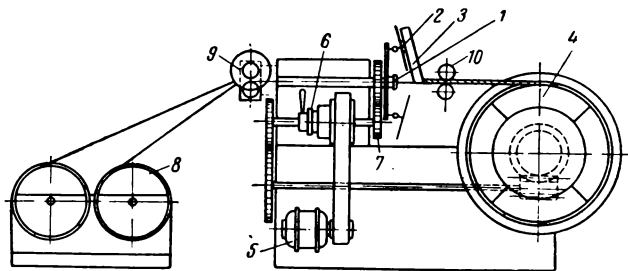


Рис. 10-38. Кинематическая схема изолировочного станка.

10-17. КОРПУСНАЯ ИЗОЛЯЦИЯ СТАТОРНЫХ ОБМОТОК

После барабанов провод проходит через ролики 9, которые разглаживают неровности. За роликами расположен задний неподвижный зажим. Вторым зажим, подвижной, расположен на противоположном конце шпинделя 1. Обматывание провода лентой происходит на промежутке между этим зажимом и направляющими роликами 10.

Для придания заготовке катушки формы лодочки она передается на растяжной станок (рис. 10-39). Заготовку катушки, снятую с цилиндрического шаблона, надевают на три подвижных ролика 5, оси которых укреплены на каретке 2 станка, и на три неподвижных 4. Затем включают станок и каретка с подвижными роликами, передвигаясь по направляющим станины, растягивает катушки. Каретка, подходя к упору автоматического выключателя, останавливает станок.

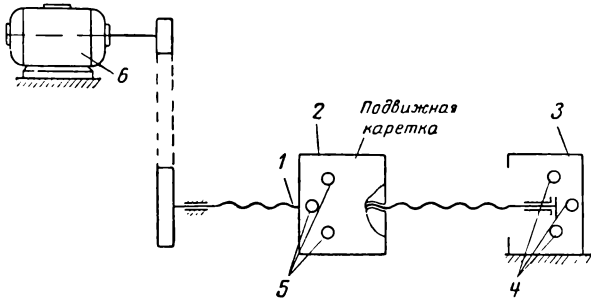


Рис. 10-39. Растяжка катушки, снятой с цилиндрического шаблона.

Опасения, что изоляция заготовки при ее растяжке будет повреждена, оказались напрасными. Производительность растяжного станка обеспечивает выработку шести намоточных станков за три смены при полном отсутствии брака. Средняя производительность изолировочного станка равна пяти-шести нормам ручной выработки.

Однако механизацию наложения витковой изоляции следует рассматривать лишь как временное мероприятие ввиду отсутствия обмоточных проводов с достаточно надежной изоляцией. По существу это было перенесение функций кабельного завода на электромашиностроительный. Поэтому не снимался вопрос о получении обмоточных проводов с изоляцией, достаточно прочной как в электрическом, так и в механическом отношении. В 1956 г. кабельными заводами было освоено производство провода марки ППТБО, изоляция которого состоит из триацетатной пленки, телефонной бумаги и хлопчатобумажной обмотки. Лабораторные испытания и опыт изготовления пробных машин показали, что этот провод удовлетворяет всем требованиям без дополнительной изоляции между витками.

Конструкция изоляции статорных обмоток имеет два исполнения: гильзовое и непрерывное. При гильзовой изоляции прямолинейную часть катушки изолируют, обертывая ее широкой полосой изоляционного материала, а лобовые части оплетают лентами.

При непрерывной весь контур катушки статорной обмотки оплетают изоляционными лентами, причем число слоев ленты в пазовой и лобовой части бывает различным.

Основным недостатком гильзовой изоляции является стык пазовой и лобовой частей. Первоначально гильзовая изоляция выполнялась с так называемым «прямым конусом». При этом способе сначала изолируют прямолинейную часть катушки, обертывая ее полосой трапециевидальной формы (рис. 10-40,а). Таким образом, края изоляции получаются ступенчатыми, понижаясь в направлении от торца статора (рис. 10-40,а). Затем изолируют лобовые части лентами, удлиняя изолировку в каждом слое так, чтобы перекрывались ступени гильзы. При таком способе наложения изоляции длина пути тока утечки или разряда имеет наименьшую величину [Л. 2].

Впоследствии стали применять «обратный конус» (рис. 10-40,б). При этом способе сначала изолируют лобовые части, заканчивая изоляцию ступенями, а потом оплетают прямолинейную часть катушки, перекрывая ступени изоляции лобовых частей. Такое изменение конструкции изоляции способствует некоторому повышению электрической надежности изоляции, однако механическая прочность ее остается низкой.

Предполагалось также располагать место стыка изоляции дальше от торца статора. Это удлиняло пути тока утечки, но требовало удлинения вылета лобовых частей, что вело к дополнительному расходу материалов и снижению динамической прочности обмотки при коротких замыканиях.

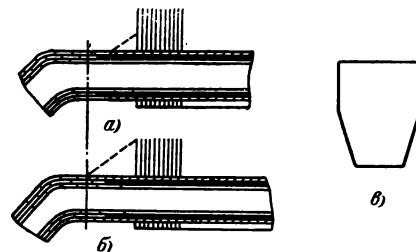


Рис. 10-40. Гильзовая изоляция с прямым и обратным конусом.

Другим существенным недостатком гильзовой изоляции является невозможность пропитки катушек под вакуумом даже самым жидким лаком. Это объясняется тем, что слои гильзовой изоляции непроницаемы для лака.

В связи с этим статорные обмотки почти всех высоковольтных машин выполняются с непрерывной изоляцией. При этом весь контур катушки или стержня изолируют микалентой с перекрытием слоев на $\frac{1}{2}$ или $\frac{1}{3}$ ширины ленты. При каждом обходе контура катушки получается с каждой стороны периметра двойная толщина ленты, что ведет к значительному увеличению толщины изоляции этого вида по сравнению с гильзовой.

Наложение непрерывной корпусной изоляции на статорные катушки производится на специальных изолировочных станках (рис. 10-41) [Л. 10-8].

Изолируемая катушка 3 закрепляется в катушкодержателях 4. Изолировочная головка 5 движется прямолинейно вдоль станины и ленты с рулонов головки наматываются на периметр сечения катушки. Перекрытие ленты устанавливается поступательным перемещением изолировочной головки за один оборот. Когда изолировочная головка подходит к переходу с пазовой части к лобовой, катушка автоматически по копирам поворачивается на соответствующий угол. Другую сторону катушки изолируют при второй установке катушки на станок. Головки катушки и прилегающие к ним участки лобовых частей, которые не захватываются головкой, изолируют вручную.

На рис. 10-42 представлена кинематическая схема станка типа ЛШ-4. Здесь изолировочная головка 3 не передвигается, а все движения подачи совершает изолируемая катушка, закрепленная в держателях 2 плавающего типа, которые установлены на каретке станка в соответствии с размерами катушки.

Привод станка осуществляется от электродвигателя 8 через коробку скоростей 6 на вал I, который через червячную пару 5, рейки 4 и шестерни z_1 и z_2 сообщает

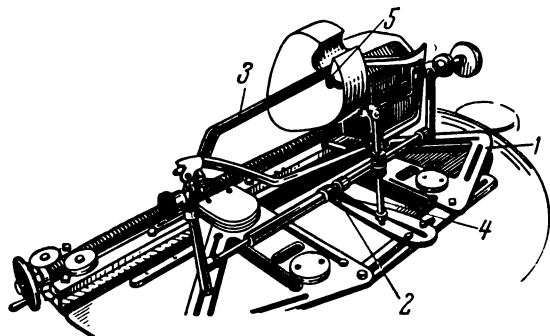


Рис. 10-41. Изолировочный станок завода „Электросила“.

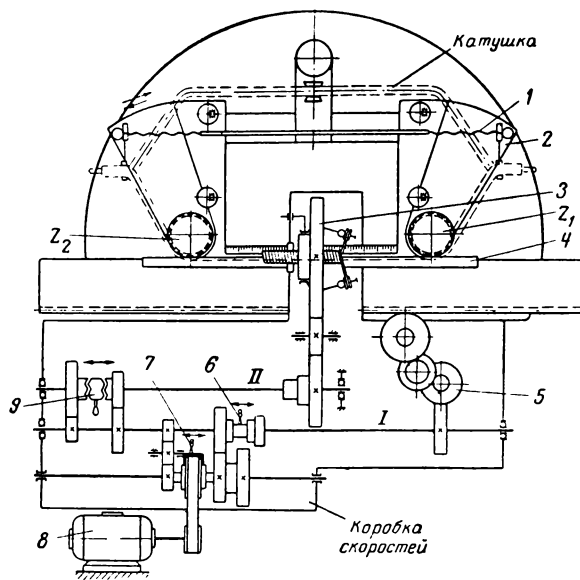


Рис. 10-42. Кинематическая схема изолировочного станка ЛШ-4.

работе движения катушкодержателям. Поворот катушкодержателей на угол наклона лобовых частей производится ходовым винтом 1.

Изолировочная головка приводится во вращение через систему шестерен от вала II, который может быть отключен от главного привода муфтой 9. Обратный ход каретки осуществляется рукояткой 7, при этом муфта 9 расцепляется. Другая сторона катушки изолируется при втором установе.

Станок предназначен для наложения многослойной корпусной непрерывной изоляции на статорные катушки высоковольтных машин. Производительность его 70—80 катушек в смену [Л. 17].

10-18. УКЛАДКА ОБМОТОК СТАТОРА В ОТКРЫТЫЕ ПАЗЫ

У машин переменного тока напряжением 3 000 в и выше статоры имеют открытые пазы, в которые укладывают изолированные катушки статорной обмотки.

Перед укладкой обмотки статор должен быть тщательно очищен, а пазы опилены и продуты сжатым воздухом. Даже небольшие заусенцы или выступающие острые углы листов статора могут повредить изоляцию и быть причиной пробоя после укладки обмотки. После очистки заготавливают необходимое количество прокладок из электрокартона, руководствуясь указаниями в спецификации чертежа. Длина прокладки должна быть на 15—20 мм больше длины статора, а ширина равна ширине паза. В процессе укладки обмотки эти прокладки кладут на дно паза, между катушками верхнего и нижнего слоев и под пазовые клинья. Заранее должны быть заготовлены шпагат, деревянные или гетинак-

совые прокладки для привязки к лобовым частям и парафин, которым натирают шпагат при вязке лобовых частей. Прокладки на дно паза устанавливают до укладки катушек и осадочной доской прижимают их к дну паза так, чтобы с обоих торцов статора выступали одинаковые концы.

Во время укладки в пазы катушки подвергаются сильным механическим воздействиям и перегибам. Чтобы сделать пропитанную компаундом микаленту более гибкой, катушки перед укладкой в пазы нагревают в термостабах до 85—90° на поверхности изоляции. На рис. 10-43 показан обмотанный статор крупной машины. Для создания вентиляционных каналов лобовые части 1 укладывают не вплотную, а с промежутками 3. Для образования промежутков к лобовым частям перед нагреванием привязывают шнуром гетинаксовые дистанционные прокладки 2. Катушки укладывают два обмотчика, стоящих у торцов статора. Если смотреть на катушки со стороны выводов, то обычно правую сторону катушки кладут на дно паза, а левую в верхнюю часть его. Направив в паз правую часть катушки, накладывают на нее пучок, состоящий из нескольких полос картона, обернутых киперной лентой. Осторожными ударами деревянного молотка по пучку картона осаживают сторону катушки равномерно по всей длине статора до половины глубины паза. Затем накладывают на сторону катушки ребро деревянной доски и ударами молотка по доске опускают катушку до дна паза. При укладке надо следить за тем, чтобы загибы обеих лобовых частей находились на одинаковых расстояниях от торцов статора. В крупных машинах в углубления на стенках пазов с обоих торцов статора забивают клинообразные стальные планки и опускают катушку на дно паза, забивая в пазы два деревянных клина по всей длине статора.

После осаживания стороны катушки на дно паза привязывают ее лобовые части шпагатом 6 к бандажным кольцам 5. В зависимости от размеров машины делают одно — четыре кольца с каждой стороны статора. Кольца выгибают из круглой или квадратной стали, изолируют лентой из лакоткани и микалентой в несколько слоев и снаружи оплетают киперной лентой. Бандажные кольца прикрепляют к стальным шпилькам, повернутым в нажимные шайбы статора и изолированным микалентой. Бандажные кольца имеют двойное назначение. Во-первых, они предохраняют лобовые части от изгибов под действием сил, возникающих при протекании больших токов через катушки, во-вторых, помогают ровнее уложить лобовые части и создать между ними

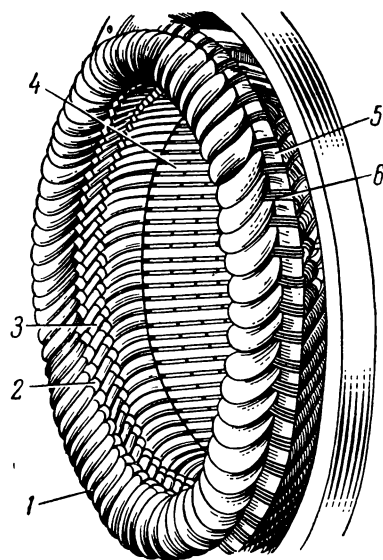


Рис. 10-43. Обмотанный статор.

симметричные клетки для прохождения струй охлаждающего воздуха.

Левую сторону катушки опускают в верхнюю часть другого паза, удаленного от первого на расстояние шага обмотки. Нижняя часть паза временно остается незаполненной. В такой же последовательности укладывают следующие катушки, которые охватывают дугу статора, соответствующую шагу обмотки. Так, если шаг обмотки равен 12, то этим методом укладывают 12 катушек. 13-я катушка обеими сторонами ложится в пазы. Это объясняется тем, что нижняя сторона паза, в которой должна быть вложена левая сторона 13-й катушки, уже занята правой стороной 1-й катушки. Чтобы не подвергать катушку большим деформациям, обе стороны катушки опускают в пазы одновременно. При этом пользуются тем же пучком картонных полос и деревянной осадочной доской. Следующие катушки укладывают в пазы аналогично 13-й.

В процессе укладки катушек рихтуют лобовые части: в машинах средней мощности ударами молотка через фибровую прокладку, в крупных, требующих больших усилий, пользуются легким домкратом, упирая его одним концом в деревянную доску, проложенную к лобовой части катушки, а другим — в доску, положенную на торец статора. Рихтовать и привязывать лобовые части к бандажным кольцам следует сразу после укладки катушки, пока она находится в горячем состоянии и ее изоляция обладает достаточной эластичностью.

Наиболее сложна укладка последних

12 катушек, охватывающих шаг обмотки. Правые стороны этих катушек должны попасть в пазы, верхние части которых временно заняты левыми сторонами первых 12 катушек. Поэтому перед укладкой надо приподнять из пазов стороны первых катушек. Поскольку они к этому времени успевают остыть, приходится их снова нагревать, чтобы не повредить изоляцию. Нагревают катушки на статоре, пропуская через них постоянный ток от источника низкого напряжения. Поднятые левые стороны катушек в крупных машинах привязывают киперной лентой к доске, которую

кладут по хорде статора. Затем нагревают и укладывают в паз нижние стороны последних катушек теми же методами, которые были описаны выше. После укладки последних катушек опускают левые стороны первых катушек на дно паза. Для этого их снова нагревают, пропуская ток.

После укладки всех катушек в пазы кладут прокладки под клинья. Затем забивают в пазы деревянные или текстолитовые клинья 4 и испытывают обмотку на межвитковые замыкания и на пробой изоляции на корпус.

ГЛАВА ОДИННАДЦАТАЯ

СТАТОРНЫЕ ОБМОТКИ СТЕРЖНЕВЫЕ

11-1. КОНСТРУКЦИЯ СТЕРЖНЕЙ

Стержневые обмотки применяются в крупных генераторах и состоят из стержней, концы которых соединяют при помощи пайки с обеих сторон статора. В этой главе рассматриваются наиболее употребительные обмотки с двумя стержнями в пазу.

Каждый стержень состоит из элементарных проводников марки ПДА или ПСД, число которых достигает 40 и более. Для снижения потерь в сечении стержня применяют переплетение элементарных проводников (транспозиция). Для осуществления переплетения проводники в сечении стержня должны быть расположены в два ряда по ширине паза.

На рис. 11-1 показан плетеный стержень. Как видно на рисунке, проводники при переплетении меняются местами по высоте паза, благодаря чему их индуктивные сопротивления уравниваются. Расстояние t между перегибами двух проводников называют шагом плетения. Длина плетеной части стержня

$$L_0 = 2nt, \quad (11-1)$$

где n — число элементарных проводников по высоте сечения стержня.

На поперечном сечении стержня видно, что за счет сдвигов между рядами два места

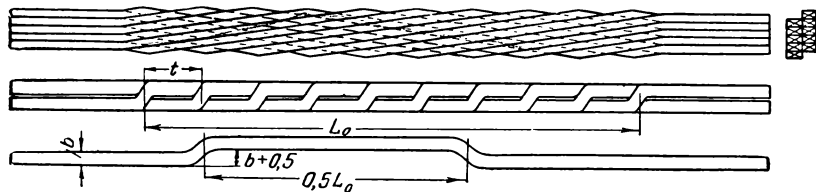


Рис. 11-1. Плетеный стержень обмотки статора.

остаются пустыми. Поэтому при определении размеров паза в двухслойной стержневой обмотке необходимо учесть наличие четырех проводников, которые занимают место в пазу, но не входят в число активных проводников.

Стержневые обмотки гидрогенераторов обычно являются волновыми, так как в многополюсной машине у них проще выполнить соединения между катушечными группами. В двухполюсных обмотках турбогенераторов чаще применяют петлевые обмотки.

Кроме того, стержни гидро- и турбогенераторов отличаются размерами и весом, что имеет важное значение при разработке технологических процессов и специального оборудования. Стержни гидрогенераторов имеют длину пазовой части не более 2,5 м и короткие лобовые части, в то время как общая длина стержня турбогенератора мощностью 150 Мвт достигает 7,9 м, а вес его 120 кг.

Для всех стержневых обмоток турбо- и гидрогенераторов применяют непрерывную изоляцию путем обматывания стержня по всей длине микалентой. При напряжении 15,75 кВ двусторонняя толщина изоляции составляет 10,5 мм. Таким образом, на стержень приходится намотать несколько десятков слоев микаленты, общая длина которой на один турбогенератор исчисляется сотнями километров. Такое большое число слоев изоляции нельзя компаундировать в один прием, так как битумная масса не пройдет к внутренним слоям. Поэтому стержень проходит до пяти компаундировок [Л. 11-3].

Приведенные данные свидетельствуют о большой трудо-

емкости и сложности технологического процесса стержневых обмоток. Еще сравнительно недавно все процессы изолировки выполняли вручную. В последние 10 лет они в значительной мере механизированы, для чего пришлось создать сложное специальное оборудование.

11-2. ЗАГОТОВКА И ПЛЕТЕНИЕ СТЕРЖНЕЙ

Заготовку и плетение стержней производят на верстаке (рис. 11-2), оборудованном рычажными ножницами 2 и двумя гибочными приспособлениями 6. Обмоточный провод сматывают с барабанов 1 и протягивают через фибровый зажим до упора 3, расположенного от ножниц на расстоянии развернутой длины стержня L . Нарезанные проводники рихтуют и упирают в гребенку 4, число уступов которой равно числу проводников в полустержне. В таком положении проводники скрепляют зажимами 7 и вкладывают в пазы гибочных приспособлений 6, в которых их изгибают на ребро. Расстояние между изгибами равно половине плетеной длины стержня L_0 , а изгиб отстоит от конца короткого проводника на расстоянии $T+C$, между концом стержня со стороны турбины и серединой левого изгиба. Глубину изгиба делают на 0,5 мм больше ширины провода b (рис. 11-1), чтобы между полустержнями можно было вложить миканитовую прокладку. Затем зажимы снимают и сдвигают проводники так, чтобы торцы их находились в одной плоскости. Снова закрепив полустержень зажимами, приступают к переплетению проводников.

Его ведут от середины полустержня, причем сначала все проводники переплетают

в местах первого перегиба так, чтобы второй проводник менялся местами с первым, третий со вторым и последний с предпоследним; после этого плетения верхний и нижний проводники меняются местами.

Второе плетение полустержня производят в местах второго перегиба. Теперь все проводники занимают на обоих концах одинаковые места по высоте стержня.

Второй полустержень нарезают, изгибают и переплетают аналогично первому.

Для получения целого плетеного стержня оба полустержня складывают боковыми сторонами и рихтуют по длине плетеной части, вставив между ними изоляцию, состоящую из нескольких полосок гибкого миканита, длиной, равной шагу плетения, составленных в стык. После этого тупым металлическим ножом приподнимают проводники и в местах перегибов прокладывают под каждый переход миканитовые прокладки, а получившиеся углубления заполняют асбестовой бумагой, пропитанной в битумно-масляном или глифталевом лаке.

Стержень обматывают киперной лентой в $\frac{1}{3}$ нахлестки, обертывают парафинированной бумагой, предохраняющей ленту от прилипания к планкам пресса, и производят первую горячую прессовку при $140-160^\circ\text{C}$ для придания стержню монолитности [Л. 19].

На рис. 11-3 показана схема гидравлического пресса завода «Электросила» для прессовки стержней гидрогенераторов. Он имеет пять вертикальных цилиндров 1, развивающих усилие 176 т, и пять боковых 2 с усилием 85 т [Л. 17].

После прессовки зачищают концы элемен-

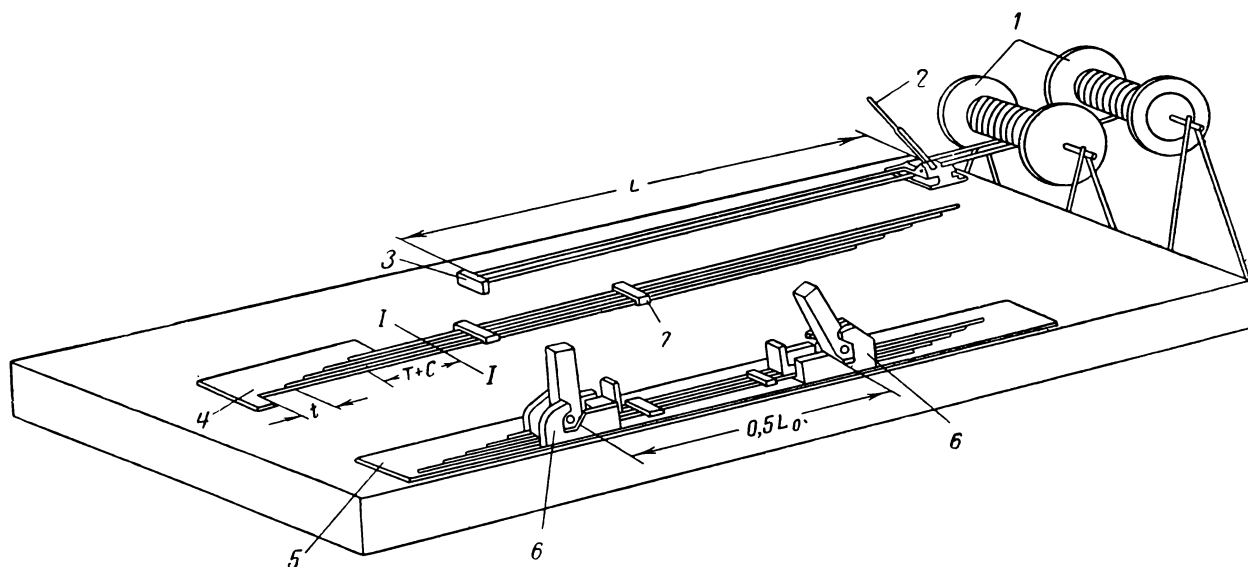


Рис. 11-2. Приспособление для гибки стержней.

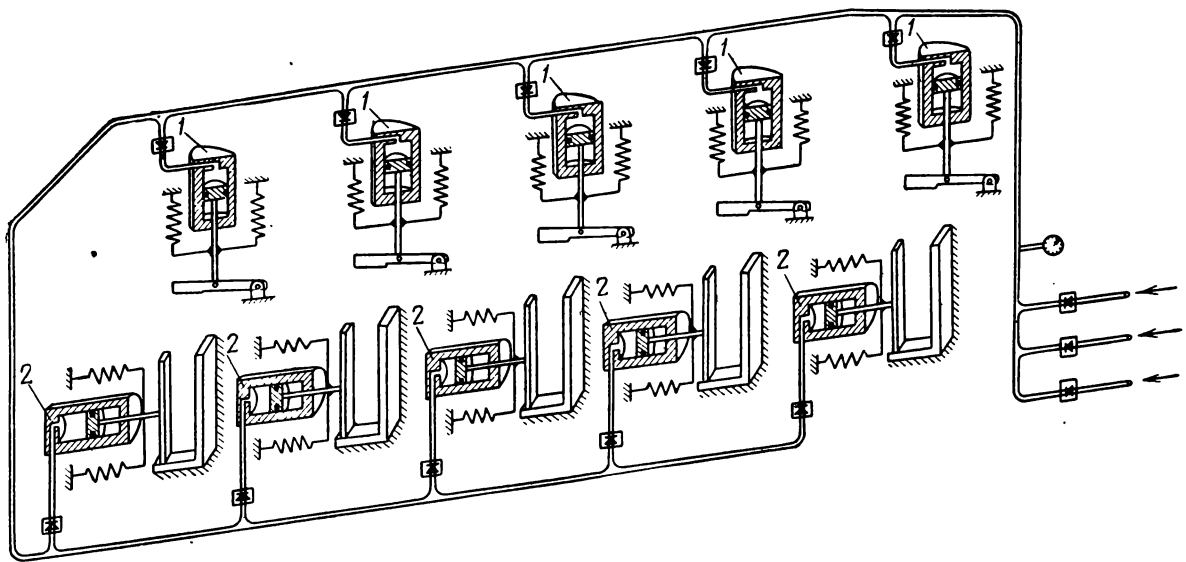


Рис. 11-3. Прессовка стержней.

тарных проводников от изоляции и проверяют их на отсутствие замыканий контрольной лампой от сети напряжением 220 в.

После прессовки натяжение киперной ленты ослабевает, поэтому ее снимают и вновь обматывают стержень киперной лентой. Вторично проверяют стержень на отсутствие замыканий между элементарными проводниками.

Стержень кладут на шаблон, закрепляют пазовую часть эксцентриковыми зажимами, отгибают и рихтуют лобовые части вручную ударами стального молотка через фибровую прокладку.

После этого стержни подвергают первой компаундировке, целью которой является заполнить поры в изоляции проводов и все воздушные промежутки между отдельными проводниками.

Вынув стержни из автоклава, охлаждают их до температуры окружающего воздуха, снимают киперную ленту с налипшей на ней компаундной массой, снова обматывают киперной лентой, прессуют в гидравлическом прессе пазовые части, рихтуют на шаблонах лобовые части и третий раз проверяют на отсутствие замыканий между проводниками.

По другой технологии гибку лобовых частей производят после компаундировки.

После этого снимают киперную ленту и передают стержни на изолировочные станки для наложения корпусной изоляции.

11-3. ИЗОЛИРОВОЧНЫЕ СТАНКИ

Изолировка стержней является весьма трудоемкой операцией.

При изолировке обмотки турбогенератора мощностью 100 Мвт требуется намотать около 100 км микаленты.

Для механизации изолировки на заводе «Электросила» разработаны станки типа ЛШ-5 (рис. 11-4 и 11-5) для стержней гидрогенераторов и ЛУС-6 (рис. 11-6) для турбогенераторов, повысившие производительность труда в несколько раз по сравнению с ручной изолировкой.

Оба станка построены по одному принципу, но форма и размеры стержней привели к различию их конструкций [Л. 11-1].

Концы стержня обмотки 1 зажимают в кронштейнах 2, а пазовая часть поддерживается двумя держателями 5. Каретка 8, приводимая в движение электродвигателем 9, перемещается по копірам стола и обходит пазовую и лобовые части стержня. На каретке установлена вращающаяся розетка 3 с четырьмя катушками 4, на которые надеты рулоны ленты. С двух катушек одновременно на стержень наматывается микалента, а две другие служат для обматывания стержня защитной киперной лентой. Перемещение каретки осуществляется путем зацепления ее ведущей шестерни с рейкой стола 10. Вращение розетке передается от каретки. При обратных ходах каретки розетка может отключаться и оставаться неподвижной.

При установке стержня на станок конец его вводят в отверстие розетки, находящейся в крайнем положении. Скорость движения каретки и вращения розетки согласованы так, что микалента шириной 30 мм обматывает стержень в $1/2$ нахлестки.

Розетка вращается со скоростью 200 об/мин, что соответствует передвижению каретки 3 м/мин.

Для плотного облегания лентой катушки расположены под углом α к стержню, определяемым по формуле

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{t_{\text{л}}}{p},$$

где $t_{\text{л}}$ — шаг наложения ленты;

p — периметр сечения стержня.

Натяжение ленты при намотке создается торможением катушек. Станок приспособлен для обматывания стержня как при прямом, так и при обратном ходе каретки. При изменении направления вращения катушки поворачивают на 180° для изменения угла наклона.

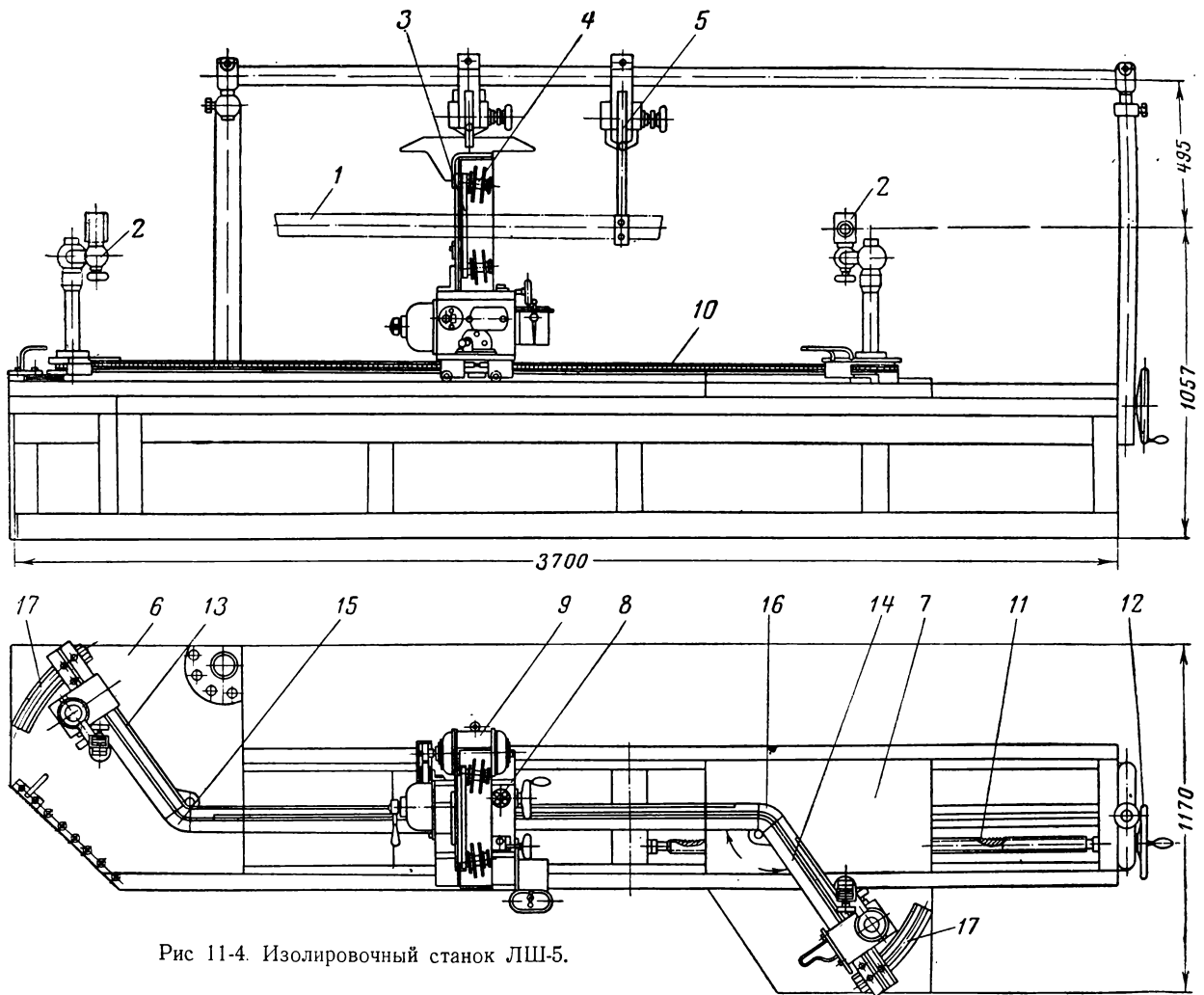


Рис 11-4. Изолировочный станок ЛШ-5.

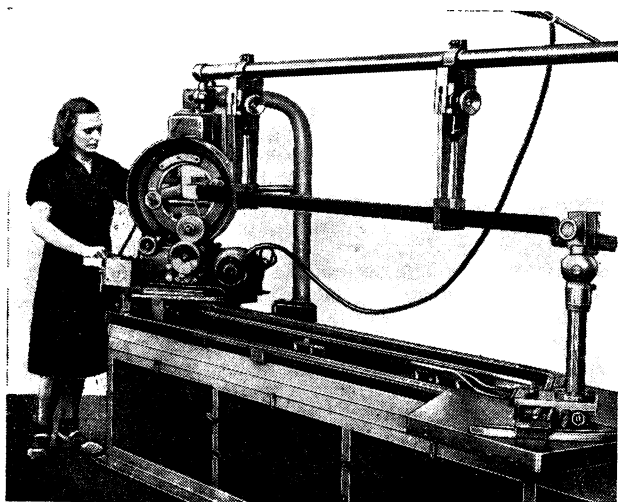


Рис. 11-5. Фото изолировочного станка ЛШ-5.

Стержень должен быть установлен так, чтобы центр его сечения совпадал с центром розетки. Регулировка положения стержня производится перемещением вращающегося внутри розетки ролика (рис. 11-5), на который опирается стержень.

Сложность конструкции станка определяется необходимостью его наладки на изолировку стержней с разными размерами. При удлинении пазовой части отодвигают подвижную часть стола 7 от неподвижной 6 вращением ходового винта 11 с помощью маховичка 12.

Изменение угла β между пазовой и лобовыми частями производится поворотом копиров лобовых частей 13 и 14 вокруг осей 15. Для этого съемной рукояткой поворачивают шестерню на конце копира, находящуюся в зацеплении с неподвижным зубчатым сектором 17. При повороте копиров 13 и 14 должны быть смонтированы вставки 16.

Форма стержня обмотки гидрогенератора является почти плоской вследствие большого радиуса выгиба лобовых частей и малой их длины при большом числе полюсов. Это позволило сделать копира станка плоским, что значительно упростило общую конструкцию станка.

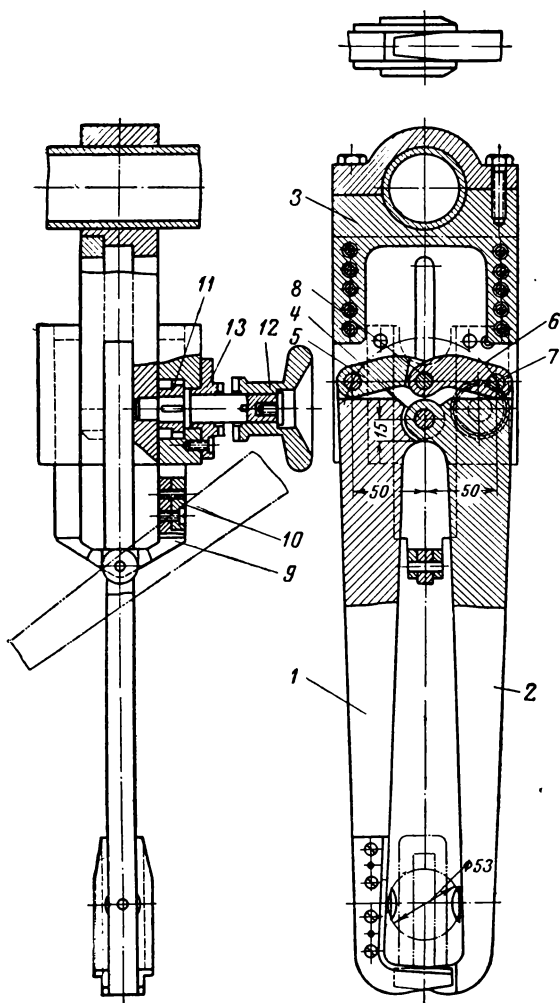


Рис. 11-7. Стержнедержатель.

11-4. ИЗОЛИРОВКА И КОМПАУНДИРОВКА СТЕРЖНЕЙ

Со стержней снимают временную киперную ленту, очищают их ножом от наплывов компаундной массы и подрезают выступающие края миканита на лобовых частях. Мелом делают отметку границы изолировки концов.

Стержни изолируют микалентой. Все слои микаленты наматывают в одном направлении, строго выдерживая нахлест на половину ширины ленты. Правильность наложения микаленты проверяют в процессе изолировки.

Число слоев микаленты на пазовой части рассчитывают, исходя из общей толщины изоляции по чертежу и толщины применяемой микаленты, по следующей формуле:

$$n = \frac{b}{kd} - 1, \quad (11-2)$$

где n — наименьшее число слоев микаленты;

b — односторонняя толщина изоляции по чертежу;

d — толщина применяемой микаленты;

k — коэффициент, зависящий от способа намотки.

При намотке ленты в $1/2$ нахлестки $k=2$.

Для стержней машин напряжением выше 3 600 в микаленту накладывают несколькими этапами по табл. 11-1, в которой указано количество слоев микаленты, накладываемое до каждой компаундировки.

При первом этапе за три рабочих хода каретки наматывается шесть двойных слоев микаленты в $1/2$ нахлестки. Между рабочими ходами каретки производится два обратных хода вхолостую, при которых розетка обмоточных проводов не вращается. При третьем обратном ходе каретки на стержень наматывается временная защитная изоляция.

Далее стержень отправляют в компаундировку, после чего временную ленту снимают и процесс изолировки повторяют.

После наложения последних слоев микаленты лобовые части обматывают хлопчатобумажной или стеклянной лентой в $1/2$ нахлестки.

После каждой изолировки стержень по всей длине обматывают киперной лентой в $1/3$ нахлестки, при этом в местах перехода на углах и в лобовых частях подкладывают картон толщиной 1 мм, прикрепляя его киперной лентой в разбежку.

Затем производят последнюю компаундировку. Со стержней снимают временную киперную ленту и картон. С концов стержней снимают хомутики и зачищают концы от компаундной массы. Пазовые части стержня принимают по предельным калибрам.

Концы стержней загибают на оправке, обрубают их по размерам, указанным в чертеже, и раздвигают концы, заложив асбестовую полоску по всей высоте выводного конца. Концы стержней облуживают, вынимают асбестовую прокладку и рихтуют концы.

Для испытания изоляции стержень обертывают по всей длине фольгой толщиной 0,02—0,03 мм в полтора оборота. Фольгу плотно заматывают киперной лентой в одну треть нахлеста. После испытания снимают фольгу и киперную ленту. Для защиты от короны наносят на стержни сажными лаками полупроводящие покрытия и проверяют мегомметром их сопротивление в пазовой и лобовой частях.

Транспортирование стержней при всех операциях производят на деревянных рейках.

Рабочее напряжение, в	Количество изолировок		Число слоев микаленты от общего количества слоев микаленты, %
	для стержней с длиной активной части до 2,8 м	для стержней с длиной активной части свыше 2,8 м	
До 3600	1	1	100
Свыше 3600 до 6300	2	2	1-я изолировка 60, 2-я изолировка 40
Свыше 6300 до 10500	2	3	2 изолировки по п. 2, 3 изолировки по п. 4
Свыше 10500 до 13800	3	3	1-я изолировка 40, 2-я изолировка 30, 3-я изолировка 30
Свыше 13800 до 18000	4	4	1-я изолировка 25, 2-я изолировка 25, 3-я изолировка 25, 4-я изолировка 25

11-5. УКЛАДКА В ПАЗЫ ОБМОТОК ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ

Участок укладки обмотки должен быть отгорожен от смежных механических и сборочных мастерских для предохранения от металлических стружек, пыли, грязи и т. п. Стержни обмоток до укладки должны храниться на специальных козлах в упаковке. Стержни следует переносить на деревянных рейках, предохраняющих прямую часть стержня от прогибов и изломов.

В процессе укладки обмотки обмотчиком приходится работать внутри расточки статора. Лобовые части обмотки должны быть покрыты резиновыми ковриками во избежание повреждения изоляции, а нижняя часть расточки картоном или плотной бумагой.

При укладке стержней в паз допускается рихтовка стержней в горячем виде. Перед укладкой стержней проверяют пазы статора

на отсутствие посторонних предметов, заусенцев и выступов.

У турбогенератора мощностью 150 тыс. квт вес стержня достигает 120 кг. Его вводят по наклонным подмосткам в расточку статора. В процессе укладки стержень должен войти в паз по всей длине без перекосов и перегибов. Сравнительно легко закладывать стержни обмотки в нижние пазы, труднее — в боковые пазы и особенно тяжело заводить стержень в верхние пазы, находящиеся над головой.

Для облегчения работы применяют поворотное приспособление для статоров турбогенераторов мощностью 100 и 150 тыс. квт. [Л. 11-2]. Четыре стойки 1 с роликами 2 смонтированы попарно на двух сварных балках 3 (рис. 11-8). На эти ролики устанавливают корпус статора 6. Нижнюю часть корпуса помещают в яму глубиной около 1 м. При этом нижняя точка расточки статора возвышается над уровнем пола на 1 м. Один из роликов является ведущим и приводится во вращение электродвигателем через редуктор 4. Вращение ведущему ролику от электродвигателя 5 передается через червячный редуктор на конических роликотолщинниках.

Ввиду того что станина имеет лапы и колодцы под газоохладители, расположенные с одной стороны, несимметрично относительно горизонтальной оси, корпус статора будет стремиться поворачиваться. При большом смещении центра тяжести возможна пробуксовка статора по роликам. Для устранения этого применяют уравновешивающие грузы весом около 3,5 т.

На нажимном кольце статора устанавливают кронштейны и закрепляют их болтами. Одновременно устанавливают шинодержатели для соединений между катушечными группами. Устанавливают и закрепляют струбцинами первое бандажное кольцо 2 со стороны торца статора (рис. 11-9). В местах прилегания струбцин к бандажному кольцу прокладывают картон толщиной 0,2—0,5 мм. После установки бандажного кольца проверяют шаблоном положение кольца от торца и расточки статора.

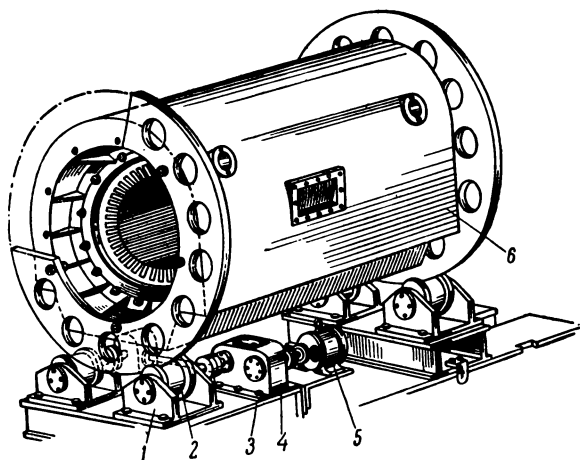


Рис. 11-8. Установка для поворота статора турбогенератора.

ра. В случае необходимости регулировки этих размеров подтягивают гайки струбцин. Подгоняют по месту прокладки из пропитанного картона марки ЭВ между кольцом и кронштейном до плотного прилегания кольца ко всем кронштейнам. Остальные бандажные кольца устанавливают аналогично. Дистанционные прокладки привязывают к кронштейнам крученым шнуром диаметром 2 мм.

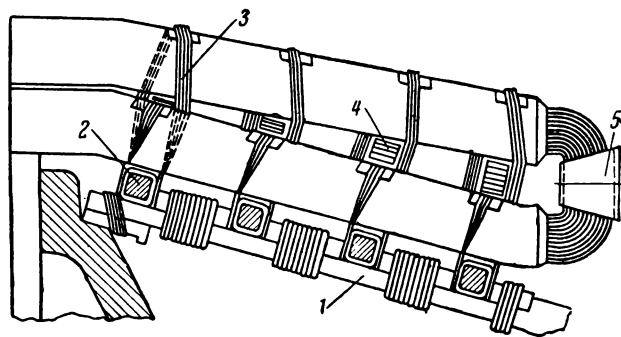


Рис. 11-9.*. Лобовые части стержневой обмотки.

Термометры сопротивления устанавливают на дно отмеченных пазов и между нижним и верхним слоями обмотки по мере укладки стержней. По всей длине паза, не занятой термометром сопротивления и проводниками, прокладывают полосы из пропитанного электрокартона.

На дно пазов по мере укладки стержней кладут прокладки из пропитанного электрокартона. Перед укладкой в местах выхода из паза к боковым сторонам стержней привязывают дистанционные распорки. Стержни подогревают до температуры 85—95°С на поверхности изоляции, пропуская электрический ток. При нагревании плотность тока не должна превышать 3,5—4,5 а/мм². Стержни турбогенераторов до 6 Мвт включительно нагревают в термостате при 130°С. Для достижения на поверхности изоляции температуры 85—95°С стержни выдерживают в термостате не менее 40 мин. Стержни загоняют в паз ударами молотка через подкладочную подушку, состоящую из пучка картонных полосок. Головки стержня устанавливают против соответствующего паза или зубца согласно схеме. Пазовую часть осаживают на дно паза равномерно по всей длине ударами молотка через осадочную доску.

Поверх уложенного стержня кладут прокладку из пропитанного электрокартона и забивают в паз средние и крайние деревянные клинья с расстоянием между ними около 1 м. Лобовые части осаживают на бандажные кольца ударами молотка через подкладочную подушку. К бандажным кольцам привязывают упоры и домкратом прижимают к ним лобовую часть стержня, проложив между домкратом и стержнем деревянные прокладки. Лобовую часть стержня привязывают к каждому бандажному кольцу крученым шнуром 3. После привязки лобовой части первого стержня убирают домкраты и упоры и вкладывают в паз второй нагретый стержень. Лобовую часть этого стержня формируют домкратами, подтягивают ее к первому стержню и бандажируют лобовые части обеих стержней через промежуточные распорки крученым шнуром 3.

Остальные стержни укладывают аналогич-

но двум первым. После укладки всех нижних стержней заклинивают дистанционные распорки, привязанные к стержням в месте выхода из паза, конусными гетинаксовыми клиньями.

Испытывают изоляцию уложенных стержней на пробой группами по несколько стержней. Во время испытания между головками стержней смежных групп прокладывают механические листы толщиной до 6 мм в зависимости от номинального напряжения машины. Испытанную группу перед испытанием следующей группы заземляют. Корпус статора во время испытания также должен быть заземлен.

Между рядами лобовых частей прокладывают кольца 4. Для изготовления колец нарезают полоски из пропитанного электрокартона и собирают из них кольцо со сдвигом между стыками полосок не менее чем на 50 мм и скрепляют их киперной лентой в разбежку. На головки нижних стержней по мере укладки стержней верхнего ряда надевают хомутик 5. Перед укладкой верхнего стержня выбивают временные конусные деревянные клинья. В пазы вкладывают прокладки из пропитанного электрокартона. Перед укладкой стержня верхнего ряда подогревают, пропуская ток, до 85—95°С.

Верхние стержни забивают в паз ударами молотка через подкладочную подушку. Стержни осаживают в пазах ударами молотка через осадочную доску, одновременно пригоняя головки верхнего и нижнего стержней под хомутики. В пазу поверх уложенного верхнего стержня прокладывают полоску из пропитанного электрокартона.

После укладки верхних стержней заклинивают пазы временными деревянными клиньями, распределяя их примерно через 1 м по длине статора. Стыки головок стержней плотно пригоняют при помощи струбцины. Лопаткой разводят проводники головок в хомутике 5 и забивают между ними медную луже-

ную контактную прокладку. Лобовые части стержней привязывают к бандажному кольцу крученым шнуром, прокладывая под бандаж прокладки из пропитанного электрокартона. Бандажи покрывают лаком.

С обеих сторон второго стержня в месте выхода из паза привязывают крученым шнуром дистанционные распорки. Прогревают стержень и укладывают его в паз. Лобовые части второго стержня привязывают к лобовым частям первого стержня через промежуточные распорки.

Аналогично укладывают остальные стержни, формуя их лобовые части распорными домкратами.

После окончания укладки стержней заклинивают распорки, привязанные к прямой части стержней гетинаксовыми конусными клиньями, которые привязывают к распоркам.

Испытывают изоляцию обмотки по отношению к корпусу по полуфазам, прокладывая между головками стержней смежных полуфаз миканитовые листы.

Затем выбивают из пазов временные клинья, прокладывают под постоянные клинья прокладки из пропитанного электрокартона, устанавливают средние, а затем крайние клинья. Установку клиньев производят от середины статора к краям ударами пневматического молотка. Клинья устанавливают так, чтобы прорезы клиньев располагались против вентиляционных каналов.

Внешним осмотром проверяют отсутствие повреждений изоляции лобовых частей стержней, тщательно продувают расточку статора и лобовые части сухим сжатым воздухом.

Лобовые части обмотки и шины покрывают при помощи пульверизатора лаком и сушат при температуре окружающего воздуха до прекращения отлипа. Покрывают лобовые части обмотки и шины при помощи пульверизатора эмалью и сушат при температуре окружающего воздуха не менее 6 ч. Вторично покрывают лобовые части, шины и поверхность расточки статора лаком и сушат при температуре окружающего воздуха до прекращения отлипа.

11-6. УКЛАДКА В ПАЗЫ ОБМОТОК ГИДРОГЕНЕРАТОРОВ

Укладка в пазы стержней гидрогенераторов технологически значительно проще. После сборки сердечника шестерки снова разбирают и раскладывают на полу цеха. Вес стержней в несколько раз меньше веса стержней турбогенератора, и они вкладываются в пазы в удобном положении. К шестерке статора обеспечен доступ со всех сторон, что позволяет четырем — шести обмотчикам укладывать несколько стержней одновременно. Перед укладкой в пазы стержни нагревают в термостатах до 85—95° С [Л. 19].

Трудоемкость укладки обмотки определяется большим количеством пазов, число которых в шестерке достигает 100. Два обмотчика успевают уложить примерно 25 стержней за смену.

Для ускорения процесса укладки и устранения ошибок при размещении стержней в пазах статор перед укладкой обмотки размечают мелом. Стержни обмотки разделяются на три типа: основные, с прямыми головками для

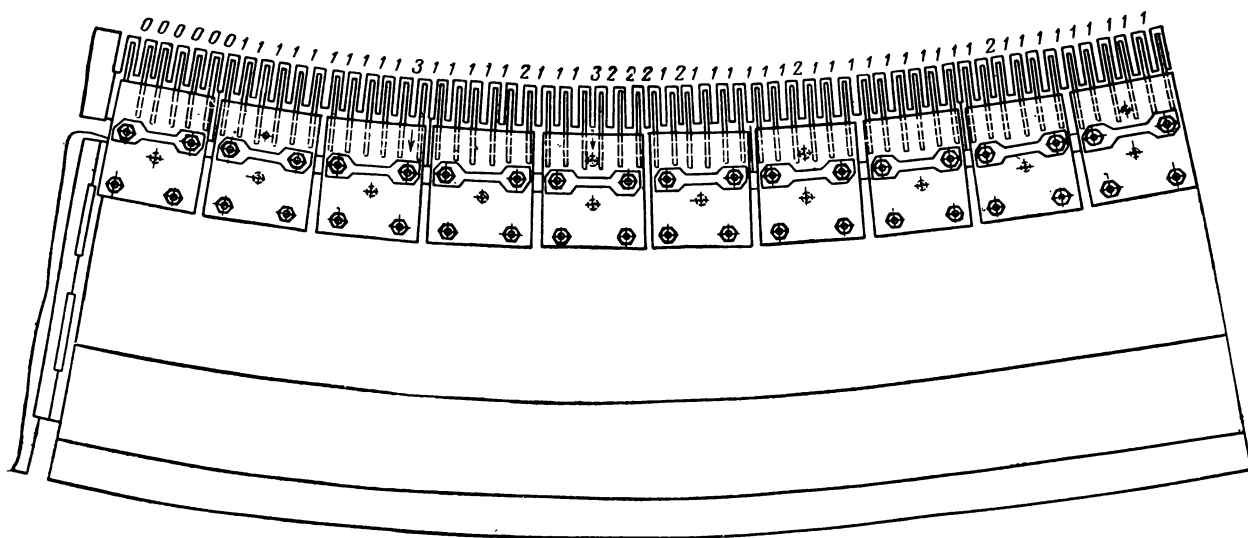


Рис. 11-10. „Шестерка“ гидрогенератора.

присоединения перемычек, с отогнутыми наружу головками для соединения с выводными шинами. На торцах гребенки статора условными цифрами обозначают номера типов стержней и стрелками направление отводов к выводным шинам (рис. 11-10). Пазы, в которые стержни будут вкладываться при монтаже, помечают кружками. Эти пазы забивают досками для предохранения зубцов от повреждений при транспортировке [Л. 11-4].

Укладку стержней в пазы и рихтовку лобовых частей производят аналогично укладке стержней турбогенераторов. В отмеченные пазы вкладывают термометры сопротивления и выводы от них подводят к дощечке зажимов. После укладки стержней нижнего ряда на головки надевают хомуты. Стержни верхнего слоя одновременно с укладкой в пазы вставляют головками в хомуты, так как при небольшой длине лобовой части после укладки в пазы вставить головку в хомут будет невозможно. Между слоями лобовых частей прокладывают кольца из полосок электрокартона и привязывают лобовые части к бандаж-

ным кольцам крученым шнуром. По окончании укладки обмотки с помощью лопатки и молотка разделяют проводники верхнего стержня в хомуте и для увеличения контактной поверхности стержней вбивают между ними пластину, которая должна располагаться равномерно в головках обоих стержней. Стыки стержней проверяют через контрольное отверстие в хомуте.

При установке пазовых клиньев надо следить за тем, чтобы вентиляционный скос клина совпадал с направлением вращения ротора. Клинья забивают с двух сторон статора. Плотность забивки клиньев достигается вкладыванием в пазы картонных прокладок.

Испытания электрической прочности изоляции производят после укладки в пазы нижнего ряда стержней и после укладки верхнего ряда до и после пайки головок.

Лобовые части обмотанных шестерок покрывают лаком БТ-99 при помощи пульверизатора, а затем глифталево-масляной эмалью. Сушку продолжают до тех пор, пока эмаль не потеряет липкости.

ГЛАВА ДВЕНАДЦАТАЯ

РОТОРНЫЕ ОБМОТКИ ФАЗНЫЕ

12-1. ТИПЫ РОТОРНЫХ ОБМОТОК

В этой главе рассматриваются обмотки фазных роторов асинхронных двигателей.

В роторах асинхронных двигателей ранее применяли два типа обмоток: однослойную насыпную в двигателях малой мощности (примерно до 5 кВт) и двухслойную стержневую в двигателях большей мощности. В электродвигателях единой серии мощностью до 100 кВт впервые в технике электромашиностроения применены роторные обмотки петлевые, двухслойные катушечные. Эти обмотки вкладывают в открытые пазы ротора. Таким образом, в современном электромашиностроении в двигателях с фазным ротором применяются три типа обмоток:

- 1) однослойная насыпная из проводников круглого сечения;
- 2) двухслойная катушечная петлевая из проводников прямоугольного сечения;
- 3) двухслойная стержневая волновая из гольх медных шин.

12-2. ОДНОСЛОЙНЫЕ НАСЫПНЫЕ ОБМОТКИ РОТОРА

При закрытых пазах ротора эти обмотки наматывали в протяжку. По схеме это были обмотки концентрического типа (рис. 12-1).

Лобовые части обмотки 2 привязывали шпагатом к стальному кольцу 1.

При четном числе пар полюсов лобовые части обмоток располагали в два яруса симметрично, при нечетном одна катушка получалась с перекошенными лобовыми частями, что

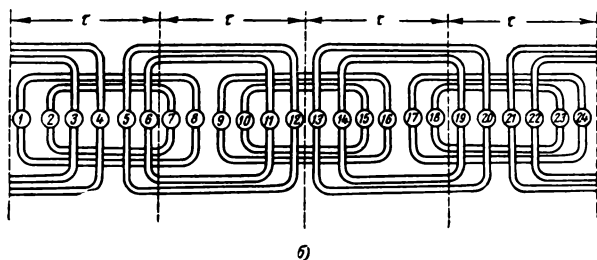
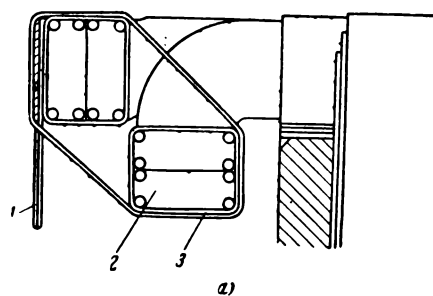


Рис. 12-1. Концентрическая обмотка.

нарушало геометрическую симметрию и требовало больших балансировочных грузов при балансировке роторов.

Ввиду большой трудоемкости обмоток в протяжку при возросших масштабах производства они были заменены всыпными обмотками из заранее намотанных секций при полузакрытой форме паза. Во избежание несимметрии при нечетном числе пар полюсов катушки обмотки наматывают по схеме рис. 10-4 с перекошенными лобовыми частями, что одновременно позволяет уменьшить число намоточных шаблонов.

В крановых двигателях серии МТ эти обмотки охватывают весь диапазон мощностей двигателей с катушечными обмотками, после чего начинаются стержневые обмотки.

12-3. ДВУХСЛОЙНЫЕ КАТУШЕЧНЫЕ ОБМОТКИ РОТОРА

Эти обмотки, как было сказано в § 12-1, охватывают диапазон мощностей двигателей до 100 кВт, в которых ранее применяли стержневые обмотки.

По сравнению со стержневыми обмотками волнового типа катушечные обмотки имеют следующие преимущества:

- 1) значительно сократилось число паек, так как катушечную группу наматывают на шаблоне непрерывным проводом (рис. 12-2);
- 2) отпали операции изолировки стержней обмотки и гибки их на роторе, так как катушки наматывают из изолированного провода и они получают форму на шаблоне;
- 3) значительно сократилось время укладки обмотки в пазы;
- 4) повысилась надежность обмотки в эксплуатации.

Конструктивная особенность этих обмоток заключается в том, что проводники располагают в пазу в один ряд. Это вносит некоторые затруднения в процесс намотки катушек на шаблоне, но зато резко улучшает условия охлаждения, так как каждый проводник граничит со стенками паза.

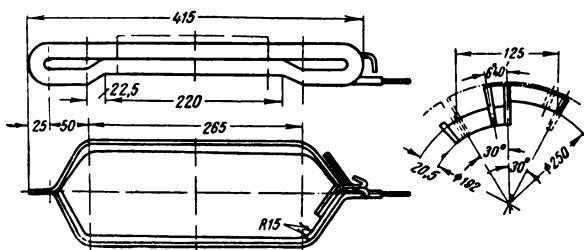


Рис. 12-2. Катушечная группа роторной обмотки.

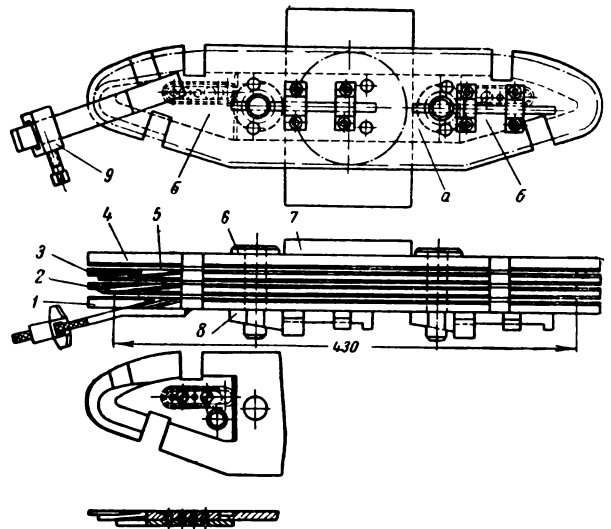


Рис. 12-3. Намоточный шаблон для роторной обмотки.

При намотке катушек из прямоугольного провода на сердечник шаблона затрудняется снятие намотанной катушки, так как при сильном натяжении провода, необходимом для плотного облегания шаблона, создается большое трение между проводниками катушки и сердечником. Вследствие этого необходимо прикладывать большие усилия, под действием которых витки катушки деформируются, и их приходится подвергать дополнительной рихтовке, при которой выпадают прокладки из электрокартона между витками катушки и повреждается изоляция проводников.

На рис. 12-3 показана конструкция металлического раздвижного шаблона завода имени Владимира Ильича, в котором эти затруднения устранены [Л. 6].

К основанию 4 шаблона приварена пластина 7 для крепления шаблона к шпинделям намоточного станка. На основании жестко закреплены два стержня 6, на которые наизыбы сердечники 5 с промежуточными перегородками 2, 3, и крышка шаблона 1. Хомутик 9 служит для закрепления провода. Шаблон имеет три сердечника 5 в соответствии с числом катушек в катушечной группе.

Особенность конструкции шаблона заключается в том, что сердечники выполнены не из одного куска стали, как в шаблонах обычной конструкции, а состоят из средних частей 5а и крайних частей 5б. Крайние части сердечников имеют возможность продольного перемещения по овальным канавкам. Таким образом, при вынутых средних частях сердечников крайние части могут несколько сдвигаться к центру шаблона. Части шаблона крепятся следующим образом. К крышке 1 прикреплена средняя часть первого сердечника, а крайние его части подвижно соединены с перегородкой 2. К обратной стороне этой перегородки приклепана средняя часть второго сердечника, а крайние его части соединены с перегородкой 3. Наконец, средняя часть третьего сердечника приклепана к обратной стороне перегородки 3, а крайние части скреплены с основанием 4.

После намотки катушечной группы выбирают клинья 8 из проушин в стержнях 6 и снимают крышку шаблона 1 вместе со средней частью первого сердечника. При этом крайние части этого сердечника сдвигают к центру шаблона и первая катушка легко снимается с сердечника. Затем снимают перегородку 2, после чего освобождается вторая катушка. И наконец, после снятия перегородки 3 снимается третья катушка.

Благодаря такой конструкции шаблона отпали операции рихтовки катушек, увеличилась производительность труда при намотке и повысилось качество катушек.

Сборка шаблона производится в обратной последовательности.

12-4. ЭЛЕМЕНТЫ СТЕРЖНЕВОЙ ОБМОТКИ РОТОРА

Из обмоток роторов стержневого типа наиболее распространение получили волновые. Их преимущество перед пеглевыми заключается в том, что они имеют меньшее число соединений между катушечными группами.

Стержневые обмотки ротора применяют при закрытых пазах. Поэтому стержни вставляют в пазы с торца ротора. Обмотка состоит из стержней верхнего 2 и нижнего 1 слоя. Для стержневых обмоток применяют обмоточную медь или прямоугольного сечения, или со скругленным основанием (рис. 12-4). Такое сечение меди в производстве получило название полуовального. При прямоугольном сечении стержни верхнего и нижнего слоев различаются только длиной лобовых частей, которые у стержней верхнего слоя несколько длиннее и выгибаются по большему радиусу. При полуовальном сечении стержни верхнего и нижнего слоев имеют различное расположение закругленной стороны (рис. 12-4).

Кроме стержней, во всякой стержневой обмотке волнового типа существуют еще перемычки 3 (соединительные дуги), в каждой фазе по одной. Назначение перемычек будет ясно из рассмотрения схемы волновой обмотки ротора.

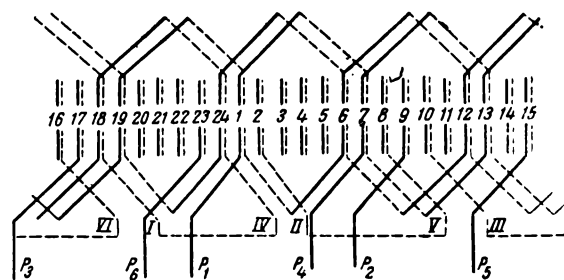


Рис. 12-5. Схема волновой обмотки.

На рис. 12-5 показана схема волновой обмотки ротора со следующими данными: $z=24$, $2p=4$, $q=2$. Стержневые роторные обмотки обычно выполняют с диаметральным шагом. Начав обмотку из верхней части паза 1, сделаем два обхода ротора и попадем в нижнюю часть паза 18. На схеме видно, что на роторе образовались четыре полюсных деления в соответствии с числом полюсов. Но произведенные соединения образовали волны, которые являются полукатушками. Для создания четырехполюсной обмотки не хватает соединений с противоположной стороны ротора. Такие соединения получатся, если мы будем делать такие же обходы ротора, но в обратном направлении. Для этого надо соединить нижний стержень паза 18 с нижним стержнем паза 24, что и сделано на схеме в виде перемычки, обозначенной I—IV. Сделав два обхода в обратном направлении, закончим соединения в первой фазе на верхнем стержне паза 7, который и является концом фазы 1.

По ГОСТ 183-55 выводы обмотки ротора имеют следующие обозначения: начала фаз — P1, P2, P3, а концы фаз соответственно P4, P5, P6.

Для того чтобы вращение ротора происходило без вибраций, надо, чтобы центр тяжести совпадал с осью вращения. Это будет возможно только в том случае, если все элементы обмотки будут равномерно расположены по окружности, что в первую очередь зависит от расположения начал фаз. Поэтому в обмотках роторов асинхронных двигателей начала фаз располагают не на 120 эл. град., как в статорных, а равномерно по окружности, т. е. на 120 пространственных градусов, но при этом должно быть выполнено условие электрической симметрии. Для соблюдения этого условия начала фаз должны быть сдвинуты друг относительно друга на 120 или 240 эл. град. + любое целое число раз по 360 эл. град.

Если начала фаз расположены равномерно по окружности, то равномерно будут расположены концы фаз и перемычки.

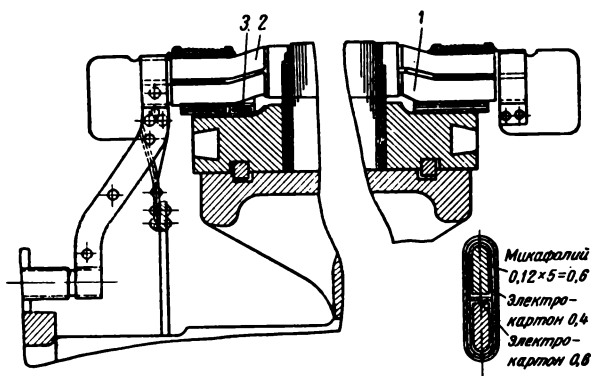


Рис. 12-4. Стержневая обмотка ротора.

Однако не во всех обмотках можно одновременно выполнить требования геометрической и электрической симметрии. Если число пар полюсов кратно трем, то начала фаз и перемычки нельзя расположить равномерно по окружности. Поэтому при балансировке роторов таких машин потребуются большие балансировочные грузы, чтобы уравновесить смещение центра тяжести ротора.

12-5. ОБМОТКИ РОТОРА С УДЛИНЕННЫМИ И С УКОРОЧЕННЫМИ ПЕРЕХОДАМИ

Волновые обмотки роторов выполняют с диаметральной шагом, за исключением одного шага при каждом обходе ротора, который делают удлиненным или укороченным. Чаще встречаются обмотки с укороченными переходами, так как в них достигается экономия меди и изоляционных материалов. Однако некоторые заводы применяют обмотки с удлиненными переходами для упрощения ремонта. При ремонте в процессе выравнивания концов стержней часть длины стержня срезают. В обмотках с удлиненными переходами стержни имеют некоторый запас длины, который используют при переходе на обмотку с укороченными переходами.

На рис. 12-6 показана схема волновой обмотки ротора со следующими данными: $z=36$; $2p=4$; $q=3$. На схеме показаны соединения только в первой фазе. Каждая катушечная группа состоит из трех катушек, так как число пазов на полюс и фазу равно 3. Число катушечных групп равно числу полюсов, т. е. 4. На схеме показаны начала и концы других фаз, а также их перемычки. Ввиду того что число пар полюсов не кратно 3, выводы и перемычки распределены неравномерно по окружности. Для упрощения чтения схемы в местах разрывов лобовых частей обмотки поставлены

числа, обозначающие номера пазов, в которые лобовые части должны попасть после перехода с одного конца схемы на другой.

Схема выполнена с укороченными переходами: в конце каждого обхода диаметральный шаг обмотки 1—10 заменен укороченным 1—9. В обмотках с укороченными переходами каждый следующий обход смещается по сравнению с предыдущим влево. По расположению начала первой фазы по отношению к первой катушечной группе видно, что эта обмотка с укороченными переходами. Начав обмотку с 1-го паза, переходим в 36-й, а затем в 35-й паз.

На рис. 12-7 показан другой вариант схемы для той же машины. Прежними сохранились числа пазов и полюсов, а следовательно, и число пазов на полюс и фазу. Поэтому по внешнему виду эти схемы очень похожи. Но при внимательном рассмотрении мы увидим разницу между ними. Прежде всего эта обмотка с удлиненными переходами, что видно по расположению начала первой фазы по отношению к первой катушечной группе. Обходя ротор, мы будем от 1-го паза смещаться во 2-й и 3-й. Но это не простая обмотка с удлиненными переходами. Сделав первые три обхода ротора, увидим, что после перемычки переходы становятся укороченными. Такой выбор переходов не нарушает условий симметрии обмотки. Преимущество же такой обмотки заключается в том, что в ней отсутствуют пересечения перемычек с выводами фаз. Это является более удобным при выполнении обмотки [Л. 8].

Диаметральный шаг обмотки выражается формулой

$$y = \frac{z}{2p} = \frac{2pmq}{2p} = mq. \quad (12-1)$$

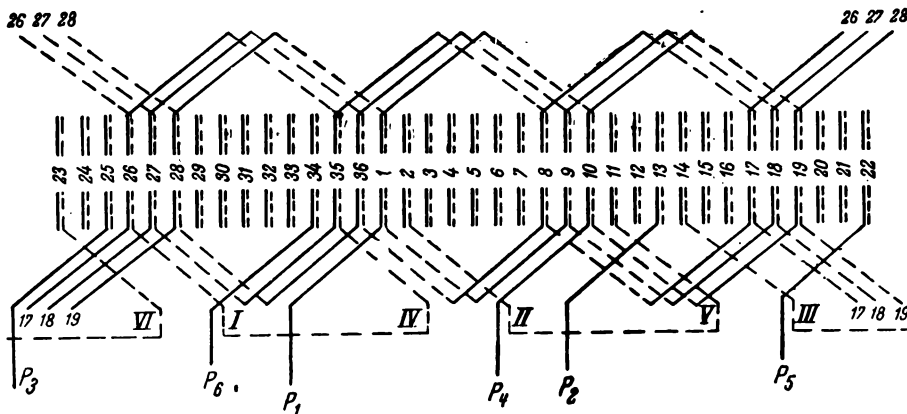


Рис. 12-6. Схема обмотки ротора с укороченными переходами.

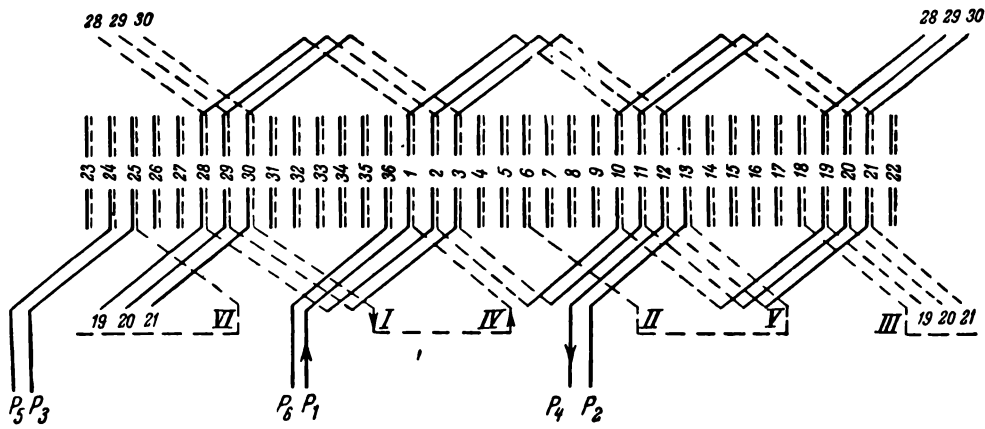


Рис. 12-7. Схема обмотки ротора с укороченными и удлиненными переходами.

В трехфазных обмотках $m=3$, поэтому можно написать:

$$y = 3q. \quad (12-2)$$

Таким образом, если известно число пазов на полюс и фазу, то укороченный шаг обмотки ротора будет

$$y_{\text{укор}} = 3q - 1, \quad (12-3)$$

а удлиненный шаг

$$y_{\text{удл}} = 3q + 1. \quad (12-4)$$

В предыдущих схемах катушечные группы в фазах всюду соединялись последовательно. При больших токах ротора может появиться необходимость в параллельном соединении. При целом q каждая фаза обмотки разделена перемычкой на две одинаковые части. Поэтому переход от последовательного соединения к соединению в две параллельные ветви легко осуществить, соединив параллельно обе части каждой фазы.

На рис. 12-8,а показано расположение начала первой фазы, конца фазы и перемычки при последовательном соединении. Если разорвать перемычку и соединить вывод I , идущий к перемычке, с концом фазы $P4$, а вывод IV с началом фазы $P1$, то обе части фазы будут соединены в две параллельные ветви (рис. 12-8,б), причем направления токов в стержнях сохранятся прежними и поэтому число полюсов обмотки останется без изменения.

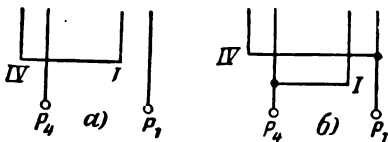


Рис. 12-8. Соединение катушек в фазе.

На рис. 12-9 показаны схемы роторных обмоток с укороченными и удлиненными переходами при соединении фаз в звезду с последовательным и параллельным соединением ка-

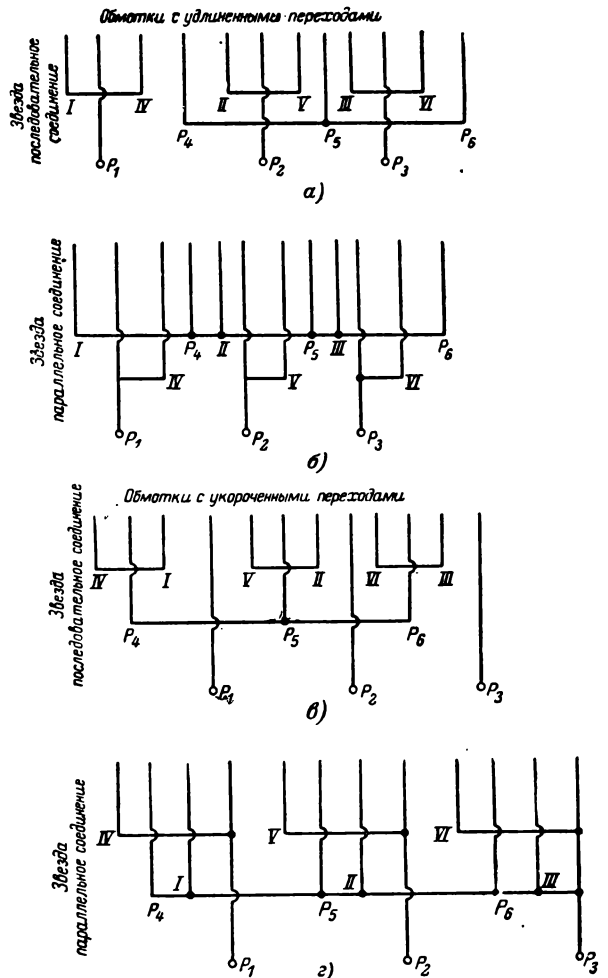


Рис. 12-9. Соединение катушек в фазах.

тушечных групп в каждой фазе. Пользуясь этими схемами, можно быстро и правильно соединять выводы в зависимости от требуемой схемы соединения [Л. 7].

12-6. КОНСТРУКЦИИ ПЕРЕМЫЧЕК

Перемишки в роторных обмотках волнового типа выполняют различно. В машинах средней мощности перемишки или выгибают из одного куска шины вместе с двумя нижними стержнями (рис. 12-10), или приваривают к этим стержням до укладки обмотки в пазы.

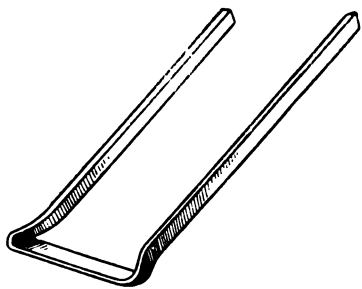


Рис. 12-10. Перемишка со стержнями.

В этом случае обмотка состоит из z верхних стержней, $z-6$ нижних стержней и трех перемишек со стержнями.

В машинах большой мощности перемишки припаивают к стержням при помощи соединительных хомутиков после укладки стержней в пазы, заготавливая для обмотки ротора по z верхних и z нижних стержней, из которых к шести припаивают перемишки.

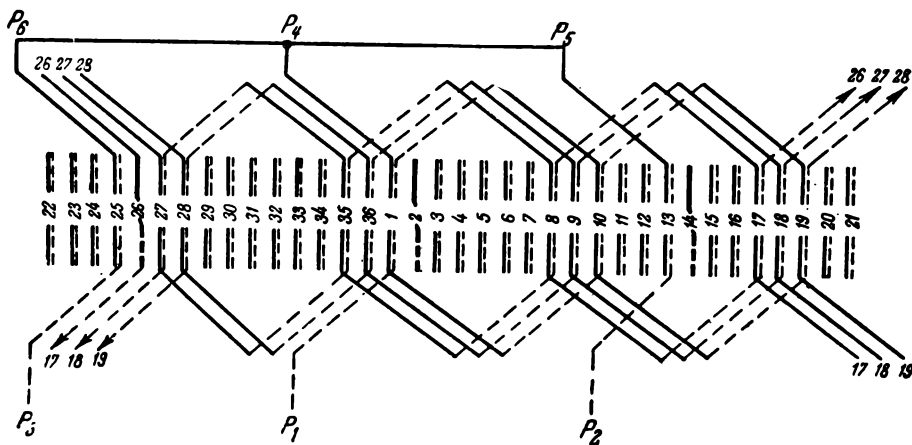
В обоих случаях перемишки усложняют выполнение обмотки. Поэтому на некоторых электромашиностроительных заводах применяют обмотки роторов без перемишек. В таких обмотках поворот в каждой фазе осуществляют

ствляют стержнем, переходящим в пазу из одного слоя в другой. На рис. 12-11,б показан в разрезе паз с переходным стержнем 1. Образовавшиеся пустые места заполнены отрезками обмоточного провода 2, которые забивают в паз для того, чтобы изогнутый стержень не перемещался в нем, что могло бы повести к нарушению его изоляции и смещению центра тяжести ротора [Л. 8].

На рис. 12-11,а дана схема обмотки с переходными стержнями. Благодаря отсутствию перемишек изготовление такой обмотки упрощается. Второе преимущество этой обмотки заключается в том, что начала фаз, которые подводят к контактному кольцам, выходят из нижнего слоя обмотки, а не из верхнего, как в остальных схемах. Поэтому соединительные пластины не надо пропускать между стержнями нижнего слоя и все хомутики располагаются симметрично по окружности.

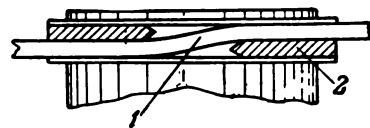
Проследим соединения стержней в первой фазе. Начало фазы лежит в пазу 1, но не в верхнем слое, как в обычных схемах, а в нижнем.

Как видно по расположению начала фазы относительно первой катушечной группы, эта обмотка выполняется с укороченными переходами и последний шаг в каждом обходе 1—9, а не 1—10. Сделаем первые три обхода, приходим к стержню 26, который является переходным в первой фазе. Он начинается в верхнем слое и на середине ротора переходит в нижний слой. В таких обмотках переходный стержень в каждой фазе сдвинут относительно начала фазы на $\left(\frac{2z}{3p} - 1\right)$ пазов в направлении, обратном ходу обмотки. Определим положение переходного стержня в первой фазе. Сдвиг стержня относительно начала



а)

Рис. 12-11. Обмотка с переходным стержнем.



б)

фазы будет на $\left(\frac{2 \cdot 36}{3 \cdot 2}\right) - 1 = 12 - 1 = 11$ пазов.

Положение переходного стержня будет в пазу $36 + 1 - 11 = 26$, как это видно на схеме. Переходный стержень второй фазы будет в пазу $13 - 11 = 2$, а третьей фазы в пазу $25 - 11 = 14$. Соединение концов фазы в звезду выполняют на противоположной стороне ротора. При наличии переходных стержней получается небольшое нарушение симметрии обмотки, но в допустимых пределах.

12.7. ГИБКА И ИЗОЛИРОВКА СТЕРЖНЕЙ РОТОРНОЙ ОБМОТКИ

Прежде чем сделать заготовку стержней, надо нарезать куски шин, равные развернутой длине стержня. Заготовки для стержней верхнего слоя должны быть длиннее, чем для стержней нижнего слоя, так как лобовые части их выгибают по большему радиусу. Из общего числа стержней верхнего слоя часть стержней делают удлиненными или укороченными в зависимости от схемы обмотки. Число удлиненных или укороченных стержней определяется по формуле 6 ($q-1$).

При производстве серийных электрических машин в обмоточных цехах изготавливают стержни роторов, однотипные по форме, но

с разными размерами. Для таких деталей широкое применение имеют универсально-наладочные приспособления. Они состоят из типовой плиты с переставными и сменными упорами [Л. 12-2].

На рис. 12-12 показано приспособление для роторных стержней, на котором с передвижением планок производят гибку стержней 20 типов двигателей.

Для установки упоров на плите нанесены риски. Приспособление состоит из сварной плиты 1 с продольными пазами для болтов 12. На плите расположены планки 2, 8 и 9, постоянная пластина 11 с упором 10 и рычаг 6 со сменной накладкой 5. Планки 2, 8 и 9 образуют паз, в который до упора 10 закладывают две заготовки стержней. Рычаг, свободно поворачиваясь на оси 7, формирует стержни вдоль неподвижной сменной планки 2, насаженной на штифты 3, которые запрессованы в плиту. Для разгрузки штифтов к плите приварен базирующий угольник 4.

На плиту и подвижные планки нанесены риски, совмещение которых позволяет установить необходимую длину стержней при формовке.

Щель упора 10 выполнена в виде ступеньки, что обеспечивает равную длину стержней после формовки [Л. 12-2].

При крупносерийном производстве применяют более сложные гибочные приспособления (рис. 12-13). Стальной корпус приспособления 4 в верхней части обработан по такому же радиусу поверхности, на котором уложены стержни на роторе. К корпусу привинчены накладки 2 и 3, между которыми образуется щель, на 0,2 мм большая, чем толщина стержня. В эту щель вкладывают прямолинейную заготовку стержня до упора в фаску головки винта 1. Затем поворотом первого

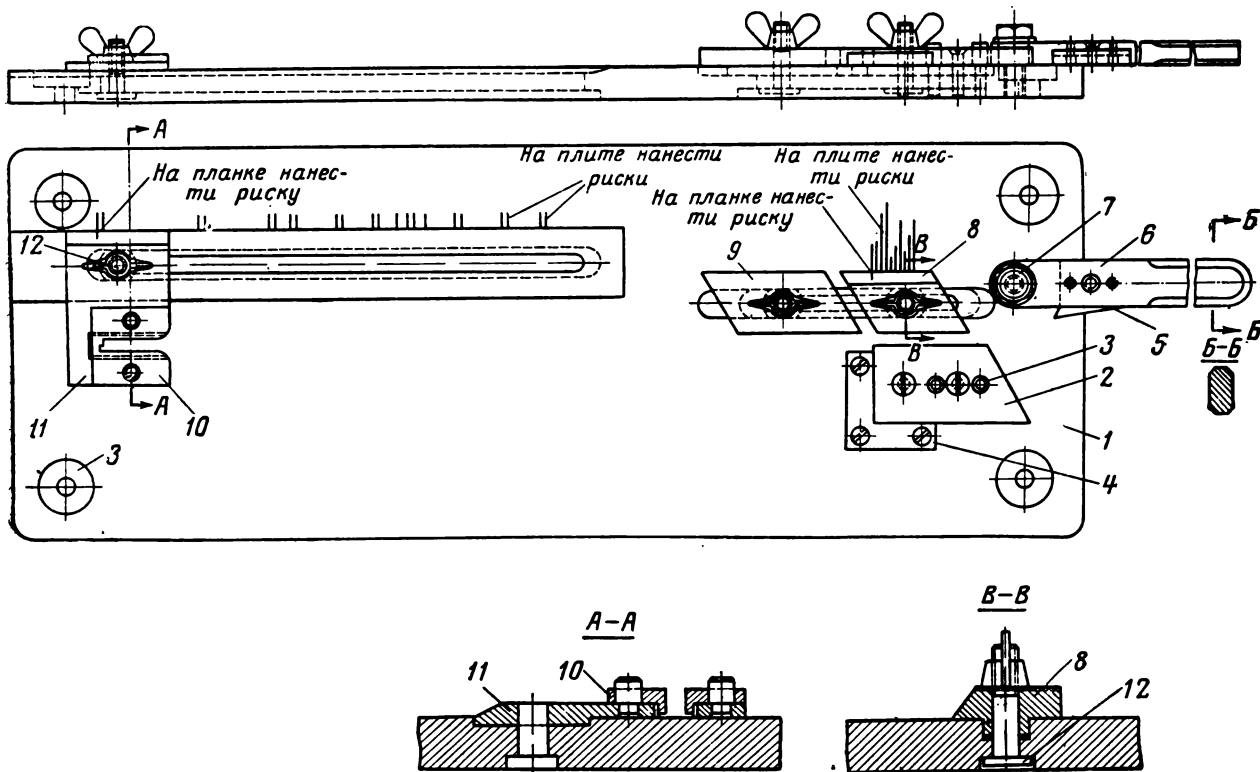


Рис. 12-12. Универсальное приспособление для гибки стержней.

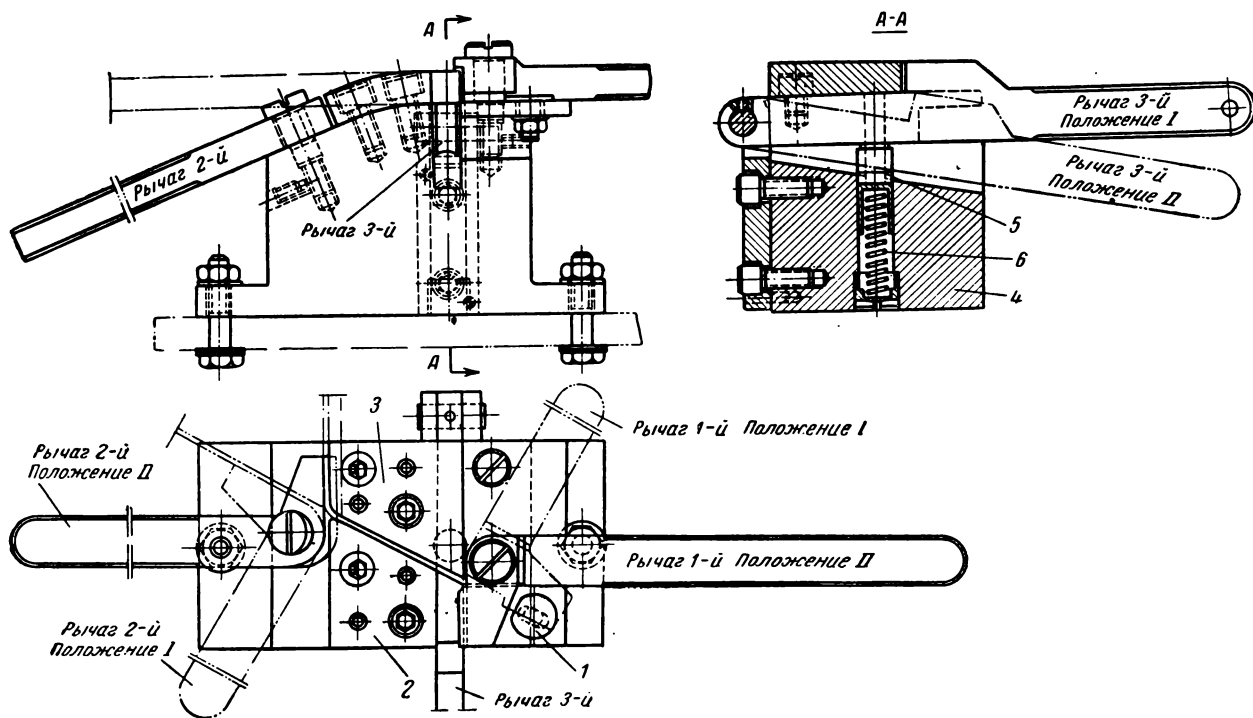


Рис. 12-13. Гибка стержней в приспособлении.

рычага вокруг оси загибают конец стержня, причем сверху он перекрывается выступом рычага. После этого, взяв рукой свободный конец стержня, прижимают его к цилиндрической поверхности корпуса, а другой рукой вращают второй рычаг, который делает второй изгиб стержня, прижимая его к накладке 3. Так, в приспособлении производят загибку стержня в двух точках и изгиб лобовой части по винтовой линии. Для выемки стержня из приспособления служит третий рычаг, который поддерживается пружиной 6, находящейся в колпачке 5. Этот рычаг находится под накладкой 3, а конец его с выступом образует продолжение накладки 2. При опускании рычага стержень легко вынимают из приспособления [Л. 6].

Приспособление, показанное на рис. 12-13, хотя и обеспечивает правильные размеры стержня, но при работе на нем еще сохраняется ручной труд. В целях механизации гибки стержней применяют механизированные гибочные станки, приводимые в действие пневматическими цилиндрами (рис. 12-14). На плите станка закреплены два пневматических цилиндра, из которых один 4 с горизонтальным, а другой 1 с вертикальным ходом поршня. Прямолинейную заготовку стержня 3 вставляют до упора в щель между сухарями штампа. Пуансон получает от цилиндра 1 перемещение вниз и выгибает лобовую часть стержня по заданному радиусу. Другой цилиндр приводит в движение зубчатую рейку 7, которая вращает коромысло 6. Коромысло своими штырями поворачивает рычаги 2 и 5 штампа 8, отгибающего прямолинейные участки стержня. Затем пуансон и рычаги штампа поворотом ручки воздухораспределителя возвращают в исходное положение для гибки следующего стержня. Конструкция гибочного станка предусматривает гибку стержней верхнего и нижнего слоя. Для ограничения хода зубчатой рейки в зависимости от конфигурации стержня и размеров лобовой части служат два упора, закрепленных в плите станка. При переходе к стержням

других размеров нужно заменить гибочные штампы. Механизированная гибка заменила ручной труд и значительно повысила производительность труда и качество работы.

По окончании гибки приступают к изолировке стержней. Лобовые части стержней изолируют лентами внахлестку. Пазовые части стержней изолируют путем обертывания несколькими слоями бакелизированной бумаги при изоляции класса А и micaфолием при изоляции класса В. Сначала изолируют лобовые части в зависимости от масштабов производства вручную или на изолировочном станке (рис. 8-4).

Пазовые части изолируют, обертывая стержень полосой изоляционного материала в несколько слоев. Чтобы избежать утолщения изоляции в месте стыков с лентой лобовых частей, полосу материала с обеих сторон срезают наискосок, как показано на рис. 12-15. Вследствие этого в той части, где полоса ложится на изоляцию лобовых частей, получается меньше слоев изоляции, чем в пазовой части. Навертывают изоляцию в приспособлении, представляющем собой доску, к которой прибитая деревянная планка. Доска и планка обиты жстью. Предварительно конец полосы смазывают бакелитовым лаком и, приклеив ее к стержню, прижимают стержень левой рукой к планке приспособления и начинают вращать его правой рукой за изогнутую лобовую часть. Конец полосы также подклеивают бакелитовым лаком. Для того чтобы уплотнить слои изоляции по всему периметру стержня, производят обкатку изолированных стержней.

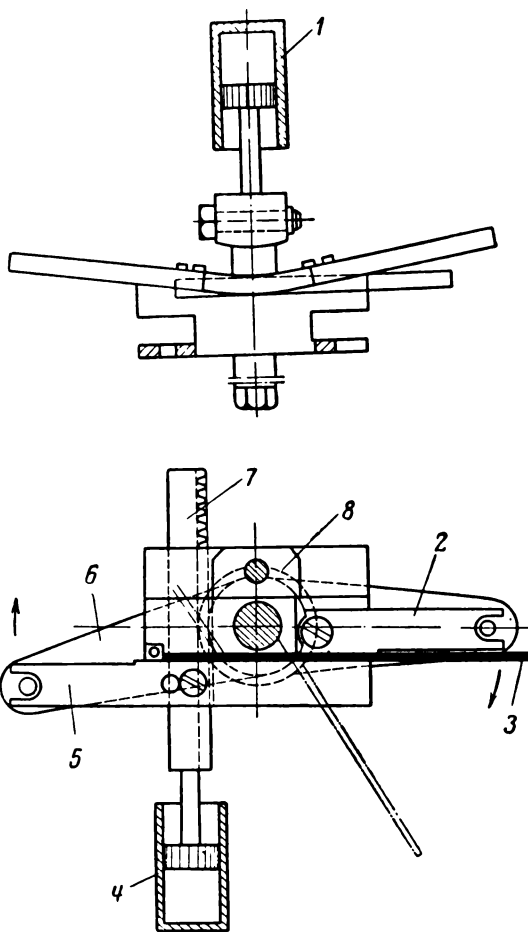


Рис. 12-14. Гибка стержней под прессом.

На рис. 12-16 показан станок для горячей обкатки микафолевой изоляцией роторных стержней. Планшайба 3 приводится во вращение электродвигателем 1 со скоростью 80 об/мин. Стержень вкладывается между двумя плитами из угловой стали. Нижняя плита 6 неподвижна и обогревается нагревательной спиралью 8. Верхняя плита 5 качается на шарнирах и прижимается к нижней. Конец стержня зажимается между губками 4 планшайбы и при пуске станка стержень начинает вращаться между плитами. Для выемки стержня поднимают верхнюю плиту нажатием на педаль 7.

Пазовую часть после обкатки опрессовывают в горячих прессах между коробчатыми планками. В пресс закладывают несколько стержней. При нагревании клеящий лак размягчается и растворитель испаряется. Этот процесс называется выпечкой изоляции стержней. В таком состоянии стержни выдерживают под прессом до остывания.

В последнее время вместо изолировки роторных стержней микафолием стали применять новый изоляционный материал — стеклоэскапоновую лакоткань, представляющую собой стеклянную ткань, пропитанную и покрытую слоем эскапонового лака [Л. 12-1]. Лобо-

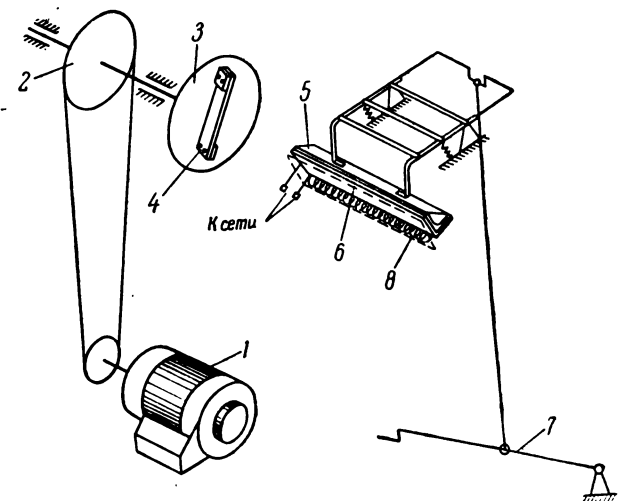


Рис. 12-16. Станок для обкатки изоляции стержней.

вые части стержней изолируют лентой из стеклоэскапоновой лакоткани. Поверх этой ленты наматывают один слой тафтяной ленты. Пазовую часть стержня изолируют широкой полосой эскапонового стеклофолия, который получается путем нанесения на стеклоэскапоновую лакоткань слоя бакелитового и слоя глифталевого лака. Заготовку стеклофолия вырезают по форме на рис. 12-15 и обертывают вокруг стержня вручную. Направление обертывания должно совпадать с направлением намотки лент на лобовых частях. Под последние полоборота стеклофолия подкладывают полоску телефонной бумаги лакированной стороной к стержню, которой делают 1,5—2 оборота вокруг стержня. После наложения изоляции стержень обертывают тремя слоями кабельной бумаги. Она служит защитой от повреждения изоляции при обкатке. Лак на эскапоновом стеклофолии и телефонной бумаге при вращении стержня между горячими плитами с температурой 190—210°С размягчается, и в результате этого слои изоляции уплотняются и склеиваются между собой и со стержнем. Обкатку продолжают в течение 6—8 мин, после чего стержень вы-

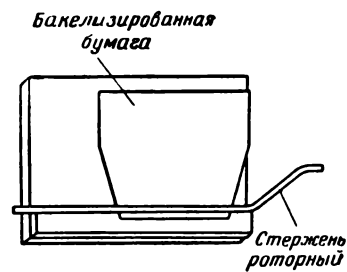


Рис. 12-15. Изолировка стержня.

нимают из обкаточных плит и в горячем состоянии помещают под пресс между пресс-планками. Так в обжатом состоянии стержни охлаждают, обдувая их воздухом. Стеклоэскапоновая изоляция значительно надежнее и дешевле, чем применявшаяся ранее micaфольевая изоляция.

12-8. ГИБКА СТЕРЖНЕЙ НА РОТОРЕ

Стержни роторной обмотки поступают на укладку в пазы только с одной изогнутой лобовой частью (рис. 12-17). Поэтому после укладки в пазы производят гибку вторых концов стержней. Для защиты изоляции стержней в пазы вкладывают гильзы из электрокартона толщиной 0,3 мм. Если перемычки выполнены из одной шины вместе с двумя стержнями (рис. 12-10), то обмотку ротора начинают с установки стержней с перемычками, которые вставляют в пазы со стороны выводов. Перемычки углубляют в канавки, проточенные в нажимных шайбах ротора. Поверх перемычек наматывают полосы электрокартона и затягивают киперной лентой. Затем приступают к укладке остальных стержней нижнего слоя. Уложенные стержни осаживают на дно паза клиновидными деревянными оправками. Изогнутые по винтовой линии лобовые части стержней осаживают на изолированную поверхность обмоткодержателей молотками через фибровую или текстолитовую прокладку. Концы изогнутых лобовых частей стягивают мягкой стальной проволокой, плотно прижимая их к обмоткодержателям. Второй проволочный бандаж наматывают посередине лобовых частей. Эти бандажи являются временными и служат для удержания стержней в процессе дальнейшей гибки лобовых частей.

После этого приступают к гибке лобовых частей со стороны, противоположной выводам. Гибку стержней производят двумя ключами

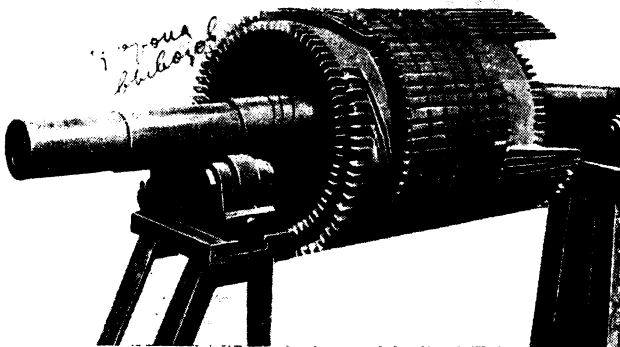


Рис. 12-17. Ротор в процессе обмотки.

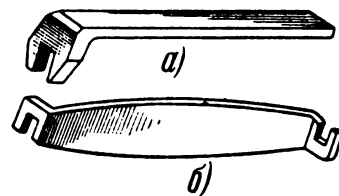


Рис. 12-18. Ключи для гибки лобовых частей.

(рис. 12-18). Ключ *а* берут в левую руку и надевают на прямую часть стержня, выходящую из паза. Ключ *б* берут в правую руку, надевают на лобовую часть стержня и подводят вплотную к ключу *а*. Ключом *б* изгибают стержень под требуемым углом.

Но первые стержни нельзя сразу изогнуть на требуемый по схеме угол. Это объясняется тем, что рядом с ними лежат прямые части соседних стержней. Поэтому первый стержень удастся изогнуть только на величину расстояния между стержнями, второй — на двойное расстояние, третий — на тройное и т. д. Только после изгиба стержней, занимающих два-три шага обмотки, будет возможна гибка остальных стержней на требуемый угол. Последними получают дополнительный изгиб те стержни, с которых была начата гибка.

Затем загибают концы стержней, на которые будут надеваться соединительные хомутики. Эту операцию выполняют теми же ключами. После загибки концов снимают временные бандажи, на лобовые части накладывают изоляцию между слоями лобовых частей, указанную в чертеже, и в пазы кладут прокладки между стержнями верхнего и нижнего слоев.

После этого в пазы вставляют стержни верхнего слоя со стороны, противоположной выводам. Когда все верхние стержни вложены в пазы на стороне ротора, противоположной выводам, наматывают временные бандажи, а концы стержней на этой стороне соединяют тонкой медной проволокой для первого испытания обмотки на отсутствие замыканий на корпус. Если изоляция стержней выдержит испытание, то производят загибку концов верхних стержней со стороны выводов аналогично загибке стержней нижнего слоя, с той лишь разницей, что изгиб стержней делают в противоположную сторону. На загнутые лобовые части верхних стержней также ставят два временных бандажа, которыми верхние стороны лобовых частей прижимают к изоляции, лежащей между верхними и нижними стержнями.

Ввиду того что в шести пазах нижнего слоя лежат стержни, соединенные перемычками, число стержней, подлежащих соединению

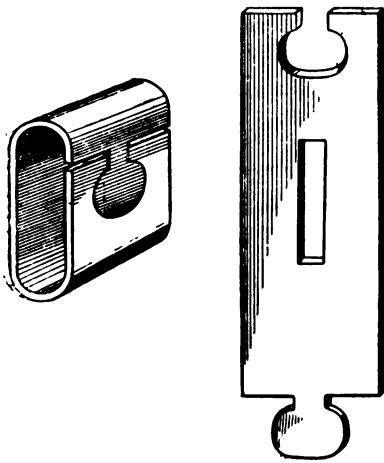


Рис. 12-19. Хомутик для соединения стержней.

в верхнем и нижнем слоях обмотки, будет неодинаково. Число стержней верхнего слоя равно числу пазов z , а нижнего $z-6$. Из шести стержней верхнего слоя три соединяют с кольцом, которым трехфазная обмотка соединяется в звезду, а три других — с контактными кольцами.

В процессе изготовления обмотки изоляцию обмотки испытывают на корпус. Для этого ротор передают на испытательную станцию. Один электрод от высоковольтного трансформатора присоединяют к одному из стержней обмотки, а другой к зубцу ротора или валу. Так как все стержни соединены медной проволокой, одновременно производится испытание электрической прочности изоляции всех стержней.

Для получения надежного соединения стержней необходимо, чтобы они плотно охватывались хомутиком, а зазоры между хомутиком и стержнями были минимальными. Но при забивании клинышков между стержнями хомутики из тонкой медной ленты разгибаются и не могут плотно охватывать концы стержней. Поэтому ранее применяли хомутики, получаемые путем сдавливания медной трубки, диаметр которой подбирается так, чтобы она плотно охватывала стержни. Очевидно, что для каждого размера стержня приходится применять трубки различных диаметров. Поэтому стали применять хомутики, согнутые из медных полос и соединяемые заклепками или сваркой.

Конструкция самозапирающегося хомутика, который штампуется из медной полосы толщиной 1,5—2 мм, показана на рис. 12-19. Линия разъема между заготовками хомутиков имеет фигурную форму, обеспечивающую безотходную штамповку. Один конец хомути-

ка имеет выступ в виде кружка, а другой — впадину такой же формы. После загиба на боковой стороне хомутика образуется замок, который не дает хомутику разгибаться. На противоположной боковой стороне хомутика выштампована продольная щель, служащая для затекания припоя внутрь хомутика [Л. 18].

12-9. ОБМОТОЧНЫЕ ТАБЛИЦЫ

Всякую схему можно заменить таблицей соединений, в которой числами, выражающими номера пазов, показаны все соединения между стержнями. При помощи этих же таблиц можно определить расположение концов фаз и перемычек, задавшись расположением начал фаз.

В каждом пазу лежат два стержня, обозначаемых в таблицах одним и тем же номером пазы, в котором они расположены. На схемах верхние и нижние стержни обозначают условными линиями: верхний сплошной линией, а нижний — пунктирной. В таблицах около номеров ставят буквы: «в» — для верхнего стержня и «н» — для нижнего. Таблицы составляют для каждой фазы отдельно. Таблица содержит число вертикальных столбиков, равное числу полюсов, и число строк в каждом столбике, равное удвоенному числу пазов на полюс и фазу.

Ниже приводится таблица соединений для обмотки, схема-развертка которой изображена на рис. 12-5. Сравнивая таблицу со схемой, можно легко усвоить правила составления таблиц. В этой обмотке $2p=4$ и $q=2$, поэтому таблица каждой фазы состоит из четырех столбиков и четырех строк.

Читать такую таблицу надо горизонтальными строчками. Так, например, в таблице видно, что, взяв начало первой фазы из пазы 1, надо соединять стержни верхнего и нижнего слоя в таком порядке: 1в с 7н, 7н с 13в, 13в с 19н, 19н с 24в (укороченный шаг), 24в с 6н, 6н с 12в, 12в с 18н, 18н с 24н (перемычка). После перемычки показаны шаги в обратном направлении для второй части фазы А.

12-10. ТОРЦОВЫЕ СХЕМЫ ОБМОТОК РОТОРА

Схемы-развертки обмотки роторов применяются только в учебной практике для сравнения различных типов обмоток. На них обычно показывают соединения стержней только в одной из фаз, так как если начертить полную схему, то она перестанет быть наглядной и в большом количестве проводов легко запутаться, следя за обходами по соединениям стержней в лобовых частях. Особенность вол-

Таблица соединений к схеме рис. 12-5

Фаза А	Фаза В	Фаза С
P1 — 1в — 7н — 13в — 19н 24в — 6н — 12в — 18н Перемычка 24н — 18в — 12н — 6в 1н — 19в — 13н — 7в — P4	P2 — 9в — 15н — 21в — 3н 8в — 14н — 20в — 2н Перемычка 8н — 2в — 20н — 14в 9н — 3в — 21н — 15в — P5	P3 — 17в — 23н — 5в — 11н 16в — 22н — 4в — 10н Перемычка 16н — 10в — 4н — 22в 17н — 11в — 5н — 23в — P6

новых обмоток ротора заключается в том, что обмотчику приходится выгибать после укладки стержней в пазы их лобовые части и соединять хомутиками верхние стержни с нижними. Это еще относительно легко выполнить на стороне, противоположной выводам, так как там все верхние стержни соединяются с нижними. Достаточно правильно соединить одну пару стержней, как другие будут соединяться подряд, и потому не нужно при каждом соединении проверять шаг обмотки. Значительно труднее выполнять соединения на стороне выводов. Здесь шесть стержней нижнего слоя соединены перемычками и не участвуют в соединении со стержнями верхнего слоя. В первую очередь от стержней верхнего слоя делаются выводы начал и концов фаз. Разные длины переходов требуют правильного расположения удлиненных или укороченных стержней. Схема-развертка с соединениями в одной фазе мало помогает обмотчику, так как соединения надо делать не по фазам, а подряд по всей окружности ротора. Поэтому для практического пользования в обмоточных цехах применяют торцовые схемы [Л. 18].

Торцовая схема представляет собой вид на торец обмотанного ротора со стороны выводов (рис. 12-20). Стержни пронумерованы теми же номерами, что и пазы, в которых они лежат, но стержни верхнего и нижнего слоев сдвинуты относительно друг друга по шагу обмотки. На каждом радиусе расположены те стержни, которые требуется соединить хомутиком. Стержни, соединяемые перемычками, вынесены в третий слой, ближе к центру схемы. В середине схемы показаны соединенные концы фаз в звезду и расположение выводов от начал фаз, соединяемых с контактными кольцами [Л. 12-3].

На рис. 12-20 приведена торцовая схема с числом полюсов $2p=4$; схема-развертка этой обмотки была приведена на рис. 12-5.

Для построения торцовой схемы надо провести две окружности, по которым располо-

жаются стержни верхнего и нижнего слоев. Стержни на схемах изображены кружками, а не квадратиками, так как это позволяет начертить схему, пользуясь только циркулем. Диаметр внутренней окружности можно рассчитать по формуле

$$D_2 = \frac{dz}{\pi}, \quad (12-5)$$

в которой d — диаметр кружка, а z — число пазов.

Диаметр наружной окружности будет

$$D_1 = D_2 + 2d. \quad (12-6)$$

Диаметр окружности, по которой располагаются стержни, соединяемые перемычками:

$$D_3 = D_2 - 2d. \quad (12-7)$$

Теперь надо окружность диаметром D_2 разделить циркулем на z частей и провести z тонких радиальных линий, которые пересекут все три окружности. На наружной окружности надо начертить z кружков и занумеровать их подряд в направлении часовой стрелки. Первый стержень обычно располагают в верхней части окружности и от него ведут счет. Номер пазов, из которых выходят начала и концы

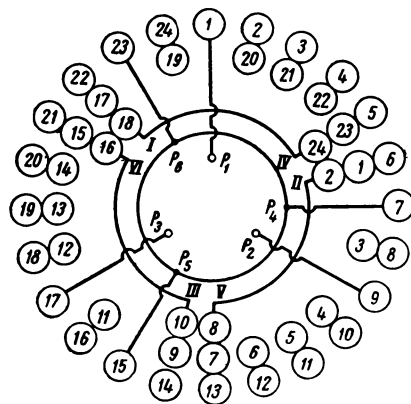


Рис. 12-20. Торцовая схема обмотки ротора.

Формулы для определения номеров пазов, из которых выходят начала, концы и перемычки фаз волновых обмоток ротора с двумя стержнями в пазу при p , не кратном 3

Фазы	Стержни	Обозначения выводов по схеме	Типы обмоток	
			с укороченными переходами	с удлиненными переходами
			номера пазов	
А	Верхние Нижние Нижние Верхние	P1	1	1
		I	$z + 2 - 4q$	$z - 2q$
		IV	$z + 2 - q$	q
		P4	$1 + 3q$	$1 + 3q$
В	Верхние Нижние Нижние Верхние	P2	$1 + z/3$	$1 + z/3$
		II	$z + 2 - 4q + z/3$	$z - 2q + z/3$
		V	$z + 2 - q + z/3$	$q + z/3$
		P5	$1 + 3q + z/3$	$1 + 3q + z/3$
С	Верхние Нижние Нижние Верхние	P3	$1 + \frac{2}{3}z$	$1 + \frac{2}{3}z$
		III	$z + 2 - 4q + \frac{2}{3}z$	$z - 2q + \frac{2}{3}z$
		VI	$z + 2 - q + \frac{2}{3}z$	$q + \frac{2}{3}z$
		P6	$1 + 3q + \frac{2}{3}z$	$1 + 3q + \frac{2}{3}z$

фаз, а также перемычки, можно определить по табл. 12-2. Затем проводят радиальные линии, изображающие выводы обмотки, и обозначают их P1, P2 и P3. Концы фаз P4, P5 и P6 соединяют окружностью в общую точку звезды, а начала фаз P1, P2 и P3 оставляют свободными для соединения с контактными кольцами.

Самой ответственной частью построения торцевой схемы является определение сдвига между номерами стержней верхнего и нижнего слоев. Если ошибиться в определении первого стержня нижнего слоя, то вся схема будет неверной. Поэтому надо внимательно отнестись к нумерации стержней нижнего слоя.

По схеме рис. 12-5 видно, что эта обмотка с укороченными переходами. По табл. 12-1 найдем номера пазов 1, 9, 17, 7, 15 и 23, из которых выходят начала и концы фаз в верхнем слое стержней. Теперь надо определить, где будет расположен стержень 1 нижнего слоя. Обратимся к таблице соединений 12-1. Стержень 1н мы найдем в последней строке фазы А. Он помещается между стержнями 6в и 19в. Чтобы знать, с каким стержнем верхнего слоя должен быть соединен стержень 1 нижнего слоя, надо из таблицы соединений взять тот стержень верхнего слоя, с которым 1н соединяется шагом со стороны выводов, так как торцевая схема — это вид на ротор со стороны выводов. Схема соединений начинается с шага со стороны, противо-

положной выводам. Этот шаг будет первым в каждой строке. Таким образом, соединение 1н—19в производится со стороны, противоположной выводам. Значит, со стороны выводов 1н соединен с 6в. Поэтому в нижнем слое стержень 1н должен находиться под 6в, как это видно на торцевой схеме рис. 12-20. Для определения сдвига между номерами стержней верхнего и нижнего слоя можно было бы и не составлять полной схемы соединений, а взять только один шаг со стороны выводов. Таким шагом в начале таблицы соединений будет шаг 7н—13в. Это показывает, что под стержнем 13 верхнего слоя лежит стержень 7 нижнего слоя, и можно было бы вести счет стержней нижнего слоя от стержня 7.

Теперь начнем нумерацию стержней нижнего слоя тоже по часовой стрелке. Но шести стержням на этой окружности не хватит места, так как они заняты выводами от начал и концов фаз. Поэтому шесть номеров надо перенести на третью окружность и соединить их перемычками. Номера этих стержней мы узнаем из таблицы. На схеме эти номера надо расположить под номерами соседних номеров нижнего слоя. На рис. 12-20 видно, что стержень 2 со второй окружности перенесен на третью. Следующим номером стержня этой фазы будет 8. Его мы соединим перемычкой со стержнем 2. Аналогично располагаются перемычки других фаз.

Для быстрого определения номеров пазов можно воспользоваться табл. 12-2.

КОРОТКОЗАМКНУТЫЕ ОБМОТКИ РОТОРОВ

13-1. ТИПЫ КОРОТКОЗАМКНУТЫХ ОБМОТОК

Асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором имеют наибольшее распространение, особенно в диапазоне мощностей 0,6—100 кВт. Роторы этих двигателей заливают алюминием. Заливка алюминием является прогрессивным технологическим процессом, при котором с наименьшими затратами труда и материала получается готовая обмотка, состоящая из стержней, замыкающих колец и крылышек вентилятора (рис. 13-1). Заливка алюминием не предъявляет высоких требований к качеству поверхности стенок пазов, может быть выполнена при любой форме паза и обеспечивает хороший контакт между стержнями и кольцами без применения паяния или сварки. Отливка вентиляционных крылышек вместе с обмоткой обеспечивает хороший отвод тепла от обмотки и не требует изготовления отдельных вентиляторов. При соединении листов ротора с валом с помощью рифления обмотки из алюминия легко могут быть получены со скосом паза.

Даже пониженная по сравнению с медью электрическая проводимость алюминия в короткозамкнутых роторах является положительным фактором, повышая пусковой момент двигателя.

В двигателях нормального исполнения для заливки роторов применяют исключительно первичный алюминий, который гарантирует необходимое постоянство электрического сопротивления. Малейшие следы примесей резко увеличивают удельное сопротивление и делают его неопределенным. До последнего времени электродвигатели малой мощности с повышенным скольжением выполнялись с латунными стержнями для повышения сопротивления клетки. Теперь для этих двигателей с успехом применяют алюминиевый

сплав, подбирая его с таким же удельным сопротивлением, как и латунь. Это дало возможность значительно снизить трудоемкость изготовления таких обмоток.

Основной трудностью, возникающей при заливке ротора, является возможность образования трещин, неполной заливки и разрывов стержней, вследствие того что алюминий, особенно в расплавленном состоянии, активно окисляется. Поэтому при заполнении формы легко могут образоваться трещины и разрывы в местах, где встречаются струи жидкого металла. Качество отливок в значительной степени зависит от температуры нагрева роторов перед заливкой и расплавленного алюминия. Как показывает практика, температуру нагрева роторов надо приближать к температуре плавления алюминия и не допускать больших перегревов расплавленного алюминия над температурой плавления. В процессе остывания роторные стержни дают усадку, которая отчасти компенсируется за счет сжатия сердечника ротора. Если сердечник перед заливкой слишком сильно спрессован, то могут происходить разрывы стержней.

Для роторов двигателей мощностью выше 400 кВт применяют обмотки с медными замыкающими кольцами и стержнями пусковой обмотки из медных сплавов с повышенным сопротивлением. Эти обмотки обладают значительно большей трудоемкостью по сравнению с алюминиевыми.

Существует много способов заливки роторов алюминием, из которых следует отметить статический, центробежный, вибрационный и под давлением.

13-2. СТАТИЧЕСКИЙ СПОСОБ ЗАЛИВКИ РОТОРОВ АЛЮМИНИЕМ

Статический способ, несмотря на свое несовершенство, применяется и сейчас при мелкосерийном производстве. Этот способ очень прост, не требует дорогого оборудования и может обеспечить хорошее качество заливки для пазов диаметром не менее 8 мм, при коротком сердечнике ротора и высоких литниках, для создания необходимого статического давления. Высота литника определяется по формуле

$$H = \frac{P}{\gamma}, \quad (13-1)$$

где H — высота литника;

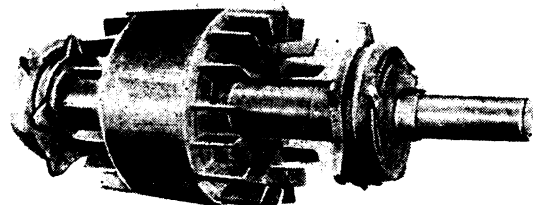


Рис. 13-1. Ротор, залитый алюминием.

P — давление;
 γ — плотность расплавленного алюминия, равная $2,3 \text{ г/см}^3$.

Распространенное мнение, что при статическом способе заливки нельзя получить крылья с обеих сторон ротора, опровергнуто практикой.

Для производства заливки роторы малых двигателей набирают на оправку 1 (рис. 13-2) вместе с чугунными формами 2, образующими замыкающие кольца обмотки и крылья вентилятора, если они предусмотрены конструкцией. Спрессованный пакет листов ротора запирают на оправке скобой 3, согнутой из полосовой стали, и помещают в печь для нагревания до $500\text{--}550^\circ\text{C}$. Нагретые роторы расстанавливают на плите и заливают расплавленным алюминием из ковша.

Для повышения качества заливки рекомендуется роторы под заливку ставить в наклонном положении. Благодаря этому жидкий металл по одним пазам течет вниз, заполняет нижнюю половину формы, а по другим поднимается вверх. Таким образом, исключается сопротивление воздушного столба текущему вниз металлу, которое часто являлось причиной брака.

Статическую заливку применяют и для крупных роторов при отсутствии других устройств. На рис. 13-3 показан процесс заливки ротора двигателя единой серии 9-го габарита [Л. 13-3].

Набранный по весу пакет ротора 5 надевают на оправку 1, спрессовывают и запирают на оправке при помощи кольца 6 и штифтов, вставленных в отверстия оправки. Запрессованный ротор переносят краном в печь и нагревают до $400\text{--}500^\circ\text{C}$. На вынутый из печи ротор надевают кольцо с цапфами, переворачивают его на 180° и ставят концом оправки вниз на неподвижную плиту гидравлического пресса, на которой закреплена нижняя форма 2. Затем при помощи поршня 10 и колонок 8 опускают плиту с закрепленной на ней верхней формой 4. На ротор надевают чугунную разъемную рубашку 3 для предохранения от вытекания алюминия через прорези пазов. В конце хода поршня ротор будет плотно зажат между плитами

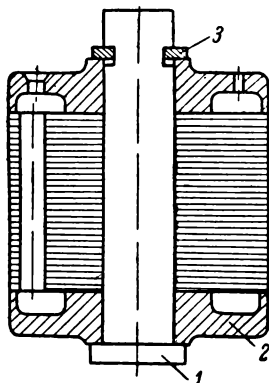


Рис. 13-2. Оправка для статической заливки ротора.

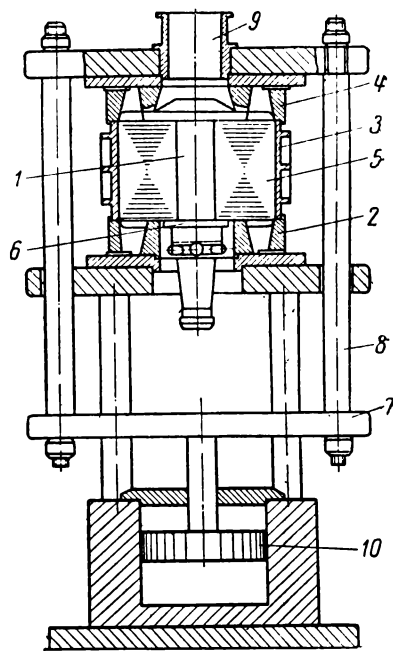


Рис. 13-3. Гидравлический пресс для заливки ротора.

пресса, а бортики чугунной рубашки войдут в заточки форм.

Ротор заливают расплавленным алюминием при температуре $750\text{--}780^\circ\text{C}$ через литниковую чашу 9. По застывании алюминия снова поднимают верхнюю плиту пресса. Сначала верхняя форма 4 снимается с залитого ротора. При дальнейшем подъеме поршня нижняя подвижная плита 7 упрется в нижнюю часть оправки и вытолкнет ротор из формы 2. Верхнюю плиту отводят в сторону и при помощи кольца с цапфами переносят ротор на другой пресс для выпрессовки из него оправки. На этом же прессе производится запрессовка в отверстие ротора вала двигателя.

13-3. ЦЕНТРОБЕЖНЫЙ СПОСОБ ЗАЛИВКИ РОТОРОВ

Центробежный способ заливки начал применяться в электропромышленности в 30-х годах и получил большое распространение. При центробежном способе стало возможным заливать пазы меньшего сечения, а также пазы грушевидной формы с меньшим процентом брака, чем при статическом.

При центробежном способе заливки ротор собирают на оправку вместе с формами, из которых верхняя имеет литниковое отверстие, расположенное в центре (рис. 13-4). Во время заливки ротор вращается и благодаря центробежной силе создается давление на металл. Это давление определяется по формуле

$$P = \frac{\gamma \omega^2}{3g} \left[r_1^2 - \frac{r_2^3}{r_1} \right] [\Gamma/\text{см}^2], \quad (13-2)$$

где r_1 — радиус окружности, на которой расположены пазы;

r_2 — радиус отверстия литника;
 ω — угловая скорость;
 g — ускорение силы тяжести.

Первое время считалось, что центробежный способ заливки можно применять только при полностью закрытых пазах ротора. Если по конструкции пазы имели прорези, то их открывали после заливки путем обточки ротора. Однако в дальнейшем стали заливать роторы со штампованными прорезями пазов, помещая их при заливке в кожух, препятствующий выбрызгиванию жидкого металла через прорези пазов.

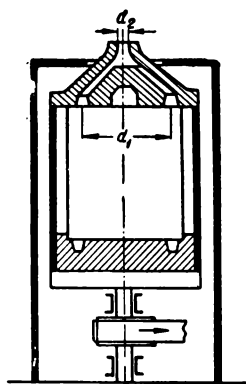


Рис. 13-4. Центробежная заливка ротора.

При центробежном способе заливки текущие вниз струи металла встречают сопротивление столба нагретого воздуха. Это зачастую является причиной брака, так как воздух, просачиваясь через толщу жидкого металла, делает отливку пористой.

Для устранения этого недостатка при разработке технологии заливки роторов асинхронных электродвигателей единой серии был предложен способ заливки через центральное отверстие в оправке (рис. 13-5).

При таком способе расплавленный алюминий течет по пазам снизу вверх, вытесняя воздух через отверстие в верхней половине формы. Кинетическая энергия, накопленная струей металла при протекании через отверстие в оправке, используется для более эффективного заполнения пазов и верхнего замыкающего кольца. Отделение литника от отливки производится путем давления на оправку, при котором обрываются тонкие перемычки a , соединяющие кольцевую чашу нижней формы с замыкающим кольцом

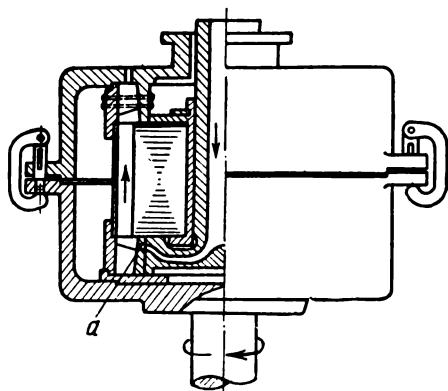


Рис. 13-5. Заливка ротора через центральное отверстие.

обмотки ротора. Отделенные от ротора литники могут быть использованы для отливки деталей из вторичного алюминия.

Центробежный способ, который в течение двух десятилетий почти безраздельно господствовал в производстве алюминиевых обмоток, начал вытесняться способом литья под давлением. Это объясняется двумя обстоятельствами: во-первых, центробежный способ литья, требующий предварительного разогрева ротора и медленного его остывания, не обеспечивает необходимой производительности при крупносерийном и массовом производстве. Вторая причина была обнаружена при переходе с круглой формы пазов на грушевидную в целях улучшения пусковых свойств электродвигателей. У таких пазов радиус закругления в основании при увеличении высоты паза получается небольшим и иногда достигает 1 мм. В этих местах при центробежном способе заливки в пазах стали обнаруживаться не заполненные алюминием места и трещины. Причиной незаполнения узких щелей паза является центробежная сила, которая вытесняет жидкий металл со дна паза к периферии. Это дало возможность предположить, что улучшение качества заливки при центробежном способе по сравнению со статическим объясняется не столько центробежной силой, сколько неизбежными вибрациями и встряхиваниями ротора при вращении, которые происходят вследствие несовершенства подшипников, консольного расположения ротора на оправке, биения ремня или зубчатой передачи, соединяющих вал заливочной машины с электродвигателем, и других подобных причин.

13-4. ВИБРАЦИОННЫЙ СПОСОБ ЗАЛИВКИ РОТОРОВ

Вибрационный способ заливки начал применяться позднее, чем центробежный, и не успел еще получить широкого распространения. Принцип действия вибрационной установки для заливки ротора заключается в том, что ротору в процессе заливки сообщаются колебания в вертикальном направлении.

Колебательные движения вызывают появление сил инерции в жидком алюминии, которые повышают внутреннее давление и этим способствуют хорошему заполнению пазов. Давление, действующее на металл, может быть выражено формулой

$$P = \gamma \frac{h}{g} a k^2 [Г/см^2], \quad (13-3)$$

где a — амплитуда колебаний, см;

k — частота колебаний;
 h — расстояние данной точки от уровня жидкого металла.

Очевидно, что максимум давления возникает в момент, когда ротор меняет направление движения. При вибрационном способе можно создать давление в 5—7 раз превосходящее давление при центробежном способе заливки. При этом направление давления совпадает с осью паза, что способствует хорошему заполнению пазов грушевидной формы. Учитывая, что устройство вибрационной установки проще, чем центробежной машины, этот способ мог бы с успехом конкурировать с центробежным способом в условиях серийного производства. Что касается массового производства, то он, конечно, не может идти в сравнение с методом заливки под давлением.

На рис. 13-6 показан станок для вибрационной заливки, представляющий собой металлический стол 1 с установленной на нем формой 2, в которой производится заливка ротора. Под крышкой стола укреплен электродвигатель 3, на конец вала которого насажен несбалансированный диск 4. При вращении электродвигателя со скоростью 1500 об/мин центробежная сила заставляет вибрировать крышку стола с укрепленной на ней формой и сердечником ротора, уплотняя заливаемый металл. Форма (рис. 13-7) установлена на массивном основании 1, в котором помещена часть формы 5, образующая нижнее замыкающее кольцо обмотки ротора. В ней просверлено отверстие для конца вала и она опирается на три пружины 7 через подвижную шайбу 6 и три болта 8. В середину шайбы 6 ввернута тяга 9 с ушком, связанным с ножной педалью, при помощи которой освобождаются залитые роторы.

Сердечник ротора, поставленный на нижнюю часть формы, поджимается пружинами к верхней части формы 4, состоящей из двух половин, шарнирно соединенных осью 2 и запирающихся в сомкнутом состоянии вилкой 10. В верхней части формы расточено углубление для центрирования сердечника ротора и для образования верхнего замыкающего кольца, а также воронка для заливания расплавленного алюминия. Для

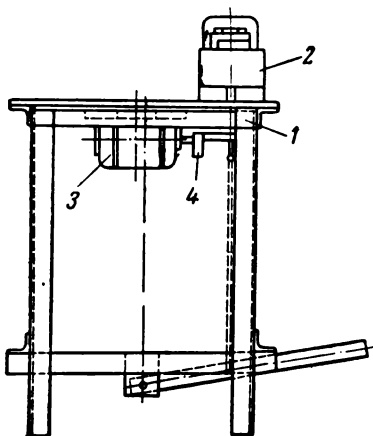


Рис. 13-6. Установка для вибрационной заливки.

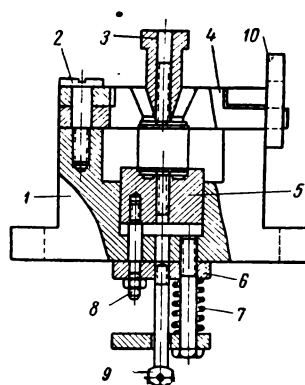


Рис. 13-7. Форма для вибрационной заливки.

защиты вала ротора и для оформления внутренней окружности замыкающего кольца на конец вала надевается коническая трубка 3. При заливке со стороны верхнего кольца образуется литник, предупреждающий появление усадочных раковин в кольце, который срезается при механической обработке.

Для всех перечисленных выше способов заливки требуется большое количество оправок и форм для обеспечения непрерывного процесса заливки. При крупносерийном производстве изготовление, хранение и расстановка форм приводят к удорожанию и усложнению процесса заливки.

13-5. ЗАЛИВКА РОТОРОВ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Этим недостатком не страдает способ заливки под давлением. Заливку производят в сложных машинах специализированного исполнения, которые одновременно производят прессовку сердечника. При этом отпадают трудоемкие операции прессовки листов на оправке, подогрева ротора перед заливкой и распрессовки залитых роторов. При литье под давлением листы ротора, набранные по весу, надевают на оправку 3 и вставляют в обойму 4 литейной формы, которая укреплена на неподвижной части 2 машины для литья под давлением (рис. 13-8). Вторая часть формы 1 укреплена на подвижной части

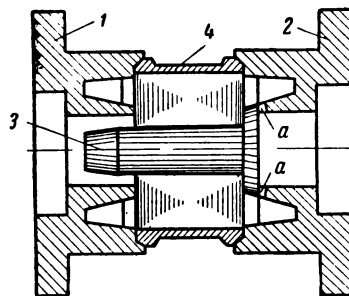


Рис. 13-8. Схема заливки ротора под давлением.

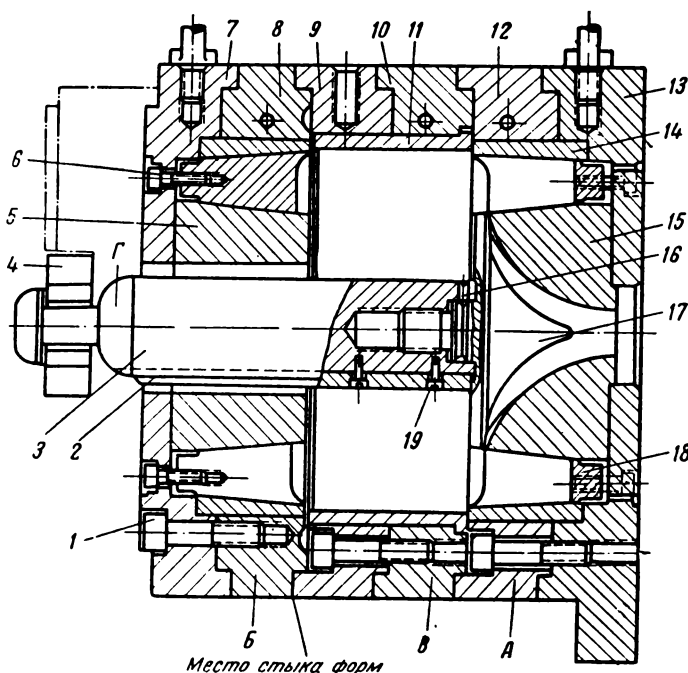


Рис. 13-9. Форма для заливки ротора под давлением.

машины. Закрытие формы производится нажатием ножной пусковой педали, причем одновременно производится спрессовка сердечника ротора до упора, чем обеспечивается размер высоты сердечника. После этого алюминий в расплавленном виде при температуре 700—710°С поступает в камеру детали 2 под давлением поршня и через узкие отверстия *a* протекает в форму для заливки. После заливки литники легко срезаются острой кромкой оправки при выпрессовке ее из ротора.

Производительность способа заливки под давлением во много раз превосходит производительность центробежной машины. Для массового производства малых роторов литье под давлением является наиболее совершенным способом, обеспечивающим высокую производительность и гарантированное качество заливки, исключаящее необходимость сплошной проверки роторов после заливки.

В дальнейшем на литейных машинах больших размеров была освоена заливка более крупных роторов с весом залитого алюминия до 15 кг. Конструкция формы для заливки роторов алюминием показана на рис. 13-9. Форма состоит из четырех основных частей:

A — передней неподвижной части формы; *B* — подвижной части формы; *B* — сменной обоймы в зависимости от длины ротора; *Г* — оправки для шихтовки ротора с рассекателем.

В частях *A* и *B* сделаны углубления для формовки крыльев и короткозамыкающих колец ротора. Часть *A* состоит из плит 12 и 13, скрепленных винтами, и призматика 15, через отверстие которого поступает расплавленный алюминий и впрыскивается в полость фор-

мы в месте соприкосновения с рассекателем 17. Часть *B* состоит из плит 7, 8 и кольца 5, скрепленных винтами 1. Кольца 14 формуют верхние стороны крыльев, а промежутки между крыльями с обеих сторон ротора образуются венчиками 18, которые крепятся винтами 6. Обойма *B* состоит из плит 9 и 10, сменяемых в зависимости от длины сердечника ротора; обойма крепится к неподвижной части формы *A* винтами. В обойму вставлено кольцо 11 из закаленной стали с хромированной поверхностью, служащее направлением для сердечника ротора.

Центричность всех частей формы, помимо винтов и направляющих колонок, обеспечивается заточками, которые одновременно предохраняют от разбрызгивания металла при впрыскивании его в форму.

Оправка для шихтовки *Г* состоит из стержня 3, шпонки 2, укрепленной винтами 19, и рассекателя 17. Рассекатель выполняется отъемным из жаростойких сталей 5ХНМ или ЭХВ8 и может быть использован для других исполнений роторов. Он стопорится от проворачивания винтом 16. Стержень оправки изготавливают из стали Ст. 5, закалывают и шлифуют. На передней части оправки имеется грибок, который служит для захватывания ротора скобой 4 при вынимании его из формы одновременно с отводом подвижной части формы. После заливки ротор выкатывают за пределы машины и, поставив его на подставку, извлекают оправку давлением прессы. Форма во время работы охлаждается водой, протекающей через каналы в плитах.

На рис. 13-10, *a* показана четырехместная форма для заливки короткозамкнутых роторов на машинах «Полак-900». Обычно при заливке роторов более крупных машин пакеты роторов надевают на оправки, которые затем удаляют. В данном случае форма сконструирована таким образом, что пакеты роторов ставятся в гнезда собранными на своих валах [Л. 13-5].

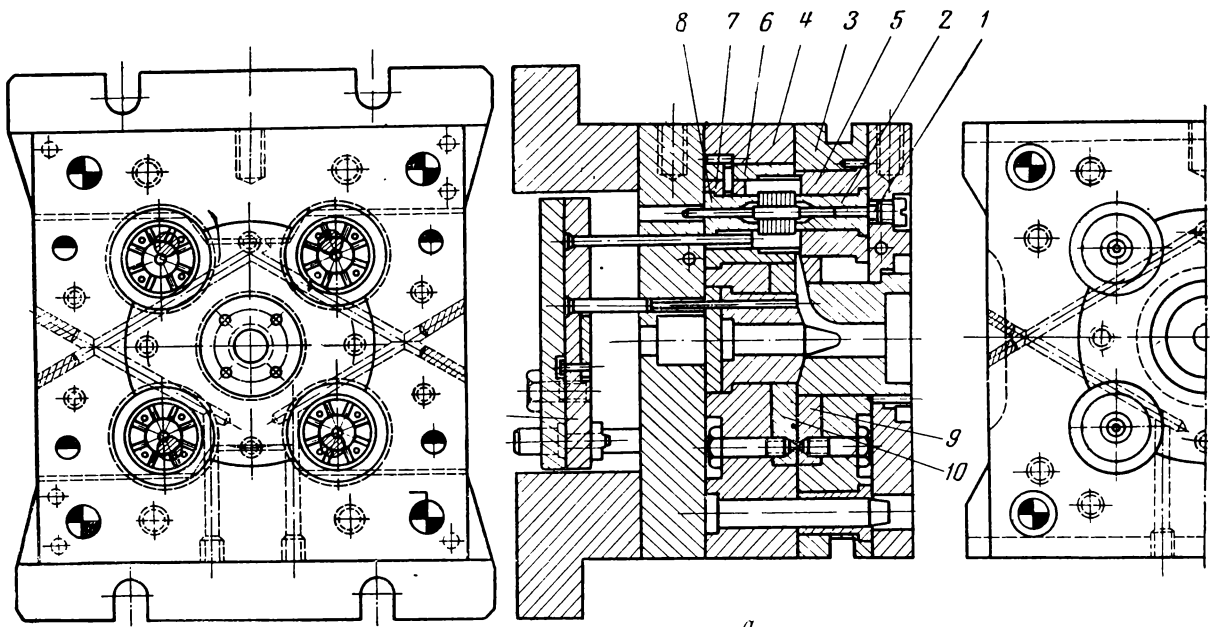
Фиксация длин концов вала производится по упорам 1, которые находятся во вставках 2, запрессованных в гнездах литниковой матрицы 3. В целях экономии легированных сталей литниковая матрица 3 и матрица рассекателя 4 изготовлены из стали 20. Вставки 5—10, образующие рабочие полости формы, изготовлены из стали 3Х2В8. Такое конструктивное исполнение формы увеличивает срок ее службы, позволяет путем смены фасонных рабочих вставок отливать детали различной конфигурации, конструктивно близкие к ротору. Универсальность формы имеет большое значение при выпуске изделий малыми сериями, а также расширяет возможность нормализации форм литья под давлением.

При заливке роторов чистым алюминием марок А00; А-0; А-1 часто наблюдается приваривание металла к форме. Это приводит к браку заливаемых изделий, к длительному простоя формы, а иногда к ее порче. Для предотвращения приваривания металла рабочие полости формы необходимо до термообработки обрабатывать до чистоты $\nabla 12$.

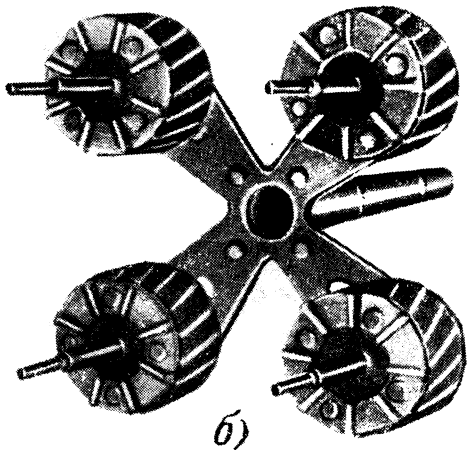
На рис. 13-10, *b* показаны четыре ротора, вынутых из машины с литниковой системой.

13-6. РОТОРЫ С РАДИАЛЬНЫМИ КАНАЛАМИ, ЗАЛИТЫЕ АЛЮМИНИЕМ

До последнего времени считалось, что заливать алюминием можно только роторы без радиальных вентиляционных каналов. При освоении двигателей единой серии 10 и 11-го



а



б)

Рис. 13-10. Четырехместная форма для заливки роторов микродвигателей.

габаритов на заводе имени Калинина разработаны конструкция и технология заливки роторов с радиальными каналами. Для этого нужно было перекрыть вентиляционные каналы в зоне каждого паза трубочками, чтобы алюминий не вытекал из пазов.

В первой конструкции такого ротора (рис. 4-11) листы, ограничивающие вентиляционный канал, штамповали из декапированной стали и вокруг профиля паза выдавливали штампом ободки 1 высотой 2 мм. На эти ободки надевали хомутики 2, согнутые и сваренные из ли-

стовой стали. Таким образом, между пакетами создавались замкнутые переходы, изолированные от радиального канала.

При освоении серийного производства двигателей хомутики 2 стали приваривать к плоской поверхности листов 1 точечной сваркой (рис. 13-11). Для разгрузки вентиляционных распорок 3 от давления прессовки вокруг осевого отверстия точками приваривают кольцо 4, согнутое из полосовой стали.

Заливка производится статическим методом для роторов двигателей мощностью до 400 квт. Вес алюминиевой обмотки составляет около $\frac{1}{3}$ веса двойной клетки из медных сплавов [Л. 13-2].

13-7. КОНТРОЛЬ РОТОРОВ, ЗАЛИТЫХ АЛЮМИНИЕМ

При заливке роторов алюминием особенно статической получается значительный процент брака: обрыв стержней, сужения стержней или трещины. Обрывы

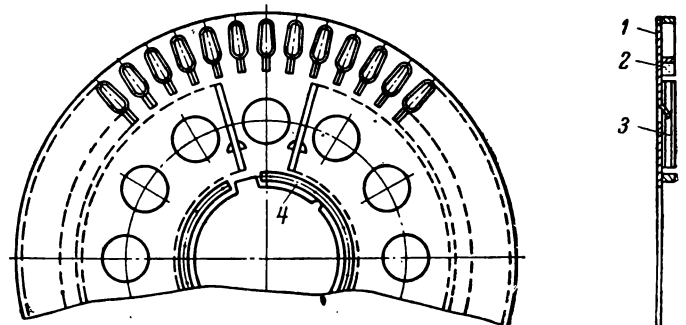


Рис. 13-11. Ротор с вентиляционными каналами, залитый алюминием.

стержней могут получиться вследствие нерациональной геометрии заливочной формы или чрезмерной прессовки пакета перед заливкой; при усадке алюминия в процессе остывания чрезмерно спрессованный пакет не имеет достаточной усадки и стержни обрываются. Трещины в стержнях могут образоваться в местах соединения двух струй расплавленного металла вследствие окисления. Трещины могут также образовываться при выпрессовке оправки из неостывшего ротора, когда он подвергается ударам. Качество заливки значительно улучшается при заливке роторов под давлением. В этом случае сплошной контроль залитых роторов не нужен.

Дефекты роторной клетки сильно сказываются на снижении перегрузочной способности двигателя и неустойчивой работе даже при небольших перегрузках. При трех разорванных стержнях на кривой моментов в зоне полусинхронной скорости образуется седловина с понижением вращающего момента до 30% номинального. Такой двигатель совершенно непригоден к работе в условиях резко меняющихся нагрузок.

Дефекты роторной клетки можно выявить либо при испытании собранной машины, либо до сборки с помощью специальных аппаратов.

Первый способ применяется главным образом при лабораторных исследованиях электродвигателей. В качестве контрольного метода он не пригоден, так как слишком много времени будет тратиться на сборку двигателей в целях испытания. При массовом производстве возрастание брака роторов и возвращение готовых машин с испытательной станции в конце производственного цикла может привести к дезорганизации производства и нарушению ритма выпуска готовой продукции.

Определение дефектов роторной клетки в собранных двигателях можно производить различными способами [Л. 13-1].

Способ определения индуктивного сопротивления роторной клетки. Сущность метода заключается в следующем: опытом короткого замыкания определяют индуктивное сопротивление роторной клетки X_k как функцию токов короткого замыкания I_k , соответствующих ряду значений напряжения. Значение линейного тока определяют как среднюю арифметическую токов в трех фазах. При этом принимают, что ток I_k не зависит от положения ротора.

Этот способ является очень трудоемким. При проведении испытаний следует остерегаться чрезмерного нагрева обмоток статора и ротора. Для контрольных испытаний этот способ слишком дорог.

Способ трех амперметров. Сущность способа заключается в снятии одной точки опыта короткого замыкания. В три фазы обмотки статора вклю-

чают чувствительные амперметры. Обмотку статора питают регулируемым пониженным напряжением, составляющим 20—30% номинального. Медленно поворачивая ротор от руки, определяют максимальное и минимальное значения тока, который при поворачивании ротора будет изменяться.

Критерием годности ротора является симметрия токов во всех фазах и установленное опытным путем соотношение

$$\frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} \cdot 100. \quad (13-4)$$

Ротор считается годным, если это соотношение не превышает 3%. Этот метод требует строгого центрирования ротора относительно статора. Неравномерность зазора делает показания приборов сомнительными. При наличии нескольких разорванных стержней, которые расположены симметрично по окружности ротора, разность показаний амперметров может оказаться незначительной, хотя ротор совершенно не пригоден к работе.

Способ эталонного ротора. Сущность способа заключается в определении наименьшего значения тока короткого замыкания при медленном проворачивании ротора, строго центрированного в статоре. Напряжение выбирают около 30% номинального. Для каждого типа двигателя это напряжение должно быть строго определенным и симметричным во всех трех фазах. Критерием годности является некоторый нижний предел тока, измеряемый в каждой фазе. Этот предел устанавливается путем лабораторного исследования эталонного ротора.

При массовом производстве необходим контроль роторов до сборки двигателей. Для этой цели применяются многочисленные конструкции контрольных аппаратов: 1) трансформаторного типа; 2) работающие по мостовой схеме; 3) использующие поля рассеяния; 4) с применением осциллографов; 5) использующие принцип порошково-магнитной дефектоскопии.

Аппараты трансформаторного типа. Аппараты, построенные на этом принципе, можно рассматривать как трансформаторы с тремя обмотками. Первая из них создает э. д. с. на стержнях ротора. Эта обмотка помещается на магнитопроводе статорного типа или создает магнитный поток в роторе при помощи электромагнита, прилегающего к поверхности ротора. Второй обмоткой такого трансформатора является короткозамкнутая роторная клетка, а третьей обмотка индикатора.

На рис. 13-12 показана схема аппарата трансформаторного типа, который состоит из намагничивающего устройства 2, искателя 3, лампового усилителя 4 и индикатора. Намагничивающее поле создается электромагнитом переменного тока, сердечник которого собран из листов электротехнической стали, изолированных друг от друга лаковой пленкой. Обмотка электромагнита питается напряжением 220—380 в промышленной частоты. Расстояние между полюсными наконечниками делают таким, чтобы ротор 1 помещался между ними с минимальным зазором. Шейки вала ротора опираются на ролики, один из которых вращается через редуктор и за счет трения сообщает медленное вращение ротору.

Катушка искателя располагается в плоскости, перпендикулярной линии полюсов с минимальным зазором по отношению к ротору. Она намотана на средней стержень Ш-образного сердечника. Концы катушки включаются на выход двухкаскадного усилителя низкой частоты. В анодную цепь выходной лампы усилителя включается реле 5, которое может замыкать цепь индикатора, состоящую из небольшой батареи 7 и

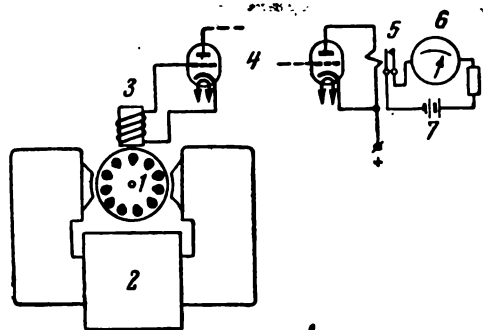


Рис. 13-12. Прибор трансформаторного типа для контроля роторов.

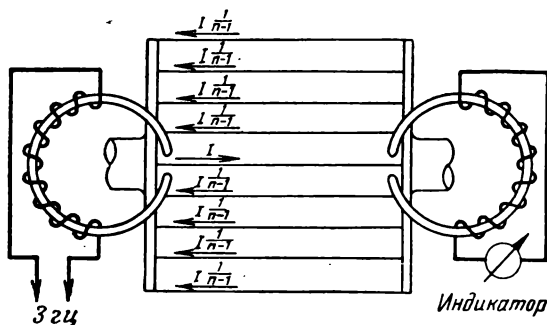


Рис. 13-13. Контроль ротора прибором ПКР-2.

стрелочного электроизмерительного прибора 6. Реле регулируется таким образом, чтобы оно находилось на пороге срабатывания, но не срабатывало, когда под катушкой искателя находится ротор с заведомо доброкачественной роторной клеткой.

На рис. 13-13 показана схема проверки ротора прибором ПКР-2. Для возбуждения переменной э. д. с. в стержнях ротора служит приставный электромагнит П-образной формы, который питается от лампового генератора низкой частоты (3—5 гц). Расстояние между концами электромагнита делают таким, чтобы создаваемый им магнитный поток охватывал один стержень ротора. Электромагнит помещают вблизи короткозамыкающего кольца. На противоположном конце ротора располагается другой П-образный электромагнит — индикатор.

Ток, наводимый в контролируемом стержне, разветвляется по всем стержням. При этом считается, что проводимость всех стержней одинакова и что между листами ротора и стержнями роторной клетки отсутствуют электрические контакты. Ток в контролируемом стержне зависит от общего сопротивления всего контура, которое определяется в основном активным сопротивлением, так как аппарат работает на низкой частоте.

Процесс испытания ротора состоит в следующем. Электромагнит и индикатор устанавливают на контролируемом стержне, плотно прижимая их к поверхности ротора. Напряжение, питающее электромагнит, подбирают так, чтобы показание индикаторного прибора были в пределах 40—45 мка. Для проверки ротора переставляют электромагнит и индикатор последовательно над всеми стержнями.

При полных обрывах стержня индикатор не дает показаний. Показания менее 40 мка указывают на дефекты стержней. Однако даже при хорошем качестве заливки возможен разброс показаний индикатора в пределах $\pm 25\%$.

Аппарат ПКР-2 приспособлен лишь для роторов, у которых пазы со шлицами. Однако короткозамкнутые роторы с закрытыми пазами в современных асинхронных электродвигателях почти не применяются.

Аппараты, работающие по мостовой схеме. На рис. 13-14 показана схема мостового аппарата А. В. Сафронова. В основу схемы положен мост, составленный из индуктивных сопротивлений.

Плечами моста являются четыре катушки, надетые на стальные сердечники. Одна из диагоналей моста питается от понижающего трансформатора переменным током напряжением 12—16 в. В другую диагональ включен индикатор, состоящий из меднозакисного выпрямителя и магнитоэлектрического миллиамперметра. Выпрямитель может быть однополупериодным или двухполупериодным. Катушки L_1 и L_2 уложены в че-

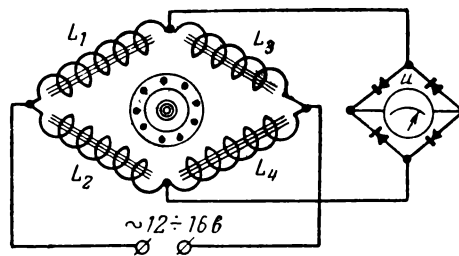


Рис. 13-14. Схема прибора мостового типа.

тыре паза статора, имеющего 24 паза; катушки L_3 и L_4 располагаются в четырех пазах, диаметрально противоположных пазам с катушками L_1 и L_2 . Проверяемый ротор вставляют в статор и медленно поворачивают в нем; при этом возникает магнитная связь между магнитным потоком статора и проверяемым ротором. При наличии хотя бы одного оборванного стержня или стержня с повышенным сопротивлением баланс моста будет нарушен и стрелка индикатора отклонится.

Аппарат, использующий поля рассеяния. На рис. 13-15 показана схема изобретенного И. А. Кравцовым аппарата вибрационного типа. Он основан на использовании резонансных колебаний стального якоря в зоне магнитных полей рассеяния от токов, протекающих по стержням роторной клетки. Магнитный поток в роторе возбуждается приставным электромагнитом с узкой щелью между полюсами, которые помещаются над пазом проверяемого ротора. Вибрирующий якорь укреплен на самом электромагните. Расстояние от него до поверхности ротора можно регулировать.

При повороте ротора пазы его проходят под щелью электромагнита и одновременно под вибрирующим якорем. Если в стержне нет обрыва, то якорь под действием магнитного поля рассеяния начинает колебаться и ударами по поверхности ротора сигнализирует об исправности стержня роторной клетки. При обрыве стержня якорь остается неподвижным. На этом приборе можно проверять залитые роторы до обработки наружной поверхности, что снижает потери от брака.

Аппарат с применением осциллографа чехословацкого завода MEZ. Аппарат устанавливается на токарном станке и проверка ротора может производиться после предварительной черновой обработки.

Проверяемый ротор устанавливают в патроне токарного станка или в специальной установке и вращают со скоростью 600—2000 об/мин. На суппорте станка или на особом кронштейне устанавливают измерительный датчик с зазором по отношению к ротору в 2—4 мм. На валу ротора укрепляют стальную

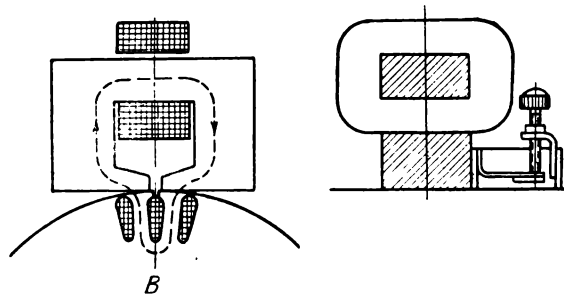


Рис. 13-15. Схема прибора вибрационного типа.

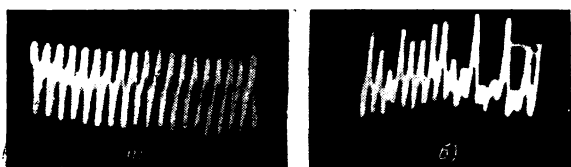


Рис. 13-16. Осциллограммы при годном и дефектном роторах.

шпонку, вблизи которой с зазором 2—4 мм устанавливают синхронизирующий датчик.

Измерительный датчик включают на вертикальный ход нормального осциллографа, например ЭО-7. При полной синхронизации частоты развертки осциллографа с частотой процесса на его экране будут наблюдаться изображения, показанные на рис. 13-16,а при доброкачественном роторе и на рис. 13-16,б — при дефектном.

При вращении ротора перед измерительным датчиком поочередно проходят зубцы и пазы ротора, что изменяет магнитное сопротивление в зазоре между датчиком и ротором. В силу этого в катушке датчика индуцируется некоторое напряжение. Это напряжение будет обратно пропорционально проводимости того или иного стержня роторной клетки. Если в пазу расположен стержень без дефектов, то влияние реакции стержня на изменение магнитного потока будет наименьшим.

Для получения неподвижного изображения частоту развертки осциллографа синхронизируют с вращением ротора. Измерительный и синхронизирующий датчики имеют постоянные магниты из сплава «альни» или «магнико».

Аппарат является универсальным для любого типа-размера ротора.

Магнитная порошковая дефектоскопия. Сущность способа магнитной порошковой дефектоскопии заключается в следующем: от понижающего трансформатора к короткозамкнутым кольцам ротора подводится напряжение 1,5—2,5 в. Регулируя первичное напряжение, устанавливают во вторичной цепи ток 300—500 а. Вторичная обмотка трансформатора, соединительные провода и контактные поверхности, зажимающие короткозамкнутые кольца ротора, должны быть рассчитаны на такой ток. Проходя по параллельно включенным стержням роторной клетки, ток создает вокруг каждого стержня магнитное поле. Ротор обертывают плотным листом белой бумаги, который покрывают тонким слоем стальных опилок. Они расположатся плотной линией вдоль целых стержней и менее плотно вдоль стержней, имеющих разрывы.

Этот способ является трудоемким и для сплошного контроля при массовом производстве не применяется.

13-8. КОРОТКОЗАМКНУТЫЕ ОБМОТКИ ИЗ МЕДНЫХ СТЕЖНЕЙ

Обмотки роторов из медных сплавов разделяются на следующие разновидности: двойная клетка, глубокий паз, трапециевидный паз и бутылочный паз.

Для выполнения обмотки накрубают из прутков заготовки стержней 1, 2 (рис. 13-17,а) такой длины, чтобы они выступали над поверхностью кольца на величину от 2 мм до половины диаметра стержня. Концы стержней снимают на точильном камне на конус и забивают в пазы. Если стенки пазов имеют

большие шероховатости, то их прочищают сверлами, вращаемыми дрелью.

Замыкающие кольца 3 и 4 сгибают из медной полосы и сваривают в стык. Поверхности колец протачивают и сверлят в них отверстия для стержней. Зазоры между стержнями и отверстиями в кольцах должны быть в пределах 0,2—0,4 мм. Кольца надевают на концы стержней и соединения пропаявают твердым припоем ПМФ-7 или сваривают.

Изготовление замыкающих колец с просверленными отверстиями является трудоемким процессом. Еще труднее бывает надеть кольца на стержни. Это объясняется тем, что при забивании в пазы стержни изгибаются, а концы их расплющиваются и не входят в отверстия в кольцах.

На рис. 13-17,б показана конструкция короткозамкнутой клетки, у которой замыкающее кольцо 2 изогнуто плашмя из медной шины и прилегает снизу к стержням ротора 1. Такое кольцо не нуждается в механической обработке. В нем не надо сверлить отверстий и его не надо обтачивать. Приварку кольца к стержням можно производить дуговой сваркой швами с обеих сторон стержня. Так как теплоемкость стержней и кольца в месте сварки получается почти одинаковой, легче удается получить надежное соединение. Качество

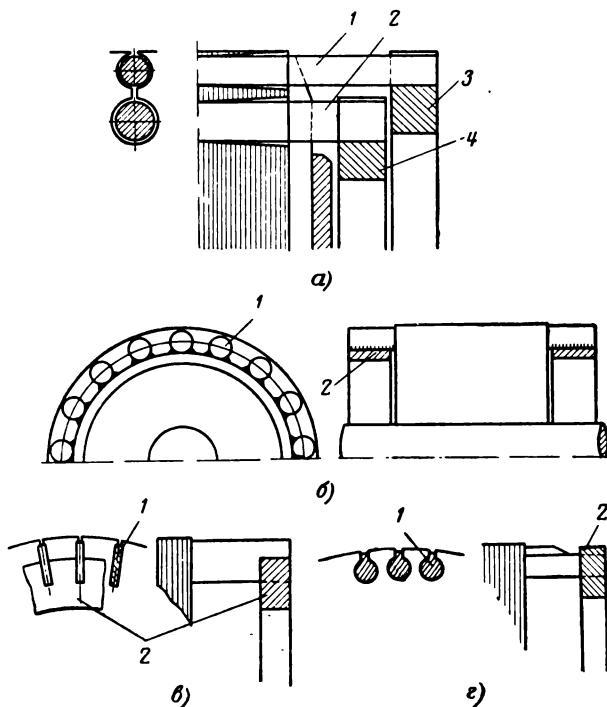


Рис. 13-17. Типы короткозамкнутых роторов с медными стержнями.

сварки легко контролируется внешним осмотром.

Короткозамкнутые обмотки с одним рядом стержней не обладают требуемыми пусковыми характеристиками. При круглых стержнях обычно применяют двойную (рис. 13-17,а) клетку, у которой пусковая обмотка 1 выполнена из латуни, а рабочая 2 из меди. Каждая обмотка замыкается с обеих сторон кольцами 3 и 4. В крупных машинах при больших диаметрах стержней кольца выполняются раздельно, чтобы дать возможность стержням каждой клетки удлиняться при нагревании независимо от другой обмотки. Свободное расположение колец упрощает также выполнение процесса пайки. Наиболее сложной частью технологического процесса является соединение стержней с замыкающими кольцами. Медные сплавы имеют пониженную температуру плавления по сравнению с медью. Сечение кольца в несколько раз больше сечения стержня. Поэтому при сварке концы стержней могут расплавиться раньше, чем кольцо будет прогрето до температуры сварки.

Роторы с двойной клеткой трудоемки и поэтому применяются только для двигателей с большой кратностью пускового момента.

Технологически значительно проще выполнение роторов с глубоким пазом (рис. 13-17, в). Здесь стержни 1 и кольцо 2 выполняются из меди, поэтому отсутствуют указанные выше трудности их сварки. Сварочный шов имеет большую длину периметра, что обеспечивает надежность соединения. Однако в эксплуатации роторы с глубоким пазом проявили себя недостаточно надежными. Вследствие вытеснения тока нагрев стержня по высоте при пусках двигателя неравномерен. Поэтому стержни выгибаются, что влечет за собой разрывы соединений между стержнями и замыкающими кольцами.

Для устранения недостатков роторов с глубоким пазом на заводе «Электросила» была разработана специальная форма стержня, которая получила название бутылочного

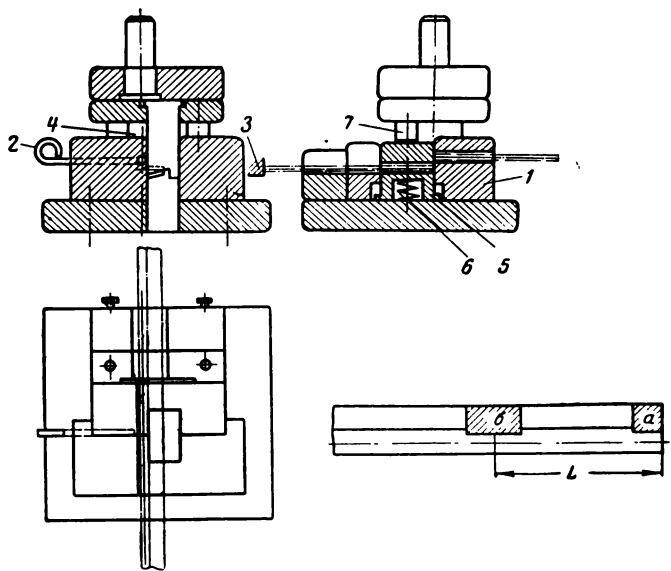


Рис. 13-18. Штамп для рубки стержней бутылочного профиля.

профиля (рис. 13-17,г). Это круглые стержни 1 с прямоугольными полочками для вытеснения тока. Роторы с бутылочным профилем стержней обладают почти такими же пусковыми характеристиками, что и роторы с глубоким пазом, но благодаря наличию расширенной нижней части они более стойки в отношении деформаций при нагревании [Л. 13-4].

Для соединения бутылочных стержней с замыкающими кольцами 2 должны быть сняты полочки в верхней части стержня. Раньше эта операция производилась отдельно.

На рис. 13-18 показано устройство штампа, который одновременно производит рубку стержней и снятие верхних полочек.

Медная полоса бутылочного профиля подается в око матрицы 1, имеющее форму сечения стержня. Полоса вдвигается до упора 2. Первым ходом пресса вырубается полочка а, затем движением руки упор 2 отводится в сторону и при последующих ударах штампа полоса продвигается до упора 3. При этом производятся вырубка полочки и отрезка стержня. Пуансон 4 вырубает полочку на провал, при этом подвижная матрица 5 остается на месте, удерживаемая пружиной 6. При дальнейшем опускании пуансона 4 в матрицу толкатели 7 нажимают на подвижную матрицу 5 и, преодолевая усилие пружины 6, матрица 5 отрезает стержень. Дальнейшим движением полосы вырубленный стержень выталкивается из матрицы 5, и процесс повторяется.

ГЛАВА ЧЕТЫРНАДЦАТАЯ

РОТОРНЫЕ ОБМОТКИ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ

14-1. ОСОБЕННОСТИ РОТОРНЫХ ОБМОТОК ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ

Роторные обмотки турбогенераторов имеют коренные отличия от катушечных обмоток статора как в отношении конструкции, так и

технологии. Эти отличия заключаются в следующем:

1. Статорные катушечные обмотки являются двухслойными равнокатушечными, а роторные — однослойными концентрическими.

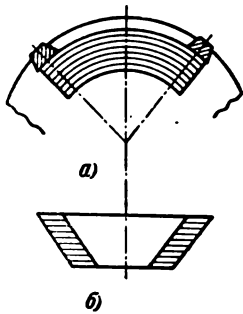


Рис. 14-1. Схемы катушки ротора.

2. Статорные катушки наматывают на шаблон из изолированного провода, а роторные — из голых шин.

3. У статорных обмоток расположение пазовых частей под углом получается за счет выгибки лобовых частей, а у роторных за счет намотки катушек с переменной шириной витков.

4. Статорные обмотки имеют непрерывную изоляцию из микаленты, наматываемой на катушки, а роторные изолированы от корпуса миканитовыми коробками, вкладываемыми в пазы перед укладкой обмотки.

5. Статорные обмотки являются высоковольтными, а роторные низковольтными, однако то обстоятельство, что они подвержены центробежной силе, заставляет проводить сложные процессы прессовки и запечки обмотки в пазах.

Огромные центробежные силы, действующие на лобовые части, не допускают применения проволочных бандажей, а требуют крепления массивными бандажными кольцами, откованными из легированной стали и насаживаемыми на лобовые части в горячем состоянии [Л. 14-3].

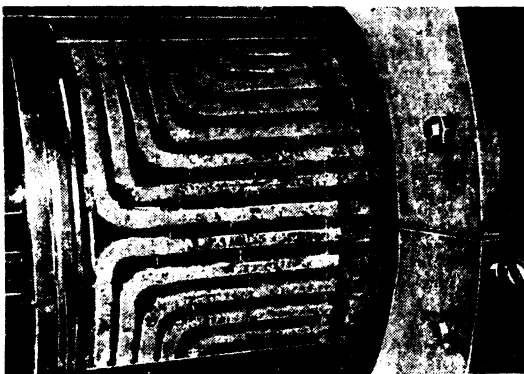


Рис. 14-2. Лобовые части обмотки ротора.

На рис. 14-1 показана схема катушки ротора турбогенератора в изогнутом виде, который она получает при укладке в пазы (а) и в развернутом виде, снятая с намоточного станка (б). Как видно на рисунке, в обоих положениях ширина витков разная. Это обстоятельство особенно усложняет процесс намотки и требует применения специальных намоточных станков [Л. 17].

На рис. 14-2 показан вид на лобовые части обмотки ротора турбогенератора в процессе производства.

14-2. СТАНОК ДЛЯ НАМОТКИ ТУРБОРОТОРНЫХ КАТУШЕК

На рис. 14-3 показана кинематическая схема станка завода «Электросила» для намотки роторных катушек турбогенераторов. Как по размерам витка, развернутая длина которого достигает 13,5 м, так и по условиям переменной ширины витков такие катушки нельзя наматывать на массивный шаблон, так как он имел бы огромный вес. Поэтому намотку производят на четыре стойки 3, расстояние между которыми можно изменять только по ширине (при намотке одной катушки) или по ширине и по длине (при переходе на намотку различных катушек, concentрически охватывающих одна другую).

Станок состоит из двух узлов, установленных независимо один от другого на полу цеха: вращающегося стола 1 и поворотного хобота 2. В процессе намотки хобот удлиняется и укорачивается при помощи реечного механизма 5, приводимого электродвигателем 4. Одновременно он совершает качательные движения вокруг своей оси. Это нужно для того, чтобы шина, идущая с бухты через смоточное устройство, укрепленное на стойке поворотного хобота, при изгибах была направлена по касательной к закруглению. На конце хобота укреплено приспособление 22 для снятия с меди утолщений, образующихся в местах изгибов.

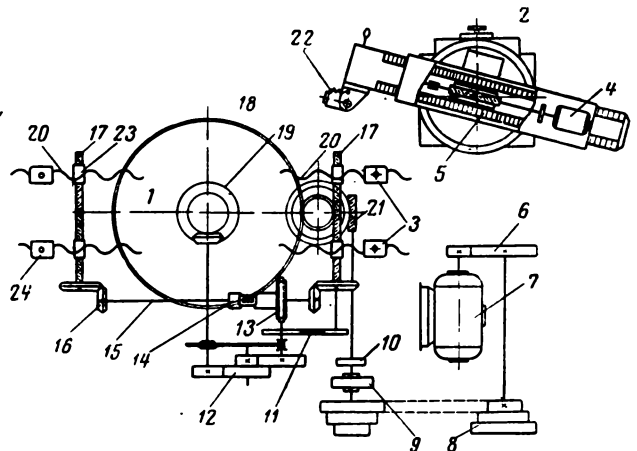


Рис. 14-3. Схема станка для намотки катушек.

Стол 1 приводится во вращение двигателем 7 через зубчатую пару 6, ступенчатые шкивы ременной передачи 8, электромufту 9 и червячные передачи 21 и 18. Электромагнитный тормоз 10 останавливает стол при отключении привода.

Механизм сдвигания стоек 3 по ширине витка приводится от конической пары 19 и передается на гитару 12, сменными шестернями которой можно настроить механизм на требуемую величину перемещения стоек. Гитара через червячную пару 13 и муфту 14 вращает шестерни 16 на валу 15, сцепленные с коническими шестернями на концах ходовых винтов 17 с правой и левой резьбой. Вращение винтов сообщает поступательное движение гайкам 23, которые и передвигают стойки 3.

Для быстрого перемещения стоек 3 при настройке станка пользуются цепной передачей 11, соединяющей гитару непосредственно с ходовыми винтами 17.

Намотку катушки начинают с верхнего самого широкого витка. По мере окончания одной бухты меди конец ее сваривают с началом другой, зачищают место сварки и продолжают намотку. Раздвигание стоек по длине витка производится ходовыми винтами 20 с гайками 24.

14-3. ИЗОЛИРОВКА РОТОРНЫХ КАТУШЕК

Роторные катушки изолируют стекломикалентой на кремнийорганическом лаке ЭФ-5. Участок изолировки катушек должен быть отгорожен от смежных мастерских и защищен от попадания пыли и грязи.

Для изолировки применяют стойки, сваренные из труб. На стойки надеты крюки, поддерживающие витки катушки. Катушку кладут на стойки верхними витками вниз. Расстояние между соседними крюками должно быть не более 800 мм. Перед началом изолировки просматривают все витки катушки и проверяют отсутствие заусенцев и каких-либо других повреждений поверхности.

Каждый виток катушки протирают тряпкой, смоченной в уайт-спирите. Первый виток смазывают лаком ЭФ-5 при помощи кисти. На верхнюю и нижнюю стороны этого витка кладут полоски из миканита и обматывают стекломикалентой вполнахлеста. После каждого двух-трех оборотов ленту подтягивают рукой. Затем промазывают лаком сверху и снизу второй виток и накладывают на него сверху полоски прокладочного нагревостойкого миканита. Промазывают поверхность миканитовых полосок тонким слоем лака и кладут второй ряд полосок миканита, расположив их так, чтобы стыки в первом и втором слоях миканита отстояли друг от друга не ближе чем на 50 мм. Изолируют виток с полосками миканита липкой стеклолентой, не допуская при этом сдвиг миканитовых полосок. На углах витков ставят фасонные прокладки.

Таким образом изолируют все витки катушки один за другим, кроме последнего, опускаемая каждый изолированный виток на верстак.

Последний виток промазывают лаком и изолируют стекломикалентой вполнахлеста.

По окончании изолировки развешивают катушку на крюках, отделив витки друг от друга. Покрывают витки лаком со всех сторон, следя за тем, чтобы на них не было потеков лака. На среднем и нижнем витках устанавливают два контрольных термометра, прикрепляя их липкой стеклолентой, поверх которой наматывают пять-шесть слоев асбестовой ленты для уменьшения теплоотдачи. Концы катушки соединяют с зажимами генератора постоянного тока напряжением 36 в и током до 2 тыс. а. Ток в катушке турбогенераторов мощностью до 30 Мвт устанавливают в пределах 900—1000 а, а для турбогенераторов большей мощности 1100—1300 а. Нагревают катушку до 190—200°С и сушат витковую изоляцию при этой температуре в течение 5 ч. Затем отключают ток и охлаждают катушку до температуры окружающего воздуха. После сушки витки катушки присыпают тальком, снимают катушку с крюков на изолировочный верстак и завертывают в бумагу.

14-4. ИЗГОТОВЛЕНИЕ КОРОБОК РОТОРНОГО ПАЗА

Коробки роторного паза турбогенераторов (рис. 14-4) прессуют из формовочного миканита (ГОСТ 6122-52) толщиной 0,2—0,3 мм. В качестве связующего служит глифталевый лак.

На рычажных ножницах нарезают полосы парафинированной бумаги шириной, равной двойной высоте h и одинарной ширине b дна коробки с припуском 20 мм, и длиной, равной длине коробки l с припуском 30 мм. Парафинированная бумага служит для предохранения от прилипания гильз к пресс-форме и оправке. Формовочный миканит режут на полосы шириной, равной двойной высоте h и одинарной ширине b дна коробки с припуском 20 мм. Припуск срезают после прессовки.

Для получения требуемой длины заготовки полосы миканита укладывают так, чтобы стыки в соседних слоях отстояли друг от друга не менее чем на 50 мм. Количество слоев

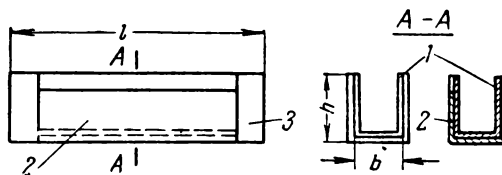


Рис. 14-4. Коробка роторного паза.

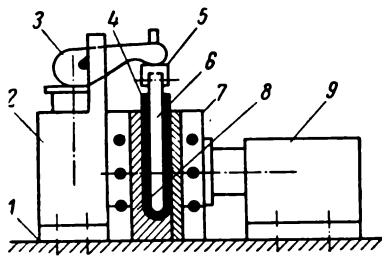


Рис. 14-5. Прессовка коробки

миканита подбирают так, чтобы получить гильзу требуемой толщины. Уложив полосы первого слоя, их покрывают равномерно лаком при помощи кисти. Затем кладут следующие слои, выдерживая расстояние между стыками не менее 50 мм и покрывая каждый слой, кроме верхнего, слоями лака. Сбранную заготовку коробки сушат на плите в течение 20—30 мин при температуре на поверхности плиты 80—90°С.

Подсушенную заготовку разогревают на плите до размятания миканита. Затем кладут на заготовку плашмя деревянную оправку так, чтобы край оправки отступал от края заготовки на 8—10 мм. На верхнюю сторону оправки загибают свободный край заготовки и оправку с заготовкой передают на прессовку (рис. 14-5).

Перед прессовкой очищают пресс-форму от смолы, слюды и бумаги металлической щеткой и протирают ее тряпкой. Устанавливают пресс-форму 8 в гнездо гидропресса 1. Над пресс-формой на блоках подвешивают металлическую оправку 6 и натирают ее парафином. На нижнюю и обе боковые стороны металлической оправки накладывают два—четыре слоя парафинированной бумаги и закрепляют ее в двух-трех местах хлопчатобумажной лентой. Миканитовую коробку 4 снаружи также покрывают двумя—четырьмя слоями парафинированной бумаги. Затем вынимают деревянную оправку и надевают миканитовую коробку на металлическую оправку 6 и, поддерживая ее рукой, опускают в пресс-форму, снимая с оправки хлопчатобумажную ленту. Включают паровой обогрев плиты 7 и зажимают коробку цилиндром 2 через откидной рычаг 3 и планку 5, дав верхнее давление 10—15 ат. Затем дают боковое давление цилиндром 9. Прогревают коробку под давлением до температуры 120°С и выпекают при этой температуре в течение 1,5 ч. Затем отключают боковой обогрев и пропускают через плиту 7 холодную воду, охлаждая коробку до 15—25°С. Снимают давление, поднимают металлическую

оправку из коробки и вынимают коробку из пресс-формы, осторожно снимая с нее парафинированную бумагу.

Вторую прессовку коробки производят с защитной металлической гильзой 2 (рис. 14-4). Защитную гильзу проверяют внешним осмотром. На ней не должно быть следов ржавчины, заусенцев, острых выступов; края гильзы должны быть притуплены. Внутреннюю поверхность металлической гильзы покрывают глифталевым лаком при помощи кисти и просушивают на воздухе в течение 15—20 мин. Надевают гильзу на миканитовую коробку. На не покрытые металлической гильзой концы миканитовой коробки накладывают формовочный миканит 3, предварительно промазанный лаком. Толщина миканита должна соответствовать толщине гильзы. Если металлическая гильза состоит из нескольких частей, то между ними допускается зазор до 1,5 мм.

Перед второй прессовкой на металлическую оправку и наружную поверхность гильзы накладывают два—четыре слоя парафинированной бумаги и осторожно опускают коробку с оправкой в пресс-форму, включают паровой обогрев плиты пресса и зажимают коробку, дав верхнее, а затем боковое давление 10—15 ат. Прогревают коробку при температуре 80—100°С в течение 40 мин, после чего сначала дают верхнее давление, затем боковое и снова верхнее. Давление пресса выбирают из расчета удельного давления 10 кг/см².

Далее отключают боковой обогрев и пропускают через плиты пресса холодную воду, охлаждая коробку до 15—25°С. Снимают давление, поднимают металлическую оправку и вынимают коробку из пресса. Осторожно снимают кабельную бумагу с металлической коробки и с оправки.

После прессовки снова вкладывают деревянную оправку внутрь коробки, срезают ножом края коробки по размерам чертежа, а края зачищают стеклянной шкуркой. После испытания на пробой оклеивают края коробки пропитанной хлопчатобумажной тканью, сушат на воздухе до прекращения отлипа и очищают от натеков лака. Коробка должна быть монолитной, что проверяют простукиванием.

14-5. УКЛАДКА ОБМОТКИ РОТОРА В ПАЗЫ

Ротор устанавливают на подставки с роликовыми опорами (рис. 14-6) для поворачивания его вокруг оси [Л. 14-2]. В турбогенераторах мощностью до 25 Мвт до укладки обмотки устанавливают шины, соединяющие обмотку с контактными кольцами. Эти шины разме-

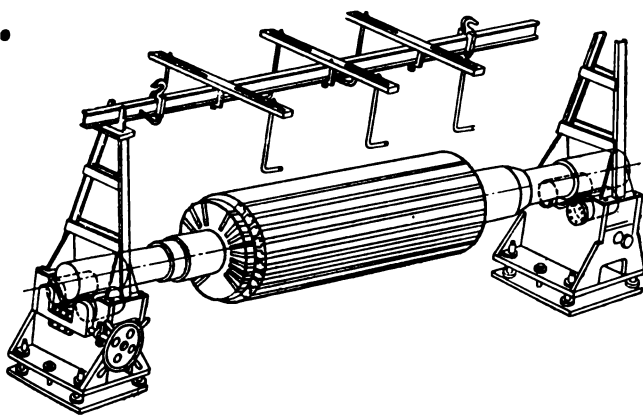


Рис. 14-6. Приспособление для укладки обмотки в пазы.

щают в пазах, профрезерованных в валу ротора. Если шины имеют изгибы, их следует перед укладкой в пазы нагреть в термостате до $70-80^{\circ}\text{C}$ на поверхности изоляции. Шины укладывают в пазы и заклинивают изоляционными прокладками и стальными клиньями. Изоляцию шин испытывают на пробой по отношению к корпусу.

В турбогенераторах мощностью выше 25 Мвт токоотводы устанавливают в центральном отверстии ротора. Перед установкой проверяют правильность изготовления токопроводных стержней, которые должны плотно входить в отверстие ротора. Затем устанавливают стержни в отверстия и ввертывают в них соединительные болты с уплотняющими деталями. Изоляцию стержней испытывают на пробой по отношению к корпусу.

По обеим сторонам бочки ротора устанавливают опалубки 1 (рис. 14-7). На наружную поверхность опалубки кладут картон толщиной 1—2 мм и закрепляют асбестовой или киперной лентой. На бортики торцов бочки ротора устанавливают изоляционные кольца-прокладки 8, которые изготавливают из миканитовых полосок шириной, равной ширине бортика. Толщина кольца должна быть такой, чтобы на него опиралось дно пазовой коробки 9. Опорное кольцо скрепляют липкой стеклотентой и промазывают лаком ЭФ-5.

Устанавливают и закрепляют подставки приспособления, на которые подвешивают катушки роторной обмотки (рис. 14-6). Расстояние между крюками приспособления не должно превышать 800 мм. Катушку роторной обмотки освобождают от упаковочного материала и продувают сжатым воздухом. Подвешивают первую катушку на подъемном приспособлении. В концах пазов устанавливают

изоляционные прокладки, пригнав их по месту. Вкладывают в пазы ротора, занимаемые первой катушкой коробки 9 (рис. 14-7). При установке коробок пользуются осадочной доской, вставленной внутрь коробки. Осадку производят ударами молотков равномерно по всей длине доски до тех пор, пока коробка не прижмется к дну паза. На дно коробок вкладывают изоляционные прокладки.

Опускают в пазы с крюков подвесного приспособления первый виток катушки, выравнивая пазовую часть ударами молотка через боковую или фибровую осадочную доску. Расстояния от лобовой части катушки до торца бочки ротора проверяют специальным шаблоном.

Вывод первой катушки припаивают к токоподводу серебряным припоем ПСр-45 и изолируют место соединения и нижний виток. Затем опускают с крюков в пазы ротора второй виток и плотно осаживают его в пазовой части при помощи осадочной доски. Лобовые части катушки осаживают ударами молотка через подкладочную подушку, состоящую из нескольких полос картона, связанных на конце шпагатом.

Начиная с четвертого витка, пазовые части катушки подпрессовывают домкратами через

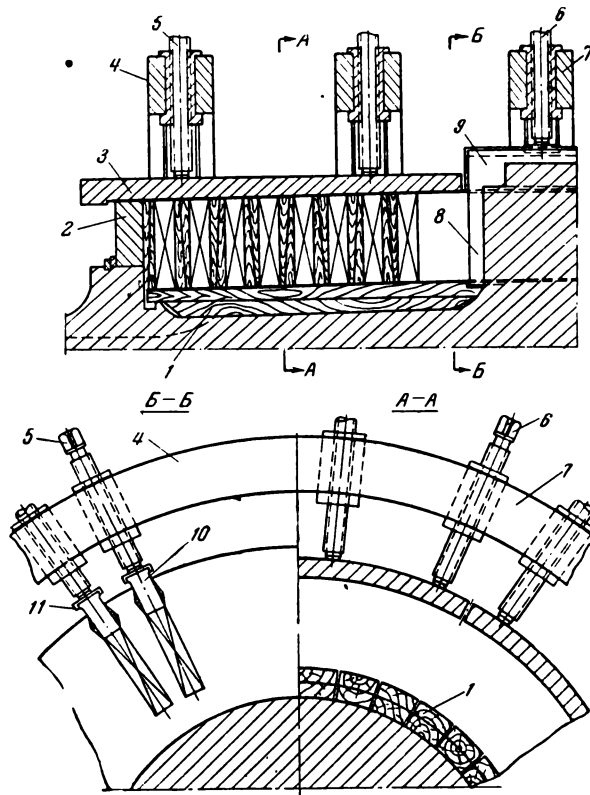


Рис. 14-7. Прессовочные кольца.

доски через каждые три-четыре витка. Аналогично опускают в пазы следующие витки катушки. При укладке четырех-пяти последних витков вкладывают в пазы деревянные планки, которые являются временными заполнителями. Затем заклинивают катушку в пазовой части временно деревянными встречными клиньями. Изоляцию катушки по отношению к корпусу испытывают на пробой.

Подвешивают вторую катушку и укладывают ее в пазы аналогично первой, а затем остальные катушки одного полюса. Порядок укладки катушек может быть и иным. Сначала вкладывают первые катушки обоих полюсов, затем вторые и т. д.

14-6. ПОДГОТОВКА К ПРЕССОВКЕ РОТОРНОЙ ОБМОТКИ

После укладки катушек в пазы снимают подвесное приспособление подъемным краном, приподнимают ротор и надевают на концы вала прессовочные кольца 7 (рис. 14-7) для пазовой части и временные центрирующие кольца 2. Количество прессовочных колец зависит от длины ротора и изменяется от 3 до 20.

Ротор устанавливают на поворотные стойки, выбивают из пазов временные деревянные клинья, размечают бочку ротора под установку прессовочных колец и распределяют кольца согласно разметке. В пазы ротора поверх катушек вкладывают полоски миканита и временные прокладки из картона. Вдвигают в пазы пресс-планки 10 с торца ротора. На пресс-планки устанавливают прокладки 11 и укрепляют их болтами 6, проходящими через прессовочные кольца. Затем подпрессовывают пазовые части прессовочными кольцами с болтами 6, начиная со средней части ротора. Лобовые части катушек осаживают чугунным молотком с деревянными вкладышами через фибровую прокладку или осадочную подушку. Размечают верхние концы катушек и припаивают межкатушечные соединения серебряным припоем, нагревая места пайки угольными электродами от сварочного трансформатора. Междукатушечные соединения изолируют и покрывают лаком ЭФ-5. Лобовые части верхних витков всех катушек изолируют асбестовой или стеклянной лентой и покрывают этим же лаком.

Приподнимают ротор краном и надевают на шейки вала прессовочные кольца 4 для лобовых частей в количестве 2—6 в зависимости от мощности турбогенератора. Устанавливают временные центрирующие кольца 2 по торцам ротора. Нагревают поверхность бочки ротора

до 75—80°С, пропуская ток через обмотку. Рихтуют торцовые участки лобовых частей, выдерживая их размеры по чертежу. Рихтовку крайних катушек производят путем установки временных клиньев с прокладками из картона между центрирующими кольцами и крайними катушками.

Рихтовку ведут последовательно от наружных катушек к внутренним. При рихтовке прямолинейных участков лобовых частей устанавливают временные деревянные клинья с прокладками из картона. На лобовые части наворачивают листы картона толщиной 1—1,5 мм и затягивают киперной лентой. Затем накладывают сегменты брони 3, устанавливают прессовочные кольца 4 и затягивают болты 5.

14-7. ПРЕССОВКА РОТОРНОЙ ОБМОТКИ

Для прессовки ротор нагревают, пропуская через обмотку постоянный ток от генератора. Для контроля температуры устанавливают термометры на бочке ротора. Для турбогенераторов мощностью до 25 Мвт термометры устанавливают между большим зубом у первой катушки и у вала с торца лобовой части между 5-й и 6-й катушками; для роторов мощностью 30—50 Мвт — в середине бочки ротора в отверстиях, просверленных в клиньях вентиляционного паза; для роторов мощностью 100 и 150 Мвт — в середине бочки ротора в кольцевых канавках у 8-й и 9-й катушек. Запись температур производят в журнале через каждые 2 ч. Нагрев производят до 95—105°С. Перед включением тока надо убрать все находящиеся близко от ротора стальные и чугунные предметы и чисто подмести пол под ротором во избежание прилипания деталей или стружек к бочке ротора.

Когда температура бочки ротора достигнет установленного предела, отключают ток и приступают к прессовке. Болты прессовочных колец начинают подтягивать от середины бочки к торцам вдоль каждого паза. Прессовку производят до прекращения усадки катушек. Качество прессовки контролируют специальными шаблонами, проверяя высоту прессующей планки над бочкой ротора. Лобовую часть прессуют, подтягивая болты прессовочных колец до плотной посадки брони на временные центрирующие кольца. После прессовки дают бочке ротора остыть до 30—40°С и снимают прессовочные приспособления. Припаивают междуполюсное соединение серебряным припоем, изолируют его и покрывают лаком ЭФ-5. После первой прессовки испытывают изоляцию обмотки ротора по отношению к кор-

пуску и на отсутствие витковых замыканий переменным током частотой 50 гц в течение 5 мин, подбирая напряжение 3 в на виток.

14-8. ЗАКРЫТИЕ РОТОРНЫХ ПАЗОВ

Выступающие над бочкой края коробок срезают по следующим размерам: одна сторона должна выступать над катушкой на ширину паза b , а вторая должна быть короче на толщину стенки коробки δ (рис. 14-8,а). Пазовую часть катушки промазывают шеллачным или глифталевым лаком. Вводят в паз над катушкой стальную полосу 1 и плотно прижимают ее встречными деревянными клиньями 2 к стенке коробки (рис. 14-8,б). Стальную полосу нагревают до 200—250°С, пропуская через нее ток в пределах 600—

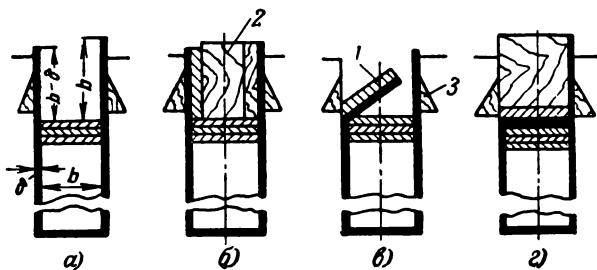


Рис. 14-8. Закрытие паза ротора.

1200 а, в течение 2—3 мин. Нагрев полосы проверяют игольчатой терморпарой. Затем отключают ток, выбивают деревянные клинья 2 и перекалывают стальную полосу между коробкой и стенкой паза (рис. 14-8,в). Загибают стенки коробки деревянными клиньями по всей длине паза (рис. 14-8,г).

Аналогично загибают стороны коробки в других пазах. На первые загнутые стороны коробок загибают вторые стороны, после чего вынимают из ласточкина хвоста паза заполнители 3.

Если после загибки коробок размеры катушек в пазовой и лобовой частях оказываются больше допустимых по чертежу, то производят вторую горячую прессовку пазовых и лобовых частей, применяя прессовочные кольца.

14-9. ЗАКЛИНИВАНИЕ ПАЗОВ РОТОРА

В пазы ротора под клин кладут полоски миканита толщиной 0,5 мм. Поверх миканитовых прокладок кладут стальные полосы, которые длиннее бочки ротора на 100—150 мм с каждой стороны. Заклинивание пазов производят клиньями из дуралюминия, начиная с пазов, в которых лежат наружные катушки

полюса. Клинья забивают пневматическим молотком до выхода с другой стороны паза на расстоянии 5—10 мм от торца бочки.

Заклинивают с двух сторон паза, начиная со средних клиньев и оставляя расстояние между клиньями 1—3 мм. После забивки каждого клина на постоянное место проверяют плотность посадки ударами молотка по клину. При слабой посадке первого среднего клина необходимо сдвинуть его с места и добавить в паз уплотняющие прокладки под стальную полосу. После окончания забивки клиньев испытывают изоляцию обмотки по отношению к корпусу.

14-10. ВТОРАЯ ПРЕССОВКА ЛОБОВЫХ ЧАСТЕЙ

Перед прессовкой снимают картон с лобовых частей обмотки. Обламывают выступающие концы стальных полос наравне с торцами клиньев с обоих торцов ротора. Концы изоляционных прокладок подрубают наравне с гильзой, очищают изоляцию лобовых частей от металлических стружек, опилок и обрезков изоляции и продувают сжатым воздухом. Нагревают обмотку до температуры в лобовых частях 75—80°С. На прямолинейные участки катушек устанавливают временные клинья и временные распорки. Лобовые части обмотки обертывают картоном толщиной 1—2 мм и устанавливают сегменты брони и прессовочные кольца. Нагревают ротор до 100—105°С на поверхности бочки, пропуская постоянный ток. Отключают ток и прессуют лобовые части, затягивая болты. Затем охлаждают ротор, снимают брони, прессовочные кольца и временный картон. Наружный диаметр лобовой части проверяют шаблоном.

14-11. ЗАПЕЧКА ОБМОТКИ РОТОРА

По окончании прессовки выбивают временные клинья на участках лобовой части, снимают центрирующие кольца, опалубку и продувают лобовые части сжатым воздухом. Устанавливают и закрепляют временные центрирующие кольца и временные дистанционные детали между обмоткой и кольцами.

На участках лобовой части устанавливают постоянные изоляционные клинья, кроме текстолитовых распорок у большого зуба, которые устанавливают перед насадкой бандажных колец. Между лобовой частью обмотки и валом устанавливают временные стеклотекстолитовые распорки.

Затем устанавливают терморпары для контроля температуры при запечке. В пазовой части устанавливают терморпары между

клиньями в середине бочки ротора и по краям бочки в пазах, наиболее удаленных от большого зуба. В лобовой части устанавливают три термомпары у наружной, средней и внутренней катушек. Контрольные термомпары устанавливают в середине бочки ротора в кольцевых канавках у восьмой и девятой катушек, а при отсутствии кольцевых канавок — в отверстиях клиньев, выверленных для балансировки.

На лобовые части устанавливают сегменты брони и прессовочные кольца. Нагревают ротор до 150°C на бочке, пропуская ток. Отключают ток и прессуют лобовые части. Затем вторично нагревают ротор до 175°C . Максимальная температура лобовых частей обмотки не должна превышать 210°C .

Ротор охлаждают до $60\text{--}70^{\circ}\text{C}$, снимают прессовочные приспособления и временные изоляционные детали. Наружный диаметр лобовой части проверяют шаблоном.

Двукратно покрывают лобовые части эмалью пульверизатором. Первое покрытие наносят на лобовые части, нагретые до $60\text{--}70^{\circ}\text{C}$, и сушат при температуре окружающего воздуха не менее 1 ч. Затем вторично нагревают обмотку посредством пропускания тока до $60\text{--}70^{\circ}\text{C}$ и сушат при этой температуре до прекращения отлипа, но не менее 3 ч.

Второе покрытие наносят на лобовые части, нагретые пропусканьем тока до $60\text{--}70^{\circ}\text{C}$, и сушат при температуре окружающего воздуха до прекращения отлипа, но не менее 5 ч. Приподнимают ротор краном, устанавливают и закрепляют с обеих сторон торцовые нажимные изоляционные кольца и постоянные центрирующие кольца. Устанавливают торцовые дистанционные сегменты с пригонкой каждого сегмента по месту. Измеряют сопротивление изоляции обмотки ротора мегомметром и испытывают на отсутствие витковых замыканий.

На лобовые части накладывают сегменты из стеклотекстолита и закрепляют их стальными ленточными стяжками.

14-12. НАСАДКА БАНДАЖНЫХ КОЛЕЦ

Для удержания обмоток ротора турбогенераторов от деформаций под действием центробежных сил применяют массивные бандажные кольца из магнитной или немагнитной стали, которые насаживают на ротор в горячем состоянии. Для надевания бандажного кольца пользуются специальными приспособлениями. Одно из таких приспособлений показано на рис. 14-9. Оно может применяться как для надевания, так и для снятия бандажных колец

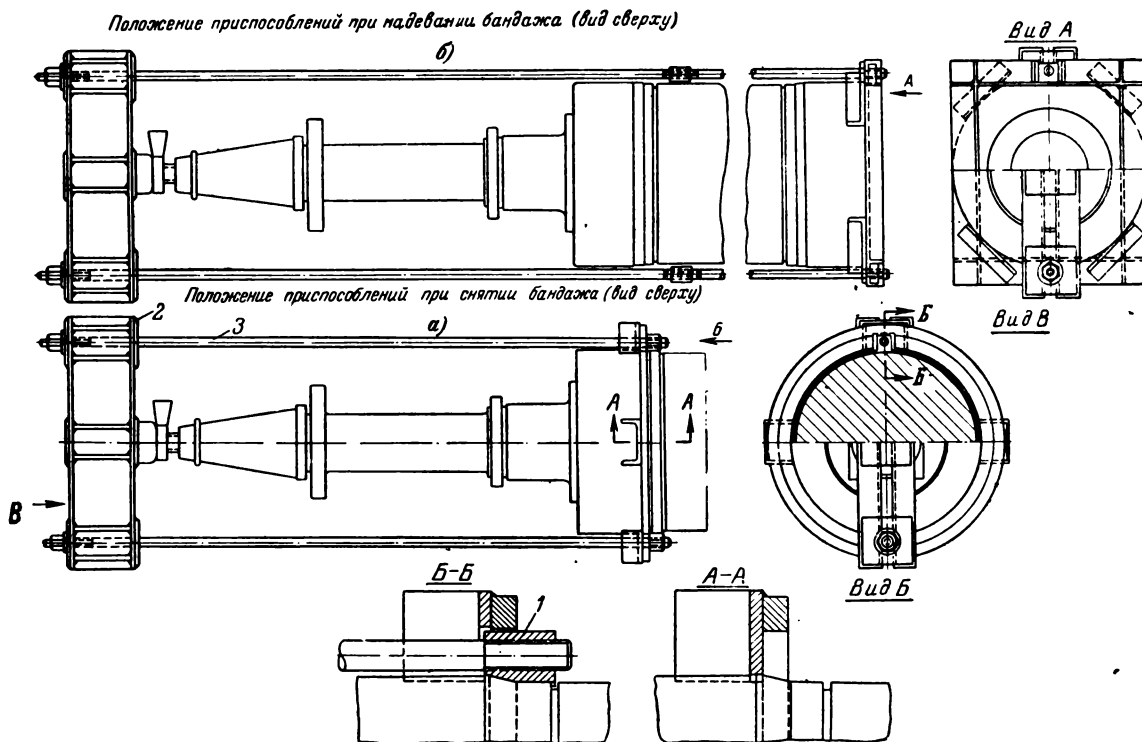


Рис. 14-9. Приспособление для насадки бандажного кольца.

и состоит из захватывающих сухарей 1 с кольцом, упорного диска 2 и стягивающих болтов 3 [Л. 14-1].

Бандажное кольцо нагревают ацетиленовыми горелками или электрическими способами (нагревательные спирали, индукционный нагрев или токи высокой частоты). Температура нагрева бандажного кольца должна обеспечить необходимое приращение диаметра в момент насадки. Температура нагрева определяется по формуле

$$T = \frac{\Delta D_{\text{ср}}}{D_{\text{ср}} k} [^{\circ}\text{C}], \quad (14-1)$$

где $\Delta D_{\text{ср}}$ — необходимое приращение диаметра бандажа, мм;

$D_{\text{ср}}$ — средний диаметр кольца, мм;

k — коэффициент линейного расширения металла кольца, который для немагнитной стали равен $1,7 \cdot 10^{-5}$.

Бандажное кольцо подвешивают на тросе на крюк крана, подводят к торцу ротора и быстро надевают на лобовые части при помощи приспособления. Болты приспособления должны находиться в натянутом положении до остывания кольца.

ГЛАВА ПЯТНАДЦАТАЯ

КАТУШКИ ПОЛЮСОВ

15-1. ТИПЫ ПОЛЮСНЫХ КАТУШЕК

Катушками полюсов называются обмотки возбуждения, которые наматывают на станках, изолируют и пропитывают, а в процессе сборки машин надевают на сердечники полюсов.

По назначению они разделяются на катушки главных и добавочных полюсов машин постоянного тока и катушки полюсов синхронных машин. Первые являются неподвижными, а вторые обычно располагаются на вращающемся индукторе. Действие центробежной силы на вращающуюся катушку накладывает ряд дополнительных требований на ее конструкцию и исполнение. Катушки полюсов лежат не в пазах, как роторные обмотки, их площади сечения и числа витков во много раз больше, чем у катушек, лежащих в пазах. Влияние центробежной силы особенно сказывается в катушках из тонкого круглого провода, которые подвергаются при вращении деформациям, что приводит к нарушению балансировки ротора и замыканиям между витками. Последние часто носят перемежающийся характер, появляясь при вращении и пропадая при остановке машины, что сильно затрудняет процесс их обнаружения и устранения. Это является главной причиной того, что в синхронных машинах малой мощности применяется пониженное напряжение возбуждения, чтобы снизить число витков и перейти к катушкам из прямоугольного провода. Надежная межвитковая изоляция получается только в шинных катушках, намотанных на ребро, у которых удельное давление между витками значительно снижается по сравнению с многослойными катушкам. Однако даже при

шинных катушках для предохранения от деформации витков приходится прибегать к межкатушечным распоркам.

Основное технологическое различие катушек определяется формой и размерами провода, из которого намотаны катушки. Для катушек полюсов применяют изолированные провода круглого сечения до 7 мм^2 и прямоугольного до 16 мм^2 . При сечении провода больше 20 мм^2 катушки наматывают из голых медных шин. Катушки из изолированного провода и из медных шин сильно отличаются по технологии обмотки и изолировки. В катушках из изолированного провода межвитковой изоляцией служит изоляция самого провода, однако в отдельных местах, как, например, в переходах между слоями, она нуждается в усилении путем обматывания лентами или вкладывания прокладок из листовых изоляционных материалов. Катушки из голых шин могут быть намотаны плашмя или на ребро, а межвитковая изоляция производится в процессе их изготовления. В противоположность шинным катушкам обмотки якоря, у которых каждый проводник обматывают лентой по всему контуру витка, полюсные катушки из голых шин не являются такими трудоемкими. В катушках, намотанных на ребро, изоляцию между витками вставляют в виде прокладок, а при намотке шинных катушек плашмя межвитковую изоляцию наматывают на станке вместе с медью, и поэтому она не занимает лишнего времени.

Для изоляции катушек относительно полюса и станины применяют три способа: 1) изолировка стенок металлического каркаса, на который наматывают витки катушки; 2) изо-

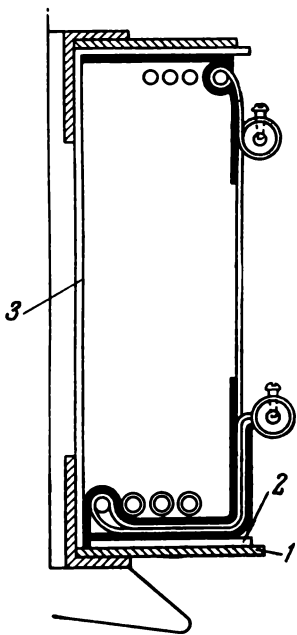


Рис. 15-1. Полюсная катушка на каркасе.

лировка катушки, снятой с намоточного шаблона, лентой по периметру сечения и по контуру катушки; 3) изолировка сердечника полюса, который иногда служит шаблоном для намотки катушки.

Металлический и каркас (рис. 15-1), склепанный или сваренный на аппарате точечной сварки из двух жестких фланцев 1 и коробки 3, согнутой из листовой стали, является хорошей механической защитой катушки от повреждений при сборке машины и в эксплуата-

ции. Изнутри стенки каркаса изолируют со стороны фланцев рамками 2, вырезанными из электрокартона, а со стороны коробки обертывают лакотканью, скрепленной полотняной лентой. Для обеспечения надежной изоляции в углах каркаса рамки из электрокартона имеют отвороты, загнутые на коробку. Недостатками каркасных катушек являются: 1) затруднение пропитки, так как сечение катушки с трех сторон закрыто непроницаемыми для лака стенками каркаса; 2) невозможность осуществить непрерывную изоляцию вокруг сечения катушки и 3) усложнение планирования производства, так как при отсутствии каркасов нельзя производить намотку, а большие запасы каркасов загромождают цех. Поэтому металлические каркасы, которые в машинах старых типов имели почти исключительное применение в современном производстве, встречаются редко и только в низковольтных машинах без противосыровой изоляции.

Намотка катушек на шаблон с последующим обматыванием лентами вокруг сечения катушки является наиболее распространенной. В зависимости от типа машины обматывание катушки лентами является или непрерывной изоляцией в несколько слоев, или служит только для скрепления витков. Шаблоны катушки вытеснили каркасные благодаря введению компаундировки, которая катушке из тонкого провода придает большую жесткость за счет скрепления витков битумной массой. Защита изоляции катушки от истирания о сер-

дечник полюса обеспечивается каркасом из электрокартона или тонкого стального листа, который вкладывают в окно катушки перед надеванием на полюс; отвороты каркаса отгибают на торцы катушки (рис. 15-8).

Для увеличения поверхности охлаждения часто шаблонные катушки делят на отдельные секции, между которыми при сборке на полюс вставляют дистанционные прокладки. Чтобы не создавать местных превышений температур в катушке и не затруднять проход охлаждающего воздуха между секциями, прокладки делают из рифленой полосы или из согнутых четырехстенных коробочек, скрепленных ленточным пояском.

Намотка катушек непосредственно на изолированный полюс обеспечивает хорошую теплоотдачу за счет плотного прилегания витков к полюсу. Такие катушки в синхронных машинах и машинах постоянного тока обычно наматывают шинной медью плашмя. Однако

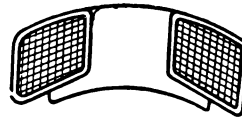


Рис. 15-2. Изогнутая катушка.

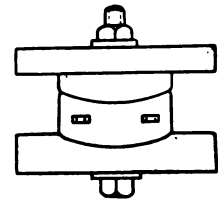


Рис. 15-3. Гибочный шаблон.

чаще такие катушки наматывают на шаблоны и при сборке надевают на полюс, изолированный путем оклеивания миканитом с последующей опрессовкой и выпечкой.

Поверхность полюса протирают сухой тряпкой, промазывают глифталевым лаком и сушат на воздухе до прекращения отлипа. Отрезают полосу полотна шириной 80 мм и длиной, равной периметру сердечника полюса. Полосу наклеивают вокруг сердечника так, чтобы она прилегала к нему половиной ширины. Свешивающуюся часть полосы загибают на полюс после изолировки сердечника. На сердечник полюса наматывают слой изоляции из асбеста, пропитанного лаком, и из микафолия. Ширина полос изоляции должна быть равна высоте сердечника. Каждый слой микафолия проутюживают горячим утюгом и протирают сухой тряпкой. После наложения требуемой толщины изоляции загибают на сердечник свешивающийся край полотна и наклеивают его на последний слой микафолия.

На изолированный сердечник полюса кладут изоляционную шайбу, надевают катушку полюса и верхнюю изоляционную шайбу. Ка-

тушку на полюсе расклинивают буковыми клиньями.

В машинах постоянного тока малой мощности для уменьшения габаритов применяют изогнутые катушки (рис. 15-2). Благодаря этому уменьшается высота полюса и радиус станины. Кроме того, обеспечивается лучшая теплоотдача между катушкой и станиной. Катушку наматывают на прямой шаблон, а затем выгибают по радиусу в специальном гибочном шаблоне (рис. 15-3).

15-2. НАМОТОЧНЫЕ СТАНКИ ДЛЯ КАТУШЕК ИЗ ТОНКОГО ПРОВОДА

Для намотки катушек применяют намоточные станки различных типов. Они отличаются друг от друга мощностью, скоростью вращения и конструкцией. В зависимости от мощности и скорости станки разделяются на легкие и тяжелые. Для катушек из тонкого провода с большим числом витков применяют легкие быстроходные станки со скоростью вращения до 5000 об/мин. Они всегда снабжаются счетчиком оборотов, по которому отсчитывается число витков. Сделав требуемое число оборотов, станок автоматически останавливается. За несколько секунд до остановки подается сигнал звонком или сигнальной лампочкой. Станки оборудуются также автоматическим приспособлением, которое вкладывает бумажные прокладки между слоями катушки. Все быстроходные станки имеют механизм автоматической раскладки, который укладывает проводники правильными рядами. Все эти приспособления значительно облегчают работу на станках и позволяют организовать многостаночное обслуживание. Для того чтобы проводники плотно укладывались при намотке, они должны ложиться на шаблон с натяжением. Не следует создавать натяжения тонкой проволоки путем торможения катушки, с которой она сматывается. Натянутая проволока врезается между витками нижележащих слоев, что приводит к обрывам и нарушению изоляции.

На рис. 15-4 показана схема полуавтоматического станка типа ПР 159, изготавливаемого предприятием Ленинградского совнархоза для рядовой многослойной намотки катушек из проводов диаметром 0,07—0,6 мм. Шпин-

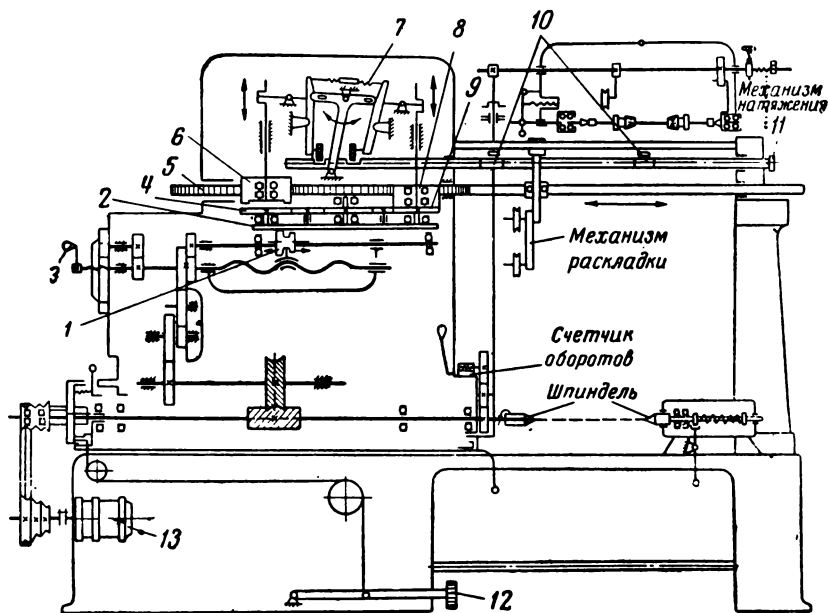


Рис. 15-4. Кинематическая схема намоточного стана.

дель имеет шесть скоростей вращения в пределах 850—4900 об/мин [Л. 17].

Станок оборудован счетчиком оборотов с установкой на заданное число витков и автоматическим остановом после намотки катушки, а также при обрыве провода. Намотка производится с постоянным натяжением провода, регулируемым в зависимости от диаметра.

Для укладки витков правильными рядами станок снабжен регулируемым раскладочным устройством.

Станок имеет два заблокированных движения: вращение шпинделя и периодическое возвратно-поступательное движение механизма раскладки.

Привод станка осуществляется от электродвигателя 13. Механизм раскладки работает от вала шпинделя через зубчатые передачи и фрикционную передачу, состоящую из диска 2 и ролика 1, положения которого относительно диска могут изменяться вращением рукоятки 3. Шестерни 4 и 9 вращаются в разные стороны. Соосные шестерни 6 и 8 поочередно входят в зацепление с ними и сообщают рейке 5 механизма раскладки поступательно-возвратное движение.

Переключение шестерен производится упорами 10, установленными на штанге 11, через систему рычагов механизма реверса 7.

Упоры устанавливают в соответствии с длиной наматываемой катушки, а шаг раскладки устанавливается положением ролика 1 относительно диска 2.

Включение станка производится педалью 12.

15-3. НАМОТКА КАТУШЕК ИЗ ИЗОЛИРОВАННОГО ПРОВОДА

Намотка катушек производится на деревянные или металлические шаблоны (рис. 15-5). Шаблон состоит из сердечника 1

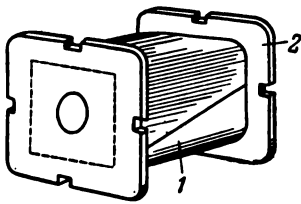


Рис. 15-5. Шаблон для намотки катушек.

и двух боковин 2. Сердечник разрезан на две части в плоскости, скошенной по отношению к оси, что облегчает выемку шаблона из намотанной катушки.

Пространство между полюсами для размещения катушек имеет клинообразную форму: оно расширяется к периферии и суживается к центру машины. В целях лучшего использования этого пространства применяют ступенчатые катушки, которые образуются путем наматывания в разных слоях постепенно уменьшающихся чисел витков (рис. 15-6). При намотке катушки из провода круглого или квадратного сечения, если разница чисел витков в соседних слоях будет равна единице, получится угол скоса катушки 45° , а при уменьшении числа витков на два угол скоса будет 60° . Положение вывода от конца намотки надо согласовать со схемой намотки катушки. На рис. 15-6 слева показана правильно выполненная катушка, у которой переходы из слоя в слой сделаны мелкими ступенями и положение последнего витка соответствует схеме намотки, изображенной зигзагообразной линией со стрелками.

Катушка на рис. 15-6 справа сделана неправильно. Крупные ступени через два слоя витков и они при намотке будут рассыпаться. Указанное на чертеже положение конца катушки не согласовано со схемой намотки. В действительности последним витком будет верхний, что неудобно с точки зрения расположения межкатушечных соединений.

Намотка катушек двумя параллельными проводами применяется для уменьшения диаметра провода или унификации размеров обмоточных проводов и сокращения их сортамента. Однако необходимо помнить, что при такой намотке число проводников в слое должно быть четным, так как иначе нельзя сделать переход из слоя в слой. Не рекомендуется при рядовой намотке наматывать катушки с числом параллельных проводников более двух. В катушках, наматываемых из изолированного провода прямоугольного сечения, лучше вообще избегать параллельных проводников, так как при намотке возникает опас-

ность перекручивания их и сильно усложняется выполнение переходов из слоя в слой. Применение параллельных проводников всегда снижает коэффициент заполнения обмоточного пространства катушки медью.

При намотке катушки на шаблон прямоугольного сечения плотность прилегания витков друг к другу в разных точках периметра шаблона неодинаковая. Наибольшая плотность будет на углах шаблона, а наименьшая — в середине длинных боковых сторон катушки, где проводники имеют стремление выпучиваться. С точки зрения размещения сечения катушек в пространстве между полюсами важна толщина их боковых сторон. Поэтому при определении поперечного сечения катушки и обмоточного пространства шаблона необходимо принимать в расчет коэффициент распушения. Площадь поперечного сечения катушки из тонкого проводника при сплошной намотке определяется по формуле

$$F = n d_{\text{из}}^2 \alpha, \quad (15-1)$$

где n — число витков;

$d_{\text{из}}$ — диаметр изолированного проводника;

α — коэффициент распушения, который для катушек из эмалированного провода берется 1,1, а из провода с волокнистой изоляцией 1,05.

При рядовой намотке толщина b и высота h сечения катушки

$$b = n_1 d_{\text{из}} \alpha_1, \quad (15-2)$$

$$h = n_2 d_{\text{из}} \alpha_1, \quad (15-3)$$

где n_1 — число слоев катушки;

n_2 — число проводников слоя;

α_1 — коэффициент распушения (табл. 15-1);

$d_{\text{из}}$ — диаметр или размер стороны прямоугольного изолированного провода.

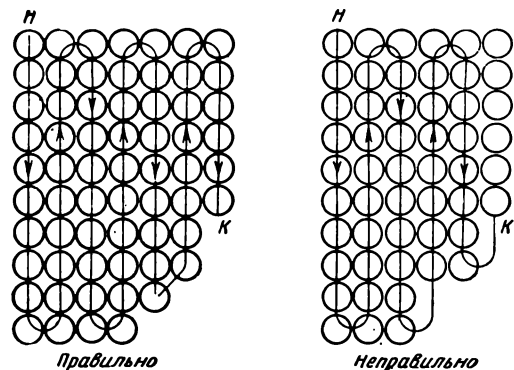


Рис. 15-6. Ступенчатая катушка.

Таблица 15-1

Коэффициент распушения катушек

Размер изолированного провода, мм	0,9—1,20	1,25—1,74	1,78—2,1	2,26—2,83	3,05—4,4
Провод круглого сечения	1,06	1,05	1,05	1,04	1,03
Провод прямоугольного сечения	1,08	1,07	1,06	1,05	1,04

В катушках из изолированного провода вывод от начала намотки на наружную поверхность катушки выполняют медной лентой, которую припаивают к первому витку и огибают им сечение катушки (рис. 15-1). Под медную ленту прокладывают изоляцию из электрокартона и лакоткани. При большем сечении провода медную ленту приходится выбирать очень широкой для получения необходимого сечения. Толщину ленты рекомендуется брать не более 1 мм, так как более толстая займет много места по высоте полюса и ее трудно будет выгибать.

От выводной ленты можно избавиться, если наматывать катушку по особому приему, показанному на рис. 15-7. Сначала отматывают от бухты обмоточной меди провод длиной, равной развернутой длине витков одного горизонтального ряда катушки. Отмотанный провод свертывают в спираль и привязывают к боковой стороне намоточного шаблона. Затем заводят провод в намоточный шаблон и начинают наматывать витки в последовательности, обозначенной цифрами 1—10. При этом один горизонтальный ряд катушки остается незаполненным проводниками. Для того чтобы витки катушки не попадали в это пространство, к боковой стороне шаблона прикрепляют дистанционные прокладки. После этого отрезают провод от бухты, разматывают спираль с привязанным к шаблону проводом и при вращении шаблона в противоположную сторону доматывают этим проводом витки в оставшееся на шаблоне свободное место, вынув предварительно дистанционные прокладки. Таким образом, оба выводных витка оказываются на поверхности катушки и делать вывод при помощи припайки медной ленты не требуется. Отсутствие места спайки внутри катушки повышает ее надежность.

Следует заметить, что нельзя считать число витков катушки по числу сечений проводников в разрезе, потому что слои катушки представляют собой не кольцевые замкнутые

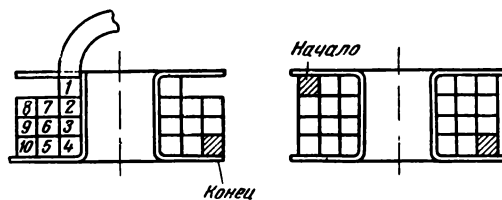


Рис. 15-7. Намотка катушек с выводами наружу.

витки, а спирали правого и левого ходов, чередующиеся в соседних слоях.

Сделав один виток вокруг шаблона, мы занимаем два сечения проводника в разрезе катушки. Следовательно, в каждом слое одно сечение проводника является лишним, не образующим виток. Таким образом, действительное число витков будет меньше, чем видно на разрезе катушки, на число слоев. Это обстоятельство необходимо учитывать при конструировании катушек и намоточных шаблонов.

В целях унификации деталей и технологических процессов обычно все полюсные катушки на данном заводе наматывают в одном направлении по часовой стрелке или против. Различная полярность получается за счет схемы соединения катушек в машине. Таким образом, если катушки имеют патроны для прикрепления соединительных проводов, то все катушки на данный тип машины получаются одинаковыми, что очень удобно для планирования, учета и комплектования деталей.

Если катушки выполняются с впаянными выводными концами из изолированного провода, то появляется несколько разновидностей катушек на одну машину, отличающихся полярностью и длиной выводов. Кроме того, резиновая изоляция выводных проводов при пропитке пересыхает и трескается. Поэтому исполнение катушек с впаянными выводными концами без особой необходимости применять не рекомендуется.

15-4. НАМОТКА КАТУШЕК ИЗ ШИННОЙ МЕДИ ПЛАШНЯ

В противоположность катушкам из изолированного провода, которые наматывают на шаблоне горизонтальными слоями, шинные катушки наматывают по спирали Архимеда виток на виток. На рис. 15-8 показан разрез катушки. Она имеет ступенчатую форму и состоит из двух слоев, расположенных один над другим. В качестве изоляции между витками служит асбестовая бумага 1, которая в процессе намотки катушки сматывается с ролика,

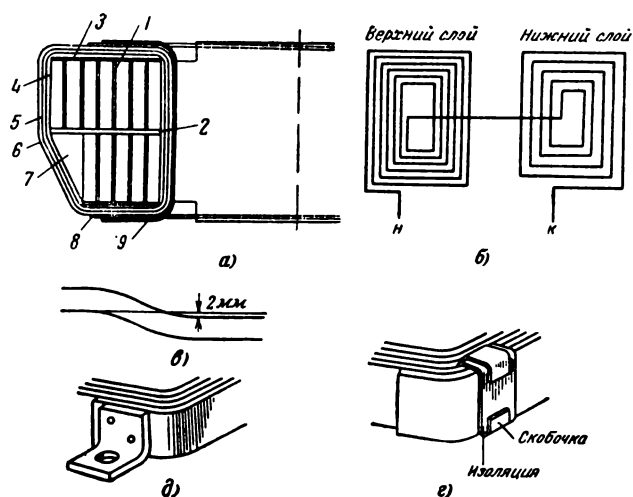


Рис. 15-8. Шинная катушка, намотанная плашмя.

установленного под шаблоном. Толщина ленты $0,25\text{ мм}$, а ширина ее на $1\text{--}2\text{ мм}$ больше ширины медной шины. Процесс намотки катушки показан на рис. 15-9. В соответствии с большим натяжением провода станок имеет солидную конструкцию и мощный приводной двигатель. Такие станки являются тихоходными, так как при намотке каждого витка станок приходится останавливать для подгибания шины. Сначала наматывают один слой катушки, затем к концу шины, которая до начала намотки загибается на ребро, приваривают конец шины от бухты, шаблон переворачивают на станке и наматывают второй слой. Изоляцией между слоями служит так называемая фанерка 2 (рис. 15-8,а), состоящая из твердого миканита толщиной $0,5\text{ мм}$, оклеенного с обеих сторон асбестовой бумагой толщиной $0,3\text{ мм}$. Изоляция катушки относительно корпуса состоит из миканитовых фланцев 3, асбестовой ленты 4, микаленты 5 и киперной ленты 6. Угловые пустоты, образуемые вследствие разных чисел витков в верхнем и нижнем слоях, заполняют асбестовой замазкой 7. Для предохранения изоляции катушки от протирания о полюс служит каркас 9 из тонкой листовой стали, который вставляют в отверстие катушки перед сборкой ее на полюс, а выступающие края отгибают на катушку. Прокладки из электрокартона 8 предохраняют изоляцию катушки от проколов острыми краями каркаса.

Для определения толщины катушки надо сумму толщин медных шин и изоляционных материалов в слое умножить на коэффициент распушения α_2 .

Этот коэффициент выбирают в зависимости от толщины шины. При толщине шин

$0,3\text{--}1,16\text{ мм}$ $\alpha_2=1,2$; при $1,25\text{--}1,95\text{ мм}$ $\alpha_2=1,1$ и свыше $2,1$ $\alpha_2=1,06$.

Для определения числа сечений шин в разрезе катушки надо обязательно построить схему намотки верхнего и нижнего слоев. Как видно на схеме (рис. 15-8,б), число сечений на правой и левой сторонах неодинаково и поэтому катушка получается несимметричной. Если просчитать по схеме число фактических витков, то оно оказывается равным 11, а не 12, как это получается при суммировании сечений шин на чертеже разреза катушки. Если катушка добавочного полюса также наматывается из медных шин плашмя, то для равномерного заполнения обмоточного пространства надо у обеих катушек делать переходы с одной стороны катушки. Тогда в каждом окне между полюсами будут расположены утолщенная за счет переходного витка сторона одной катушки и неутолщенная сторона другой. На схеме намотки видно, что выводные концы получаются расположенными в наружных витках катушки. Очевидно, что это будет иметь место только при четном числе слоев, поэтому не следует применять катушек с нечетным числом слоев.

Процесс изготовления катушки состоит из следующих операций:

- 1) перегнуть шину на ребро в месте перехода (рис. 15-8,в) на расстоянии $200\text{--}300\text{ мм}$ от конца;
- 2) наматывать верхний слой катушки с изоляционными прокладками между витками;
- 3) скрепить последний виток с предпоследним скобочкой из жести (рис. 15-8,г), запаять концы скобочки и отрезать шину от бухты;
- 4) перевернуть шаблон другой стороной;
- 5) вставить изоляционную прокладку 2 между слоями;
- 6) приварить конец шины от бухты к месту перегиба на переносном электросварочном аппарате;
- 7) наматывать второй слой катушки с изоляционными прокладками между витками;

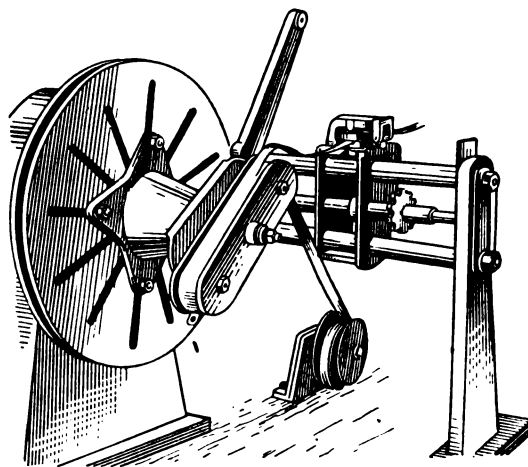


Рис. 15-9. Намоточный станок.

8) скрепить последний виток с предпоследним скобочкой из жести, запаять концы скобочки и отрезать шину от бухты;

9) испытать катушку на межвитковые замыкания;

10) изготовить и припаять выводные патроны (рис. 15-8, д);

11) заполнить угловые пустоты асбестовой замазкой 7, вложить миканитовые фланцы 3 сверху и снизу катушки, изолировать катушку асбестовой лентой 4 и поверх нее временной полотняной лентой встык;

12) компаундировать первый раз и снять наплывы битумной массы вместе с временной лентой;

13) прессовать катушку в горячем состоянии;

14) испытать катушку на межвитковые замыкания;

15) изолировать катушку микалентой 5, киперной лентой 6 и временной полотняной лентой;

16) компаундировать второй раз и снять наплывы битумной массы вместе с временной лентой;

17) покрыть поверхность катушки покровным лаком при помощи кисти;

18) прессовать катушку в горячем состоянии;

19) очистить выводные патроны от битумной массы и промыть их бензином;

20) нанести обозначения выводов катушки краской;

21) испытать катушку на межвитковые замыкания и проверить размеры катушки по чертежу.

При первой компаундировке (операция 12) битумная масса заполняет воздушные прослойки между шинами и поры в асбестовой ленте. При второй компаундировке (операция 16) масса заполняет прослойки между слоями миканитовой ленты и поры в киперной ленте. Межвитковые замыкания проверяют 3 раза (операции 9, 14 и 21), чтобы не пропустить на следующие операции дефектные катушки.

15-5. НАМOTKA КАТУШЕК ИЗ ШИННОЙ МЕДИ НА РЕБРО

Катушки, намотанные на ребро, являются наиболее компактными и плотными. Высоту катушки определяют простым суммированием размеров медных шин и изоляционных материалов без всяких коэффициентов распушения. С технологической точки зрения эти катушки удобны тем, что процесс намотки ведется без учета количества витков, так как спи-

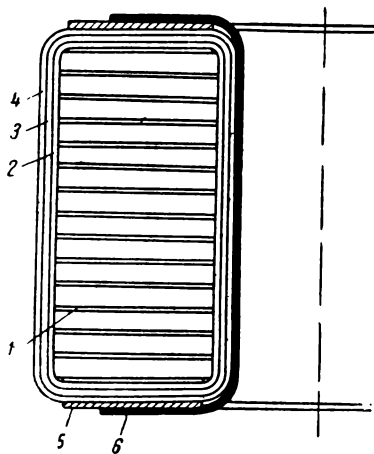


Рис. 15-10. Шинная катушка, намотанная на ребро.

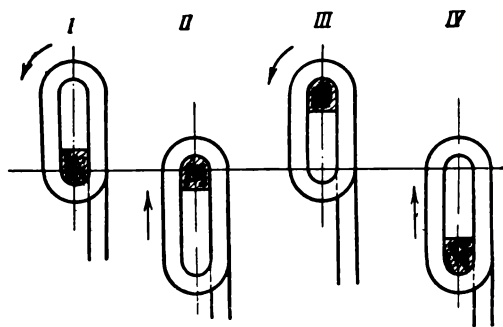


Рис. 15-11. Схема намотки катушки на ребро.

раль может быть после разрезана на отдельные катушки. Это позволяет значительно повысить коэффициент использования намоточного станка. Катушки, намотанные на ребро, являются однослойными, что способствует хорошему и равномерному охлаждению всех витков.

Прокладки 1 (рис. 15-10) из асбестовой бумаги толщиной 0,3 мм нарезают в виде рамок и вкладывают между витками после намотки. Наружная изоляция катушки состоит из асбестовой ленты 2, микаленты 3 и киперной ленты 4. Внутри катушки вкладывают каркас 6, который отделяют от катушки прокладками из электрокартона 5.

Катушки, намотанные на ребро, имеют внутреннее окно овальной формы и применяются главным образом для добавочных полюсов машин постоянного тока и для синхронных.

Намотка катушек на ребро может производиться на том же станке, что и намотка плашмя (рис. 15-9), однако при этом шина должна иметь продольную подачу от суппорта, который расположен с задней стороны станка. Для предохранения шины от скручивания она проходит через направляющую, укрепленную на конце рычага, который на рис. 15-9 отведен вверху. Этот рычаг свободно вращается вокруг втулки, надетой на ходовой винт суппорта, и при вращении шаблона совершает колебательные движения. Благодаря этому расстояние между концом рычага и точкой касания шины с шаблоном остается постоянным и небольшим, что предохраняет шину от скручивания.

Для намотки катушек из шин большого сечения (свыше 60 мм²) применяют специальные станки с вертикальным расположением оси вращения намоточного станка. Устройство станка основано на том принципе, что шина за все время намотки направлена касательно к шаблону и не отклоняется в стороны (рис. 15-11). Поэтому шаблон не просто вра-

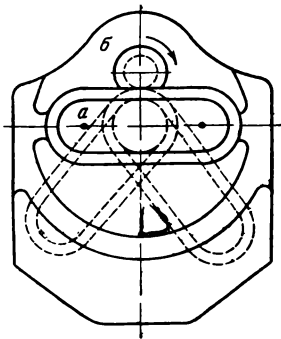


Рис. 15-12. Схема намоточного станка.

шается вокруг центра, а совершает попеременно поступательные и вращательные движения.

При намотке одного витка шаблон совершает следующие движения (на чертеже одна сторона шаблона заштрихована):

I. Шаблон начинает поворачиваться вокруг центра заштрихованной стороны на 180° и приходит в положение II.

II. Шаблон движется поступательно до тех пор пока не заштрихованная сторона не придет в положение заштрихованной.

III. Шаблон поворачивается на 180° .

IV. Шаблон совершает поступательное движение.

Оригинальная конструкция станка для намотки катушек на ребро внедрена на заводе «Электросила» (рис. 15-12). Шаблон *a* привинчен к шестерне овальной формы, которая сцеплена с цилиндрической шестерней *б*. Благодаря этому шаблон совершает поступательные и вращательные движения непрерывно. Это позволило значительно повысить производительность станка. Для намотки катушек разной длины шаблон раздвигается.

При намотке на ребро медная шина стремится закручиваться, так как ее сопротивление изгибу плашмя во много раз меньше, чем на ребро. Чем больше отношение сторон сечения и чем тоньше шина, тем труднее наматывать катушку на ребро. Существует экспериментальная формула, выражающая зависимость между размерами сечения, и наименьшим возможным радиусом изгиба шины при намотке.

$$R = \frac{0,05 b^2}{a}, \quad (15-4)$$

где *a* — толщина, *b* — ширина сечения шины, мм.

При большем соотношении сторон возможны трещины на внешнем закруглении шины. Для увеличения жесткости при намотке на ребро из шин небольшого сечения иногда на-

матывают катушку в две параллельные шины, а после намотки их разделяют.

При загибании на ребро медь нагартовывается и становится твердой, а поперечное сечение шины из прямоугольного становится трапецеидальным за счет утолщения на внутреннем закруглении и утоньшения на наружном. Это ведет к увеличению высоты катушки и неплотному прилеганию витков. Поэтому катушки подвергают отжигу и сильной прессовке под гидравлическим прессом с вложенными между витками катушки стальными плитками.

Вторая прессовка имеет целью выровнять боковые стороны катушки, которые, как у всякой пружины, сдвинуты при намотке на половину шага спирали. После прессовки витки становятся плоскими, а переходы из одного слоя в другой остаются на торцевой стороне катушки в виде резких перегибов.

Изоляция между витками состоит из прокладок асбестовой бумаги прямоугольной формы или штампованных по форме медных витков. Прокладки пропитывают лаком и запекают в сжатом состоянии, после чего катушка становится монолитной. Катушки полюсов синхронных машин, имеющих низкое напряжение возбуждения, обычно не изолируют; а надевают на изолированный полюс. При недостатке места боковые стороны витков, более близких к остову ротора, сфрезеровывают. Увеличение плотности тока в нескольких витках не вызывает чрезмерного превышения температуры ввиду хорошей теплопроводности и эффективного охлаждения вращающейся катушки.

15-6. ИЗОЛИРОВКА КАТУШЕК

Многослойные катушки после снятия с намоточного шаблона обматывают полотняной лентой по всему контуру. В низковольтных машинах это делается для скрепления витков, а в машинах на повышенное напряжение или с противосыровой изоляцией для создания непрерывного изоляционного слоя на поверхности катушки. Изолировка полюсных катушек лентой является очень трудоемкой операцией. В процессе изолировки приходится ролик с лентой проводить через внутреннее отверстие катушки, а для этого его надо при каждом обороте ленты 2 раза переключать из одной руки в другую. В процессе изолировки между катушкой и верстаком прокладывают деревянные подставки, чтобы можно было обводить лентой вокруг сечения катушки. При подходе ленты к подставке приходится приподнимать катушку, которая в крупных

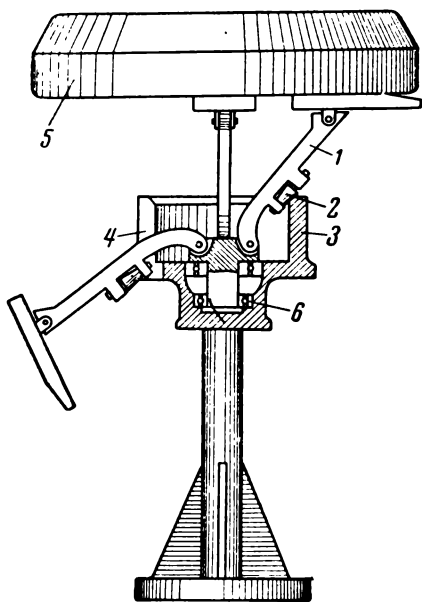


Рис. 15-13. Стойка для изолировки катушек.

машинах весит несколько десятков килограммов, и на поднятие ее приходится затрачивать большие усилия.

На рис. 15-13 показана стойка для изолировки тяжелых катушек. Стойка имеет четыре лапы 1, которые опираются при помощи роликов 2 на обод неподвижного кольца 3. В одном месте в кольце имеется вырез 4, в который проваливается лапа вместе с роликом, освобождая часть катушки 5, подлежащую изолировке. Таким образом, изолировщица не тратит сил на поднимание катушки с опоры и при изолировке не обходит вокруг катушки, а стоит на месте, поворачивая катушку вместе с поддерживающими ее лапами в шарикоподшипниках 6.

Механизация процесса изолировки катушки представляет собой сложную задачу, так как катушка имеет замкнутую форму и прямоугольную форму окна. На рис. 15-14 показан изолировочный станок завода АТЭ-1. Рабочим элементом станка является изолировочная головка. Корпус головки 2 состоит из двух половин, скрепленных винтами. В передней части корпуса для ввода изолируемой катушки имеется окно, которое во время работы станка закрывается кожухом 13 по условиям техники безопасности. Внутри корпуса помещается вращающаяся каретка 1, представляющая собой разрезное кольцо коробчатого сечения. По окружности каретки размещены двадцать роликов 4, вращающихся на осях 3, концы которых заделаны в бортах сечения каретки. Вращение каретке сообщается от шестерни 7 через две паразитные шестерни 6, которые сидят на осях 5 и сцепляются с зубьями, нарезанными на наружной окружности бортов каретки.

Для ввода изолируемой катушки необходимо, чтобы прорезь каретки совпала с окном в корпусе. Это осуществляется от руки маховичком 16, насаженным на

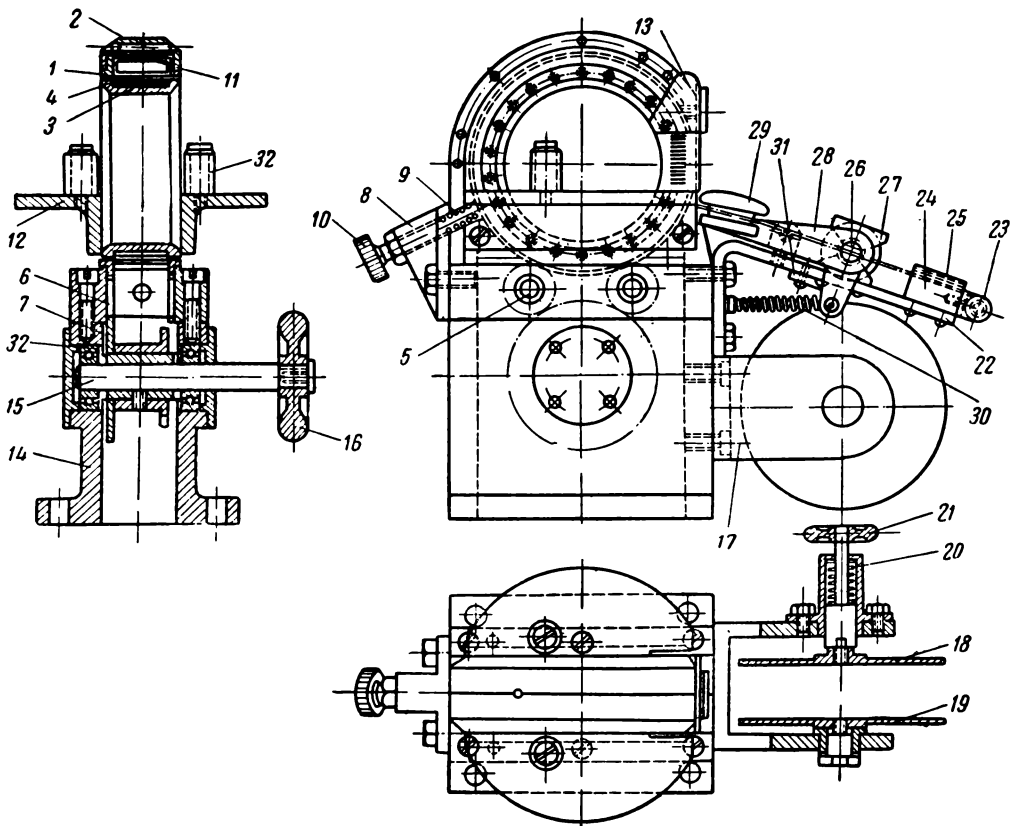


Рис. 15-14. Изолировочный станок.

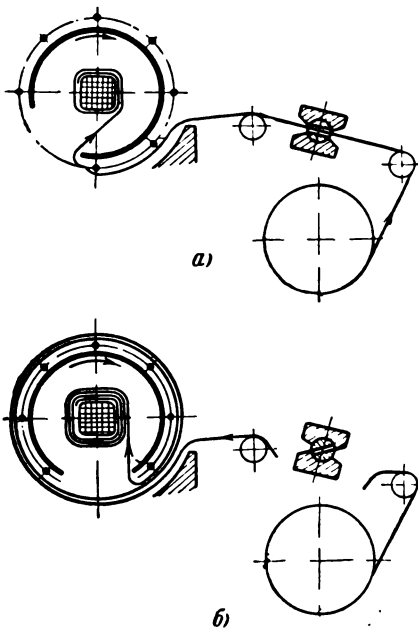


Рис. 15-15. Схема изолировочного станка.

ось 15 и поворачивающим шестерню 7. К корпусу винтами прикреплены с обеих сторон угольники 12, на которые кладется изолируемая катушка и упирается в направляющие ролики 32. Корпус головки прикреплен к чугунному основанию 14, которое привертывается к столу станка. Между бортиками каретки образуется кольцевая камера, в которую наматывается изоляционная лента. Она опирается на ролики 4 и поэтому легко скользит по окружности каретки. Лента прижимается пластинчатой пружиной 11, охватывающей часть окружности каретки. Для регулировки давления пружины 11 служит регулировочный винт 10, ввернутый в бобышку 8 и передающий давление на спиральную пружину 9.

К основанию привернута обойма 17, внутри которой помещаются диски 18 и 19, зажимающие ролик с изоляционной лентой. Диски сжимаются пружиной 20; при вклидывании нового ролика диск 18 оттягивается маховичком 21. На кронштейне 22 укреплены детали направляющих устройств и ножа для отрезания ленты. Конец ленты проходит через ролик 23, направляющую колодку 24 с пластинчатой пружиной 25, шель в цилиндрическом ноже 26, его оправку 27 и второй направляющий ролик. Затем концом ленты наматывают вручную два-три оборота вокруг сечения изолируемой катушки, вводят ее в отверстие головки станка. Как видно на схеме (рис. 15-15,а), при каждом обороте каретки один виток ленты наматывается вокруг сечения катушки и одновременно один виток наматывается на каретку станка. Ввиду того что развернутая длина каретки станка значительно больше периметра изолируемой катушки, на каретке создается запас ленты. После нескольких оборотов станка лента должна быть перерезана (рис. 15-15,б), так как иначе она заполнит весь желобок каретки и заклинит. Лента перерезается посредством нажима руки на педаль 29 (рис. 15-14) на рычаге 28, укрепленном на конце валика, на котором насажен цилиндрический нож. После отпущения педали рычаг и нож возвращаются в первоначальное положение пружиной 30 до упора рычага 28 в ограничитель 31.

На рис. 15-16 показана конструкция привода станка. Механизм привода помещается внутри станины, сваренной из угольников и обшитой с двух сторон щитками из перфорированного стального листа. Электродвигатель 1 прикреплен к раме болтами, которые могут перемещаться в пазах для регулировки натяжения ремня. На конце вала электродвигателя насажен трехступенчатый шкив 2 клиноременной передачи, позволяющей получать три скорости на ведомом шкиве 6.

На перекладные рамы в стойках 3 вращается в шарикоподшипниках валик 4. К торцу шкива 6, который свободно вращается на валике на шарикоподшипниках, привернут барабан 12 фрикционной муфты, в коническое отверстие которой входит конус 5. Он отжимается пружиной 13, и в таком положении муфта расцеплена и станок не работает. Включение станка производится нажатием на ножную педаль. При помощи педали поворачивается гайка 11, которая наворачивается на двухходовой резьбе на неподвижную втулку 8. При повороте гайки она перемещается вправо и нажимает на втулку 9, скользящую вдоль шпонки 10. Втулка 9 передвигает конус 5, сжимая пружину 13. Фрикционная муфта включается, и валик начинает вращаться вместе с насаженной на него шестерней 7. Последняя сцепляется с шестерней 14, насаженной на другой валик, который на чертеже не показан. На том же валике сидит звездочка 15, которая велосипедной цепью связана со звездочкой, показанной на рис. 15-14. Эта звездочка жестко соединена с шестерней 6, которая также начинает вращаться, приводя во вращение через паразитную шестерню 6 каретку изолировочной головки и станок начинает работать. При отпуске педали станок останавливается.

Изолировочные станки, которые были внедрены на заводах автотракторного электрооборудования, впоследствии с успехом стали применять для изолировки крупных катушек на заводе «Динамо», ХЭМЗ и др. [Л. 15-2,

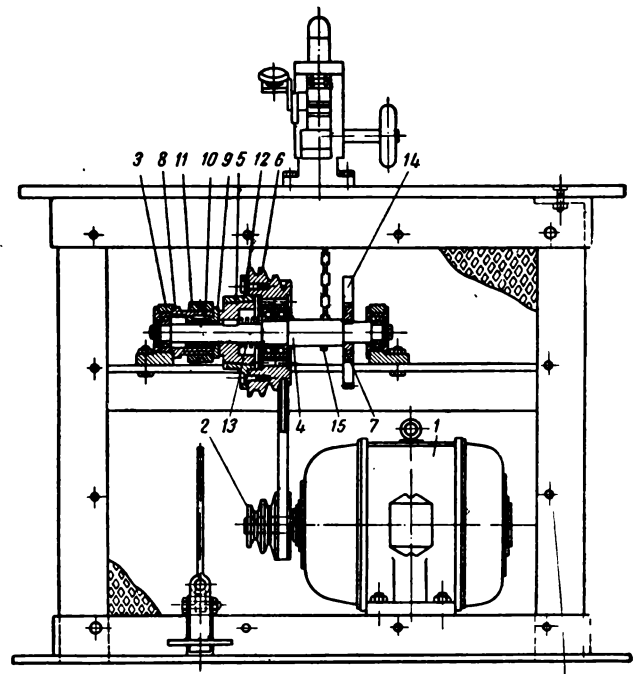


Рис. 15-16. Привод изолировочного станка.

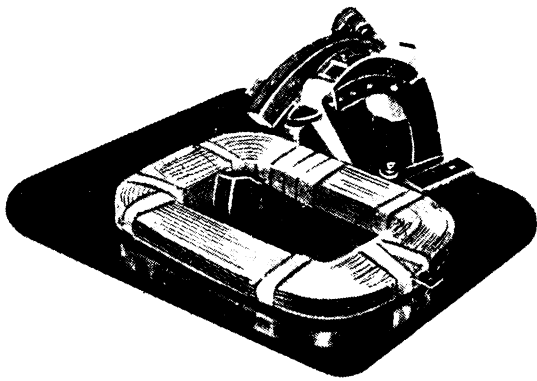


Рис. 15-17. Изолировочная головка.

15-3]. На рис. 15-17 показан процесс изолировки катушки лентой при помощи изолировочной головки такого типа на ХЭМЗ.

В местах закруглений получается утолщение изоляции за счет того, что лента на внутренних закруглениях ложится с большим перекрытием слоев, чем на наружных. Для снижения величины утолщения обычно в этих местах при изолировке срезают половину ширины изоляционной ленты при каждом обороте вокруг сечения катушки.

В табл. 15-2 приведены величины зазоров между полюсом и катушкой и формулы для расчета утолщения изоляции на закруглениях.

Так при ширине сердечника полюса b_m ширина намоточного шаблона

$$B = b_m + 2(a + t + \delta). \quad (15-5)$$

Во избежание повреждения изоляции в углах катушки радиус закругления сердечника главного полюса должен быть не менее $R + 2$ мм.

15-7. ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ КОНСТРУКЦИИ КАТУШЕК

Катушки полюсов по конструкции и технологии проще, чем обмотки, вкладываемые в пазы. Однако несоблюдение элементарных требований технологичности при проектировании часто в сильной степени усложняет процесс изготовления катушек и сборки машины и вызывает повышенный брак. Основные технологические требования, которые необходимо учитывать при проектировании, заключаются в следующем:

а) Размеры катушек. Размеры внутреннего окна катушки должны быть заданы с учетом необходимых для сборки зазоров и утолщения изоляции в углах катушки согласно табл. 15-2. Слишком большие зазоры

ухудшают теплопередачу от катушки к полюсу, а недостаточные зазоры приводят к повреждению изоляции при надевании катушки на полюс. Это особенно часто наблюдается в углах катушки, если не учтено утолщение изоляции и углы сердечника полюса недостаточно закруглены. Наружные размеры катушки нужно определять с учетом коэффициентов распушения, принимая во внимание толщину основной и дополнительной изоляции отдель-

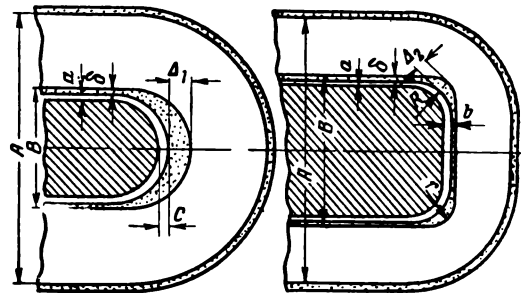
Таблица 15-2

Зазоры между катушкой и полюсом

Зазор, мм	Длина полюса, мм	
	до 200	свыше 200
a	$1 + t$	$1,5 + t$
b	$1,5 + t$	$2 + t$
c	$2 + t$	$3 + t$

t — толщина каркаса.

Утолщение изоляции в углах



$$\Delta_1 = \alpha_2 \delta \frac{A}{B},$$

$$\Delta_2 = \alpha_2 \delta \frac{2r + (A - B) + \delta}{R + r}$$

α_2	Лента без вырезов	Лента с вырезами на $\frac{1}{2}$ ширины
		1,2

ных витков и всей катушки. Если толщина катушки задана без учета этих условий, то для выдерживания размеров катушку придется сильно прессовать, что приводит к межвитковому замыканию.

б) Изоляционные материалы. В многovitковых катушках необходимо предусматривать стягивание витков полотняной лентой до нанесения основной изоляции (микаленты или ленты из лакоткани). Это уменьшает распушение катушки при первой пропитке или компаундировке и делает ее более плотной. Изоляционные материалы следует

выбирать в соответствии с классом изоляции и учитывая их стоимость. Число слоев изоляции надо брать возможно меньше, уменьшая этим перепад температур в изоляции и снижая стоимость машины. Размеры, сорт и количество основной и дополнительной изоляции должны быть точно определены в спецификации чертежа, так как это необходимо для установления технически обоснованных норм расхода материала на единицу изделия.

в) Пропитка. Число и режимы пропиток или компаундировок должны быть заданы в соответствии с эксплуатационными требованиями. Необходимо помнить, что каждая пропитка с сушкой занимает несколько часов. Применение обмоточных проводов с эмалевой или волокнисто-эмалевой изоляцией дает возможность снизить число пропиток, так как эти провода обладают значительной влагостойкостью. В некоторых случаях можно обойтись без пропитки обмотки.

г) Ступенчатость катушек. При проектировании ступенчатых катушек надо избегать резких ступеней, так как это ведет к сползанию витков. Положение начала и конца намотки на чертеже следует делать не произвольно, а по схеме намотки витков, как показано на рис. 15-6.

д) Параллельные проводники. Намотка катушек в два параллельных провода дает возможность снизить сечение провода. Однако при этом число витков в слое должно быть обязательно четным, так как иначе нельзя сделать перехода из слоя в слой. Не рекомендуется применять более двух параллельных проводов, а в катушках из изолированного провода прямоугольного сечения следует избегать параллельных проводов, так как они перекручиваются, что может повести к межвитковым замыканиям.

Катушки из голых шин, намотанные как плашмя, так и на ребро, легко могут быть выполнены в два параллельных провода. Намотку на ребро одновременно двумя шинами часто применяют и без параллельных проводов для повышения производительности труда. После намотки спирали легко разделяются.

е) Число слоев в шинных катушках. Шинные катушки, намотанные плашмя, должны иметь четное число слоев по высоте полюса, так как при этом выходные витки оказываются снаружи катушки. Однако из-за применения четырех слоев и более затрудняется процесс прессовки для достижения параллельности оснований катушки и растет высота катушки за счет большого числа прокладок между слоями. Поэтому лучше всего

стремиться к выполнению двухслойных катушек.

ж) Выводы из катушки. В целях унификации деталей и технологических процессов обычно все катушки на заводе наматывают в одном направлении. Различная полярность полюсов получается за счет схемы соединений катушек в станине. Если катушки имеют патроны для прикрепления соединительных проводников, то все катушки на данный тип машины будут одинаковыми, что очень удобно для планирования, учета и комплектования деталей.

15-8. НАМОТКА КАТУШЕК ГИДРОГЕНЕРАТОРОВ

Для намотки полюсных катушек гидрогенераторов из шинной меди на ребро требуется приложение большого усилия. Раньше эта работа выполнялась с применением примитивных приспособлений; производительность труда и качество намотки были низкими.

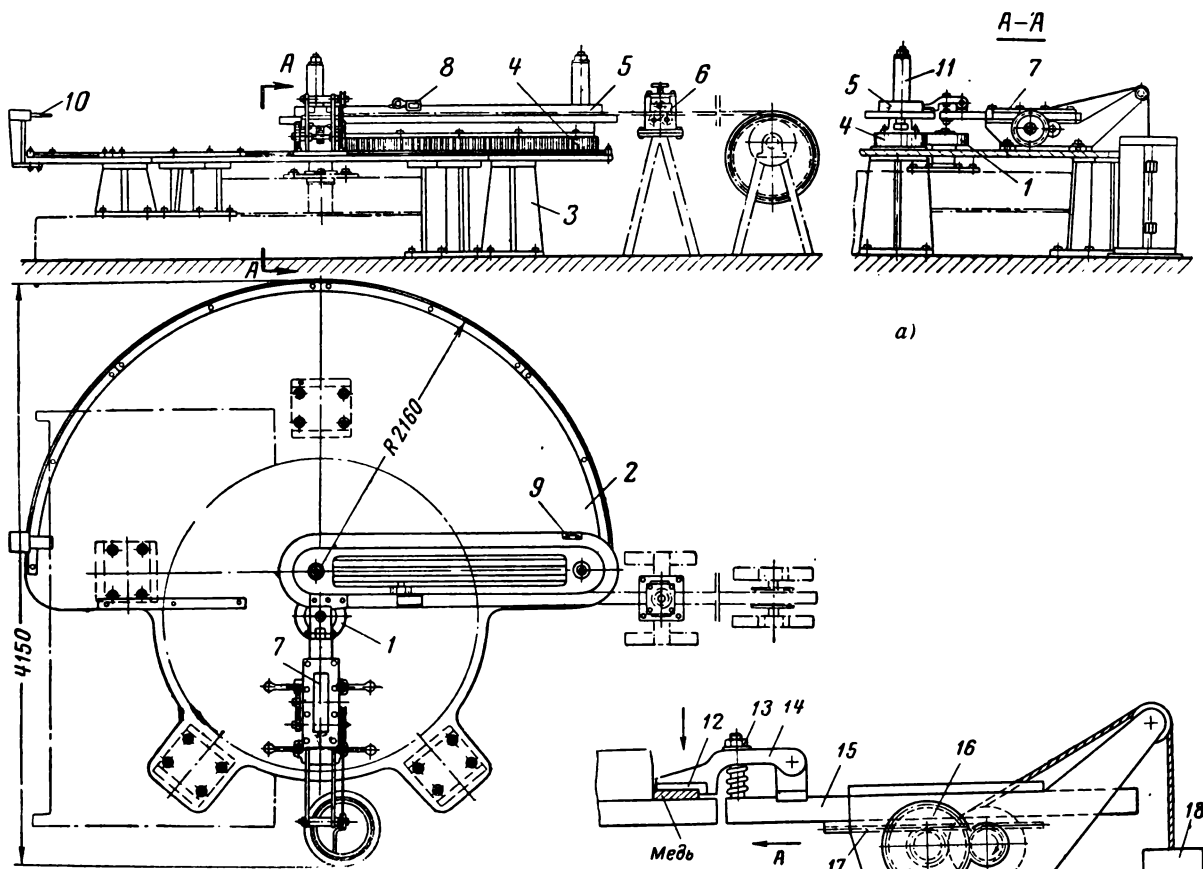
На заводе «Электросила» [Л. 15-1] разработана конструкция намоточного станка на базе карусельного станка (рис. 15-18,а). На планшайбе станка на тумбах 3 установлена плита 2, на которой смонтированы рабочая оснастка и отдельные приспособления. В центре планшайбы закреплена шестерня 1, с которой в зацеплении находится фасонная шестерня 4, состоящая из двух полуокружностей и двух реек. Она имеет продольный паз, которым надета на цапфу, закрепленную в плите. Во время работы станка шестерня 4 совершает попеременно вращательные движения на 180° и прямолинейные движения на длину реек, скользя своим основанием по плите.

На шестерне 4 укреплен оправка 5, на которую наматываются витки катушки. Конец шины захватывается зажимом 8, укрепленным на оправке.

Медная шина, сматываемая с бухты, пропускается через натяжное устройство 6 и затем проходит через планку хобота 7. Хобот служит для прижима полосы к оправке во время намотки. Под действием груза 18 (рис. 15-18,б), подвешенного на тросе, перекинутом через блок, через пару цилиндрических шестерен 16 и реечное зацепление 17 штанга 15 с головкой хобота 14 имеет постоянное натяжение в направлении стрелки А. В головке хобота укреплен сменная закаленная планка 12, охватывающая медную шину с двух сторон. Таким образом шина все время прижимается к оправке. Сила прижима зависит от веса груза 18. В вертикальном направлении шина прижимается гайкой 13.

Во избежание выпучивания шины после образования загиба применены фиксаторы 9 (рис. 15-18,а). Фиксатор 19 врезан в основание оправки, и рабочая часть его выступает над ней (рис. 15-18,б). При движении оправки шина надавит на фиксатор и он опустится. Пройдя под головкой хобота и достигнув паза, сделанного в головке, фиксатор выталкивается пружиной 20 и не позволяет шине отойти от оправки.

Для поднятия намотанного витка, который должен освободить место на оправке для следующего витка, служит клин 10 (рис. 15-18,а). При прямолинейном движении оправки клин попадает под виток и отделяет его от основания оправки. При повороте оправки



виток приподнимается на толщину клина. В дальнейшем виток смещается головкой хобота вверх по оправке и под действием следующих витков переходит на колонки 11. Зажим 8 необходим только в начале намотки, так как в дальнейшем шина удерживается на оправке при помощи охватывающих ее витков.

Намотка катушки производится в такой последовательности. Наматывают число витков, превышающее число витков катушки на два-три витка. Затем перерезают шину и снимают намотанную катушку с требуемым числом витков. Оставшиеся два-три витка удерживают конец шины на оправке при намотке следующей катушки. По окончании бухты меди к концу шины приваривают начало шины от следующей бухты и продолжают намотку. Во избежание задиров меди при прохождении ее под планкой головки хобота на ней установлена масленка с фитильной смазкой шины машинным маслом. Поверхность плиты смазывают консистентной смазкой.

На станке можно производить намотку катушек с разными размерами при замене фасонной шестерни и оправки, а также прижимной планки головки хобота в соответствии с размерами сечения полосы меди. Управление станком кнопочное и осуществляется одним рабочим.

15.9. ОТЖИГ И РИХТОВКА КАТУШЕК

Ввиду того что вес катушки крупных генераторов превышает вес бухты меди, намотку производят отдельными секциями, из которых затем составляют катушку. Намотанные сек-

ции кладут на стальную плиту и ударами свинцовой кувалды выравнивают кривизну плоскостей витков секции.

В процессе намотки на шине образуются утолщения в местах закруглений. Эти утолще-

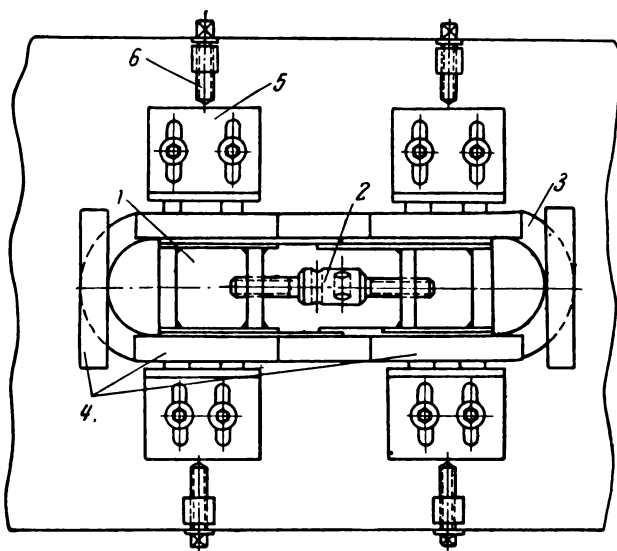


Рис. 15-19. Рихтовка катушек на оправке.

ния приводят к увеличению высоты катушки. Поэтому после намотки утолщения снимают на вертикально-фрезерном станке торцевой фрезой. Фрезеровку начинают с нижнего витка катушки, закрепляя его планками с болтами, и производят последовательно у всех витков с одной стороны катушки, а затем со второй. Во время фрезеровки верхние витки подвешивают на крюки или ставят под них прокладки. По окончании фрезеровки секцию кладут на стол и зашлифовывают заусенцы, образовавшиеся в процессе фрезеровки.

После этого катушку отжигают, для чего секции помещают в электропечь и нагревают равномерно до 500—600°С. Катушки выгружают из печи и быстро охлаждают в воде или на воздухе. После отжига допускается наличие на меди тонкой неотслаивающейся окислы.

Рихтуют секции на оправке 1, ширина которой равна ширине катушки, а длина регулируется винтом 2 (рис. 15-19). Секцию 3 надевают на оправку, на верхнюю часть секции кладут стальные планки 4 и ударами стальной кувалды через фибровую пластину выравнивают витки. Наружную поверхность секций обжимают угольниками 5 при помощи болтов 6.

15-10. КОМПЛЕКТОВКА КАТУШЕК

По окончании рихтовки производят соединение намотанных секций, называемое комплектровкой катушки. Катушки крупных гидрогенераторов составляют из шести—восьми секций. Секции для соединения подбирают согласно выбитой на них нумерации. Производят разметку секций, обрубают концы секций зубилом под углом 45°, опиливают напильником и сваривают. Напльвы, образова-

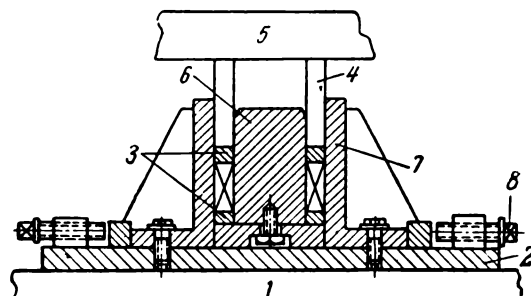


Рис. 15-20. Прессовка катушки.

ные при сварке, обрубают пневматическим зубилом и опиливают.

На концах первого и последнего витков катушки размечают по шаблону места для крепления соединительных пластин. Затем фрезеруют концы катушки под соединительную или выводную пластину и места фрезеровки облуживают. Отверстия под заклепки сверлят через просверленные соединительные пластины или по кондуктору. Соединительные или выводные пластины приклепывают и соединения пропаявают припоём ПОС-40, после чего место пайки зачищают.

Для плотного прилегания витков производят холодную прессовку катушки на гидравлическом прессе. На установочную плиту 2, смонтированную на платформе 1 выдвигной тележки, устанавливают рихтовочную оправку 6 (рис. 15-20). На оправку кладут стальное кольцо 3, устанавливают катушку и сверху кладут второе кольцо. Катушку зажимают в прессующие угольники 7 путем подвешивания болтов 8. Тележку вкатывают на стол гидравлического пресса 5, устанавливают прессовочные колонки 4 и прессуют до получения высоты катушки, указанной в чертеже.

15-11. ВИТКОВАЯ ИЗОЛЯЦИЯ КАТУШЕК

Изоляция между витками состоит из полосок асбестовой бумаги, которые нарезают на рычажных ножницах. Для прямолинейной части нарезают полоски на 2—2,5 мм шире медной шины. Для изолировки закруглений нарезают пластинки двух размеров, для того чтобы можно было смещать стыки изоляционных пластин.

Катушку устанавливают на стеллаж (рис. 15-21) и растягивают ее в виде спирали, напильником снимают заусенцы и острые кромки с обеих сторон всех витков, протирают катушку тряпкой и покрывают глифта-левым лаком. На обе стороны катушки наклеивают асбестовую изоляцию, смещая стыки отдельных полосок. Поверхность асбестовой изоляции покрывают лаком и сушат на воздухе. Затем витки сдвигают и зажимают катушку скобами. Внутреннее окно катушки расклинивают деревянными клиньями.

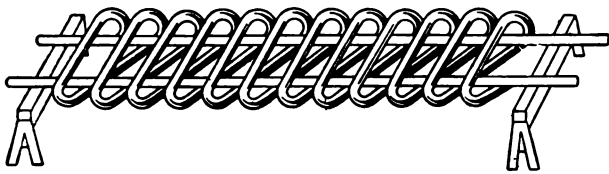


Рис. 15-21. Изолировка витков катушки.

Для скрепления витков катушку запекают. Для этого на плиту выдвигной тележки устанавливают оправку, на основание которой кладут стальное кольцо 1 (рис. 15-22), изоляционную шайбу 4, а сверху катушки шайбу и второе стальное кольцо. От оправки и угольников катушку изолируют прокладками 3. Через витки катушки пропускают ток и нагревают ее до 180—200°С, проверяя температуру нагрева термпарой или термометром. Во время нагревания катушки внутреннее окно

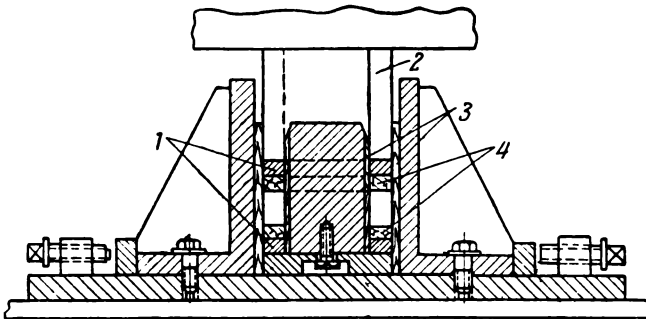


Рис. 15-22. Запечка катушки.

раздвигают разжимной оправкой, а наружные стороны поджимают угольниками с помощью болтов. Выключают ток, устанавливают на верхнее стальное кольцо прессовочные планки 2 шириной, несколько большей ширины шины. Прессуют катушку по высоте до указанных в чертеже размеров. Затем охлаждают катушку до температуры окружающего воздуха, не снимая давления. По остывании катушки снимают давление, освобождают катушку от прессующих приспособлений и снимают с оправки.

Катушку кладут на плиту и зачищают наружную и внутреннюю поверхности от выступающей межвитковой изоляции вровень с медью скребками. Боковые поверхности катушки покрывают электроэмалью.

15-12. СПЕЦИАЛЬНЫЙ ПРОФИЛЬ МЕДИ ДЛЯ КАТУШЕК КРУПНЫХ ГИДРОГЕНЕРАТОРОВ

В процессе намотки катушки на ребро на внутренней стороне закруглений получаются утолщения меди, которые вызывают увеличе-

ние высоты катушки до 10% и зазоры между ее прямолинейными сторонами. Поэтому ранее в технологическом процессе изготовления катушек существовали операции снятия утолщений. Обычно утолщения шин снимали вручную напильником, но так как при больших сечениях меди катушек гидрогенераторов такая операция была очень трудоемкой, было разработано несколько вариантов механического удаления утолщений. На шинах небольших сечений их удаляли методом пластических деформаций в процессе намотки, а на больших сечениях фрезеровали витки.

При разработке этих способов было произведено большое количество измерений, позволивших определить зону и величину утолщений. На основе этого был разработан специальный профиль меди, состоящий из прямоугольной и трапециевидной частей (рис. 15-23). В местах образования утолщений на медной шине в процессе волочения сняты фаски, исключаящие увеличение ее толщины при намотке сверх номинального размера. Таким образом отпала необходимость в механических операциях по снятию утолщений [Л. 15-4].

Кроме того, применение специального профиля дало еще ряд преимуществ. Катушка полюса мощного гидрогенератора весит 500—600 кг, а намотка производится с бухт весом 80—90 кг. Поэтому каждая катушка состоит из шести—восьми секций, которые после намотки сваривают в стык. При этом значительная часть времени затрачивается на пригонку свариваемых концов. Для получения целого числа витков приходится при сварке обрубать концы шин значительной длины. Неоднократные попытки наматывать катушку из сваренных в стык бухт не имели успеха.

С применением специального профиля намотка ведется не секциями, а непрерывно, пока не достигнут полного числа витков катушки. При этом конец одной бухты сваривают в стык с началом следующей и т. д.

Таким образом отпали трудоемкая операция комплектовки катушек и неизбежные отходы меди.

Снятие фасок на профиле меди ведет к образованию на прямолинейных участках катушки щелей между витками со стороны сердечника полюса. Их заполняют полосками асбестовой бумаги толщиной 0,5 мм, наклеиваемой с обеих сторон витка.

Изготовление полюсных катушек из меди специального профиля для гидрогенераторов

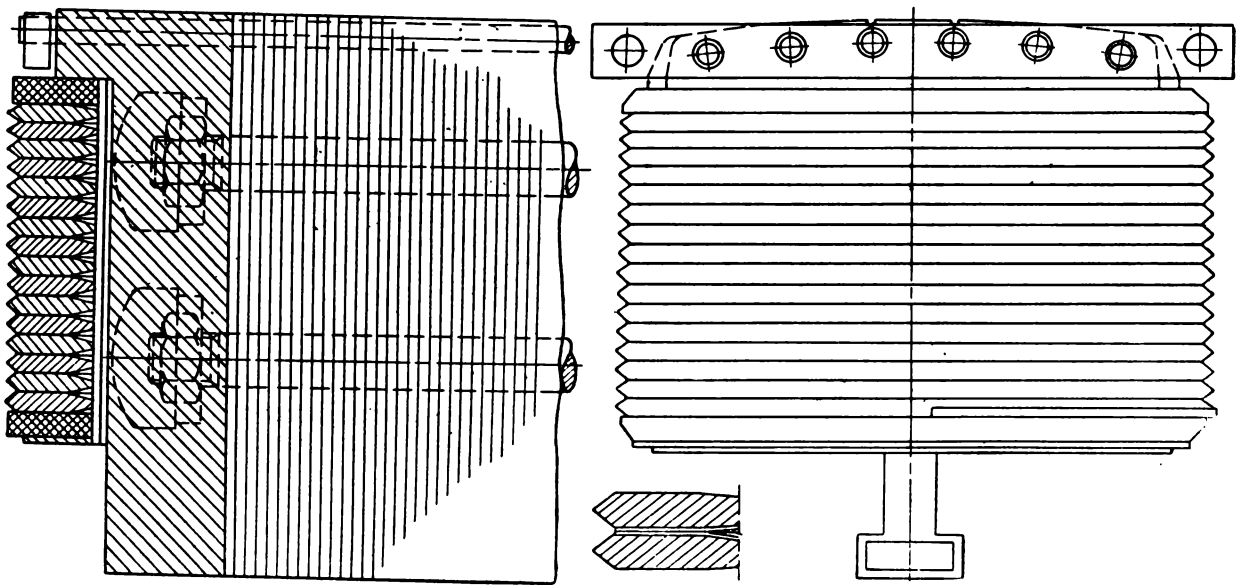


Рис. 15-23. Специальный профиль меди для катушек гидрогенераторов.

Горьковской и Волжской ГЭС имени В. И. Ленина дало следующий экономический эффект на один гидрогенератор:

1) снижение трудоемкости в среднем 1 000 нормо-часов;

2) экономию меди за счет уменьшения технологических отходов в среднем около 1 т;

3) повышение качества катушек;

4) значительное сокращение производственного цикла.

ГЛАВА ШЕСТНАДЦАТАЯ

ПАЙКА И СВАРКА СОЕДИНЕНИЙ В ОБМОТКАХ

16-1. ПРИПОИ МЯГКИЕ И ТВЕРДЫЕ

Пайка — это один из основных способов соединения токоведущих частей электрических машин. При помощи пайки соединяют такие детали, как концы обмотки с коллектором, междуфазные переключки, концы катушек, головки стержневых обмоток, выводные провода и т. д. Соединение деталей при пайке происходит за счет расплавленного припоя, представляющего собой сплавы различных металлов. Припои делят на мягкие и твердые.

Из мягких припоев наиболее употребительны оловянисто-свинцовые, являющиеся сплавами олова и свинца в различных пропорциях. По ГОСТ 1499-54 применяют следующие марки припоев: ПОС-90, ПОС-61, ПОС-50, ПОС-40, ПОС-30 и ПОС-18. В обозначениях марок числа означают процент содержания олова. Цена припоев растет с увеличением содержания олова, поэтому выбор марки припоя имеет большое экономическое значение. Проведенными исследованиями установлено, что по механической прочности, электрическо-

му сопротивлению и стойкости против коррозии припои марок ПОС-61, ПОС-50, ПОС-40 и ПОС-30 практически совершенно равноценны. Выбор марки припоя должен определяться его жидкотекучестью. Глубокие узкие щели, например прорези коллекторных пластин, требуют применения припоя с более высоким содержанием олова. Если же в местах соединения имеются широкие щели, то применение высокооловянистых припоев недопустимо, так как они будут вытекать из мест соединений. Для лужения применяют припои с меньшим содержанием олова, чем для пайки.

При составлении технологических процессов необходимо знать расход оловянисто-свинцовых припоев для разных операций. Теоретически это рассчитать трудно. Поэтому в табл. 16-1 приведены опытные данные завода «Электросила».

В обмотках из алюминиевых проводов процесс пайки усложняется, так как алюминий легко окисляется. В последнее время раз-

Расход оловянисто-свинцовых припоев

Операция	Норма расхода припоя, г/см ²	Расчетная поверхность
А. Горячее лужение		
Лужение полос, заготовок, петушков, кабельных наконечников	0,03	Облуживаемая поверхность
Лужение хомутиков	0,045	То же
Лужение прорезей коллекторных пластин	0,06	Поверхность прорези
Лужение концов кабелей	0,16	Облуживаемая цилиндрическая поверхность
Лужение и пайка концов гибких шин	0,04	Суммарная облуживаемая поверхность
Лужение выводных концов обмоток	0,113	
Б. Пайка		
Пайка коллекторов с обмоткой в ванне	0,6	Поверхность прорези
Пайка кабеля с наконечником	1,7	Цилиндрическая и торцовая поверхности наконечника
Пайка стержневых обмоток роторов в ванне	0,7	Внутренняя поверхность хомутика
Пайка паяльником обмоток мелких машин		
а) роторов	0,5	Внутренняя поверхность хомутика
б) якорей	0,55	
Пайка паяльником обмоток средних и крупных машин		
а) роторов с 12-го габарита	0,8	
б) якорей	0,9	То же
Пайка концов статорной обмотки малых и средних машин	0,9	"
Пайка концов статорной обмотки крупных машин (катушечная обмотка турбо-и гидрогенераторов)	2,5	"
Пайка компенсационной обмотки	1,6	"
Пайка концов статорной обмотки стержневого типа	3,6	"
Пайка постоянных бандажей	0,12 на 1 слой	Наружная поверхность бандажа каждого слоя
Нарращивание проводов у шунтовых катушек	2,5	Поверхность спаивания

работаны припой и способы пайки алюминия, обеспечивающие вполне доброкачественные соединения.

В табл. 16-2 приведены составы припоев для пайки проводов и шин из алюминия [Л. 16-1].

Припой № 1 может быть использован для соединений, нагреваемых до 100°. Припой № 3 рекомендуется для применения в монтажных работах как наиболее дешевый. Припой № 2 и 3 могут быть использованы для соединений, работающих при температурах до 200°, а припой № 4 и 5 — до 150°. Испытание механической прочности образцов, спаянных внахлестку и нагретых до указанных температур, показало, что разрушение во всех случаях происходило не в месте пайки, а в целом проводнике. Величину нахлестки при пайке шин следует брать в пределах 3—5 их толщины [Л. 16-1].

Технологический процесс пайки алюминиевых шин заключается в следующем. Поверхности шин в месте пайки зачищают наждачной бумагой или проволочной щеткой.

Таблица 16-2

Припой для алюминиевых проводов и шин

Номер припоя	Химический состав частей						Интервалы расплавления, °С
	цинк	олово	серебро	кадмий	алюминий	медь	
1	41	54	2	—	3	—	320—350
2	58,5	40	—	—	—	1,5	380—450
3	80	—	—	—	12	8	390—410
4	43,5	55	1,5	—	—	—	190—400
5	65	15	—	20	—	—	163—346

Примечание. Припой № 2, 3 и 4 рекомендуются для пайки алюминия; припой № 1 и 5 рекомендуются для пайки алюминия и алюминия с медью.

Шины нагревают и облуживают. Нагрев производят электропаяльником или в клещах с графитовыми электродами. Припой растирают по поверхности шины до получения сплошного зеркала. Слой припоя разравнивают проволочной кистью. Облуженные поверхности накладывают одну на другую, нагревают, притирают под небольшим давлением и окончательно сжимают. Процесс пай-

ки заканчивают при затвердевании припоя. Паяные соединения зачищают, протирают бензином и покрывают влагостойким лаком.

Однопроволочные круглые алюминиевые провода перед пайкой скручивают без предварительного облуживания. Припой заливают с обеих сторон в желобки между проводниками.

Для обмотки с нагревостойкой изоляцией низкая температура размягчения мягких припоев не позволяет использовать свойства изоляционных материалов. Кроме того, пайка мягкими припоями часто не удовлетворяет требованию механической прочности соединений. В связи с этим все более широкое распространение получают твердые припои.

Для токоведущих деталей применяют серебряные и меднофосфористые твердые припои. Температура плавления этих припоев лежит выше 700°. Из серебряных припоев в электротехнике используют припои ПСр70 и ПСр50, обладающие большой электропроводностью, приближающейся к меди. Цифры в марках припоя обозначают процентное содержание серебра. Прочность соединений при пайке твердыми припоями превышает прочность самого припоя и прочность меди обмоток.

Однако стоимость серебряных припоев высока вследствие наличия в них серебра. Поэтому в последние 20 лет нашли широкое применение, особенно в электромашиностроении, где паяные соединения носят массовый характер, меднофосфористые припои. Они значительно дешевле серебряных, и паяные соединения обладают высокой прочностью и хорошей электропроводностью. Наиболее употребителен в электромашиностроении припой ПМФ-7, содержащий 93% меди и 7% фосфора. Температура его плавления 850°. По сравнению с серебряными меднофосфористые припои обладают пониженными пластичными свойствами, поэтому соединения, работающие на удар и изгиб, не следует паять меднофосфористыми припоями. Эти припои хорошо паяют медь и медные сплавы, но они не пригодны для паяния черных металлов. При пайке меди меднофосфористые припои не требуют применения флюсов, а при пайке медных сплавов флюсы необходимы. Применение меднофосфористых припоев по сравнению с серебряными и оловянистыми дает большую экономию [Л. 16-5].

16-2. ФЛЮСЫ

Для получения прочного соединения посредством пайки необходимо, чтобы поверхности были тщательно очищены от грязи, жир-

ных пятен и всяких посторонних примесей. Эта очистка может быть выполнена напильником, шабером и наждачной бумагой. Кроме того, на поверхности металла всегда имеется пленка окиси, которую необходимо удалить перед началом пайки; необходимо еще предохранить металл от окисления в процессе пайки. Такая защита достигается применением специальных химических веществ — так называемых флюсов. Назначение флюсов состоит в том, чтобы сплавлять окислы и удалять их с поверхности соединяемых деталей и предохранять металлы и припой от окисления в процессе пайки. Флюсы также снижают поверхностное натяжение припоев и улучшают их смачиваемость и растекаемость.

При выборе флюса надо учитывать следующее:

- 1) температура плавления его должна быть ниже температуры плавления припоя;
- 2) он не должен вступать в соединение с основным металлом и припоем, а после охлаждения должен легко удаляться с поверхности основного металла;
- 3) при пайке должен всплывать на поверхность металла, а не оставаться в паяном шве;
- 4) должен быть безвреден для работающих;
- 5) он не может заменить механической очистки поверхностей, так как не удаляет масел, жирных пятен и веществ органического происхождения.

Флюсы употребляют в виде порошков, паст или растворов.

При пайке оловянисто-свинцовыми припоями наибольшее распространение в электротехническом производстве в качестве флюса имеет канифоль. Ценное свойство канифоли заключается в том, что она совершенно не дает коррозии и не выделяет паров, разъедающих изоляцию; она даже защищает место пайки от наружной коррозии твердой сплошной пленкой, образующейся по окончании пайки. Пленка эта водонепроницаема, и кислоты, остающиеся на паяном шве, утрачивают свою активность под ней.

Канифольный флюс применяют для пайки и лужения оловянисто-свинцовыми припоями всех токоведущих частей электрических машин, например концов секций, катушек, шин, коллекторных и соединительных пластин и т. п. Можно применять очищенную канифоль в сухом виде или в виде раствора канифоли в бензине или спирте в пропорции по весу 1:1.

Для пайки меди и ее сплавов твердыми припоями часто используют буру и борную кислоту. При остывании шлаки покрывают

всю поверхность соединения, образуя стекловидную корку, трудно удаляемую с поверхности.

Для приготовления флюса буру расплавляют, после охлаждения измельчают в порошок и просеивают через сито. Ввиду того что полученный порошок гигроскопичен, его следует хранить в закрытых банках. Буру применяют при пайке в виде порошка или пасты, замешанной на воде или спирте.

При пайке серебряными припоями, имеющими более низкую температуру плавления по сравнению с медными, используют флюс, состоящий из 50% буры, 35% борной кислоты и 15% фтористого калия.

Для пайки алюминия применяют флюс марки 34А, состоящий из 10% фтористого калия или натрия, 8% хлористого цинка, 32% хлористого лития и 50% хлористого калия.

16.3. ПАЯЛЬНИКИ

При пайке мягкими припоями для нагревания деталей и расплавления припоя служат электрические паяльники. По принципу устройства их можно разделить на четыре типа: с нагревательными спиралями, с контактным нагревом, электродуговые и ультразвуковые.

Нагревательные спирали паяльников наматывают из проволоки с высоким удельным сопротивлением — нихрома или фехрала. Недостатками паяльников с нагревательными спиралями являются частое перегорание спиралей и большое рассеивание тепла. Если при перерывах в работе оставлять паяльник включенным, то он расходует много энергии

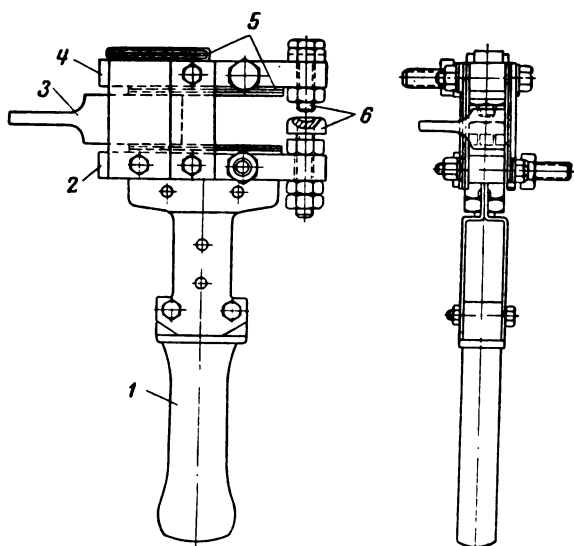


Рис. 16-1. Паяльник с контактным нагревом.

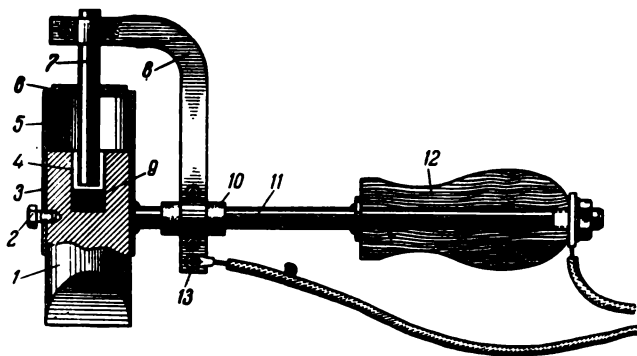


Рис. 16-2. Электродуговой паяльник.

и перегревается. Если же на время перерыва выключить паяльник, то приходится тратить много времени, пока он снова нагреется. Поэтому паяльники с нагревательными спиралями находят применение лишь в тех случаях, когда пользоваться ими приходится периодически.

Для обмоточных цехов с непрерывным процессом пайки служат более надежные паяльники с контактным нагревом (рис. 16-1).

Медный наконечник 3 паяльника зажат между двумя медными планками 2 и 4, на которые наплавлен слой нихрома 5. Ток от понижающего трансформатора подводится к планкам и, проходя через контакты нихрома с медью, обладающие повышенным сопротивлением, нагревает наконечник 3. Для применения паяльника при различных операциях служат смелные вставки, которые закрепляются болтами 6. Контактная часть паяльника укреплена на основании, к которому прикреплена ручка 1 из теплоизолирующего материала. Паяльник питается от трансформатора напряжением 10—36 в, мощность 20—30 квт. Ток во вторичной цепи достигает 3000 а. Такие паяльники применяют в коллекторном производстве, а также для пайки якорной обмотки с петушками коллектора, проволочных бандажей и для других работ, при которых требуется большое количество тепла. По сравнению с паяльниками с нагревательными спиралями эти паяльники имеют большую мощность и безотказны в работе. Быстрая смена наконечников делает их универсальными [Л. 5-1].

Третья разновидность электрических паяльников — электродуговые (рис. 16-2).

Массивный медный стержень 1 диаметром 40—50 мм вставлен в обойму 5, согнутую из листовой стали, и застопорен винтом 2. Для уменьшения теплопередачи от стержня к обойме иногда между ними кладут прокладку из листового асбеста 3. Контакт между стержнем и обоймой осуществляется винтом 2. К обойме приварен пруток 11 диаметром 8—12 мм с деревянной рукояткой 12 на конце.

Угольный электрод 7 диаметром 8—12 мм закреплен в держателе, представляющем собой два угольника 8 из листовой стали, которые сверху и снизу выгнуты в виде хомутиков и стянуты винтами 13. В верхний хомутик зажат угольный электрод 7, а нижним хомутиком держатель охватывает пруток 11, будучи изолирован от него асбестом или жаростойким миканитом 10.

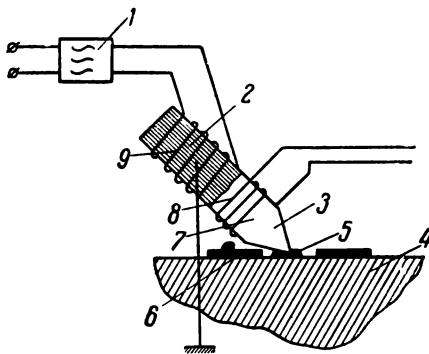


Рис. 16-3. Схема ультразвукового паяльника.

В торце стержня просверлено отверстие 4 глубиной 20—30 мм и диаметром на 5—6 мм больше диаметра угольного электрода. Между угольным электродом и стенками отверстия есть зазор. На дне отверстия забит обломок угольного электрода 9. Таким образом, дуга горит между угольными электродами, имеет более устойчивый характер и не оплавляет медного стержня. Для защиты глаз от лучей дуги обойма закрыта крышкой 6 из листового асбеста.

Питание паяльника осуществляется от понижающего трансформатора напряжением 30—50 в. Ток подводится к держателю электрода 8 и к стержню 11 через провода с резиновой изоляцией. Чтобы снять напряжение между стержнем паяльника и предметом паяния, провод, подводящий ток к стержню, должен быть надежно заземлен. Для удобства пользования паяльником включение первичной обмотки трансформатора производят контактором, кнопка которого находится вблизи от паяльника.

Электродуговые паяльники работают безотказно и обеспечивают быстрое выполнение работы [Л. 18].

Ультразвуковые паяльники применяют для пайки и лужения алюминия. Алюминий на воздухе мгновенно покрывается слоем окиси, препятствующей припою соединиться с металлом. Под действием ультразвука окисная пленка размельчается и удаляется с поверхности, открывая доступ припою к поверхности алюминия.

Ультразвуковой паяльник (рис. 16-3) питается переменным током частотой 20—22 кГц от генератора 1 мощностью 35—100 вт. Ток высокой частоты подводится к катушке 9, внутри которой находится магнито-стрикционный сердечник 2 из сплавов железа, никеля или кобальта. Под действием тока высокой частоты длина такого сердечника будет периодически изменяться и он начнет излучать ультразвуковые колебания. На конце сердечника укреплена головка паяльника 7, заостренный конец которой 3 является рабочим элементом паяльника. Обмотка 8 служит для нагревания сердечника до температуры паяния и питается от сети переменного тока промышленной частоты.

Ультразвуковые колебания проходят через расплавленный слой припоя, воздействуют на окисную пленку 6, поэтому соединение припоя 5 с деталью 4 получается прочным. Пайка производится чистым оловом или оловянно-цинковым сплавом без всяких флюсов [Л. 16-2].

16-4. ПАЙКА КОЛЛЕКТОРОВ МЯГКИМИ ПРИПОЯМИ

Небольшие коллекторы, в которых провода припаяют непосредственно к пластинам коллектора, можно паять паяльником. При больших размерах коллектора вследствие большой теплоемкости пластин их трудно нагреть паяльником до температуры плавления припоя. Поэтому коллектор большого диаметра перед пайкой необходимо прогреть паяльной лампой. Якорь ставят в наклонное положение коллектором вниз, чтобы при пайке припой не мог стекать в обмотку. Пламя паяльной лампы направляют на цилиндрическую поверхность коллектора и, поворачивая якорь, прогревают все пластины до температуры плавления припоя.

Пайку коллектора лампой применяют только обмотчики высокой квалификации при выполнении единичных машин и в ремонтных работах. В серийном производстве машин постоянного тока, у которых концы обмотки припаяют непосредственно к коллекторным пластинам, пайку производят в паяльных ваннах.

Пайка в ванне имеет следующие преимущества по сравнению с пайкой при помощи лампы:

- рабочее время сокращается в несколько раз;

- достигается значительная экономия припоя, который не разбрызгивается;

- коллектор предохраняется от чрезмерных нагревов, так как он нагревается лишь до температуры плавления припоя;

- коллектор нагревается равномерно в течение непродолжительного времени.

На рис. 16-4 показана ванна завода «Динамо» для пайки крупных коллекторов диаметром 260—420 мм. Основой ванны служит металлический сварной корпус 1, выполненный из листовой стали. Верхняя часть корпуса заполняется оловянистоцинковым припоем 2. Припой нагревается спиралью 3, уложенными в ящички 4, которые выполнены в виде отдельных секций и легко закладываются и вынимаются с наружной стороны ванны. Это сделано для облегчения их ремонта.

Уровень припоя регулируется поплавком 5, представляющим собой чугунное кольцо, которое прикреплено планками 6 к двум штангам 7, выходящим из червячных редукторов 8. Они соединены через фрикционную передачу 10 с общим валом 9, приводимым во вращение электродвигателем 11. В зависимости от направления вращения электродвигателя штанги 7 поднимают или опускают поплавок 5. Управление электродвигателем осуществляется двумя кнопками с надписями *Вверх* и *Вниз*, расположенными на корпусе ванны.

Температура припоя контролируется и поддерживается на уровне, необходимом для производства пайки, автоматической аппаратурой, смонтированной на отдельном щите. При помощи автоматической аппаратуры производятся также включение и отключение на-

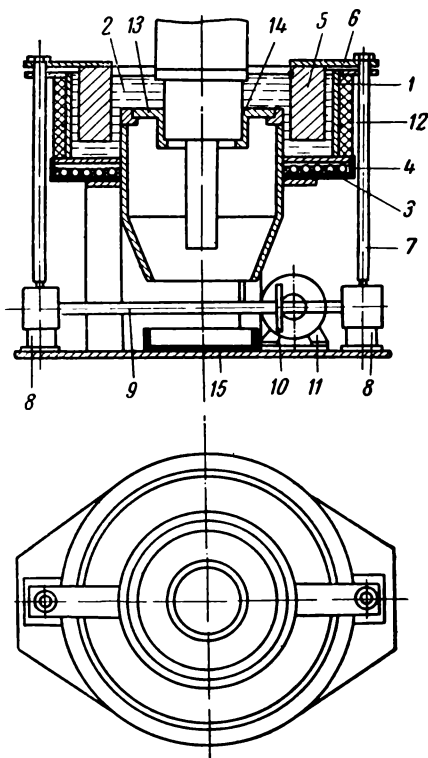


Рис. 16-4. Ванна для пайки коллекторов.

гревательных спиралей, питаемых от сети 220 в, которые разделены на две группы мощностью по 14,5 квт. С наружной стороны корпус ванны обмурован теплоизоляцией.

Процесс пайки происходит следующим образом: в корпус ванны вставляют сменное кольцо 13, соответствующее диаметру коллектора, и на него краном опускают якорь. Место стыка кольца с корпусом и коллектором проконопачивают асбестом 14. На дне ванны установлена чашка 15 на случай протекания припоя через неплотности чеканки. Поплавок 5 опускают, поднимают уровень припоя, и он вступает в соприкосновение с петушками коллектора, которые быстро нагреваются до температуры пайки. По окончании пайки уровень припоя опускают и снимают якорь. За время замены якоря температура припоя, понизившаяся на 20—30°, снова поднимется.

16-5. ПАЙКА ТВЕРДЫМИ ПРИПОЯМИ

При пайке твердыми припоями количество тепла, подводимого паяльником, недостаточно для расплавления припоя. Поэтому применяют более эффективные методы, к которым относится нагревание: газовым пламенем, в печах, в соляных ваннах, токами высокой частоты и контактным способом.

В электромашиностроении из этих способов применяется нагревание газовым пламенем обмоток без изоляции (короткозамкнутые обмотки роторов) или удаленных от изоляции частей (отводы трансформаторных

обмоток). Что же касается пайки обмотки вблизи от изолированных ее частей, то почти исключительно применяют контактный способ нагревания по методу сопротивления.

Для нагревания по методу сопротивления используют специальные клещи с угольными электродами, которые питают от понижающего трансформатора. Спаиваемые детали сжимают угольными электродами, а между ними прокладывают тонкую пластинку меднофосфористого припоя.

Нагревание по методу сопротивления происходит быстро и в узкой зоне. Благодаря этому изоляция проводников не успевает чрезмерно нагреться и обуглиться.

На рис. 16-5 показано устройство клещей для электроконтактного нагрева при пайке твердыми припоями. Клещи имеют подвижную 2 и неподвижную 6 губки, в которых зажаты графитовые электроды 1. Сжатие электродов происходит при нажиме на рычаг 5. При отпуске рычага губки расходятся под действием пружины 4. Ток от трансформатора подводится к губкам гибким проводом и включается ножной педалью. Механизм клещей заключен в пластмассовый корпус 3. Ими можно паять провода сечением 0,5—25 мм². Вес клещей 500 г [Л. 16-3].

Метод контактного электронагрева применяют и при пайке короткозамкнутых клеток ротора асинхронных двигателей. Для этого один конец вторичной обмотки трансформатора присоединяют к валу, а второй к угольному электроду и прижимают его к торцу замыкающего кольца вблизи стержня. После расплавления стержня переходят к следующему.

Короткозамкнутые обмотки роторов асинхронных двигателей обычно имеют медные замыкающие кольца и латунные стержни пусковой обмотки, что сильно затрудняет процесс

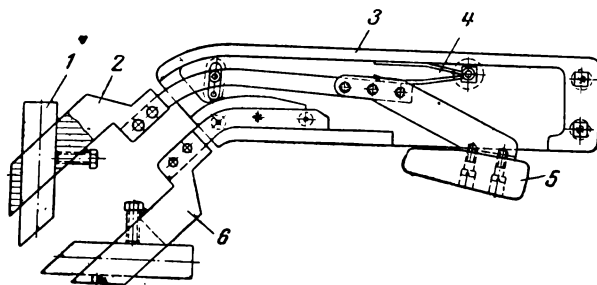
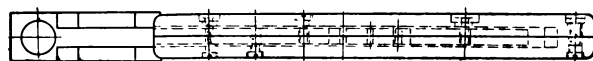


Рис. 16-5. Клещи для пайки твердыми припоями.

пайки, так как температура плавления этих металлов различная. В кольцах на наружной стороне сверлят отверстия с цековками глубиной 3 мм. Роторный стержень должен войти в кольцо на величину, равную его толщине.

Перед пайкой концы стержней и кольца тщательно зачищают. Пайку начинают с наружной стороны кольца. После заполнения углублений в кольцах ротор поворачивают на 180° и припаивают каждый стержень к кольцу меднофосфористым припоем.

Для машин с нагревостойкой изоляцией применяют электроконтактную пайку обмотки якоря с коллекторными пластинами твердыми припоями [Л. 16-6].

На рис. 16-6,а показана конструкция головки для электропайки обмоток с большими сечениями проводов. Паяльная головка имеет два медных электрододержателя: неподвижный 1 и подвижный 4, в которые вставлены два графитовых электрода 2 и 3. Подвижный электрододержатель перемещается рычагом 11 при нажатии на него рукой. Обратный ход электрододержателя производится действием пружины 9. Для охлаждения электрододержателей через штуцера 8

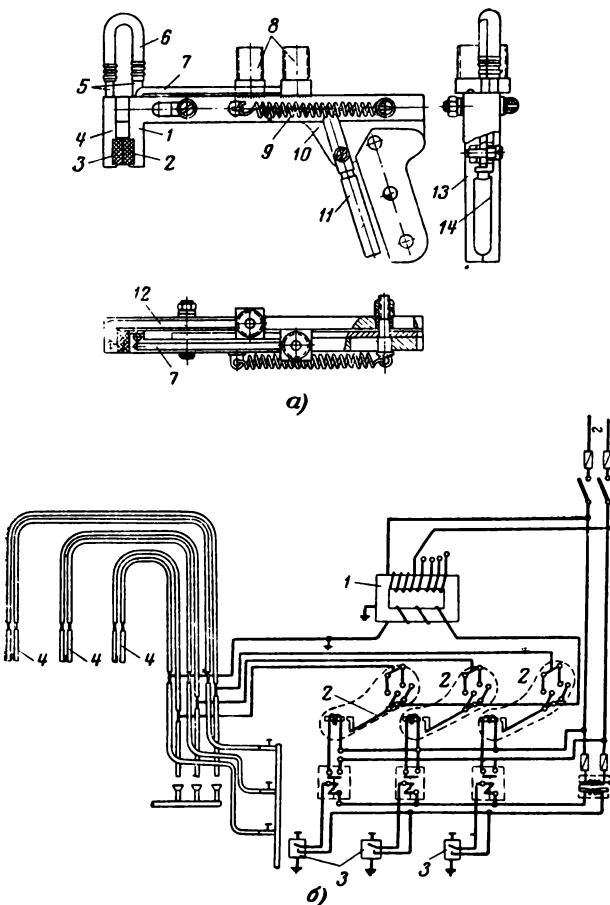


Рис. 16-6. Установка для пайки твердыми припоями.

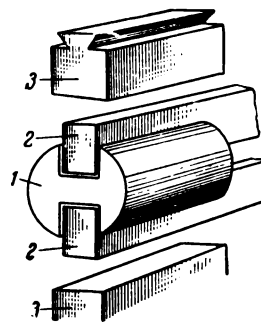


Рис. 16-7. Пайка стержней роторной обмотки.

подводится проточная вода, которая циркулирует по медным трубам 5, 7 и 12 и резиновому шлангу 6, служащему для соединения неподвижного и подвижного электрододержателей. Паяльщик держит головку за ручку, состоящую из алюминиевого стержня 10 и двух накладок из гетинакса 13 и 14

Общая схема установки показана на рис. 16-6,б. От вторичной обмотки трансформатора ток поступает к электродам трех паяльных головок 4, изготовленным из угля марки ЭГО. Питание паяльных головок производится от однофазного трансформатора 1. Первичная обмотка трансформатора включена в линию напряжением 380 в, а напряжение вторичной обмотки регулируется в пределах 10—20 в при токе 2000—1000 а.

Подготовленные к пайке соединения зажимают между угольными электродами паяльной головки. Затем нажимают одну из ножных педалей 3, которой включается один из магнитных пускателей и контакторов 2. Электрический ток, проходя через электроды, нагревает их до 800—900°С. При этом пластинка фосфористой меди, вложенная между проводами, расплавляется. Затем ток отключают и соединение быстро охлаждается циркулирующей по трубкам водой. Весь процесс пайки одного соединения занимает 1—3 сек.

На рис. 16-7 показан способ электропайки стержней роторной обмотки. Между стержнями 2 вставляется распорка 1 из электролитической меди. Она представляет собой цилиндрический стержень с профрезерованными в ней канавками. Ширина канавки равна толщине стержня роторной обмотки. Пластины твердого припоя из фосфористой бронзы вкладывают в эти канавки под концы стержней, а стержни зажимают между угольными электродами 3 с пневматическим зажимом. Через место пайки пропускают ток до 15 тыс. а при напряжении 6—8 в. Паяние продолжается не больше 5 сек, и поэтому изоляция стержней не успевает сильно нагреться.

16-6. СВАРКА СОЕДИНЕНИЙ В ОБМОТКАХ

Кроме пайки в обмотках электрических машин, широко применяют сварку, как контактную по методу сопротивления, так и дуговую.

Межкатушечные соединения статорных обмоток из тонкого провода сваривают при помощи электрической дуговой сварки. Один

конец вторичной обмотки однофазного трансформатора подводят к проводам обмотки, которые скручены между собой. Второй конец обмотки трансформатора соединяют с угольным электродом. Электрод подводят к торцам скрученных проводов, и загорающаяся дуга оплавляет концы проводов. Сварку необходимо производить в сварочных очках для защиты глаз от вредного действия ультрафиолетовых лучей электрической дуги.

В машинах, работающих с большими нагрузками, нагрев коллектора может достигать температуры, при которой припой расплавляется и нарушаются соединения между проводами обмотки и коллекторными пластинами.

Для таких машин применяют сварку концов обмотки с коллекторными пластинами. Сварку производят на автоматической установке в среде инертного газа аргона. Трудность процесса сварки заключается в том, что необходимо защитить изоляцию проводов от действия высокой температуры. При дуговой сварке это достигается путем концентрированного нагрева пластин. Непрерывный приток газа защищает расплавленный металл от окисления и суживает зону распространения тепла.

Электрическая дуга длиной 2,5 мм питается постоянным током 150 а напряжением 30 в. Дуга зажигается между свариваемым металлом и вольфрамовым электродом 1 диаметром 3 мм (рис. 16-8). Минус источника тока подводится к электроду, а плюс — к пластине коллектора 3 и проводу 4. Концы проводов 4 должны выступать над торцом коллектора на 0,5 мм, что позволяет производить их оплавление без применения присадочного металла. Глубина проварки составляет 2—3 мм. Газ направляется к месту сварки через мундштук 2, который для предотвращения загорания дуги между ним и электродом снабжен фарфоровым наконечником с диаметром внутреннего отверстия 7 мм. Конец электрода 1 выступает из мундштука на 10 мм.

Для уменьшения нагрева коллектора он охладается разрезным пустотелым медным кольцом, через внутреннюю полость которого циркулирует проточная вода.

При намотке полюсных катушек из медных шин приходится сваривать переходы из слоя в слой в катушках, намотанных плашмя (рис. 15-8), или выполнять сварку конца одной бухты меди с началом другой. Сварку шин производят на машинах для стыковой сварки, которые располагают вблизи намоточных станков. Здесь же помещают пневматические ножницы для отрезания неровных концов шин.

Шины большого сечения соединяют при помощи электродуговой сварки угольным электродом. Обычно сварку выполняют на

постоянном токе, величина которого в зависимости от толщины шин устанавливается от 100 до 300 а при напряжении 32—40 в. Конец графитового электрода затачивают в форме усеченного конуса, меньший диаметр которого 10—12 мм. Сборку свариваемых шин производят на чугунной плите с графитовыми прокладками в местах стыка шин. Перед сваркой шины рихтуют, торцуют и место сварки тщательно зачищают стальной щеткой. Сварку ведут без скоса кромок.

Шины устанавливают с зазором в месте шва не более 1 мм. Разогревают концы шин до температуры плавления припоя и наносят на них слой флюса толщиной 1—1,5 мм. Процесс сварки ведут в один проход вращательными движениями электрода, добавляя медь от присадочного прутка. Сварной шов не должен иметь трещин, раковин, больших выпуклостей и впадин. Поверхность шва должна быть ровной с обеих сторон шины. Если с обратной стороны образуется непровар, его дополнительно подваривают, переворачивая шину на плите.

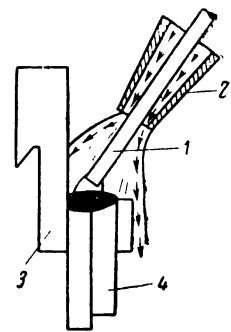


Рис. 16-8. Сварка обмотки с коллектором.

16-7. СОЕДИНЕНИЯ МЕТОДОМ ПРЕССОВАНИЯ

В последнее время большое распространение получил метод соединения проводов при помощи прессования (холодная сварка). При большом давлении материал соединяемых проводов начинает течь и осуществляется надежное соединение с хорошим электрическим контактом.

Соединение методом прессования применяется главным образом при надевании кабельных наконечников на гибкие многожильные кабели. По сравнению с горячими способами соединения (сварка, пайка) холодное прессование имеет следующие преимущества:

- а) повышается надежность и качество закрепления наконечников;
- б) отпадает расход припоя;
- в) значительно уменьшается трудоемкость работы;
- г) исключается опасность повреждения изоляции проводов от перегрева при пайке или сварке.

Закрепление наконечников на гибких многожильных проводах сечением 6—150 мм²

осуществляется методом местного вдавливания (рис. 16-9). Конец зачищенного от изоляции провода обжимается внутри трубки кабельного наконечника с образованием лунки с размерами $A \times B$. Качество соединения зависит от зазора между жилой провода и наконечником и от глубины вдавливания. Большие зазоры между жилами и наконечником приводят к недостаточному заполнению трубки наконечника, что сказывается на качестве контакта. Этим же недостатком страдают соединения с недостаточной глубиной лунки h . Наоборот, при слишком большой глубине лунки происходит перекусывание отдельных проволок жилы и сквозное продавливание трубки наконечника.

Зазор между трубкой наконечника должен быть не более $0,3 \text{ мм}$ на две стороны, а глубина лунки 50% наружного диаметра трубки наконечника [Л. 16-4].

Прессование производят на настольном пневматическом прессе, а провода меньшего диаметра ручными клещами.

Подготовка кабеля к прессованию заключается в снятии изоляции с участка провода длиной на $2-4 \text{ мм}$ больше длины трубки наконечника $2l$ и очистке концов провода от остатков резины стальной щеткой. Жилы провода плотно скручивают в направлении навива. Если жила провода слишком свободно входит в наконечник, ее следует обвить медной проволокой. Прессование производится ручными клещами (рис. 16-10). Жилу с надетым наконечником вкладывают в матрицу так, чтобы пуансон находился в середине цилиндрической части наконечника. Под давлением рукояток пуансон плавно вдавливается в наконечник до упора бортика пуансона в заплечики матрицы.

Качество соединений контролируют путем измерения глубины лунки специальным штангенциркулем и внешним осмотром. Для

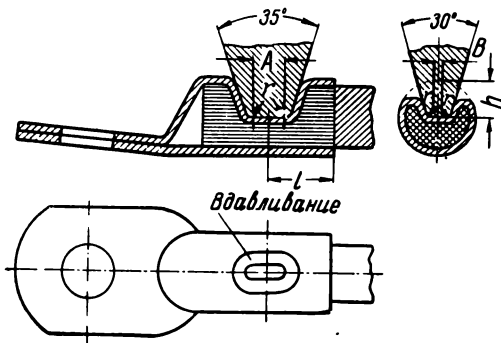


Рис. 16-9. Крепление кабельного наконечника прессованием.

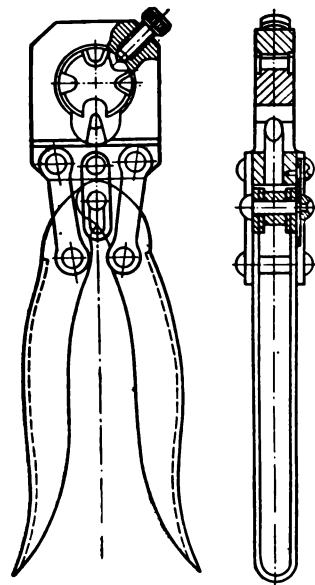


Рис. 16-10. Клещи для соединения прессованием.

сравнительной оценки соединений способами пайки и прессования проводились опыты, при которых исследовались:

а) Усилия вырыва провода из наконечника при помощи динамометра с пределом измерений до 65 кг . Соединение с наконечниками жил сечением $4-6 \text{ мм}^2$ должно выдерживать усилие до 15 кг , а жилы сечением $150 \text{ мм}^2 - 40 \text{ кг}$.

б) Падение напряжения между проводниками жилы, выступающими из наконечника и поверхность наконечника. Падение напряжения не должно превышать 10 мв .

в) Превышение температуры контактов. Исследования показали, что прессованные наконечники имеют несколько большие нагревы по сравнению с паяными соединениями. Однако полученные данные полностью удовлетворяют техническим требованиям.

г) Прочность соединения на вибрацию на эксцентриковом прессе с амплитудой колебаний 7 мм и частотой колебаний 60 в минуту. При этом прессованные соединения до излома жилы выдержали вдвое большее число колебаний, чем паяные.

В последнее время соединения прессованием удачно применяют для соединения и оконцевания алюминиевых проводов.

На рис. 16-11 показано приспособление ПС-7, предназначенное для соединения в стык двух алюминиевых (или медных) круглых проводов диаметром $1-2,6 \text{ мм}$ [Л. 16-1]. Предварительно концы проводов срезают так, чтобы торцы их были перпендикулярны оси. Затем оба провода зажимают в губки 2 приспособления зажимными ручками 3. Одна пара губок, закрепленная в планке 4, является неподвижной, а другая

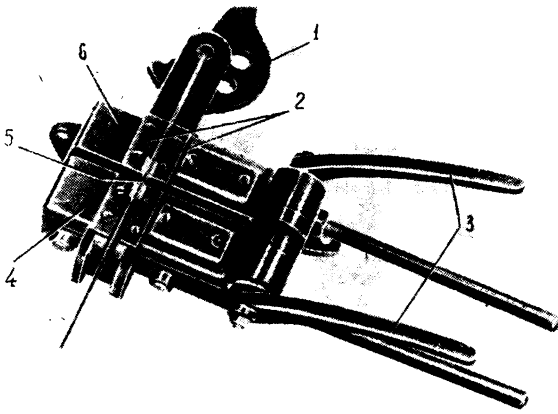


Рис. 16-11. Приспособление для соединения алюминиевых проводов.

вместе с планкой 6 перемещается при помощи эксцентрика 1. При нажатии на ручку эксцентрика провода сдавливаются и в месте стыка 5 прочно соединяются. Разжим губок при возвращении ручек 3 в исходное положение происходит под действием пружин.

Испытания образцов на разрывной машине показали, что во всех случаях разрыв происходил по целому месту. При исследовании микроструктуры проволоки с увеличением в 400 раз место стыка обнаружить не удалось.

На этом же приспособлении хорошо соединяются алюминиевые провода с медными. Для якорных обмоток в специальных губках выполняют концевание алюминиевых проводов прямоугольного сечения медными гильзами, после чего пайку их с медными пластинами коллектора производят так же, как медных проводов.

Лужение применяют для получения неокисляемого контакта двух поверхностей. Лужению подвергаются также поверхности деталей, которые после этого будут спаяны. Это особенно необходимо в тех случаях, когда пайка должна производиться в узких глубоких щелях. Так, например, перед впаиванием концов обмотки якоря в прорези коллекторных пластин предварительно пролуживают как концы проводов, так и стенки прорезей в коллекторных пластинах.

Существуют два способа лужения — электролитическое и горячее. Электролитическое лужение выполняют в ваннах с электролитом, через который пропускают постоянный ток низкого напряжения. Одним электродом является изделие, которое требуется облудить, а другим — пластина олова. Электролитическое лужение применяют только для мелких деталей, связанных медной проволокой. Концы шин, коллекторные пластины и другие детали лудят горячим способом, погружая в ванну с расплавленным припоем.

Пайку кабельных наконечников на проводах тонкого сечения также производят путем погружения в расплавленные припои. Для лужения применяют малооловянистые припои ПОС-18 и ПОС-30. Перед лужением поверхности деталей должны быть очищены при помощи флюсов.

ГЛАВА СЕМНАДЦАТАЯ

БАНДАЖИ И ПАЗОВЫЕ КЛИНЬЯ

17-1. НАЗНАЧЕНИЕ БАНДАЖЕЙ И КЛИНЬЕВ

При вращении якорей и роторов развиваются центробежные силы, которые стремятся выбросить обмотку из пазов и отогнуть лобовые части. Центробежные силы во много раз превышают вес обмотки. Например, при диаметре якоря 0,5 м, вращающегося со скоростью 1000 об/мин, центробежная сила в 250 раз больше веса обмотки. Она растет пропорционально квадрату скорости, и при 2000 об/мин на 1 кг веса обмотки будет действовать центробежная сила 1 т.

Для удержания обмотки в пазах служат пазовые клинья и бандажи. При полуоткрытой и полузакрытой форме паза применяют только клинья. При открытой форме паза могут быть или клинья, или бандажи. В табл. 17-1 приводится сравнение клиньев и бандажей по различным показателям.

Обычно в малых машинах с диаметром якоря до 200 мм применяют бандажи, так как они занимают меньше места по высоте паза, что при малом диаметре якоря имеет важное значение. В больших машинах для удержания обмотки в пазах почти исключительно служат клинья, так как пайка бандажей с большой поверхностью трудоемка и требует много припоя. В пользу применения клиньев говорят и другие показатели, приведенные в табл. 17-1.

Лобовые части всех обмоток якорей и роторов, за исключением турбогенераторов, укрепляют проволочными бандажами.

Однако укрепление обмоток необходимо не только для защиты от центробежной силы, но и от динамических усилий, которым подвергаются обмотки, особенно при резких изменениях тока. Слабое крепление обмоток ведет к перемещениям их в пазах и деформациям

Сравнительные данные клиньев и бандажей якоря с открытыми пазами

Показатели	Сравнительные данные
Радиальная высота	Клинья занимают почти вдвое большую высоту, чем бандаж
Удельное давление на обмотку	При клиньях в 3—4 раза меньше, так как они занимают всю длину якоря, а бандаж только часть длины
Защита обмоток в пазах	Клинья защищают обмотку полностью по всей длине сердечника
Влияние на изоляцию обмотки	Процесс пайки бандажей вызывает старение изоляции обмотки и при слишком большом нагреве может привести к ее нарушению
Сложность штампов для паза	Штамп для пазов с клиньями несколько сложнее
Сложность сборки сердечника	При клиньях весь сердечник набирается из одинаковых листов, а при бандажих из листов различных диаметров, поэтому сборка якоря с бандажими сложнее
Трудоемкость изготовления	Намотка бандажей менее трудоемка, чем забивка клиньев, но крепление концов бандажей и пайка делают их более трудоемкими; с другой стороны, для заклинивания пазов, особенно малых машин, разработаны автоматы с высокой производительностью
Стоимость материала	Бандажная проволока дешевле, чем материал клиньев, но стоимость бандажей повышается за счет припоя для их пайки и миканитовой изоляции под бандаж
Влияние на к. п. д. машины	В бандажих выделяются дополнительные потери от вихревых токов
Влияние на коммутацию	Бандажих увеличивают э. д. с. в короткозамкнутой секции и ухудшают коммутацию. Этого можно избежать, применяя бандажих из немагнитной проволоки, но она очень дорога
Влияние на магнитную цепь	Канавки для бандажей увеличивают коэффициент воздушного зазора в машине, что вызывает увеличение веса меди в обмотке возбуждения
Надежность в эксплуатации	В машинах с нагревостойкой изоляцией пайка бандажей является слабым местом. При изготовлении клиньев из недостаточно просушенного дерева наблюдалось ослабление их крепления вследствие усыхания. При клиньях из текстолита эта опасность отсутствует

лобовых частей, сопровождающимся авариями вследствие нарушения изоляции. Поэтому крепление неподвижных обмоток статоров, особенно в крупных машинах, имеет важное значение. Обмотки статоров всех типов удерживаются в пазах клиньями, а лобовые части их прикрепляют к бандажным кольцам. Анализ аварий станционных генераторов показывает, что слабое крепление обмоток статора является одной из основных причин выхода генератора из строя.

17-2. УСТРОЙСТВО БАНДАЖЕЙ

Принцип устройства бандажих заключается в том, что при намотке на якорь проволоки с определенным натяжением T она прижимает обмотку к дну паза с силой Q (рис. 17-1).

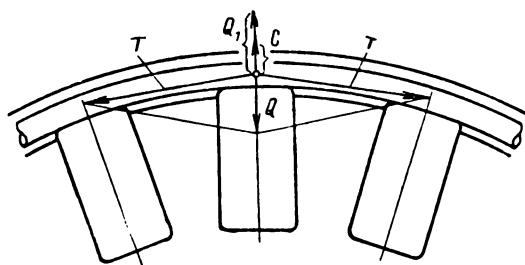


Рис. 17-1. Силы, действующие на бандаж.

Таблица 17-2

Натяжение проволоки при намотке бандажей

Диаметр якоря, мм	Диаметр проволоки, мм	Натяжение проволоки, кг	Максимальное напряжение на растяжение в сечении проволоки, кг/см ²
100—200	0,8	30—40	8 000
201—400	1	50—60	7 750
401—600	1,2	65—80	7 550
601—1 000	1,5	100—120	6 800
Свыше 1 000	2	180—200	6 400

При неподвижном якоре напряжение на растяжение в сечении бандажих определяется натяжением проволоки T при намотке. При вращении якоря на обмотку начинает действовать центробежная сила C . Но напряжение в бандажих при этом не увеличивается, так как центробежная сила уменьшает давление обмотки на дно паза. Так будет до тех пор, пока центробежная сила C не превысит реакции давления Q_1 . Но в правильно рассчитанных бандажих этого никогда не бывает даже при угонной скорости вращения. Натяжение проволоки при намотке выбирают в зависимости от ее диаметра (табл. 17-2). В свою очередь диаметр проволоки зависит от диаметра якоря, так как при бандажировании

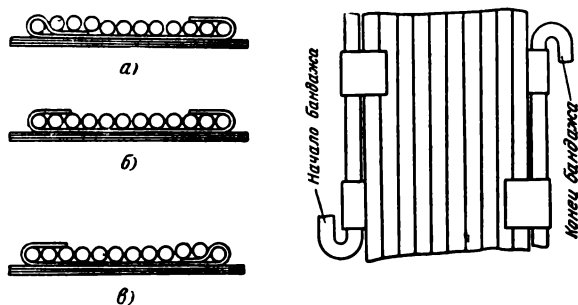


Рис. 17-2. Заделка концов бандажки.

малых якорей проволокой большого диаметра можно погнуть вал. При бандажировании больших якорей тонкой проволокой получается слишком большая ширина бандажки. Прочность бандажной проволоки диаметром 1 мм $R_2 = 18\,000 \text{ кг/см}^2$; таким образом, запас прочности бандажки составляет 2,3.

При расчетах бандажки принимают, что напряжения на растяжение во всех витках бандажки равны. Однако в действительности наибольшее напряжение приходится на последний виток. Это подтверждается тем, что разрыв бандажки начинается с последних витков.

На рис. 17-2 показан способ заделки начала и конца бандажки в петли скрепок, согнутых из полосок жести. Начало бандажки огинают скрепкой (рис. 17-2,а), конец которой прижимается следующими витками. Для конца бандажки ушко в скрепке делают заранее (рис. 17-2,б), а конец проволоки вводят в него и загибают после окончания намотки и пропайки бандажки, когда переходные витки про-

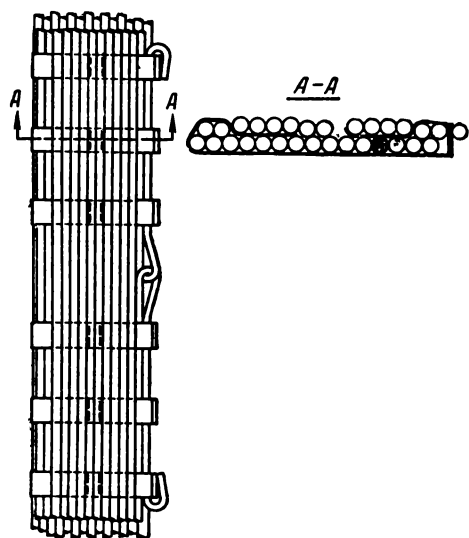


Рис. 17-3. Двухслойный бандаж без пайки.

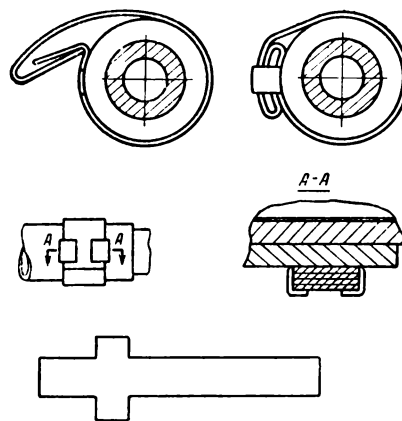


Рис. 17-4. Ленточный бандаж.

волоки между отдельными бандажками перерезаны. Следует обращать внимание на то, чтобы начало и конец бандажки по окружности якоря перекрывались, как видно на рис. 17-2. Иначе на этом промежутке бандажки будет иметь уменьшенное на один виток сечение. Промежуточные скрепки (рис. 17-2,б) распределяют равномерно по окружности якоря.

В машинах с нагревостойкой изоляцией пайка бандажки является слабым местом, так как оловянистосвинцовые припои размягчаются, и бандажка может распаяться. В США запатентованы способы крепления бандажки, допускающие работу их без пропайки витков. Бандажка намотана в два слоя (рис. 17-3), причем начало и конец бандажки скреплены в виде шпилек, а концы проволоки заделаны в хомутики. Для машин малой мощности предложен способ крепления лобовых частей ленточными бандажками (рис. 17-4).

Для бандажки якорей тяговых электродвигателей фирма «Вестингауз» применяет вместо стальной проволоки специальную стеклоленту, состоящую только из продольных волокон и пропитанную полиэфирной смолой в полуотвержденном состоянии [Л. 17-1]. Такая лента имеет прочность на разрыв при 20°C в среднем $14\,900 \text{ кг/см}^2$, которая при температуре 150°C снижается до 75% этой величины. Модуль упругости стеклоленты примерно в 5 раз меньше, чем стальной проволоки.

При бандажировке создают натяжение стеклоленты, которое вызывает в ленте меньшие напряжения, чем создаваемые максимальной центробежной силой, во избежание радиального перемещения обмотки.

Для заделки конца бандажки последний виток захватывают рукой, отделяют от натяж-

ного устройства и позволяют ленте скользить вдоль бандажа до тех пор, пока он не станет удерживаться трением и адгезией смолы.

Перед бандажировкой якорь нагревают до 100°С. Термообработку бандажей производят при выдержке бандажированных якорей в печи в течение 4—6 ч при 125°С.

17.3. НАМОТКА БАНДАЖЕЙ

Для бандажирования применяют стальную луженую проволоку по ОСТ 20021-38. Проволока поступает в бухтах и имеет диаметр 0,4—2,5 мм.

Под бандажи накладывают полосы из электрокартона при изоляции класса А или гибкий миканит и электрокартон при изоляции класса В. Перед намоткой бандажей лобовые части обмотки осаживают ударами молотка через фибровую или деревянную прокладку. Образовавшиеся неровности выравнивают прокладками электрокартона, закрепляя их пропитанной киперной лентой.

В крупных машинах бандажи на лобовых частях могут быть намотаны в несколько слоев. В этом случае натяжение проволоки в каждом следующем слое должно быть примерно на 10% меньше, чем в предыдущем, так как внутренние слои прессуют изоляцию, а наружные наматывают на уже спрессованную изоляцию. Если бы все слои наматывали с одним натяжением проволоки, то вся нагрузка от центробежной силы пришлось бы на последний слой. В многослойных бандажах между всеми слоями прокладывают изоляцию из асбестовой бумаги для снижения потерь от вихревых токов.

В процессе пропитки якоря изоляция размягчается и бандажи теряют плотность намотки, вследствие чего катушки в пазах могут передвигаться под действием центробежных сил, что приводит к протиранию изоляции и пробою на корпус. Бандажи на лобовых частях могут сползать.

Для устранения этих явлений на якорях и роторах, подвергающихся пропитке, сначала наматывают временные бандажи упрощенного типа. Для этого в пазы вкладывают деревянные планки, выступающие из пазов, и поверх их в разбежку наматывают бандажную проволоку по всей длине якоря. Эту проволоку используют несколько раз, перематывая ее с одного якоря на другой. После пропитки наматывают постоянные бандажи.

Перед намоткой бандажа на лобовую часть сначала стягивают обмотку временными бандажами из четырех-пяти витков у сердечника якоря и у петушков коллектора. Затем снимают временные бандажи, отпу-

скают тормоз станка и зацепляют конец проволоки за деревянный клин, вставленный между катушками обмотки, около сердечника якоря. Наматывают три-четыре витка проволоки без натяжения на лобовые части около сердечника. Зажимают колодки тормоза, наматывают еще один виток, оттягивают его на место первого витка бандажа и создают натяжение согласно табл. 17-2. Под первым витком кладут заготовленную изоляцию и требуемое по чертежу число полосок белой жести для образования скрепок витков бандажа. Для закрепления начала и конца бандажа кладут две полоски на расстоянии 10—30 мм одну от другой. В машинах с диаметром якоря более 1200 мм сначала вокруг лобовых частей кладут один виток шнура и под него подкладывают полосы изоляции и полоски из жести.

Постоянный бандаж наматывают одним куском проволоки, не допуская спаек. Намотку начинают от сердечника якоря в сторону коллектора. При большой ширине бандажа его делят на секции, изолированные одна от другой полосками асбестовой бумаги толщиной 0,2 мм. Намотку бандажа заканчивают в том месте окружности якоря, где положены рядом две полоски жести. Края полосок заворачивают на витки бандажа и припаивают припоем ПОС-40. Затем подрезают концы полосок и загибают на бандаж промежуточные скрепки. Поверхность бандажа очищают металлической щеткой от выступающих краев асбестовой бумаги, протирают стеарином и пропаявают по всей окружности. Концы проволоки загибают на 180° во избежание разматывания бандажа.

Бандажи на пазовые части обмотки наматывают в канавках якоря одним куском бандажной проволоки с переходными витками от одного бандажа к другому. После закрепления начал и концов бандажей переходные витки вырезают кусачками, а концы проволоки вводят в ушки скобочек и загибают.

При намотке многослойных бандажей каждый слой наматывают и запаивают отдельно. Намотку первого слоя ведут от сердечника якоря, второго слоя в обратную сторону и т. д.

После намотки бандажей мегомметром напряжением 1000 в проверяют сопротивление изоляции обмотки по отношению к бандажам.

Плотность намотки контролируют на звук постукиванием носиком молотка и наружным осмотром. Витки должны плотно прилегать один к другому и быть хорошо пропаянными. Концы скрепок должны быть подогнуты к бандажу и пропаяны.

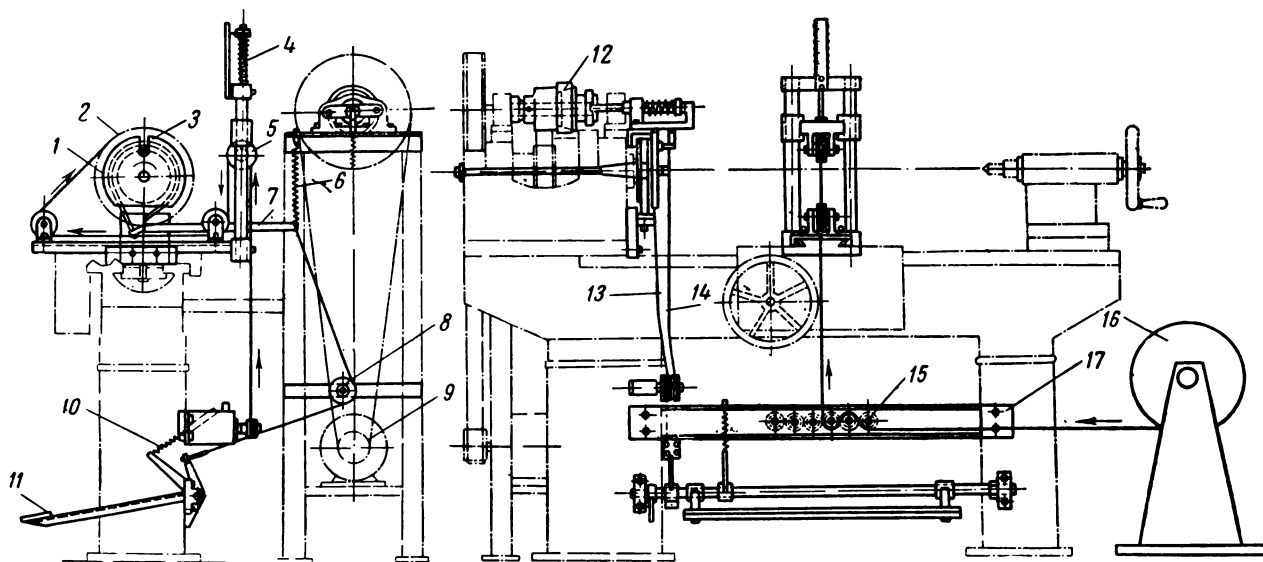


Рис. 17-5. Бандажировочный станок.

17-4. БАНДАЖИРОВОЧНЫЕ СТАНКИ

Бандажировочные станки относятся к нестандартному оборудованию и изготавливаются заводами для собственных нужд из старых токарных станков. Бандажировочные станки должны быть снабжены динамометрами для контроля за натяжением проволоки и тормозами для предохранения от ослабления натяжения проволоки при остановке станка.

На рис. 17-5 показано устройство бандажировочного станка. Бандажируемый якорь 1 ставят в центры станка и приводят во вращение поводковой планшайбой 3. На обод планшайбы наложена лента тормоза 2, которая нормально держит планшайбу в заторможенном состоянии действием пружины 6 на конец рычага 7. Растормаживание производится ножной педалью 11 через трос 13, огибающий направляющий ролик 8. В процессе намотки педаль все время должна быть нажата. Пружина 10 служит для возвращения педали в исходное положение. С этой же педалью при помощи троса 14 связано управление фрикционной муфтой 12. Муфта и тормоз заблокированы так, что при отпуски тормоза муфта включается, а при затормаживании выключается. Тормоз обеспечивает постоянное натяжение проволоки при остановке станка. Бандажная проволока с бухты 16 проходит через фетровые прокладки 17, стальные пластинки, натяжные ролики 15 и через направляющие ролики 5 подводится к окружности якоря. На рисунке прохождение проволоки показано стрелками.

Натяжение проволоки регулируется силой сжатия прокладок 17 и количеством роликов 15, которые огибает проволока. Контроль натяжения производится динамометром 4, к крюку которого подвешена обойма ролика 5, огибаемого проволокой. Продольная подача проволоки при намотке бандажей сообщается передвижением суппорта. Станок приводится в действие от электродвигателя 9 мощностью 1,5 квт при 1420 об/мин. Бандажируемый якорь вращается со скоростью 27 об/мин.

Якоря крупных машин не могут быть установлены на бандажировочный станок, и для намотки бандажей на лобовые части применяют передвижную установку (рис. 17-6). Шейки вала якоря установлены в деревянных опорах 1 и 2, а вращение якорю сообщается через плоский ремень 3, перекинутый через сердечник якоря. Ремень приводится от электродвигателя 6 через редуктор 5. Рычагом 4 осуществляют натяжение ремня. Эту установку, перенося ремень на коллектор, используют и для других операций производства крупных якорей, таких, например, как укладка обмотки в пазы, заклинивание пазов, пайка концов обмотки с петушками коллектора и др.

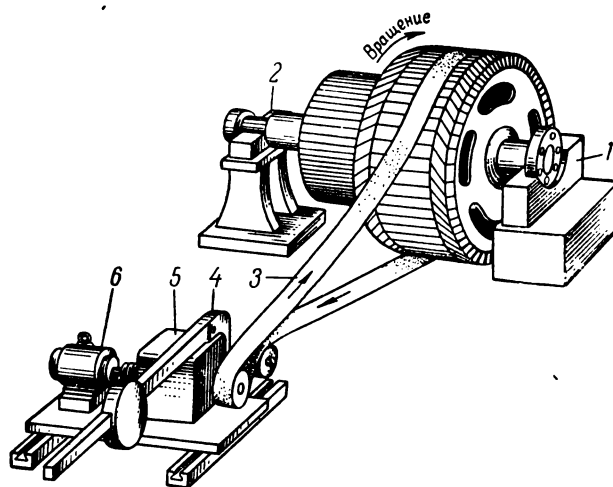


Рис. 17-6. Установка для бандажирования крупных якорей.

17-5. ЗАГОТОВКА ПАЗОВЫХ КЛИНЬЕВ

Пазовые клинья делают из твердых пород дерева (бука, березы) или текстолита. Для клиньев нужно применять тщательно высушенное дерево, так как сырые клинья в процессе работы усыхают и крепление их ослабляется. Дерево сушат в специальных сушильных печах или токами высокой частоты.

Для клиньев выбирают бруски дерева без всяких пороков (сучьев, трещин, расслоений). Бруски на заготовки клиньев режут под углом 30° к растительным слоям во избежание скалывания слоев при забивании клина в паз. В крупных машинах с длинными сердечниками в каждый паз забивают несколько коротких клиньев для уменьшения трения.

При крупносерийном производстве требуется огромное количество клиньев. Поэтому на многих заводах электропромышленности процесс заготовки пазовых клиньев механизирован. На рис. 17-7 показана схема работы станка для изготовления деревянных клиньев. Производительность станка свыше 10 тыс. клиньев в смену. Поперечное сечение клина образуется на станке с помощью профильной фрезы с несколькими канавками, имеющими форму сечения клина. В зависимости от размеров клина и доски одновременно можно фрезеровать пять—восемь клиньев.

Фреза 1 укреплена на вертикальном шпинделе станка и фрезерует профили клиньев 3 на кромке доски 2, которую продвигают по плите станка. За фрезой на горизонтальном шпинделе укреплена круглая пила 4, которая отрезает клинья по всей длине доски. После отрезания клиньев доску вновь подают под фрезу и процесс продолжается. Полученные профилированные полосы разрезают на куски заданной длины на этом же станке, причем вертикальный шпиндель выключается. Горизонтальный шпиндель приводится во вращение с помощью ременной передачи от электродвигателя, установленного на полу, а вертикальный — от другого двигателя, установленного на станине станка; установку вертикального шпинделя регулируют по высоте.

При изготовлении клиньев из текстолита, стеклотекстолита или гетинакса после резки заготовки из листа надо сделать на ней скосы для получения про-

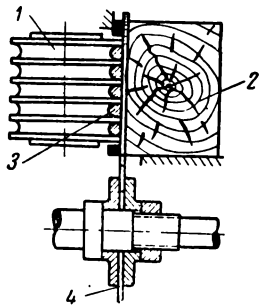


Рис. 17-7. Схема станка для изготовления деревянных клиньев.

филя клина. Эта работа производилась на поперечно-строгальном станке фасонным резцом.

На рис. 17-8 показана схема полуавтомата Ново-Каховского электромашиностроительного завода, пропускающего 1 000 клиньев в час [Л. 17-2].

Заготовки клиньев 8 вкладывают в бункер 10, из которого они снизу по одной сдвигаются до упора 15 и толкателем 6 подаются к двум резцам 14, снимаю-

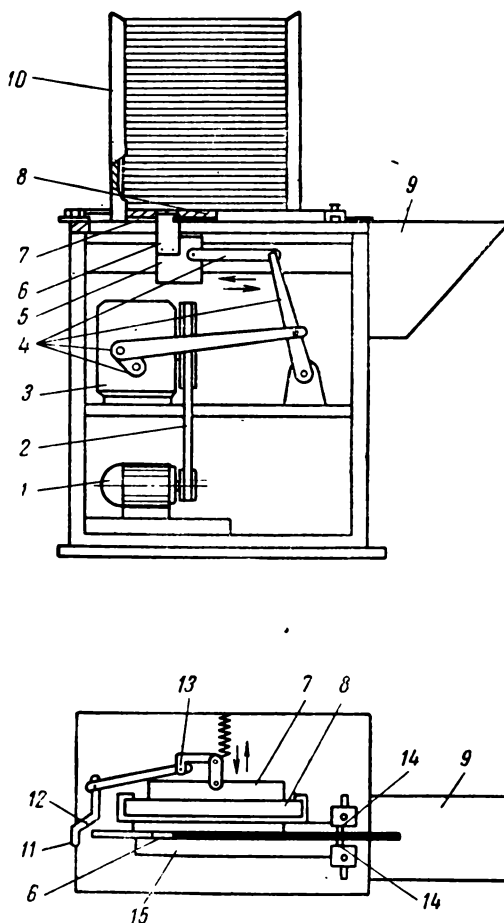


Рис. 17-8. Схема полуавтомата для строгания скосов клиньев.

щим сразу обе фаски. Готовые клинья падают в лоток 9. Поступательно-возвратные движения толкателя 6, скрепленного с ползуном 5, передаются через кулисный механизм 4, приводимый в движение электродвигателем 1 через ременную передачу 2 и редуктор 3. Ход ползуна вправо — рабочий, а влево — заготовительный. При движении влево толкатель нажимает на рычаг 11, вращающийся вокруг неподвижной оси 12. Второй конец рычага шарнирно связан с системой тяг, поворачивающихся вокруг неподвижной оси 13. Они сообщают поступательно-возвратные движения движку 7, который подает заготовку в рабочее положение. Внедрение полуавтомата увеличило производительность труда в 7 раз.

17-6. ЗАКЛИНИВАНИЕ ПАЗОВ

Забивание клиньев в пазы — трудоемкая операция. При сильной шероховатости канавок в зубцах необходимы большие усилия для забивания клина. Для забивания клиньев в пазы крупных машин применяют пневматические молотки. Под ударами молотка концы клиньев расщепляются и их приходится вынимать из пазов, на что расходуется еще больше времени, чем на забивание в пазы. Особенно трудно забивать клинья в полузакрытые пазы роторов и статоров, так как эти клинья при узкой прорези паза могут быть сделаны очень тонкими (2—3 мм).

Для предохранения клиньев от поломки и для повышения производительности забивания тонких клиньев применяют простое приспособление. Оно состоит из согнутой из листовой стали обоймы 1 (рис. 17-9), по которой свободно ходит стальной стержень 2. Деревянный клин 3 вставляют в обойму и загоняют в паз ударами молотка по стальной стержню. Это предохраняет деревянный клин от раскалывания, а обмотку от повреждений ударами молотка при соскакивании его с клина.

Заклинивание пазов микродвигателей деревянными клиньями является слишком трудоемким при массовом производстве, кроме того, клин занимает много места, так как по условиям жесткости при забивании в паз его нельзя сделать тоньше 2 мм. Поэтому для заклинивания полузакрытых пазов якоря применяют способ протаскивания через паз полоски электрокартона толщиной 0,5—0,8 мм, на которой делают два надреза с боков (рис. 17-10). Затем полоску сгибают в виде желобка, вводят ее около надрезов в паз с торца якоря и протаскивают полоску вдоль якоря. Теперь нужно перерезать полоску у торца якоря, сделать снова два надреза и заклинить второй паз. Этот способ в несколько раз производительнее, чем забивание деревянных клиньев, и позволяет повысить коэффициент заполнения паза проводниками.

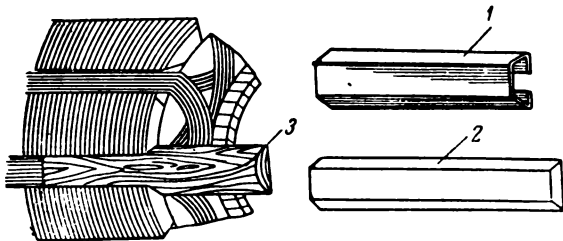


Рис. 17-9. Приспособление для забивки клиньев в паз.

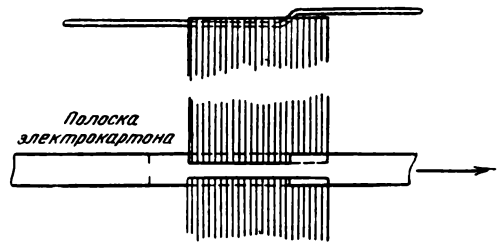


Рис. 17-10. Заклинивание паза полоской электрокартона.

Даже при механизированном способе изготовления пазовых клиньев технологический процесс нельзя считать совершенным, так как при изготовлении клиньев из дерева или текстолита много материала идет в стружку, а забивание клиньев с торца паза — трудоемкая операция, которая не поддается автоматизации. Образование большого количества отходов при производстве клиньев объясняется тем, что клину придают требуемую форму сечения до ввода его в полузакрытый или открытый паз.

В производстве автотракторного электрооборудования этот вопрос решен очень удачно. В полузакрытый паз якоря вставляют пропитанный шнур, свернутый из бумажных лент. Соответствующая его деформация производится полуавтоматическим станком (рис. 17-11). Таким образом отпадают операции предварительной заготовки профиля клина и устраняется трудность ввода его в паз с торца якоря. При такой технологии нетруд-

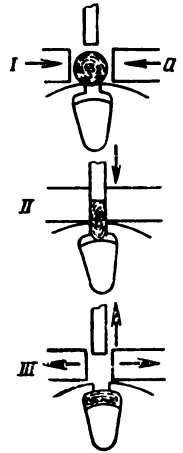


Рис. 17-11. Заклинивание паза шнуром.

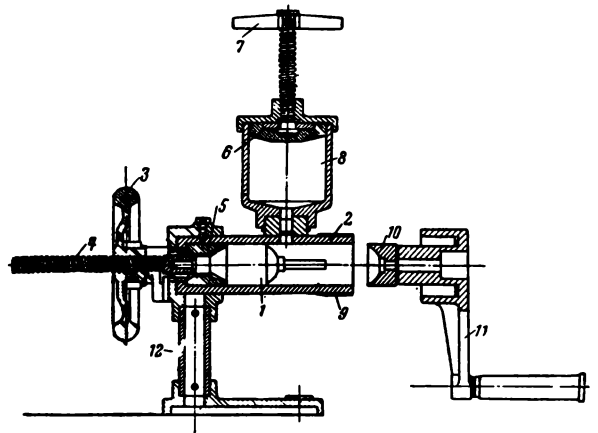


Рис. 17-12. Пресс для опрессовки обмотки пластмассой.

но механизировать процесс заклинивания пазов. Задача решается путем использования пластических свойств самого клина. Этот принцип перенесен в производство статоров асинхронных двигателей малой мощности. На ХЭЛЗ такой станок заклинивает 70 пазов в минуту.

В производстве микродвигателей применяется опрессовка в пластмассу обмотанных якорей вместе с лобовыми частями. При этом отпадают бандажи на лобовых частях и обмотка защищается от пыли и вла-

ги. Для опрессовки применяют гидравлические или ручные (рис. 17-12) прессы. Якорь 1 устанавливают в цилиндре 2, который укреплен на стойке 12. Торец якоря упирается в оправку 5, в которой просверлено отверстие для конца вала. Регулировку положения оправки производят вращением маховичка 3 на ходовом винте 4. Этим же винтом выталкивают готовый якорь. Пластмассу закладывают в бачок 8 и подают в цилиндр 2 поршнем 6, который передвигают вращением воротка 7. С правой стороны цилиндр 2 закрывают формой 10, которая опрессовывает лобовую часть обмотки при вращении рукоятки 11. Рычаг наворачивают на резьбу 9 на наружной поверхности цилиндра 2.

ГЛАВА ВОСЕМНАДЦАТАЯ

ПРОПИТКА ОБМОТОК

18-1. СПОСОБЫ ПРОПИТКИ

Пропитка обмоток в зависимости от ее характера и размеров машины может производиться тремя способами: окраской кистью, покрытием лаком пульверизатором и погружением в лак. Первые два способа применяют главным образом для создания шкворного слоя. Пропитку же изолированных деталей и изоляционных материалов выполняют погружением горячей детали в пропиточный лак. Перед пропиткой в масляных лаках обмотку сушат для удаления из нее влаги, препятствующей проникновению лака в поры изоляции. После пропитки производят вторую сушку для испарения жидких растворителей. Время сушки сокращается, если она выполняется под вакуумом в специальных шкафах с вытяжной вентиляцией.

Пропитка обмоток производится на разных стадиях их изготовления. Так, например, статоры с насыпными обмотками пропитывают в обмотанном виде. В пазы статора высоковольтных машин укладывают пропитанные или компаундированные катушки; после обмотки лобовые части машины покрывают эмалями или покрывными лаками. В открытые пазы якоря машин постоянного тока укладывают пропитанные катушки, после чего якоря проходят еще пропитку методом погружения в лак. Число пропиток зависит от условий работы машины. Так, для машин нормального исполнения пропитка повторяется дважды. Для якорей машин с противосыростной изоляцией пропитка повторяется до 7 раз, причем 4 раза пропитывают катушки якоря в процессе их изготовления и 3 раза обмотанные якоря. Катушки высоковольтных машин, изоляция которых состоит из 12—14 слоев микаленты, пропитывают каждый раз после намотки четырех слоев ленты.

Качество пропитки машин ответственного назначения значительно повысилось при замене пропиточного асфальто-масляного лака № 447 лаком ФЛ-98, представляющим собой смесь растворов алкидной и резольнобутенолизированной смол в органических растворителях. Цементирующая способность лака ФЛ-98 примерно в 3 раза выше, чем лака № 447 [Л. 18-4].

Наиболее эффективным является комбинированный способ пропитки, при котором первая пропитка производится под давлением, а вторая — погружением горячего якоря в лак.

18-2. ВАННЫ ДЛЯ ПРОПИТКИ

При мелкосерийном производстве оборудование пропиточной мастерской состоит из сосудов для погружения деталей в лак, сушильных шкафов и печей. Ванны для пропитки представляют собой сваренные сосуды из листовой стали толщиной 3—8 мм. Все операции погружения, поворачивания и подвески якорей для стекания излишков лака производятся при помощи грузоподъемных устройств с ручным управлением.

Пропиточная мастерская относится к взрыво- и пожароопасным помещениям, поэтому она должна удовлетворять соответствующим требованиям в отношении правил хранения лаков и растворителей, выбора электрооборудования и вентиляции.

Для обеспечения пожарной безопасности и улучшения санитарных условий в цехе растворители и лаки хранят в подвальных помещениях, откуда их подают в пропиточные ванны по трубопроводам. Жидкости поступают снизу через днище, что устраняет их разбрызгивание. Пропиточные ванны, в которых хранят необходимые для производства

лаки и растворители, сообщаются с атмосферой через трубки, которые выведены на крышу здания и оканчиваются фильтрами с защитными устройствами против выброса огня при пожаре. Для получения лака однородной концентрации его перемешивают в баке, пропуская воздух, который подается насосом.

При переходе на крупносерийное производство пропиточные операции механизмируют.

На рис. 18-1 показано устройство механизированной пропиточной ванны для якорей, применяемой на ХЭМЗ. Корпус ванны 1 сварен из угловой стали и обшит листовой сталью толщиной 4 мм. Сверху ванна закрыта крышкой 2 с пневматическим приводом. Для установки якоря служит поворотная платформа 3, которая приводится от пневматического цилиндра 4. При загрузке ванны крышка открыта, а платформа находится в горизонтальном положении. Якорь при помощи крана кладут на сферические ролики 5 и концом вала упирают в медную пластину 6. Затем платформу с якорем опускают, и в процессе пропитки якорь находится в наклонном положении под углом 40° , что способствует лучшему проникновению лака. После опускания платформы крышку ванны закрывают и в нее подают лак из рабочего бака по трубопроводу. По окончании пропитки лак спускают из ванны, крышку ванны поднимают и якорь снова устанавливают в горизонтальном положении; после стекания излишков лака якорь вынимают из ванны и обмывают уайт-спиритом при помощи кисти. При этом пропитчик поворачивает якорь на роликах.

После пропитки якорь поступает на тележке в камерную сушильную печь с электрокалориферным обогревом. Движение воздуха через калорифер и камеру печи происходит по замкнутому циклу. Для удаления паров растворителей вентилятор в течение 1,5 ч после загрузки якорей работает с выхлопом наружу 10% воздуха. Печью управляют с центрального пункта. Тележки подают в печь и выкатывают при помощи специального привода, заблокированного с механизмом открывания и закрывания дверей. Управление печью может быть переведено на автоматический режим [Л. 18-1].

18-3. ПРОПИТКА ОБМОТОК В ВОДНОЭМУЛЬСИОННОМ ЛАКЕ

На ряде заводов в 1957—1958 гг. для пропитки обмоток электрических машин внедрен водноэмульсионный лак ЗЭ1Т, представляющий собой эмульсию, в которой фазой является лакооснова, а средой — вода. Лак огне-

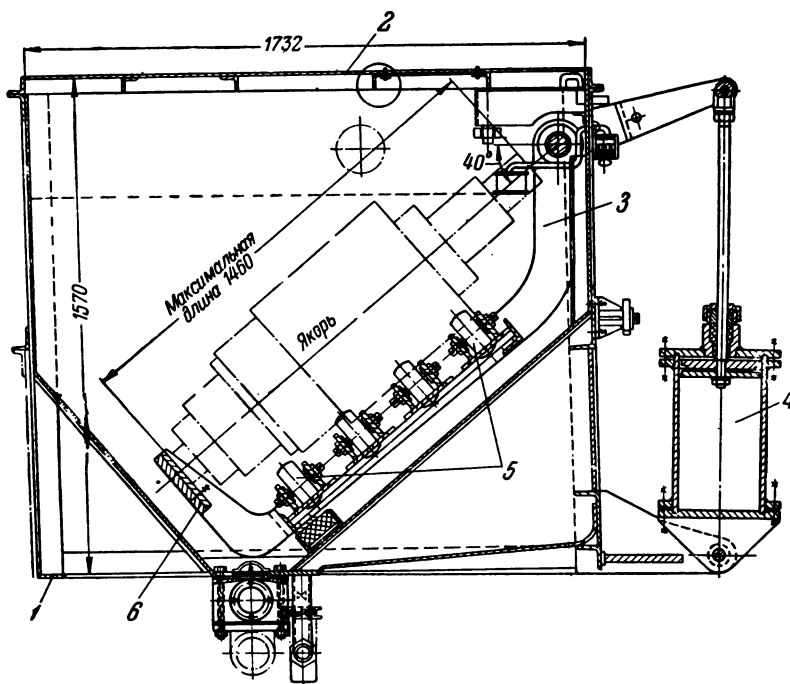


Рис. 18-1. Механизированная пропиточная ванна.

стоек, нетоксичен, инертен к эмалевой изоляции проводов, обладает высокой проникающей, цементирующей и адгезионной способностью [Л. 18-3].

Подбор соответствующих стабилизаторов позволил получить устойчивые эмульсии, не расслаивающиеся при температуре выше 100°C в течение длительного времени и обладающие стабильностью и хорошей пропитывающей способностью.

Для пропитки обмоток статоров и роторов электродвигателей единой серии применяют лак концентрации $32 \pm 2\%$. Катушки с большим числом витков желательно предварительно нагреть до 100°C , чтобы лак глубже проник между витками обмотки. В эмалевой пленке проводов марки ПЭВ-2 при намотке катушек создается напряженное состояние, в котором она чувствительна к воздействию воды и органических растворителей. Для снятия напряжения в эмалевой пленке обмотки из провода ПЭВ-2 требуют нагревания перед пропиткой.

Время пропитки колеблется от 15 до 30 мин в зависимости от конструкции пропитываемой детали. При повторных пропитках время выдержки можно не ограничивать, так как вода не растворяет запеченную пленку водноэмульсионного лака. Водноэмульсионный лак не увеличивает вязкость при стекании, не дает затеков, поэтому время его высы-

хания на вращающихся деталях меньше, чем у лака № 458.

Время сушки и количество пропиток устанавливаются для каждой детали опытным путем. Для машин нормального исполнения время сушки и количество пропиток в лаке 321Т принимают такое же, как при пропитках в лаках № 458 и 447. Для машин влагостойкого исполнения, выполненных с обмотками из проводов ПЭВ-2, можно сократить количество пропиток с трех до двух без снижения электроизолирующих свойств. Вакуумная пропитка и сушка лака 321Т нежелательны, поскольку содержание аммиака в лаке при пропитке может уменьшиться, что нарушит стабильность эмульсии.

Заводы-поставщики изготавливают только лакооснову, а эмульгирование производится на электромашиностроительных заводах. Для этого в специальные эмульсаторы с лакоосновой добавляются водопроводная вода и стабилизаторы. Желательно сразу получать лак требуемой для пропитки концентрации. Если емкость эмульсатора не позволяет этого сделать, можно изготовить лак большей концентрации (до 60%), а затем разбавлять его водой.

Испытание пропитанных статоров и роторов показало, что водноэмульсионный лак

321Т с успехом может заменить лаки № 458 и 477. Электроизолирующие характеристики при этом не снижаются, а механическая прочность изоляции повышается за счет лучшей цементирующей способности лака 321Т.

18.4. ПРОПИТОЧНО-СУШИЛЬНЫЙ КОНВЕЙЕР

На заводе «Динамо» производилась индивидуальная пропитка статоров и роторов крановых электродвигателей. Чтобы избежать излишнего расхода изоляционных лаков за счет прилипания к наружным стенкам станины, статор ставили торцом на стол и лак подавали по трубке внутрь статора. Таким образом пропитывались сердечники статора и обмотка, а наружная поверхность станины оставалась сухой [Л. 18-2].

При переходе на массово-поточное производство потребовалось встроить пропиточный участок в общий поток производства. Это удалось сделать, заменив масляно-битумные лаки водноэмульсионным лаком 321Т, который безопасен в пожарном отношении и не содержит ядовитых растворителей. При этом процесс пропитки и сушки переведен на конвейер. Роторы и статоры навешивают на крюки цепного конвейера, на котором они проходят весь режим пропитки в водноэмульсионном лаке и сушки. На рис. 18-2 показана

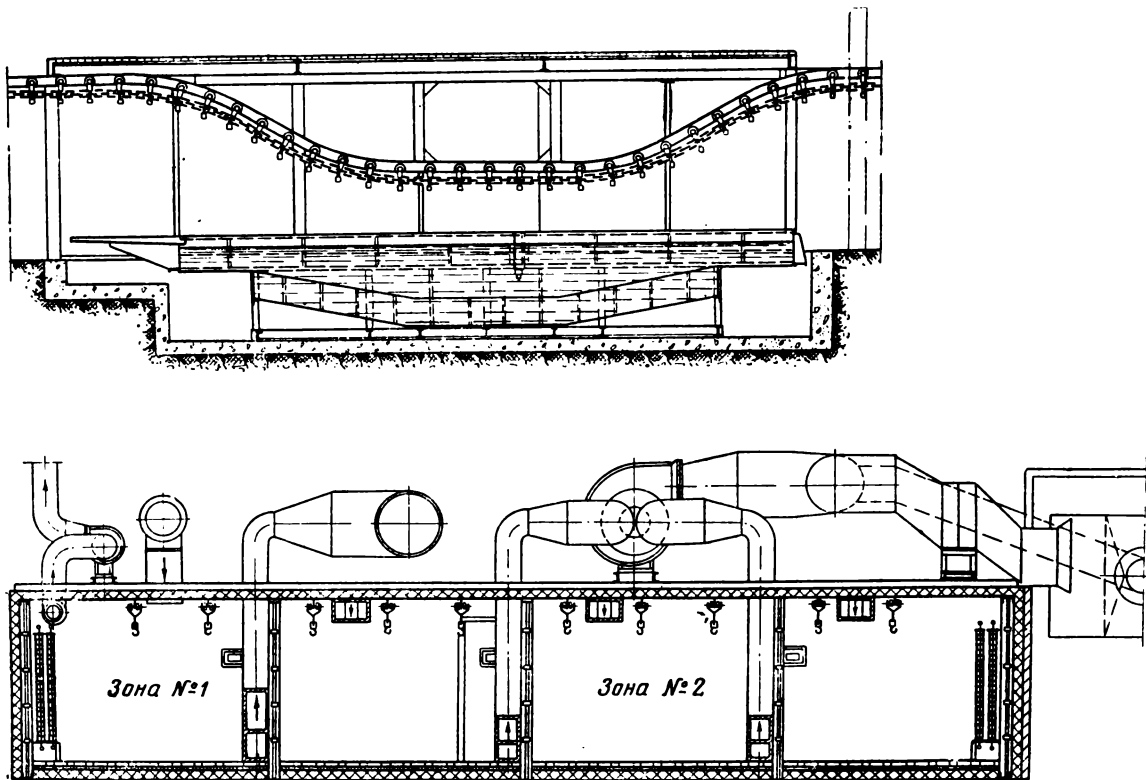


Рис. 18-2. Схема пропиточного конвейера.

На крышке автоклава установлен вентиль 5 спуска воздуха и смонтированы смотровые окна со стеклами 6 для наблюдения за процессом.

На боковой стенке автоклава установлен мановакуумметр 7 для измерения давления или разрежения внутри автоклава.

Разрежение в автоклаве создается при помощи вакуум-насоса 14, который выбрасывает воздух через выхлопную трубу 13. Для предохранения вакуум-насоса от загрязнения битумной массой в трубопроводе встроено маслоулавливающее устройство 8, а за ним конденсатор 15. Вакуум-насос может создать в автоклаве сильное разрежение (до 20 мм рт. ст.). Но производительность его мала, и потому сначала воздух откачивают при помощи компрессора 12, переключив его посредством кранов на всасывание, а затем включают вакуум-насос. Компрессор забирает воздух через фильтр 11, улавливающий влагу и пыль, взвешенные в окружающем воздухе. Компрессор может быть соединен с автоклавом или непосредственно, или через воздушный резервуар 10 для ускорения поднятия давления в автоклаве при пропитке. Резервуар оборудован предохранительным клапаном 9 для защиты от разрыва при повышении давления.

Все агрегаты установки соединены трубами, из которых одни являются массопроводами, другие воздушной сетью для поднятия давления, третьи составляют вакуум-сеть для создания разрежения. На схеме они обозначены условными линиями. Штурвалы 2 служат для управления кранами массопроводов.

Процесс компаундирования требует точного выдерживания режима. При слишком высокой температуре битумной массы она легко проникает в глубь обмотки, но изоляция остается недопрессованной; при слишком низкой температуре изоляция обмотки хорошо прессуется, но масса не проникает в поры изоляции.

Так как компаундная масса более густая, чем пропиточные лаки, то для проникновения ее в поры изоляции и в промежутки между слоями изоляции необходимы специальные режимы, отличные от режимов пропитки.

Для выполнения процесса компаундирования основных катушек необходимо проделать следующие операции:

- 1) загрузить катушки в проволочную сетку;
- 2) погрузить катушки в автоклав и прикрыть крышку автоклава, не затягивая ее болтами;
- 3) сушить катушки в автоклаве в течение 3 ч;
- 4) плотно затянуть болтами крышку автоклава;
- 5) создать в автоклаве вакуум при помощи вакуум-насоса и сушить катушки под вакуумом в течение 2 ч;
- 6) впустить в автоклав битумную массу из мешалки при помощи атмосферного давления;
- 7) впустить в автоклав воздух;
- 8) поднять давление в автоклаве при помощи компрессора до 6 ат и поддерживать его в течение 3 ч;
- 9) выпустить битумную массу из автоклава в мешалку, продуть массопровод и дать стечь массе в течение 0,5 ч;
- 10) открыть крышку автоклава, вынуть сетку с катушками;
- 11) снять с неостывших катушек временную ленту с налипшей битумной массой.

При нагреве до 105°С битумная масса размягчается и от нее при дальнейшем нагреве начинают отделяться капли. Поэтому роторы и якоря не компаундируют.

Низкая температура плавления битумной массы ограничивала температуру нагрева обмоток более низкими пределами, чем могут выдерживать изоляционные материалы классов Е, В, F. В настоящее время разработан и применяется термореактивный компаунд с рабочей температурой 130°С и выше.

ГЛАВА ДЕВЯТНАДЦАТАЯ

КОНТРОЛЬ И ИСПЫТАНИЕ ОБМОТОК

19-1. ВИДЫ КОНТРОЛЯ И ИСПЫТАНИЙ

Надежность электрических машин в эксплуатации имеет большое народнохозяйственное значение. Выход машин из строя сопряжен с большими убытками, связанными с простоем оборудования. Эти убытки часто во много раз превышают стоимость самой электрической машины, из-за которой произошел простой.

Как показывает опыт эксплуатации, главной причиной аварий и ремонтов электрических машин является нарушение изоляции как между витками, так и по отношению к корпусу. Поэтому для повышения надежности выпускаемых машин необходимо выполнять все технологические процессы и обеспечить контроль и испытание обмоток в процессе изго-

товления и эксплуатации электрических машин.

Назначение контрольных операций заключается в том, чтобы проверить отсутствие замыканий между отдельными элементами обмотки, между обмоткой и корпусом или измерить сопротивление обмотки, число витков, сечение проводов и т. п. Контрольные операции устанавливают правильность выполнения обмотки согласно чертежам и схемам. Но они не гарантируют надежность машины в эксплуатации. Поэтому наряду с контрольными операциями существуют различные способы испытаний обмоток, при которых они подвергаются действию повышенного по сравнению с номинальным напряжения. При этом выявляют и отбраковывают элементы

обмотки со слабой изоляцией, которые в эксплуатации послужили бы причиной выхода машины из строя. Такие элементы должны быть устранены в процессе производства.

В процессе производства обмотки подвергаются температурным и механическим воздействиям, при которых может нарушиться изоляция. Поэтому недостаточно проверить изоляцию катушки после ее намотки и изолировки. Нужно повторить испытание после укладки катушек в пазы. Так, в процессе обмотки якоря изоляцию относительно корпуса испытывают 5 раз, после каждой операции, при которой изоляция может быть нарушена. Первый раз якорь испытывают после насадки на вал коллектора, второй после укладки в пазы нижних сторон катушек, третий после укладки в пазы верхних сторон катушек и забивки клиньев, четвертый после пайки обмотки с коллектором и пятый после пропитки и бандажировки. Напряжение при каждом испытании понижается по отношению к предыдущему на 10—15%. Повышенные напряжения на первых испытаниях объясняются тем, что сменить, например, одну катушку обмотки до пропитки гораздо легче, чем после пропитки, а тем более после сборки машины.

Контроль и испытание обмоток производят в четырех стадиях производства и работы машины:

- 1) после изготовления элементов обмотки (катушек);
- 2) после укладки обмотки в пазы;
- 3) после сборки машины;
- 4) в процессе эксплуатации машины.

1. Контроль элементов обмотки имеет целью не допустить укладки в пазы заведомо негодных катушек. Катушки высоковольтных машин подвергают испытаниям изоляции между витками и от корпуса. Над катушками всыпных обмоток эти операции не производят, потому что после намотки витки не прилегают друг к другу, а изоляция от корпуса также отсутствует, так как она создается при укладке пазовыми гильзами.

2. Контроль и испытание обмоток, уложенных в пазы, предназначены для выявления ослабления или нарушения изоляции в процессе укладки обмоток в пазы. Это самый важный этап испытаний, так как в собранной машине он не может быть повторен в полной мере.

3. При испытаниях собранной машины могут быть выявлены дефекты, пропущенные на предыдущих испытаниях. Кроме того, при этих испытаниях проверяют надежность обмоток при вращении и нагреве под нагрузкой.

4. Испытания в процессе эксплуатации машины служат для определения степени изношенности и старения изоляции. Они предупреждают аварийный выход машины из строя.

В процессе контрольных операций и испытаний проверяют следующие параметры обмоток: а) соответствие обмотки расчетной записке и чертежу; б) сопротивление обмотки; в) сопротивление изоляции обмотки; г) отсутствие витковых замыканий; д) отсутствие обрывов в обмотке; е) качество контактов в паяных соединениях; ж) правильность соединения обмотки; з) электрическую прочность изоляции между элементами обмотки и корпусом; и) надежность обмоток при работе машины под нагрузкой.

19-2. ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ОБМОТКИ

Сопротивление обмотки измеряют после намотки катушек на станках. Целью этого измерения — проверка правильности сечения провода и числа витков.

Сопротивления всех катушек данного типа не могут быть совершенно одинаковыми, так как обмоточные провода имеют отклонения размеров сечения. Кроме того, разные катушки могут быть намотаны с различным натяжением провода и длина их будет несколько отличаться. Поэтому при измерении сопротивления катушек результаты считают удовлетворительными, если сопротивления отдельных катушек отличаются от величины, указанной в обмоточной записке, не более чем на $\pm 5\%$.

Существуют два основных метода измерения сопротивления: метод амперметра и вольтметра и метод мостов.

Первый метод основан на одновременном измерении при помощи специальных щупов напряжения на обмотке в вольтах и протекающего через нее тока в амперах. Отношение этих двух величин дает сопротивление обмотки в омах. Для получения наиболее точных результатов необходимо применять приборы класса точности не ниже 0,5 [Л. 19-2].

Каждый щуп (рис. 19-1) имеет два стержня: один удлиненный 2 для подведения питающего тока, другой укороченный 1 для присоединения милливольтметра с добавочным сопротивлением. Стержни изолированы один от другого. Удлиненный стержень снабжен пружиной 3 и при нажатии уходит внутрь рукоятки. Таким образом, он позволяет включить короткому неподвижному стержню, к которому присоединен милливольтметр. При ослаблении нажатия удлиненный стержень под действием пружины снова выступает из рукоятки, а короткий стержень отключается, прежде чем происходит разрыв цепи. Этим устраняется возможность порчи милливольтметра при случайном нарушении контакта щупов, соединенных с обмоткой. Применение простых щупов, у которых токоподводящий про-

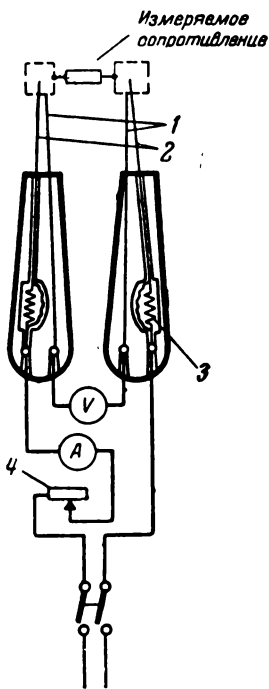


Рис. 19-1. Щупы для измерения сопротивления обмотки.

вод и провод, идущий к милливольтметру, припаяны к одному стержню, приводит к тому, что при случайном соскакивании щупа милливольтметр получает полное напряжение батареи и в большинстве случаев перегорает.

Постоянный ток подводят от аккумуляторной батареи напряжением 4—6 в и регулируют реостатом 4. Для измерения тока служит амперметр.

Сопротивление якорей машин постоянного тока малой и средней мощности следует измерять на двух пластинах коллектора, отстоящих одна от другой на полюсное деление по коллектору. В крупных многополюсных машинах, применяют следующий метод. Под одну или две щетки на каждом пальце подкладывают фольгу, а остальные щетки приподнимают над коллектором. Пропуская 5—10% номинального тока, измеряют вольтметром падение напряжения между пластинами коллектора, находящимися под серединами щеток. Сопротивление вычисляют как отношение средней величины этого напряжения к току.

Для измерения сопротивления мостом для обмоток с малыми сопротивлениями (менее 1 ом) применяют двойной мост со щупами, описанными выше. Одинарным мостом можно измерять только обмотки с сопротивлением более 1 ом. При измерении сопротивления обмоток следует иметь в виду, что оно зависит от температуры обмотки. Поэтому в журнал для записи измерений вписывают температуру обмотки.

19-3. КОНТРОЛЬ ЧИСЛА ВИТКОВ

Как было указано, по сопротивлению катушки нельзя судить о правильности числа витков, так как отступление даже на 5% даст отклонения, которые лежат в пределах допуска. Между тем для работы машины число витков катушки имеет большее значение, чем отклонение в сечении проводника.

Аппараты для проверки числа витков в катушках основаны на сравнении потоков рассеяния испытуемой и эталонной катушек, надетых на общий сердечник. На рис. 19-2 показана схема такого аппарата, который

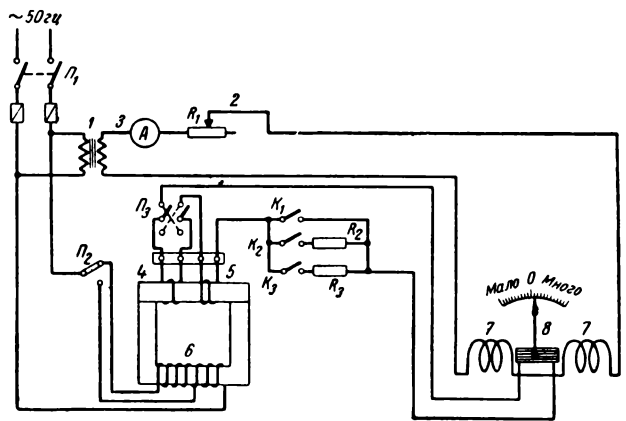


Рис. 19-2. Аппарат для контроля числа витков.

может обнаруживать отклонения числа витков от номинального с точностью до 0,25—0,5%. Основным элементом аппарата является сердечник со съемным верхним ярмом. На нижнее ярмо надеты первичная обмотка 6, питаемая от сети переменного тока промышленной частоты. Катушка состоит из двух секций и посредством переключателя P_2 может быть включена на 1500 или 2100 витков в зависимости от числа витков испытуемой катушки. Для испытания многovitковых катушек включают 2100 витков, а для маловитковых — 500.

На верхнее ярмо надевают катушки — испытуемую 4 и эталонную 5 с точным числом витков. Они включаются встречно, так что наведенные в них э. д. с. вычитаются. Верхние ярма сердечника сменные и подбираются в соответствии с размерами окна испытуемой катушки. Переключателем P_3 добиваются встречного включения испытуемой и эталонной катушек. Катушки соединены последовательно, а выводы от них присоединены к обмотке подвижной рамки 8 нуль-индикатора, неподвижные катушки которого питаются от сети через трансформатор 1. Ток в обмотке 7 регулируется реостатом 2 и отсчитывается по амперметру 3. Кнопки K_3 , K_2 и K_1 могут замыкать цепь подвижной рамки через большое сопротивление R_3 , меньшее R_2 или без сопротивления. Во избежание перегорания обмотки приборов сначала надо включать кнопку K_3 , и если стрелка не отклонится, то переходить на K_2 и K_1 . При правильном числе витков стрелка прибора не даст отклонения, и при всяких ошибках в числе витков будет отклоняться вправо или влево. О величине ошибки судят по углу отклонения стрелки.

19-4. ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ

Сопротивление изоляции проверяют мегомметром типа МОМ. Для большинства машин пригоден мегомметр напряжением 500 в. Для машин высокого напряжения применяют мегомметры напряжением 1000 и 2500 в.

Провода от двух зажимов прибора подводят: один к испытываемой обмотке, а другой к корпусу или к валу машины. Затем начинают вращать ручку мегомметра со скоростью около 150 об/мин и стрелка показывает сопротивление изоляции в мегомах или килоомах.

Сопротивление изоляции изменяется в зависимости от температуры и влажности обмот-

ки. По величине сопротивления изоляции в процессе сушки судят о том, достаточно ли просушена обмотка. Для определения степени влажности вращают ручку мегомметра в течение 1 мин. Сопротивление изоляции измеряют через 15 и 60 сек. Отношение R_{60}/R_{15} характеризует степень влажности изоляции. Если это отношение равно 1,3—1,5, можно считать, что изоляция хорошо просушена.

По ГОСТ 183-55 сопротивление изоляции обмоток электрических машин z в мегомах относительно корпуса и сопротивление изоляции между обмотками должны быть не ниже значения, получаемого по формуле

$$z = \frac{U}{1000 + \frac{P}{100}}, \quad (19-1)$$

где U — номинальное напряжение обмотки, в;
 P — номинальная мощность, ква.

19-5. ПРОВЕРКА ОБМОТОК НА ОТСУТСТВИЕ МЕЖВИТКОВЫХ ЗАМЫКАНИЙ

Проверка на межвитковые замыкания может быть проведена двумя способами: приложением напряжения к выводным концам катушки и трансформаторным.

Измерения на межвитковые замыкания обмоток, вкладываемых в пазы, целесообразно производить после укладки обмоток в пазы, так как наибольшая вероятность получения этих замыканий возможна именно при этой операции.

Если в обмотке статора замкнуто небольшое число витков, то это мало отразится на сопротивлении отдельных фаз и разница сопротивлений исправной и дефектной обмоток не будет превышать установленного допуска в $\pm 5\%$. Между тем короткозамкнутые витки при включении машины под напряжение будут являться вторичной обмоткой трансформатора и в них потечет очень большой ток, который

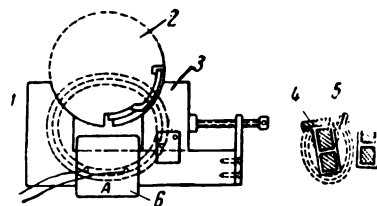


Рис. 19-4. Испытательный электромагнит для якорей.

вызовет сильный местный нагрев обмотки и сердечника статора или якоря. При этом будет нарушаться изоляция соседних витков. Поэтому в обмотках переменного тока замыкание даже небольшого числа витков может привести к аварии. В низковольтных машинах проверку на отсутствие межвитковых замыканий производят после укладки обмотки в пазы. Обмотки высоковольтных машин проверяют до и после укладки в пазы.

На рис. 19-3,а показана проверка обмотки статора на межвитковое замыкание переносным подковообразным магнитом, который передвигают по окружности статора. Обмотка электромагнита питается переменным током частотой 500—1000 гц. О наличии короткозамкнутых витков судят по звуку в телефоне (рис. 19-3,б) или дребезжанию пластинки, прикладываемой к зубцам статора, которые охватывают паз с неисправной катушкой.

В двухслойной обмотке в каждом пазу лежат стороны двух катушек. Следовательно, дребезжание пластинки на зубцах, ограничивающих паз 5 (рис. 19-3,в), еще не определяет, какая катушка из двух неисправна. Поэтому, определив неисправность в одном пазу, продолжают обход окружности статора электромагнитом. Поскольку каждая катушка лежит в двух пазах, то пластинка при одной неисправной катушке будет сигнализировать об этом на двух пазах. Если вторым таким пазом окажется паз 9, то неисправная катушка лежит в пазах 5 и 9. Если же витковые замыкания имеют место в другой катушке паза 5, то пластинка будет дребезжать над пазами 5 и 1. Эти пазы помечают мелом, и статор возвращают в обмоточный цех для ремонта.

На рис. 19-4 показан испытательный электромагнит для проверки якоря на межвитковые замыкания. Он имеет два полюсных наконечника 1 и 3, соединенных сердечником, на который намотана катушка 6, питаемая переменным током частотой 500—1000 гц. Если положить проверяемый якорь 2 на наконечники электромагнита, магнитный поток будет замыкаться через якорь, а в проводах обмотки будут наводиться э. д. с.

Если в обмотке нет межвитковых замыканий, все э. д. с. уравниваются. При наличии же в какой-нибудь секции, например 4, короткозамкнутых витков в них будут проте-

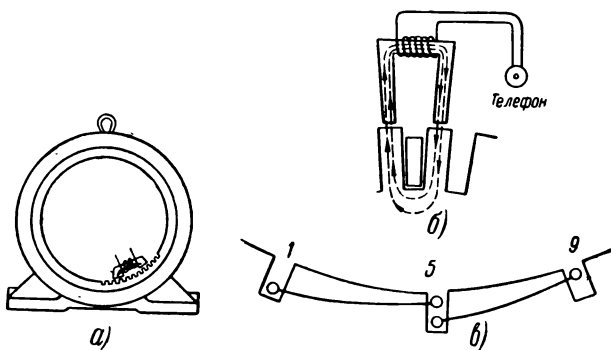


Рис. 19-3. Контроль обмотки статора на межвитковые замыкания.

катушки. При этом в зубцах, ограничивающих эти пазы, будет создаваться сильный магнитный поток. Этим явлением пользуются для обнаружения неисправной секции. Обводя окружность якоря стальной пластинкой 5, замечают те зубцы, к которым она сильно притягивается и дребезжит. Эти пазы помечают мелом, и якорь возвращают для ремонта.

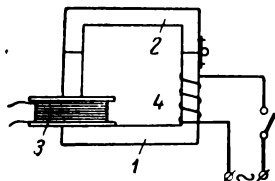


Рис. 19-5. Испытательный электромагнит для полюсных катушек.

Короткозамкнутые витки в обмотках полюсов машин постоянного тока пронизываются постоянным магнитным потоком, и в них не будет наводиться э. д. с., как в обмотках переменного тока. Поэтому катушки с замкнутыми витками при работе машины бывают даже холоднее исправных катушек, так как при меньшем числе действующих витков в них будет меньше потерь.

Однако нельзя допускать наличия замкнутых витков в полюсных катушках, так как это

ведет к неравномерному распределению потока отдельных полюсов и вызывает уравнильные токи в обмотке якоря. В полюсных катушках синхронных машин появление короткозамкнутых витков приводит к образованию одностороннего магнитного притяжения, которое вызывает сильную вибрацию машины.

Наличие короткозамкнутых витков в полюсных катушках проверяют на простом приспособлении (рис. 19-5). Оно представляет собой электромагнит 1 со съемным верхним ярмом 2. Магнитный поток в сердечнике магнита возбуждается катушкой 4, питаемой от генератора повышенной частоты 500—1 000 гц. Испытываемую катушку 3 с разомкнутыми выводными концами надевают на стержень электромагнита. При наличии короткозамкнутых витков в них потечет ток и соответственно увеличится мощность, потребляемая из сети катушкой 4, о чем можно судить по показаниям ваттметра или амперметра.

В собранных машинах изоляцию между витками проверяют путем повышения напряжения на зажимах машины при холостом ходе на 30% сверх номинального в течение 5 мин. В асинхронных двигателях с контактными кольцами цепь ротора должна быть при этом разомкнута.

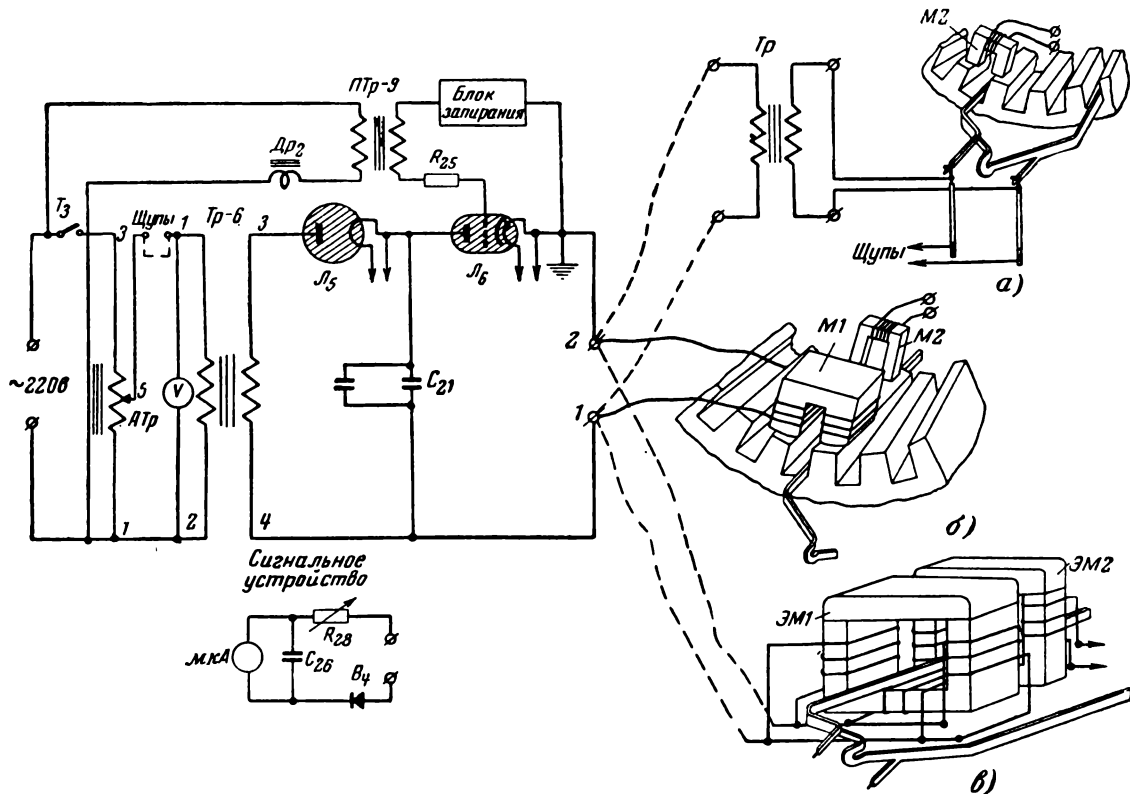


Рис. 19-6. Схема испытательной установки С-5П-ВЭИ.

В двигателях это испытание производят путем повышения подводимого напряжения или частоты питающего тока, а в генераторах путем повышения скорости вращения. В машинах постоянного тока с числом полюсов более четырех при увеличении напряжения на зажимах напряжения между смежными коллекторными пластинами не должно превышать 24 в.

Испытание витковой изоляции напряжением, повышенным на 30% против номинального, не обеспечивает надежной работы машин, так как перенапряжения в обмотках могут значительно превышать $1,3 U_n$. В последние годы во Всесоюзном электротехническом институте (ВЭИ) был разработан ряд установок, позволяющих испытывать витковую изоляцию обмоток до укладки в пазы, после укладки и в процессе эксплуатации [Л. 19-1].

На рис. 19-6 показаны схема аппарата С-5П-ВЭИ и методы испытания витковой изоляции. При испытании витковой изоляции до укладки в пазы (рис. 19-6,а) обмотка испытательного электромагнита ЭМ1 питается от зажимов 1, 2 импульсного генератора высокого напряжения и в витках испытываемых катушек индуктируется импульсное напряжение. В случае пробоя витковой изоляции по короткозамкнутым виткам будет протекать импульсный ток и вокруг катушки образуется магнитное поле. Часть его замкнется по магнитопроводу электромагнита ЭМ2 и наведет в его обмотке э. д. с. При этом стрелка микроамперметра сигнального устройства, присоединенного к обмотке ЭМ2, отклонится.

При испытании витковой изоляции катушек, уложенных в пазы (рис. 19-6,а), концы катушек при помощи высоковольтных щупов соединяют с зажимами 1 и 2 установки через повысительный трансформатор, а сигнальное устройство присоединяют к обмотке М2.

Для проверки изоляции машины в условиях эксплуатации, когда нет доступа к выводам отдельных катушек, индуктируют импульсное напряжение в испытываемой катушке при помощи электромагнита М1 (рис. 19-6,б).

Испытательные напряжения достигают 1,5 кВ на виток, в то время как испытательный магнит (см. рис. 19-3 и 19-4) может создать напряжения не выше 20 в на виток.

При пользовании установкой С-5П-ВЭИ следует соблюдать правила работы с высоковольтными установками, которые изложены в инструкции по обращению с аппаратом.

19-6. ПРОВЕРКА ОБМОТОК ЯКОРЯ МЕТОДОМ ПАДЕНИЯ НАПЯЖЕНИЯ

Метод электромагнита (рис. 19-4) не может обнаружить ряда недостатков в обмотке якоря, которые заключаются в неправильном присоединении концов секций к коллекторным пластинам, повышенном сопротивлении паяных контактов, а также в обрывах в обмотках. Кроме того, на испытательном электромагните нельзя проверять якоря с уравнительными соединениями и с лягушачьими обмотками,

так как в них всегда есть короткозамкнутые контуры из секций обмотки и уравнительных соединений и стальная пластинка будет дребезжать над всеми зубцами.

Поэтому обмотки ответственных машин проверяют методом падения напряжения. Этот метод основан на том, что обмотка питается постоянным током от аккумуляторной батареи, при этом щупами (рис. 19-1) измеряют падение напряжения между каждой парой смежных коллекторных пластин или между двумя стержнями, спаянными при помощи хомутика.

Качество пайки проверяют следующим образом. Регулировочный реостат 4 устанавливают на наибольшее сопротивление, включают рубильник и накладывают стержни 1, 2 на две рядом лежащие коллекторные пластины с торцевой стороны, чтобы не повредить рабочей поверхности коллектора. Затем нажимают на стержни, включая этим вольтметр, и измеряют падение напряжения, переходя от пластины к пластине по всему коллектору. Величина тока при всех измерениях должна быть одинаковой; она регулируется реостатом 4. Реостатом устанавливают такой ток, чтобы отклонения стрелки амперметра и вольтметра были достаточно велики и легко наблюдаемы. Необходимое для точности измерения отклонение стрелок этих приборов достигается включением шунта в амперметр и подбором добавочного сопротивления к вольтметру.

До начала испытаний коллекторные пластины нумеруют. Во время испытания записывают показания амперметра и вольтметра для каждой пары соседних пластин коллектора. При хорошей пайке показания вольтметра между всеми пластинами отличаются не более чем на 10% для машин серийного производства и 5% для особо ответственных машин.

Прибором, показанным на рис. 19-1, можно определить наличие витковых замыканий в обмотке. Если один или несколько витков в секции замкнуты, сопротивление ее будет меньше, а соответственно уменьшатся показания вольтметра. При обрыве в обмотке из тонкого провода по секции не потечет ток и стрелка вольтметра не отклонится.

Для определения правильности присоединения выводов концов обмотки к пластинам коллектора якорь питают постоянным током через две коллекторные пластины, стоящие одна от другой на полюсное деление. Вольтметр присоединяют поочередно к каждой паре соседних коллекторных пластин. Если соединения выполнены правильно, стрелка вольтметра на данном полюсном делении будет отклоняться в одну и ту же сторону, а на следующем полюсном делении в другую. Если же на одной паре коллекторных пластин, находящейся внутри полюсного деления, стрелка будет отклоняться в обратную сторону по сравнению с соседними парами пластин, это указывает на то, что концы обмотки перекрестнулись.

19-7. ПРОВЕРКА КАЧЕСТВА ПАЙКИ УЛЬТРАЗВУКОМ

Самым сложным паяным узлом в обмотках электрических машин являются головки стержневых обмоток гидро- и турбогенераторов. Монолитное соединение всех элементарных проводников с хомутиком может быть достигнуто только при полном проникновении припоя между всеми проводниками стержня

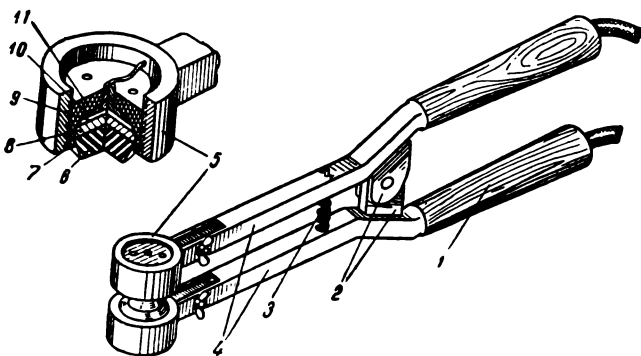


Рис. 19-7. Прибор для проверки паек ультразвуком.

1—ручка; 2—шарик; 3—пружина; 4—губки; 5—щуп; 6—наконечник (резина); 7—контактное кольцо; 8—пластина титаната бария; 9—демпфирующая прокладка; 10—выводной контакт; 11—втулка.

и под хомутиком. Контроль паек при помощи термокрасок, измерения переходного сопротивления и падения напряжения в головках не дает гарантии в надежной проверке качества пайки.

Больших успехов в области контроля паек удалось достигнуть при помощи ультразвуковой установки методом непрерывного излучения.

Для контроля головок сконструированы специальные клещи со щупами (рис. 19-7) и ламповый генератор в виде приставки к ламповому вольтметру. Щупы представляют собой втулки из органического стекла с вмонтированными в них пьезоэлектрическими пластинками титаната бария, рабочая сторона которых защищена маслястойкой резиной толщиной 3—5 мм. Щуп, работающий в качестве излучателя, присоединяется высокочастотным шлангом к генератору, а щуп, являющийся приемником, — к ламповому вольтметру. Излучаемые ультразвуковые колебания частотой 0,5 Мгц проходят через пайку и вызывают электрические колебания в приемной пластинке, э. д. с. которой измеряется ламповым вольтметром. В случае непропаянных мест повышается рассеяние ультразвуковых волн и уменьшается э. д. с. приемной пластинки. Оценка монолитности пайки производится по эталону, представляющему собой сплошной кусок меди, по форме и размерам соответствующий головке стержневой обмотки. Среднеарифметическое из показаний вольтметра в отдельных местах сравнивают с показаниями вольтметра при прозвучивании эталона. Надежность метода контроля проверялась осмотром разрубленных после прозвучивания паек, причем во всех случаях результаты измерений подтверждались.

На заводе «Электросила» ультразвуковой контроль всех головок стержней статорных обмоток крупных гидро- и турбогенераторов введен как обязательный [Л. 19-4].

19-8. ИСПЫТАНИЕ ОБМОТОК АППАРАТАМИ ТИПА СМ

Значительное усовершенствование методов испытания обмоток всех типов электрических

машин внесло применение аппаратов типа СМ, разработанных канд. техн. наук М. В. Смирновым и В. Д. Мажугой.

Принцип действия этих аппаратов основан на сравнении полного сопротивления двух каких-либо обмоток, которые при правильном выполнении должны быть совершенно одинаковы. Обе части обмотки присоединяют к аппарату. Электронная схема аппарата устроена таким образом, что в обе части обмотки поочередно посылаются короткие импульсы тока высокой частоты. Эти импульсы подходят к пластинам, стоящим вдоль пути электронов, летящих на экран лучевой трубки, и тем самым отклоняют их в сторону. Поэтому на экране видна не одна светящаяся точка, а светящаяся кривая линия, описываемая этой точкой. Если обе проверяемые части обмотки одинаковы, то и импульсы, приходящие на пластину, также одинаковы, и на экране видна только одна кривая. Если же в одной части обмотки есть какой-либо дефект, например витковые замыкания, неправильное число витков, неправильное присоединение концов обмотки и т. п., то импульсы, проходящие через эту часть обмотки, будут отличаться от импульсов, проходящих через другую обмотку, и отклонение электронов ими будет иным. В этом случае на экране лучевой трубки появятся две кривые. Каждому дефекту соответствует определенная форма кривой, что при известном опыте позволяет быстро определить характер неисправности. Применение аппаратов типа СМ позволило в несколько раз повысить пропускную способность испытательных станций.

Разница между аппаратами СМ-1 и СМ-2 заключается в том, что у аппарата СМ-2 меньше размеры экрана, поэтому вес и габариты его примерно в 1,5 раза меньше, чем у СМ-1. Это делает его более удобным для переноски. Однако в стационарных условиях лучше пользоваться аппаратом СМ-1, у которого изображение на экране хорошо видно на расстоянии 2—3 м, в то время как у СМ-2 хорошая видимость получается на расстоянии не больше 1 м.

На рис. 19-8,а показан внешний вид аппарата СМ-1. Он включается в сеть переменного тока напряжением 127 в и допускает отклонение питающего напряжения в пределах от +5 до —20%. Включение производится при помощи шнура 11 с вилкой, выведенного с задней стенки футляра. После включения необходимо дать лампам прогреться в течение 1 мин. До присоединения к источнику питания зажим 9 на передней стороне футляра надо заземлить. В нижней части передней стенки расположены две пары гнезд для присоединения испытываемых обмоток. Пара гнезд 6 обозначена *Импульсы*, а пара гнезд 8 — *Пластины явления*. Над гнездами расположены три выключателя, которые в верхнем положении рукояток выключены, а в нижнем — включены. Выключатель 4 управляет скоростью развертки луча по экрану 1. Выключатель 5 включает анодное напряжение, а выключатель 7 синхронный двигатель. При производстве испытаний выключатели 5

и 7 должны быть во включенном положении. Между экраном и выключателями расположены три ручки настройки. Ручкой 2 с надписью *Импульсный контур* регулируется напряжение, подаваемое на испытываемые обмотки, ручкой 3 с надписью *Фокус* — резкость луча на экране. Ручкой 10 с надписью *Емкость симметрии* можно устранять естественную несимметрию испытываемых обмоток. Для устранения дополнительной несимметрии надо присоединение обмоток к аппарату делать проводами одного сечения и одинаковой длины.

На рис. 19-8,б показана схема включения трехфазной обмотки, соединенной в звезду. Начала двух фаз I и II подключены к гнездам 6, а нулевая точка обмотки к одному из гнезд. 8. При отсутствии нулевой точки можно к гнезду 8 присоединить фазу III, которая будет служить проводом. Если в фазах I и II дефекты отсутствуют, то конец одной из них заменяют концом фазы III и проверяют вторую пару фаз.

На рис. 19-8,в показана схема включения обмотки, соединенной в треугольник. Во втором положении фазу I или II надо поменять местами с фазой III.

Для контроля якорных обмоток применяют приспособление с тремя равноудаленными электродами (рис. 19-9), которые прижимают к коллектору пружинами. Для коллекторов разных диаметров электроды передвигают в держателе. Расстояние между крайними электродами всегда равно полюсному делению на якоре четырехполюсной машины. Приспособление передвигают по окружности коллектора. Если обмотка якоря исправна, то на экране аппарата появится одна кривая правильной синусоидальной формы. При различных характерах несимметрии, которая возникает при межвитковом замыкании, обрыве, неправильном соединении замкнутых витках, появляются кривые различного вида, что при известном навыке позволяет быстро определить характер неисправности.

Для каждого типа обмотки якоря необходимо предварительно установить, какая форма кривой соответст-

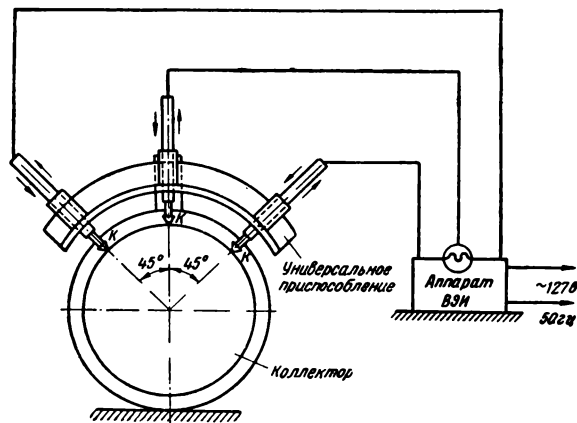


Рис. 19-9. Приспособление для контроля якорей.

вует тому или иному дефекту, так как при различных обмоточных данных формы кривых могут сильно меняться. Целесообразно на экране электронно-лучевой трубки иметь сетку для количественной оценки размеров кривых. Такую сетку можно нанести на защитный экран из органического стекла, предохраняющий электронно-лучевую трубку от повреждения.

19-9. ИСПЫТАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ ИЗОЛЯЦИИ

Все электрические машины подвергаются проверке на электрическую прочность изоляции по отношению к корпусу. Изоляция обмоток относительно корпуса и между фазами должна выдерживать испытательное напряжение согласно ГОСТ 183-55 частотой 50 гц в течение 1 мин. Повышение напряжения до максимального производится в течение 10 сек.

Испытательное напряжение должна выдерживать изоляция обмоток в собранной машине. В процессе производства после различных операций электрическая прочность изоляции может понижаться. Так как всегда необходимо быть уверенным, что изоляция обмотки выдержит испытательное напряжение, то в процессе производства ее испытывают более высоким напряжением, чем испытательное напряжение готовой машины. Повышение напряжения для каждой промежуточной операции берется около 10%.

Установка для испытаний электрической прочности изоляции состоит из двух трансформаторов, каждый из которых имеет две обмотки, надетые на стальной стержень. Обмотки НН включены в сеть 220 в, а ВН могут давать напряжение 6 тыс. в у первого трансформатора и до 44 тыс. в у второго. Первый трансформатор служит для испытания низковольтных машин, а второй — высоковольтных и изоляционных материалов.

Напряжение регулируется индукционным регулятором в цепи обмотки НН и указывается вольтметром, установленным на щите. Кроме того, на щите имеется сигнальная лампа, которая зажигается при включе-

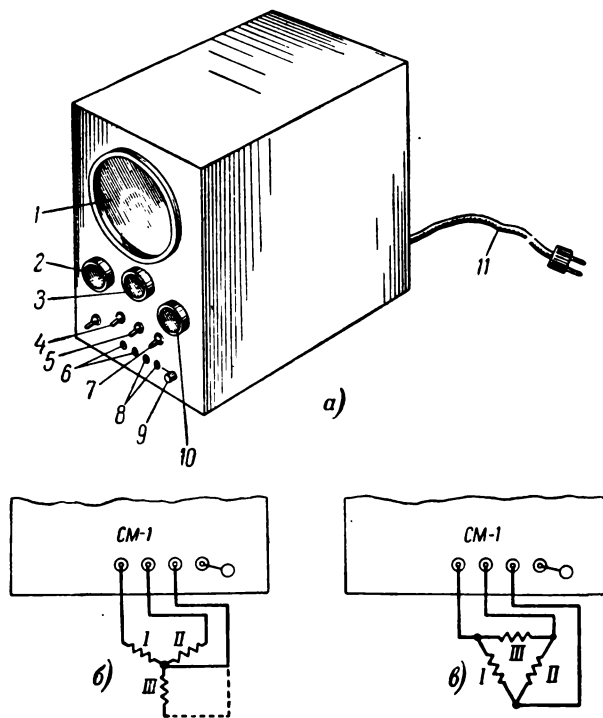


Рис. 19-8. Аппарат СМ-1.

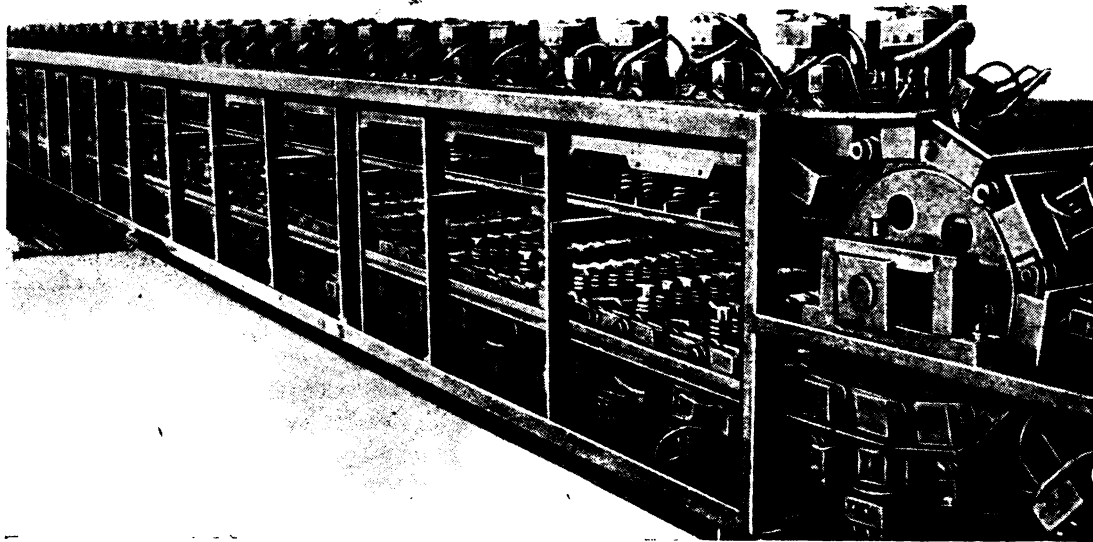


Рис. 19-10. Испытательный конвейер.

нии трансформатора и напоминает о том, что надо соблюдать меры предосторожности. Обмотка ВН каждого трансформатора при помощи проводов в резиновых шлангах выведена на два контакта, которые укреплены на высоковольтных изоляторах.

При испытании электрической прочности изоляции один контакт присоединяют к корпусу машины, а другой — к испытуемой обмотке. Если изоляция выдерживает испытательное напряжение, стрелка вольтметра стоит на месте; если изоляция пробита, стрелка возвращается на нуль. Место пробоя изоляции обнаруживается по дыму и искрению, которые появляются в месте пробоя. Причинами пробоя изоляции обычно являются или недоброкачество изоляционного материала, или механические повреждения изоляции стружками, опилками или острыми углами металлических частей, а также неосторожное обращение с обмоткой при укладке в пазы и транспортировке деталей.

Камера испытательной установки снабжается дверным контактом, который разрывает цепь первичной обмотки при открывании двери и предотвращает опасность, угрожающую лицам, случайно входящим в камеру при включенном трансформаторе. Для безопасности работы обслуживающий персонал испытательной станции пользуется резиновыми ковриками, галошами и перчатками.

19-10. КОНВЕЙЕР ДЛЯ КОНТРОЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Все приведенные выше методы контроля и испытания обмоток являются промежуточными. Окончательная проверка выполнения обмоток, их соединения, а также качества сборки двигателей производится при контрольных испытаниях готового двигателя. При массовом производстве испытательная станция становится узким местом, поэтому в течение многих лет разрабатывались и опробовались различные способы автоматического

проведения контрольных испытаний асинхронных двигателей.

Удачное решение этого вопроса реализовано в 1959 г. на заводе «Динамо» для крановых двигателей с контактными кольцами и короткозамкнутых первых четырех габаритов серии [Л. 19-3]. Конвейер состоит из неподвижного корпуса, внутри которого смонтированы шины, и подвижной ленты, на которой устанавливаются электродвигатели (рис. 19-10). На конвейере автоматизировано измерение тока холостого хода, коэффициента трансформации, сопротивления изоляции обмоток относительно корпуса и испытание электрической прочности изоляции относительно корпуса и между фазами. Кроме того, на конвейере производятся обкатка собранных двигателей, испытание двигателей при повышенной скорости вращения и испытание электрической прочности витковой изоляции.

Каждое установочное место оборудовано контактором, конечным выключателем, выключателем и восемью элементами токосяема, которые смонтированы на изоляторах. В начале каждого испытания элементы токосяема, перемещаясь вместе с лентой, соединяются при помощи щеток с неподвижными шинами. Поскольку шины управления короче силовых, цепь управления замыкается позже. В конце испытания цепь управления разрывается раньше силовой. Неисправные двигатели отключаются при помощи выключателя и контактора.

Пропускная способность конвейера составляет 40 двигателей первых трех величин, или 20 двигателей четвертой величины, в час.

МЕХАНИЧЕСКИЕ ДЕТАЛИ

20-1. ТИПЫ МЕХАНИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ

В этой главе рассматриваются лишь основные механические детали, являющиеся опорой для активных частей машины, и подшипники. К механическим деталям отнесены также станины машин постоянного тока и роторы турбогенераторов, в которых массивные магнитные сердечники неразрывно связаны с механическими элементами машины. В эту главу не включены механические детали, которые были рассмотрены в соответствующих главах в их связи с активными частями машин, например втулки и нажимные конусы коллекторов, роторные втулки и звезды, остовы статоров турбо- и гидрогенераторов.

Как было сказано в предисловии, механические детали рассматриваются главным образом с точки зрения технологических основ их конструирования. Поэтому здесь изложены соображения по выбору способа получения и формы заготовок, допусков на изготовление сопряженных деталей и принципы технологичности конструкций при различных типах производства.

Технология литья, сварки,ковки и механической обработки в книге не приводится по соображениям, отмеченным в предисловии.

Сочленение механических деталей в узлы и общая сборка машин изложены в гл. 21.

Механические детали электрических машин по конструкции и технологии изготовления можно разделить на следующие типы:

1) валы; 2) подшипниковые щиты; 3) стояки подшипников; 4) вкладыши; 5) станины; 6) втулки и крестовины; 7) траверсы щеткодержателей.

20-2. ВИДЫ ЗАГОТОВОК

Для изготовления всякой детали нужна заготовка, которая путем обработки резанием, давлением или другими способами превращается в готовую деталь. Заготовки деталей и способы их получения могут быть разделены на следующие виды: прокат, штамповка, отливка, поковка, сварка.

Поковки мелких и средних деталей выполняются в кузнечном цехе электромашиностроительного завода. Крупные поковки изготовляются по специальным техническим условиям на металлургических заводах (роторы и бандажные кольца турбогенераторов, фланцевые валы гидрогенераторов и др.). При помощи сварки получают комбинированные заготовки из раскроя листового и сортового проката, поволоков, штампованных или литых деталей.

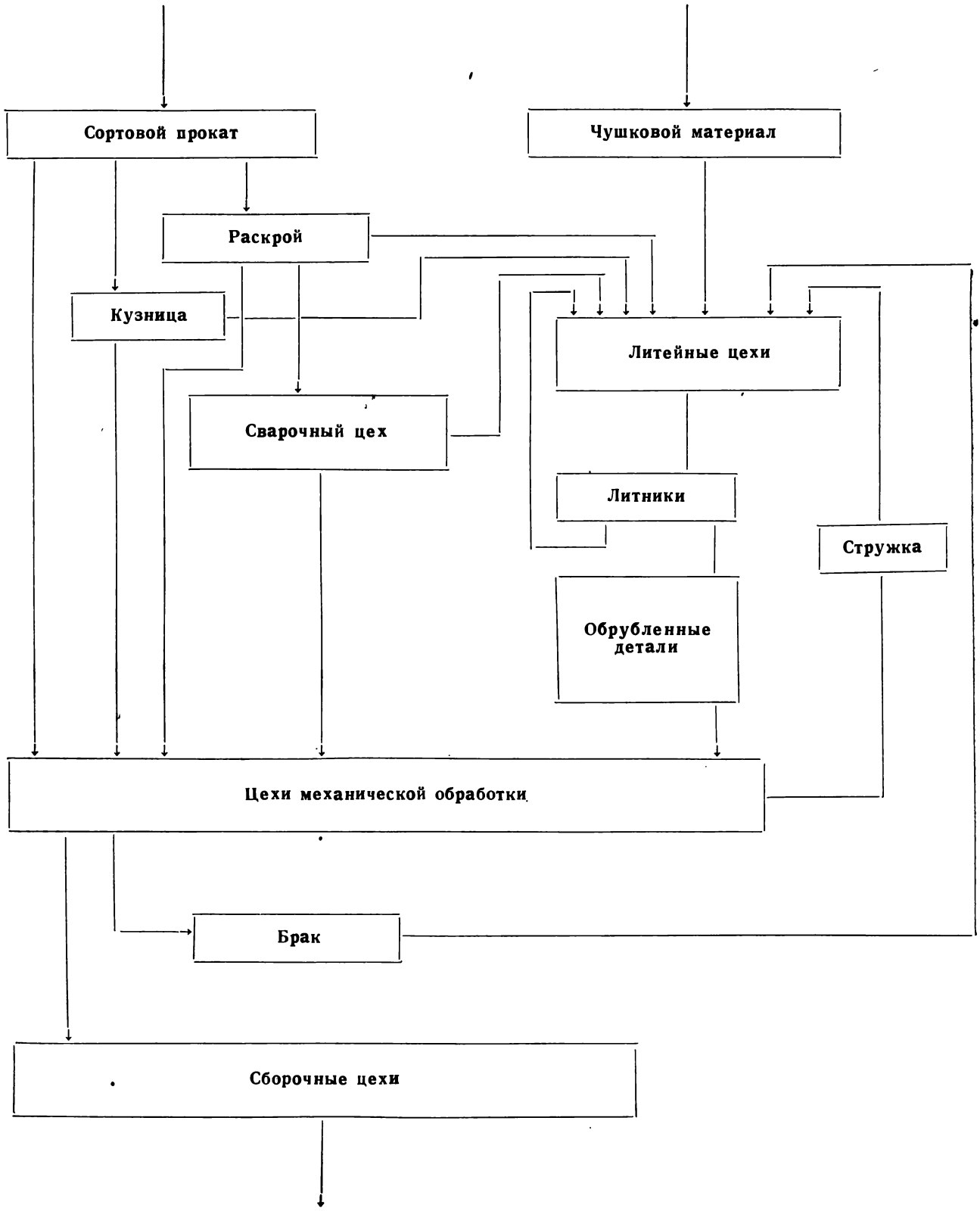
Технология изготовления деталей может состоять из нескольких этапов, число которых определяется размерами и сложностью конфигурации, а также выбранным процессом. Примеры построения технологических процессов в укрупненных составляющих приведены в табл. 20-1. Число этапов технологического процесса не является единственным критерием для выбора того или иного вида заготовки.

Таблица 20-1

Примеры построения технологических процессов

Детали	Этапы технологических процессов			
	1	2	3	4
Вал машины малой мощности	Обработка резанием из прутка			
Крышка коллекторного люка	Раскрой листа	Штамповка		
Вал машины средней мощности	Ковка ступенчатой заготовки	Обработка резанием		
Подшипниковый щит литой	Отливка	Обработка резанием		
Подшипниковый щит сварной	Раскрой листа Ковка втулки	Сварка	Обработка резанием	
Вкладыш	Отливка стакана	Обработка резанием	Заливка баббитом	Обработка резанием

Обращение черных металлов в производстве



При конструировании электрической машины конструктор должен выбрать вид заготовки для каждой детали, что уже определяет ее форму и технологию. Для многих деталей этот вопрос имеет несколько решений и выбор того или иного решения зависит от многих факторов. Это в первую очередь относится к литым и сварным деталям, так как возможности технологии сварки и литья делают их для многих деталей взаимозаменяемыми.

Общие соображения, которыми следует руководствоваться при выборе вида заготовки, являются следующие:

1. Технично-экономическое сравнение различных вариантов.
2. Вес детали.
3. Использование материала (отходы).
4. Трудоемкость получения заготовки.
5. Простота и трудоемкость обработки.
6. Стоимость технологической оснастки.
7. Механизация и автоматизация производства.
8. Длительность технологического процесса.
9. Надежность детали в эксплуатации.

Для каждого вида деталей есть характерные виды заготовок. Так, например, валы точат из пруткового материала или из ступенчатой поковки, крышки подшипников отливают из чугуна или алюминия, станины машин переменного тока мощностью свыше 1 000 кВт выводят сварными.

Лет 50 назад все механические детали электрических машин имели всего два вида заготовок: прокатанную сталь для валов и крепежных деталей и чугунное литье для остальных механических деталей. Современная технология располагает десятками способов литья, сварки, горячей штамповки, металлокерамики и т. п. Особенно развилась технология сварки, однако из этого не следует делать вывода, что литье деталей электрических машин является устаревшим процессом. К этому надо добавить, что для ряда деталей сварка не может конкурировать с литьем не только по экономическим, но и по технологическим соображениям. Следует напомнить, что все виды заготовок, перечисленных в начале этого параграфа, в процессе производства создают отходы. Они получают в резке и раскросе проката, при ковке, штамповке и сварке. Создаются отходы и от литых деталей в виде литников и стружки при обработке резанием. Но технология литья имеет возможность использовать все эти отходы путем переплавки, что невозможно при других видах заготовок. В табл. 20-2 показано обращение черных металлов в производстве. По самым скромным

подсчетам отходы металла в виде стружки, обрезков, литников, а также бракованных деталей могут составить до 25% шихты для плавильных печей. При отсутствии литейной на электромашиностроительном заводе все эти отходы надо вывозить с завода и загружать ими транспорт.

20-3. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ ЗАГОТОВОК

Для каждого вида заготовки есть характерные требования технологичности конструкции.

Для листовых материалов основным требованием является экономный раскрой листа с минимальным количеством отходов. Механические детали из листовых материалов должны иметь форму и размеры, обеспечивающие наиболее выгодный раскрой листа. Для крупных деталей это требование выполнить часто бывает трудно, особенно для деталей кольцевой формы. В этих случаях обычно приходится составлять кольцо из двух или нескольких частей, хотя это и увеличивает трудоемкость изготовления. Наилучшее использование площади листа получается при комбинированном раскросе из одного листа разных деталей. Для этого составляют карты раскроя. На рис. 20-1 показан раскрой листа стали на детали турбогенератора [Л. 2].

Резка прутков для валов и сортового проката производится обычно на складе черных металлов, имеющих соответствующее оборудование. Помимо разгрузки цехов и внутрицехового транспорта от перевозки и хранения длинных прутков и балок, это позволяет снизить количество отходов путем комбинированной резки прутков на детали разной длины. Остатки цилиндрических прутков обычно используют в кузнице дляковки втулок, рымболтов и других деталей.

Специфической особенностью штампованных деталей из листовой стали является то, что минимальная толщина детали не ограничена технологическими соображениями, как это имеет место в литых и сварных деталях.

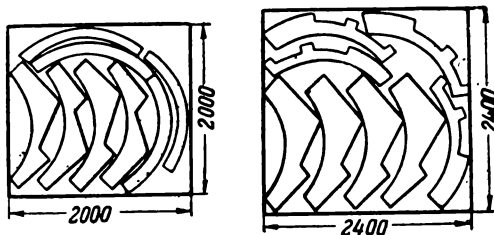


Рис. 20-1. Раскрой листа.

Так, например, крышки коллекторных люков и решетки вентиляционных отверстий площадью порядка 0,5 м² могут быть выполнены толщиной 1 мм, что недоступно для всех других видов заготовок. Для деталей, подверженных большим нагрузкам, необходимая жесткость деталям из листовой стали может быть придана путем выдавки под штампом желобков и других объемных выступов или придания детали формы полого цилиндра. Так выполняются нажимные шайбы роторов и статоров машин малой мощности. Путем выдавки выполняют жалюзи на крышках вентиляционных отверстий. Таким образом, штампованные детали из листовой стали могут быть выполнены с минимальным расходом металла. При прямоугольной форме заготовок отходы при раскросе минимальные.

Основные принципы технологичности литых деталей следующие: 1) для выемки модели из формы детали должны иметь литейные конусы; 2) во избежание образования усадочных раковин не допускается резкий переход от тонких сечений к толстым; 3) поверхности, подлежащие обработке, должны выступать над черными поверхностями отливки; 4) обрабатываемые поверхности должны иметь припуск на обработку, определяемый размерами детали и способами формовки; 5) переходы между плоскостями детали и углы должны иметь скругления.

Преимущества литых деталей перед сварными и коваными заключаются в том, что при формовке можно получить сложные формы детали с внутренними полостями. Это особенно важно для корпусов подшипников скольжения с жидкой смазкой. Недостатками литых конструкций является большой разброс весов в партии деталей, обычно в сторону увеличения от расчетных. Это особенно сказывается при упрощенных способах формовки с сырыми стержнями в земляные формы. Так, например, за счет отливок веса двигателей единой серии имели колебания до 10%. Этот недостаток может быть устранен путем применения современных способов точного литья.

В последнее время все большее применение для механических деталей электрических машин имеет алюминий. Хотя он примерно в 5 раз дороже чугуна, но его меньший удельный вес и применение машин для

литья под давлением делают такую замену экономичной. Так появились методы заливки статоров асинхронных двигателей в алюминиевую оболочку (§ 4-12).

Основные технологические требования, предъявляемые к конструкции сварных деталей, заключаются в следующем:

- 1) простота формы заготовок;
- 2) максимальное использование сортового проката;
- 3) минимальная длина и простота контура деталей, вырезаемых из листов, и наилучшее использование площади листа при раскросе;
- 4) удобное расположение сварных швов и минимальная их длина.

20-4. ДОПУСКИ И ПОСАДКИ

В электрических машинах применяется в основном система отверстия. Систему вала применяют только в тех случаях, когда на один и тот же диаметр вала насаживают две детали с разными посадками.

В целях уменьшения количества калибров диаметры посадочных поверхностей следует выбирать из нормального ряда (табл. 20-3) [Л. 20-1]. Отступления от нормального ряда допускаются только в отдельных случаях. Например, при ступенчатой посадке на вал втулки роторной звезды (рис. 4-30) берут разность посадочных диаметров в 1 мм. Тогда один диаметр будет из нормального ряда, а другой не соответствует нормальному. Благодаря этому экономится расход стали для изготовления вала.

При посадке деталей на вал обычно применяют посадки 2-го класса точности. К 1-му классу точности прибегают в редких случаях, например при посадке втулки якоря на вал без шпонки, чтобы не ослаблять сечение вала. Отверстия под подшипники качения в под-

Таблица 20-3.

Нормальные диаметры и длины от 4 до 500 мм по ГОСТ 6636-53

Ряд 5а	Ряд 10а			Ряд 20а						Ряд 40а						
	4	5	6	4	4,5	5	5,5	6	4	4,2	4,5	4,8	5	5,2	5,5	5,8
4	4	5	6	4	4,5	5	5,5	6	4	4,2	4,5	4,8	5	5,2	5,5	5,8
6	6	8	10	6	7	8	9	10	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5
10	10	12	16	10	11	12	14	16	10	10,5	11	11,5	12	13	14	15
16	16	20	25	16	18	20	22	25	16	17	18	19	20	21	22	24
25	25	32	40	25	28	32	36	40	25	26	28	30	32	34	36	38
40	40	50	60	40	45	50	55	60	40	42	45	48	50	52	55	58
60	60	80	100	60	70	80	90	100	60	65	70	75	80	85	90	95
100	100	120	160	100	110	120	140	160	100	105	110	115	120	130	140	150
160	160	200	250	160	180	200	220	250	160	170	180	190	200	210	220	240
250	250	320	400	250	280	320	360	400	250	260	280	300	320	340	360	380
400	400	500	—	400	450	500	—	—	400	420	450	480	500	—	—	—

шипниковых щитах и капсулах также выполняют по 2-му классу точности.

Что же касается обработки под соединение с замком корпуса, то требование 2-го класса точности является излишним, особенно при наружном замке, когда в щите приходится делать внутреннюю расточку, которая выполняется резцом, и выдержать допуски 2-го класса точности практически невозможно. В двигателях единой серии обработка замка щита производится по классу точности 2а, который допускает в 1,5 раза большее отклонение, чем 2-й класс. Для двигателей мощностью свыше 100 кВт отверстие под замок в щитах обрабатывается с допусками Аз. При этом щит плотно сидит в замке корпуса за счет его эллиптичности в пределах допуска. Кроме того, необходимо помнить, что максимального теоретического зазора в сопряжении деталей почти никогда не бывает.

Выбор допусков для штампованных листов сердечников изложен в § 3-23, д.

20-5. ВАЛЫ

Вал в электрической машине является очень ответственной деталью. От жесткости вала и точности его обработки зависит равномерность воздушного зазора по окружности между статором и ротором. Прочность вала определяет механическую надежность машины в эксплуатации. Прямолинейность и прочность вала зависят не только от правильного расчета и выбора конструктивных размеров, но и от технологических процессов обработки вала и сборки насаживаемых на него деталей.

По форме и технологии изготовления различают следующие типы валов:

- а) гладкие валы;
- б) ступенчатые валы, вытачиваемые из прокатанных прутков;
- в) ступенчатые валы, вытачиваемые из кованых заготовок;
- г) фланцевые валы;
- д) валы турбогенераторов, откованные вместе с бочкой ротора.

Гладкие валы применяются только в микромашинках диаметром не более 5 мм. Посадка деталей производится по системе вала. Чтобы снять с шеек вала повреждения поверхности, получаемые при насадке сердечников, шейки вала шлифуют вместе с ротором. При применении чистотянутых калиброванных прутков может быть исключена всякая механическая обработка за исключением шлифовки шеек под подшипники. Такая конструкция валов является наиболее экономичной, но она неприменима для машин большей мощности

при увеличении натягов и усилия прессовки насаживаемых деталей.

Наиболее характерной для электрических машин является форма вала в виде ступенчатого цилиндра с посадкой деталей по системе отверстия [Л. 20-4]. В целях снижения трудоемкости обработки следует стремиться к уменьшению числа ступеней, и поэтому часто на одну ступень насаживают две или несколько деталей. Если они имеют различные посадки, то частично вводятся допуски по системе вала.

Валы диаметром до 100 мм обычно изготовляют из цилиндрических заготовок прокатанной стали. Заготовки валов больших диаметров для уменьшения механической обработки и экономии металла выполняют из кованых заготовок ступенчатой формы с пропусками на обработку.

При передаче больших вращающих моментов шпоночные соединения конца вала с приводным механизмом являются недостаточно надежными, и поэтому вместе с валом из одного куска стали отковывают фланец для соединения валов. Наличие фланца сильно увеличивает сложность поковки, требует значительно больших припусков на обработку. В последнее время в связи с развитием электросварки под слоем флюса удалось получить равноценные по прочности фланцевые валы с приваренными фланцами. При этом получается большая экономия металла, выражающаяся в сотнях и тысячах килограммов на одну поковку.

Поковки для валов крупных машин поступают с металлургических заводов обычно в грубо обработанном виде с припуском на чистовую обработку по 5 мм на диаметр и по 20—30 мм по длине каждой ступени. В центральной части вала высверливают сквозное отверстие, служащее для контроля качества поковки [Л. 20-2]. В гидрогенераторах, соединяемых с поворотными лопастными турбинами, это отверстие используется для тяг механизма поворота лопаток.

На рис. 20-2 показан вал гидрогенератора Волжской ГЭС имени XXII съезда КПСС в процессе обработки. Диаметр заготовки в средней части 1620 мм, диаметр фланца 2200 мм, длина заготовки 7130 мм.

Роторная поковка турбогенератора является очень ответственной деталью. Поковки изготовляют из хромо-никель-молибденовой стали и просверливают в них центральное отверстие для контроля качества. В генераторах мощностью выше 50 тыс. кВт это отверстие используется для токоподвода к обмотке ротора.

После токарной обработки производят фре-

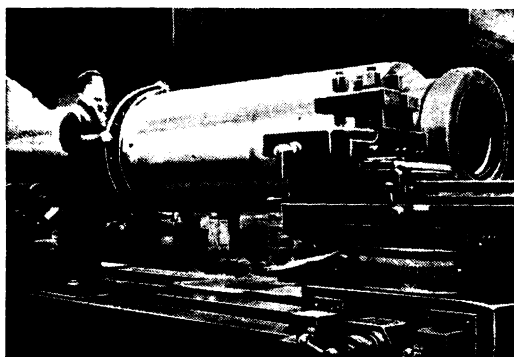


Рис. 20-2. Обработка вала гидрогенератора Волжской ГЭС имени XXII съезда КПСС.

зерование пазов (рис. 20-3) на специальном фрезерном станке, одновременно обрабатывающем два противоположных паза ротора двумя типами фрез. Дисковая фреза прорезает паз, а за ней идет грибковая фреза, прорезающая выемки для пазового клина.

На рис. 20-4 показана типичная форма вала электрической машины постоянного тока с указанием насаживаемых на вал деталей. Для упора нажимной шайбы при прессовке сердечника якоря служит бортик диаметром

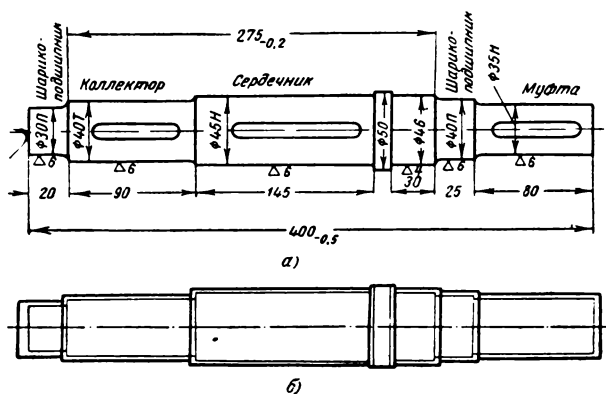


Рис. 20-4. Вал машины постоянного тока.

50 мм. Номинальная ширина его (10 мм) не указана на чертеже, чтобы не создавать замкнутой цепочки размеров. Очевидно, что предельные отклонения ширины бортика будут равны алгебраической сумме отклонений размеров ступеней вала, расположенных справа и слева от бортика. Однако это не создает затруднений при сборке машин, так как размер 275 мм между упорными бортиками шарикоподшипников вынесен и имеет допуск $-0,2$ мм.

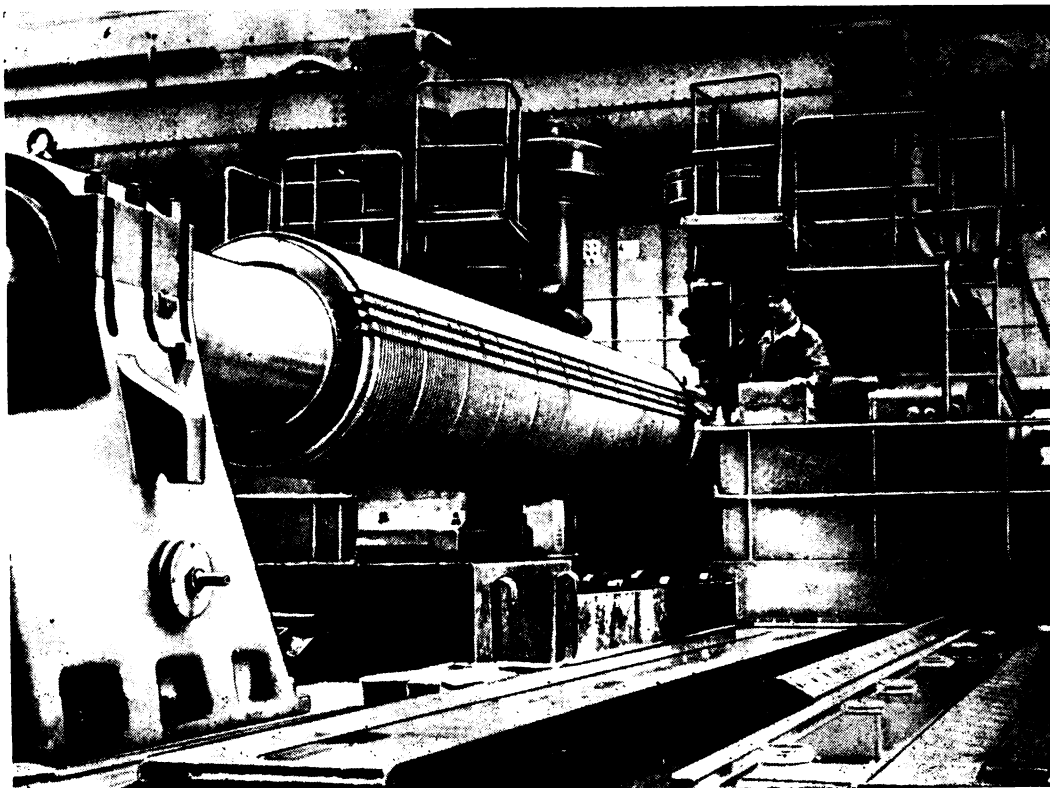


Рис. 20-3. Фрезеровка пазов в роторе турбогенератора.

Диаметр заготовки вала, очевидно, определяется диаметром бортика 50 мм. Но наличие бортика не повлечет за собой увеличение веса заготовки и снимаемой стружки при обработке, если высоту бортика взять равной припуску на обработку средней части вала, а поверхность бортика не обрабатывать. Если высота бортика и диаметр заготовки выбирают по этим принципам, никакого дополнительного расхода металла не получается.

Валы асинхронных двигателей мощностью до 100 кВт обычно не имеют бортиков. Это объясняется тем, что при заливке пазов алюминием ротор насаживаются на вал в готовом виде и упора не требуется. В асинхронных двигателях с контактными кольцами нажимные шайбы ротора упираются в кольца, вложенные в канавки, проточенные в валу с обеих сторон ротора. Такие канавки в асинхронных двигателях допустимы потому, что вал, выбранный по условиям жесткости, имеет большой запас прочности.

При проектировании вала следует учитывать вопросы технологичности его изготовления. Они заключаются в снижении трудоемкости обработки, упрощении технологического процесса, удешевлении заготовок и экономии металла.

а) Снижение веса стружки, снимаемой при обточке вала

В старых сериях электрических машин независимо от формы и способа получения заготовки валу придавали ступенчатую форму, описанную около кубической параболы, очерчивающей брус равного сопротивления изгибу. Такой метод проектирования валов из цилиндрических заготовок в современных машинах не применяется. Это объясняется реальным взглядом на экономию металлов в конструкциях. При цилиндрической форме заготовки расход металла при заданной длине вала определяется только диаметром заготовки. После выбора диаметра заготовки изменение конфигурации вала может лишь вести к снижению веса готового вала, но не расхода металла на его изготовление. Действительно, вал с резкими переходами от одной ступени к другой будет очень трудоемким в обработке за счет большого веса снимаемой стружки, но экономии металла в изготовлении вала от этого никакой не получается. В местах резких переходов от одного диаметра к другому возникают сильные концентрации напряжений, которые очень часто приводят к поломкам валов. Поэтому валы современных машин диаметром до 100 мм проектируются с минимальной разницей диаметров соседних ступеней, что значительно повышает прочность вала в опасных сечениях и дает большую экономию при обработке. Что же касается увеличения веса готового вала, то это незначительно отражается на общем весе машины, так как вал занимает в нем обычно лишь 6—10%.

На рис. 20-5,а представлена форма вала асинхронного двигателя, применявшегося в старых машинах, у которого число ступеней достигает 9, а вес снимаемой стружки составляет 53% веса готового вала. Для сравнения на рис. 20-5,б показана форма вала современного двигателя, у которого число ступеней сократилось до 4, а вес снимаемой при обработке стружки снизился вдвое.

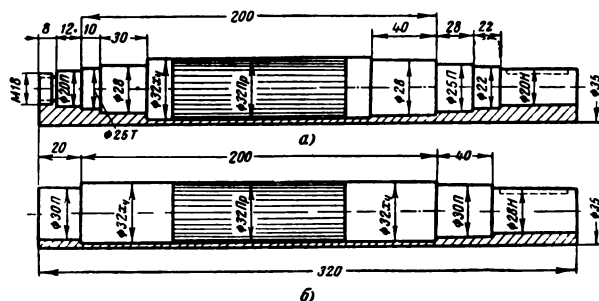


Рис. 20-5. Два варианта вала асинхронного двигателя.

Валы диаметром больше 100 мм выполняют из поковок, и поэтому нет необходимости ограничивать высоту ступеней. Поэтому диаметр средней части вала выбирают по расчету на жесткость, а концы вала — по расчету на прочность.

Откованная заготовка для вала представляет собой ступенчатый цилиндр с припусками на обработку по диаметру и по длине каждой ступени. Величина припусков на обработку, а следовательно, и расход металла определяются видом кузнечного оборудования и качеством технологического процессаковки. Наименьшие припуски на обработку могут быть достигнуты при получении ступенчатой заготовки вала методом периодического проката, основанного на изменении расстояний между прокатными валками по заданному периодическому закону.

б) Унификация размеров шпоночных канавок

На валу электрической машины обычно имеется несколько шпонок, расположенных на разных диаметрах. Если для каждого диаметра вала применять соответствующую ширину шпонки по ОСТ/НKM 4084, то это сильно затруднит обработку, так как придется сменить несколько фрез. Поэтому при проектировании валов современных электрических машин на заводах установилась следующая традиция. Ширину шпонки на выступающем конце вала берут по ОСТ/НKM 4084, а остальные шпонки берут такой же ширины. Уменьшение ширины шпонки под листами сердечника не является опасным с точки зрения прочности, так как эта шпонка длиннее, чем шпонки на конце вала, и подвержена меньшей срезающей силе, а передает такой же крутящий момент. Отступление от ОСТ не нарушает условий взаимозаменяемости, так как сердечник якоря или коллектор в случае их замены могут быть получены только с завода, который изготовил данную машину.

в) Центровые отверстия

Центровые отверстия на обоих торцах вала должны быть одинаковыми и иметь предохранительную коническую расточку для защиты от повреждений при транспортировке. Размеры центровых отверстий крупных машин следует выбирать большими, чем указано в ОСТ 3725 для данного диаметра вала, с учетом веса всего якоря, который ставится в центры станка при намотке бандажей и обточке коллектора.

г) Форма галтелей

В местах перехода от одного диаметра к другому для выхода шлифовального круга в конструкции вала предусматриваются канавки (рис. 20-6). Чтобы избе-

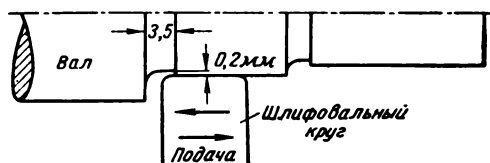


Рис. 20-6. Канавки на валу для выхода шлифовального круга.

жать больших концентраций напряжений, эти канавки следует делать глубиной не более 0,2 и шириной 3,5 мм. Требуется проводить наибольшую унификацию радиусов галтелей для уменьшения числа разновидностей резцов.

д) Расстановка размеров на чертеже вала

Линейные размеры на чертеже вала должны быть проставлены в соответствии с технологическим процессом обработки так, чтобы размеры чертежа соответствовали размерам, обозначенным на измерительных шаблонах. Это значительно упрощает пользование чертежом рабочими и контролерами, освобождая их от дополнительных вычислений. Линейные размеры должны иметь допуски. Размеры между шейками подшипников, служащие базой для сборки, должны быть выделены на чертеже с указанием допусков. Не рекомендуется рабочий чертеж вала загромождать такими размерами, которые нужны только для конструктора, например расстояние между серединами подшипников или расстояние от середины подшипника до середины сердечника ротора. Эти размеры могут быть поставлены только в контрольном экземпляре чертежа в конструкторском бюро.

20-6. ПОДШИПНИКОВЫЕ ЩИТЫ

Подшипниковые щиты служат для конструктивного соединения вала ротора со станиной. Они применяются в машинах с наружным диаметром до 1 м. Различают передние подшипниковые щиты со стороны коллектора или контактных колец и задние со стороны привода.

Подшипниковые щиты должны обязательно центрироваться по отношению к станине. Центрирование подшипникового щита может быть выполнено двумя способами: с внутренним замком, когда бортик подшипникового щита входит в расточку станины (рис. 20-7, а), и с наружным замком, когда подшипниковый щит наводится на кольцевой поясok станины (рис. 20-7, б). Внутренний замок обычно применяют в машинах малой и средней мощности до 100 кВт.

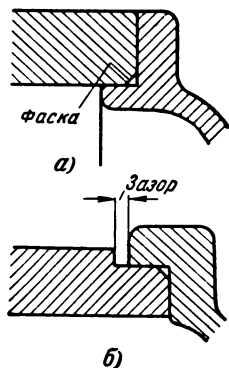


Рис. 20-7. Формы замков.

В крупных машинах, как правило, бывает наружный замок. Это объясняется тем, что в станинах больших машин легче сделать наружную заточку, чем внутреннюю.

Основное технологическое требование, предъявляемое к подшипниковому щиту, состоит в обеспечении соосного положения ротора с внутренним отверстием статора. Поэтому щит должен быть достаточно жестким и обработанным с выполнением требований соосности. Подшипниковые щиты в машине могут быть одинаковыми и неодинаковыми. В современных асинхронных короткозамкнутых электродвигателях симметрия конструкции является обязательной. Ради этого оба шарикоподшипника выбирают одинаковыми, несмотря на различные нагрузки. В асинхронных электродвигателях с контактными кольцами единобразие подшипниковых щитов может быть достигнуто, если контактные кольца вынесены на консоли вала за пределы подшипникового щита. В машинах постоянного тока из-за наличия коллектора подшипниковые щиты должны быть разные. Передний щит со стороны коллектора имеет выпуклую форму и окна для обслуживания щеточного механизма и чистки коллектора, задний со стороны привода — более плоскую форму.

Конфигурация подшипникового щита в значительной степени определяется типом подшипника. Наиболее простая форма щита получается при подшипниках качения. Подшипниковый щит для подшипников скольжения имеет значительно более сложную форму, так как в нем добавляются камеры для смазочного кольца, маслоуловителей и маслоотстойников.

Поскольку все машины современных серий с внешним диаметром до 1 м строятся на подшипниках качения, подшипниковые щиты с подшипниками скольжения в новых сериях не применяются.

Подшипниковые щиты выполняют обычно литыми. В качестве материала в большинстве машин применяется чугун СЧ-12-28 и только для машин специальной конструкции (тяговых и взрывобезопасных электродвигателей) подшипниковые щиты отливают из стали. Для машин массового производства мощностью до 3 кВт наряду с чугунными применяют алюминиевые подшипниковые щиты. Это дает возможность заменить литье в земляные формы литьем под давлением, что коренным образом реорганизует литейные цехи и дает большую экономию на трудоемкости механической обработки. В единой серии асинхронных двигателей 3 и 4-й габариты имеют исполнение

с алюминиевыми станинами и подшипниковыми щитами.

На рис. 20-8 показана конструкция чугунного подшипникового щита электродвигателя единой серии 8-го габарита. Для уменьшения веса щита предусмотрены четыре выступа для болтов, крепящих щит к станине и позволяющих уменьшить диаметр борта в промежутках между выступами, что дает значительную экономию металла. Плоскость выступов, обращенная к станине, отступает от плоскости борта на $6 \pm 0,5$ мм, что дает возможность не обрабатывать их и тем самым уменьшить поверхность обработки с поперечной подачей резца. Для зажима щитов в трехкулачковый патрон токарного станка на торце щита предусмотрены три технологических прилива. В нижней половине щита сделаны два окна для забора охлаждающего воздуха.

В машинах со сварными станинами для единообразия технологического процесса подшипниковые щиты также делают сварными. Сварной щит представляет собой диск 2, вырезанный из листовой стали, с приваренными бобышками 3 для центрирования траверсы и отверстиями для крепящих болтов. В центре щита приварена откованная втулка 1 с отверстием для шарикоподшипника (рис. 20-9).

При проектировании подшипниковых щитов, кроме конструктивных моментов, как достаточная прочность и жесткость щита при работе машины под нагрузкой, выбор типа и размеров подшипника и системы смазки, обеспечение доступности для осмотра щеточного аппарата и наличие достаточных отверстий для охлаждающего воздуха, необходимо также учитывать ряд технологических требований, обеспечивающих удобную и нетрудоемкую отливку, обработку щита и сборку машины. С точки зрения технологии литья

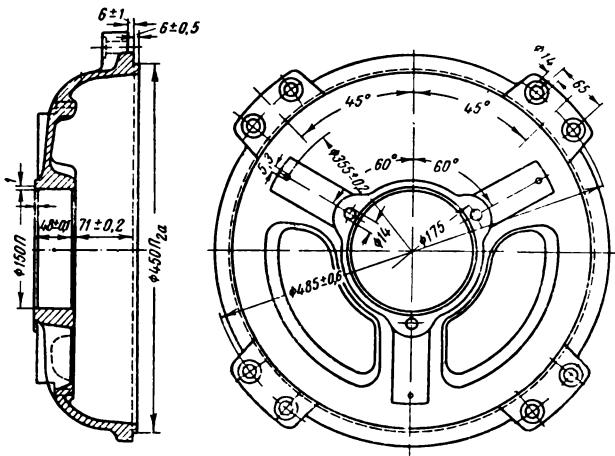


Рис 20-8. Чугунный щит двигателя А-81.

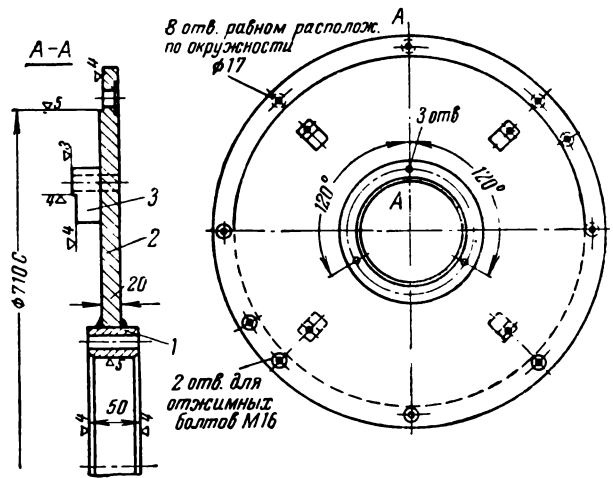


Рис. 20-9. Сварной щит машины серии П-100.

и обработки подшипниковые щиты являются сложными деталями, и от конструктора во многом зависит устранение производственных трудностей. С другой стороны, конструктивные требования должны быть четко изложены на чертеже, чтобы было обеспечено требуемое качество при изготовлении и приемке подшипниковых щитов в цехах.

Основные технологические требования к конструкции щитов заключаются в следующем.

а) Технологичность формы щита. От формы щита в значительной степени зависят удобство и простота формовки, а также качество литья.

При выборе толщины стенок необходимо учитывать как условия заливки, так и жесткость щита при механической обработке. Это особенно важно для щитов с большой площадью окон, между которыми остаются узкие перемычки металла (рис. 20-8). Необходимо помнить, что жидкий металл заливается в литник, расположенный обычно в ободу щита, и через эти перемычки должен протечь, не затвердевая преждевременно, масса металла, образующая головку щита. Если ширина перемычки не может быть увеличена, то надо добавить ребра, которые одновременно значительно увеличат и жесткость конструкции. Толщина стенки чугунного литья должна быть не менее 5 мм. Очень вредными являются резкие переходы от толстых стенок к тонким, причем соотношение толщин надо проверять не по чертежу обработанного щита, а по чертежу отливки с припусками на обработку (рис. 20-10). В местах резких переходов сечения материал «утягивается» при остывании, что ведет к образованию раковин и сжиманию тонких стенок.

При обработке очень тонких и нежестких щитов они деформируются под действием давления кулачков патрона, а после снятия со станка распрямляются и обработанные поверхности теряют цилиндрическую форму. Обычно добавление ребер устраняет этот недостаток.

Вообще при выборе толщины стенки и расчете на жесткость надо помнить, что почти всегда в процессе обработки щит подвергается большему нагружению, чем при работе машины, тем более, что в собранной машине жесткость щита значительно увеличивается за счет станины, с которой он скреплен.

лано с боковой стороны. Над ним расположен маслоуказатель 6.

В старых машинах вкладыш опирался на два кольцевых пояса головки подшипника. Такая конструкция не позволяла вкладышу самоустанавливаться по направлению оси вала. Поэтому при неточностях монтажа и прогибах вала давление по поверхности вкладыша распределялось неравномерно. В современных машинах вкладыш опирается на узкий пояс головки подшипника в средней части. Для обеспечения самоустанавливаемости вкладыша поверхность *D* соприкосновения делается шаровой с центром на оси вала (рис. 20-12). Для предохранения от проворачивания вкладыша в верхней половине головки подшипника ввернут штифт 7, конец которого входит в канавку вкладыша.

Стояковые подшипники устанавливают на общей плите со станиной. Очевидно, что равномерность зазора между статором и ротором будет зависеть от точности установки стояковых подшипников. Выверку зазора в вертикальной плоскости производят за счет прокладок из листовой стали под лапы стоякового подшипника. Смещение ротора в горизонтальном направлении производят путем передвижения стояковых подшипников на плите. После выверки зазора и затяжки болтов в фундаментной плите засверливают и развертывают два конических отверстия 8 через лапы стоякового подшипника и в них забивают установочные штифты. Благодаря штифтам при повторной сборке машины нет необходимости снова регулировать зазор.

Чтобы предохранить установочные штифты от срезающих усилий, болты должны развивать необходимую силу трения в плоскости соприкосновения лап с плитой.

20-8. ВКЛАДЫШИ

В подшипниках скольжения основной деталью являются вкладыши, внутренняя поверхность которых заливается антифрикционным сплавом 9 (рис. 20-12). Для ответственных машин применяется баббит марки Б-83, а для остальных машин — баббит марки Б-16.

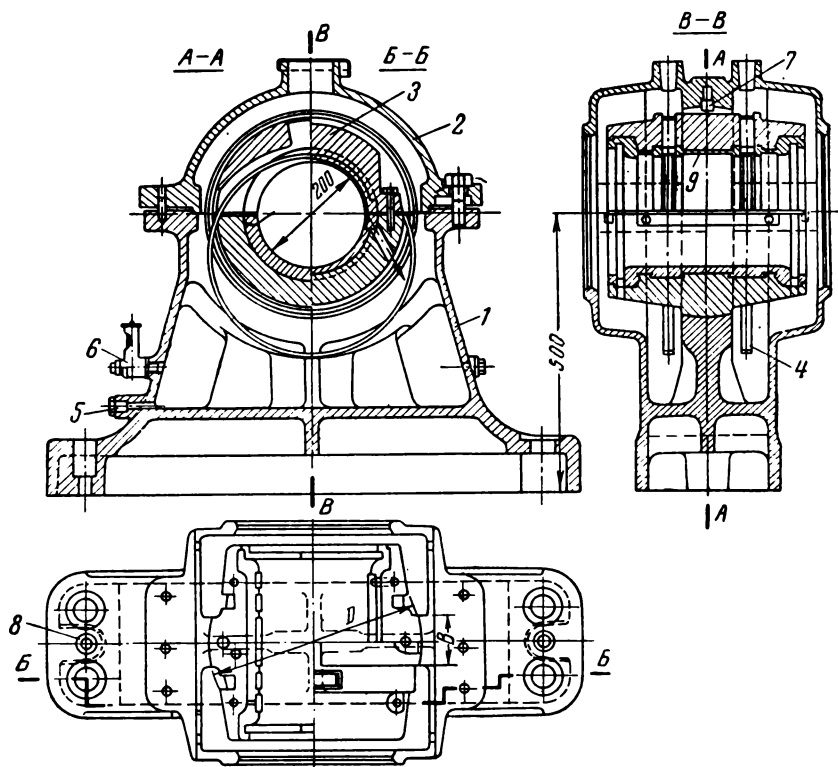


Рис. 20-12. Стояковый подшипник.

Цифры в обозначении марки показывают процентное содержание олова, с увеличением которого стоимость баббита сильно возрастает.

Сложность процесса заливки заключается в том, что баббит не прилипает к стенкам вкладышей, которые отливают из чугуна или из стали. Поэтому для механического скрепления баббитовой заливки со стенками вкладыша в нем протачивают канавки трапецеидального сечения, а перед заливкой поверхность вкладыша облуживают.

Заливка вкладышей может производиться статическим или центробежным способом. При статическом способе заливки вкладыш устанавливают вертикально, внутрь вставляют стержень и в образовавшуюся щель заливают расплавленный баббит. При статическом способе заливки приходится брать большие припуски на обработку, чтобы обеспечить заполнение щелей баббитом. Это ведет к большому перерасходу дорогого металла, так как стружка, получаемая при обработке, для повторной заливки вкладышей ответственных машин не допускается.

Недостатками статической заливки являются также неплотность металла, медленность процесса и крупнокристаллическая структура металла. Поэтому статический способ заливки заменяют центробежным или заливкой под давлением. Из них наиболее совершенным яв-

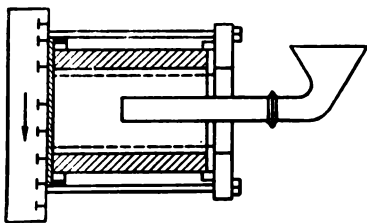


Рис. 20-13. Схема центробежной заливки вкладыша.

ляется способ заливки под давлением, но он требует специальных машин и сложных форм и поэтому применяется только при крупносерийном производстве. Центробежный способ заливки может быть организован на любом токарном станке с применением простых приспособлений. Вкладыш зажимается а планшайбе станка так, чтобы ось вкладыша совпала с центром планшайбы (рис. 20-13). Центробежная сила при вращении вкладыша заставляет жидкий металл равномерно распределяться по поверхности. После заливки вращают вкладыш в течение 15—30 мин до полного затвердевания баббита.

Перед заливкой половинки вкладыша помещают в газовую печь и нагревают в пламени, с наружной стороны вкладыша до температуры не ниже 200°С. Температуру нагрева проверяют прутом сплава ПОС-61, которым проводят по ребру канавки вкладыша. Если припой плавится, образуя небольшие капли, нагрев вкладыша следует прекратить. Вкладыш вынимают из печи и тщательно очищают внутреннюю поверхность металлической щеткой. Затем смачивают ее травленой соляной кислотой, посылают порошкообразным нашатырем и натирают припоем ПОС-61. Этот процесс повторяют 2—3 раза до полного покрытия поверхности вкладыша припоем. После лужения поверхность вкладыша промывают, опуская его в бак с проточной водой.

Перед заливкой канавки во вкладыше, которые не должны заливаться баббитом, забивают асбестом. В плоскость разреза кладут полоски влажного асбеста шириной, равной толщине вкладыша. На полоски асбеста кладут стальные прокладки толщиной 1 мм, которые должны выступать внутрь вкладыша на 2 мм меньше толщины заливаемого слоя баббита. Затем сболчивают половинки вкладыша или скрепляют их хомутами. Собранный вкладыш нагревают в печи до 150—200°С и закрепляют на планшайбе станка, проверяя отсутствие биения.

Чушки баббита опускают в очищенный тигель и расплавляют. В процессе плавки измеряют температуру баббита, которая перед заливкой должна быть 400—430°С для баббита Б-83 и 450—480°С для Б-16. Плавку производят под слоем древесного угля. Перед заливкой вкладыша очищают поверхность расплавленного металла и перемешивают его, затем приводят станок во вращение и заливают за один прием мерным ковшом для данного габарита вкладыша. В процессе плавки температуру баббита проверяют пирометром, а плотность прилегания баббита к вкладышу — по звуку, постукивая молотком.

При центробежной заливке припуски на обработку значительно меньше, чем при статическом способе. При точном ведении процесса припуск на сторону можно выдержать 2—2,5 мм.

20-9. СТАНИНЫ

В машинах переменного тока станина имеет только механическое назначение, в то время как в машинах постоянного тока она

служит также магнитопроводом. В зависимости от назначения станины резко меняются ее конструктивные формы, вес и применяемый материал.

По конструкции и технологии изготовления станины можно разделить на следующие типы: а) неразъемные, отлитые из стали; б) разъемные, отлитые из стали; в) неразъемные, отлитые из чугуна; г) неразъемные сварные; д) разъемные сварные; е) алюминиевые.

Неразъемные станины, отлитые из стали, применяются для машин постоянного тока с наружным диаметром до 1 м.

До широкого развития электросварки стальное литье было единственным способом изготовления станин машин постоянного тока. В настоящее время электросварка значительно вытеснила стальное литье и литье станины сохранились только в машинах сложной конструкции. К ним относятся тяговые и крановые двигатели и др.

Разъем станин в крупных машинах делают для возможности транспортировки и упрощения монтажа, а в машинах средней мощности — для удобства в эксплуатации. Так, например, крановые двигатели мощностью свыше 30 кВт с разъемными станинами можно разобрать и ремонтировать на ферме крана. Разъем делают в горизонтальной плоскости несколько выше оси вала. Таким образом, добавочные полюса, расположенные на концах горизонтального диаметра, при разборке остаются в нижней половине станины. Обе половины станины стягиваются болтами.

Следует отметить, что разъем станины, создавая удобства в эксплуатации, влечет за собой дополнительные трудности для завода-изготовителя. Добавляются операции прострагивания поверхности стыка, сверление и нарезание отверстий для стягивающих болтов.

В литых станинах двигателей постоянного тока делались приливы под полюса. Они являются неизбежными для станин восьмигранной формы, в станинах же цилиндрической формы наличие их совершенно необоснованно. Их делали из соображений уменьшения поверхности обработки. Но при этом не учитывали, что наличие приливов ведет к работе резца с ударами. Это особенно нежелательно для резцов с пластинками из твердых сплавов. С другой стороны, приливы в литье часто оказываются смещенными и их приходится прострагивать с одной стороны и подваривать с другой стороны. Это особенно относится к приливам под добавочные полюса, ввиду того что они очень узкие. Таким образом, наличие приливов приводило лишь к уменьшению веса стружки, но не только не

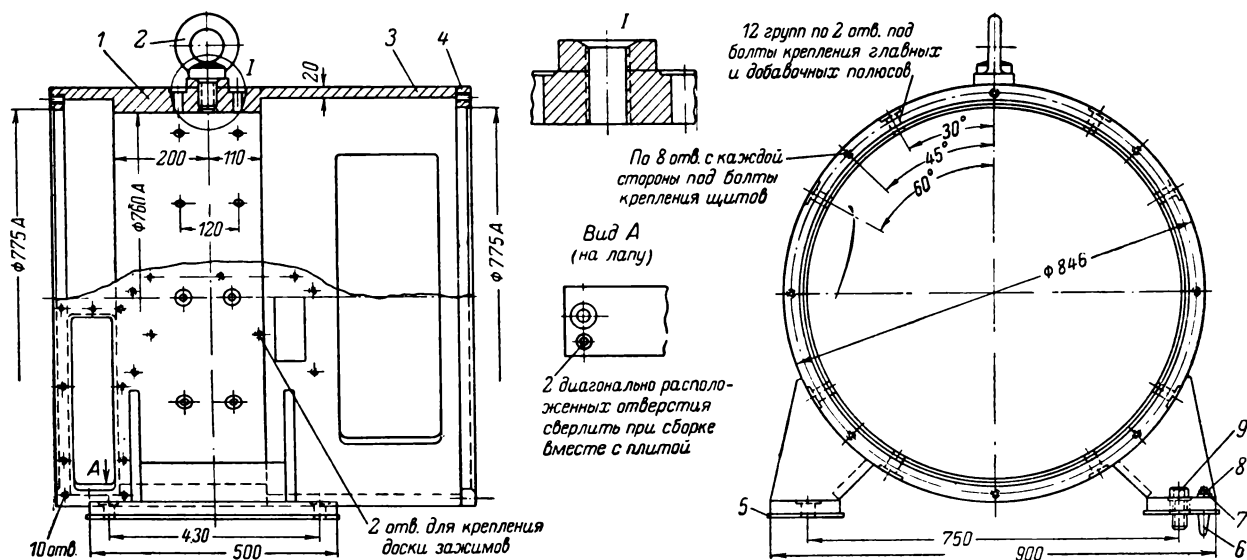


Рис. 20-14. Станина машины постоянного тока.

1—магнитная часть станины; 2—подъемное кольцо; 3—конструктивная часть станины; 4—кольцо для центрирования подшипникового щита; 5—прокладка под лапы; 6—установочный штифт; 7—шайба; 8—гайка для вытаскивания установочного штифта; 9—болт для крепления машины к фундаментной плите.

ускоряло, а наоборот замедляло процесс обработки, так как снижались режимы резания и стойкость резцов.

Исходя из этих соображений, в настоящее время в станинах цилиндрической формы приливов не применяют, а для уменьшения поверхности обработки делают в станине кольцевой выступ шириной, равной длине полюсов, благодаря чему поверхность над торцовыми частями полюсных катушек не требует обработки.

Литые станины крупных машин постоянного тока делают разъемными тогда, когда к этому вынуждают условия транспортировки, монтажа или недостаточная емкость электропечи для плавки стали или литейных ковшей.

В машинах постоянного тока общего применения почти исключительно применяют сварные станины. Казалось бы наиболее удобной заготовкой для обода станины является отрезок трубы. Однако вследствие высокой стоимости, недостаточного ассортимента размеров и сложности резки толстостенных труб они применяются для станин относительно редко. Основным исполнением сварных станин является гибка их на вальцах из полосы, нарезанных из листовой стали. Вальцы допускают гибку заготовок толщиной 5—120 мм. Станины малых размеровгибают в трубы с одним швом, а больших размеров сваривают из двух полуцилиндров. Сварочные швы обычно располагают по линии главных полюсов, что хотя несколько затрудняет сверление отверстий для крепления полюсов, но

зато не нарушает симметрию магнитной цепи машины, так как у главного полюса поток в станине разветвляется.

Для крепления машин к плите к ободу приваривают лапы с отверстиями для крепящих болтов. В машинах постоянного тока при конструировании надо следить за тем, чтобы расположение лап не препятствовало сверлению отверстий для полюсов.

Сечение станины в машинах постоянного тока можно разделить на магнитную и конструктивную части (рис. 20-14). Длину магнитной части станины берут не более 1,5—2 длин полюса. Конструктивная часть станины по условиям жесткости может быть значительно тоньше магнитной. Однако при гибке обода станины из стального листа толщина стенки магнитной и конструктивной части станины будет одинаковой, что ведет к излишнему расходу металла. Утоньшение стенки конструктивной части за счет обработки не снижает расхода металла, а лишь увеличивает трудоемкость обработки. Это обстоятельство долгое время заставляло отдавать предпочтение литым станинам, у которых сечение обода может быть сделано ступенчатым. Достижения в области электросварки на автоматических сварочных машинах под слоем флюса легко позволяют сделать сечение станины составным из заготовок разной толщины, что открыло возможность замены литых станин сварными в машинах большей мощности.

При диаметре свыше 1 м станины машин постоянного тока делают разъемными. Обыч-

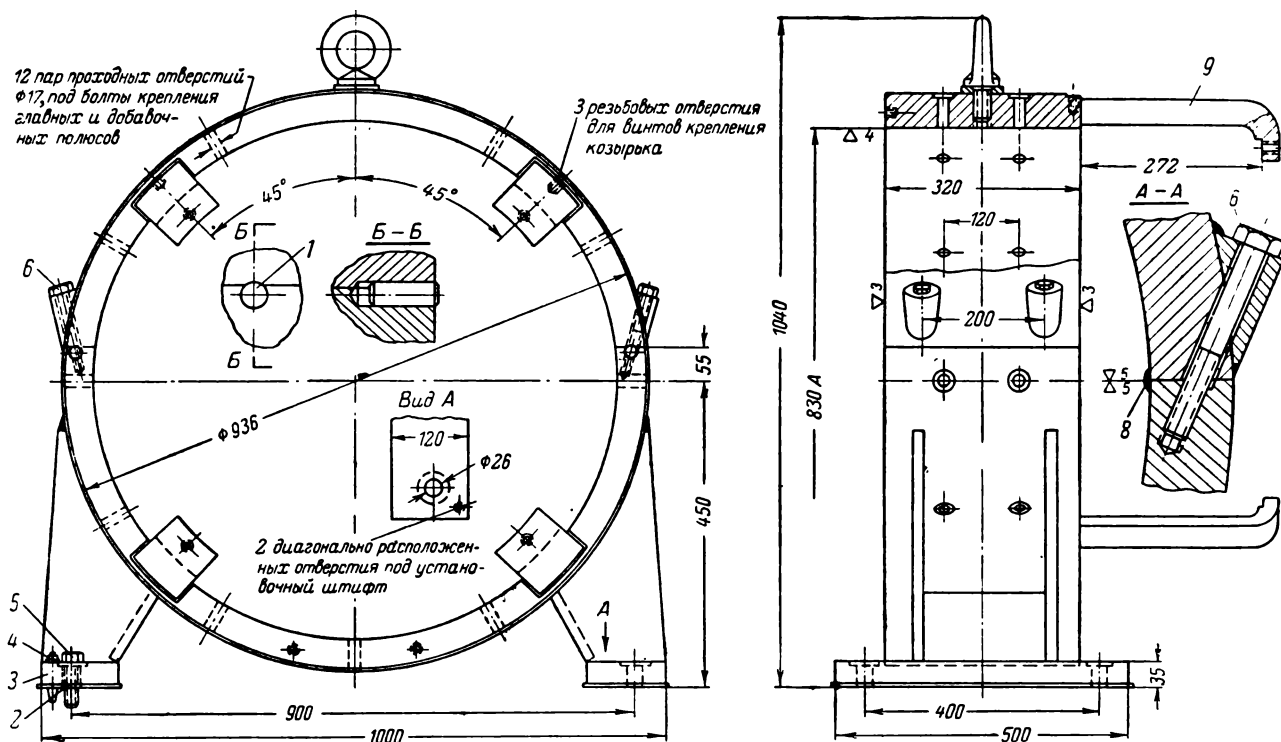


Рис. 20-15. Разъемная станина машины постоянного тока.

1—штифт для установки верхней половины; 2—прокладка под лапы; 3—установочный штифт; 4—гайка для вытаскивания установочного штифта; 5—болт для крепления машины к плите; 6—болт для скрепления половин станины; 7—подъемное кольцо; 8—временный шов для скрепления половин станины при обработке; 9—кронштейн для крепления траверсы щеткодержателей.

но такие машины выполняются на стояковых подшипниках и отсутствие разъема станины мешает использованию тех преимуществ монтажа, которые открывают разъемные стояковые подшипники. В литых станинах для осуществления разъема к каждой половине станины приливали массивные полки для стягивающих болтов. При сварной конструкции для стягивающих болтов к верхней половине станины приваривают легкие бобышки (рис. 20-15), через которые болты *б*, ввертывают в плоскость разъема нижней половины.

Станина машин постоянного тока обычно имеет только один разъем в горизонтальной плоскости. При диаметре свыше 2 м нижняя часть станины помещается в проеме фундамента. Это позволяет облегчить доступ к щеточному аппарату и снизить высоту лап станины и стояков подшипников.

В машинах переменного тока сварные станины применяют при внешнем диаметре статора более 1 м. В таких машинах статор собирают из сегментов.

Машины переменного тока обычно выполняют с неразъемными станинами, пока это допускается условиями перевозки по железной дороге. Это объясняется тем, что разъем ста-

нины требует также разъема сердечника статора, что усложняет конструкцию, вносит несимметрию в магнитную цепь и повышает стальные потери в стыках.

Сварные станины машин переменного тока имеют много преимуществ по сравнению с литыми. Они дают экономию веса до 30%, обеспечивают почти полное отсутствие брака, освобождают от необходимости иметь литейные цехи и упрощают механическую обработку. Типичная форма сварной станины показана на рис. 20-16. Она состоит из двух торцовых листов, между которыми сварены продольные ребра *з*. Снаружи станина ограничивается обечайкой *8* из относительно тонкого листа. Торцовые листы делают с разными внутренними диаметрами. Один из них с меньшим диаметром служит упором для сердечника статора. Второй опорный лист *4* притягивается болтами. Сегменты *5* набираются на шпильки *б*, которые вставлены в отверстия в торцовых листах, и стягиваются гайками *7*.

Станины машин переменного тока мощностью до 500—600 кВт отливают из чугуна. В связи с тем, что станины этих машин несут только механическую нагрузку, они резко отличаются по конструкции от станин машин

постоянного тока. Для придания станине необходимой жесткости при минимальном весе сечению станины придают корытообразную форму (рис. 20-17), а на внутренней окружности располагают продольные ребра для посадки статора. Промежутки между ребрами служат вентиляционными каналами.

Чугун — самый дешевый материал для литья. Он легко плавится, хорошо заполняет формы, легко обрабатывается. Поэтому наличие ребер на обрабатываемой поверхности не вызывает трудностей для механической обработки. Основные направления рационализации чугунных станин заключаются в снижении их веса, упрощении формовки и механической обработки.

Основное применение имеет чугун марки СЧ-12-28. Чугунные станины никогда не делают разъемными, так как в том диапазоне мощностей, в котором они применяются, в разъем станин нет необходимости.

Серии асинхронных двигателей имеют два исполнения: продуваемое и обдуваемое. В зависимости от исполнения двигателя резко меняется форма станины. Если в продуваемых двигателях ребра располагаются на внутренней поверхности, то в обдуваемых машинах внутренняя поверхность станины представляет собой цилиндрическую поверхность, а на наружной расположены продольные ребра для увеличения поверхности, обдуваемой вентилятором. Однако в обоих случаях для обеспечения необходимой жесткости станины ребра должны быть слиты с вертикальными торцовыми стенками станины.

При проектировании станин необходимо учитывать ряд технологических соображений, обеспечивающих удобство формовки, сварки, обработки и сборки.

а) Простота формовки. В отношении формовки и отливки станина является ответственной деталью, так как это самая тяжелая по весу деталь машины, иногда очень сложной формы. При проектировании станины надо стремиться к минимальному числу стержней при формовке. Это главным образом относится к форме лап. Все стенки и ребра отливки должны иметь литейные конусы для возможности выемки моделей из формы или стержня из стержневого ящика. Переход от толстой стенки обода магнитно-нагруженных станин к значительно более тонким стенкам лап должен быть плавным, так как в противном случае при

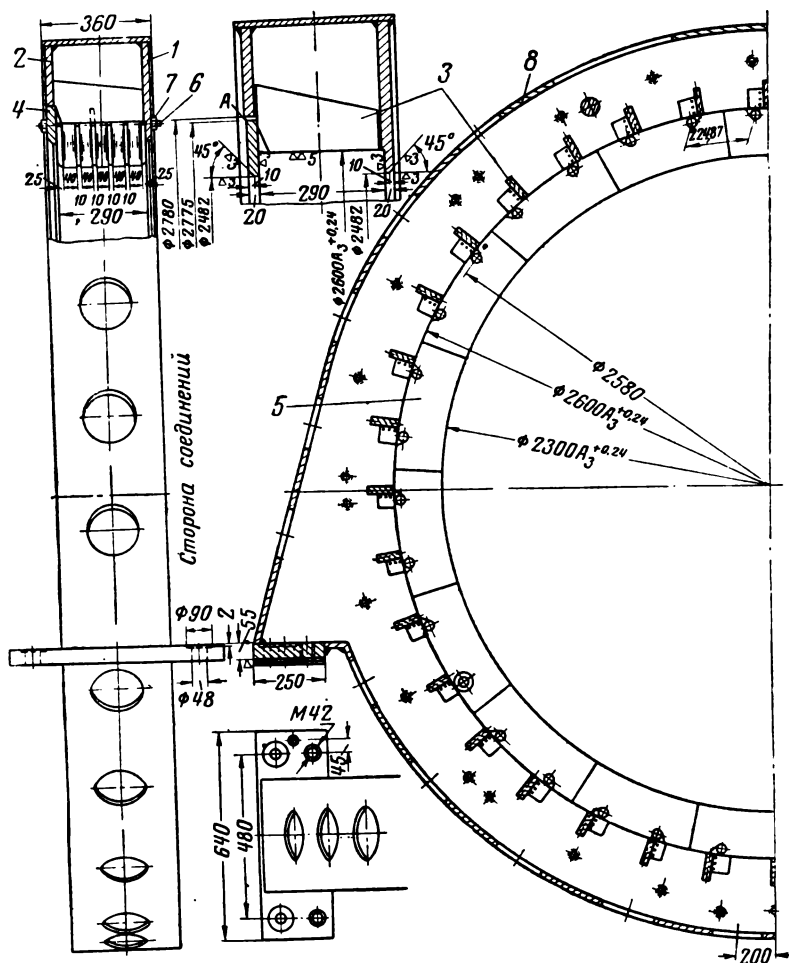


Рис. 20-16. Сварная станина машины переменного тока.

заливке форм получается «незалыв» лап вследствие того, что жидкий металл преждевременно затвердевает в узких каналах и не заполняет формы. После предварительной наметки конструкции станины она должна быть согласована с технологом литейного цеха, который может дать много ценных указаний и советов. Часто незначительными изменениями чертежа достигается огромная экономия в процессе формовки и изготовления моделей и стержневых ящиков.

б) Технологичность сварных станин. Сварные станины имеют технологию, совершенно отличную от литых, и поэтому проектировать их надо на основе других принципов (§ 20-3). Основная ошибка, допускаемая часто при проектировании сварных деталей, заключается в том, что их стремятся полностью уподобить по форме литым деталям. При этом обычно сварная деталь становится дороже литой, так как она получается состоящей из большого количества составных частей очень сложной формы, а заготовка их связана с большими отходами металла.

в) Удобство обработки. Одним из решающих моментов с точки зрения обработки станин является их жесткость, так как если станина деформируется под усилием кулачков патрона или реза, то ни при какой технологии обработки нельзя добиться требуемой точности и чистоты поверхности. Это в первую очередь

относится к литым чугунным станинам асинхронных двигателей, у которых часто слишком утоньшают стенку по соображениям экономии веса. Следует отметить, что продольные ребра на тонкой трубе не увеличивают жесткости станины в радиальном направлении.

Классы точности на обрабатываемых поверхностях следует назначать с учетом технической целесообразности (§ 20-4).

Для упрощения сверления необходимо стремиться к максимальной унификации диаметров отверстий и резьб.

г) Удобство сборки и монтажа машин. При сборке подшипниковых щитов со станиной необходимо, чтобы щиты устанавливались без перекоса и доходили до упора. Поэтому на замках станины надо всегда снимать фаски. Соотношение длины замка у станины и щита должно быть таким, чтобы щит упирался в одну, а не в две поверхности (рис. 20-7).

Отверстия в лапах для болтов должны быть расположены так, чтобы можно было вставить болты сверху и удобно пользоваться гаечным ключом.

В разборных станинах машин постоянного тока разъем станины надо делать не по горизонтальному диаметру, а несколько выше, так, чтобы при разборке не надо было снимать полюса.

В лапах больших станин, кроме проходных отверстий для фундаментных болтов, необходимо сделать с каждой стороны по два отверстия с резьбой. Ввертывая в них болты до упора в раму и пользуясь ими как домкратами, удобно выверять машину на фундаменте при монтаже.

В асинхронных электродвигателях единой серии 3 и 4-го габаритов наряду с чугунными станинами применяются алюминиевые. Хотя алюминий в несколько раз дороже чугуна, но

применение алюминиевых станин дает значительный экономический эффект. Это объясняется тем, что удельный вес алюминия в 2,8 раза меньше чугуна. Кроме того, алюминиевую отливку по условиям технологии можно сделать с более тонкими стенками, чем чугунную. Отливка алюминиевых станин производится в стальные формы, что позволяет освободиться от литейных цехов с громоздким участком подготовки формовочной земли. Алюминиевые отливки могут иметь значительно меньшие припуски на обработку, и вследствие мягкости алюминия механическая обработка обходится значительно дешевле, чем обработка чугунных станин.

Однако алюминиевые станины не могут полностью заменить чугунные, так как вследствие меньшей прочности алюминия они применяются только в двигателях с относительно легкими условиями эксплуатации. Алюминий не допускает воздействия на него щелочей, которые легко его разъедают.

Алюминиевые станины находят очень широкое применение в микромашинах, где они уже не являются отдельными деталями, а соединяются в одно конструктивное целое с сердечником статора. При этом отпадает обработка наружной поверхности статора, внутренней поверхности станины и крепежные детали статора в станине становятся ненужными.

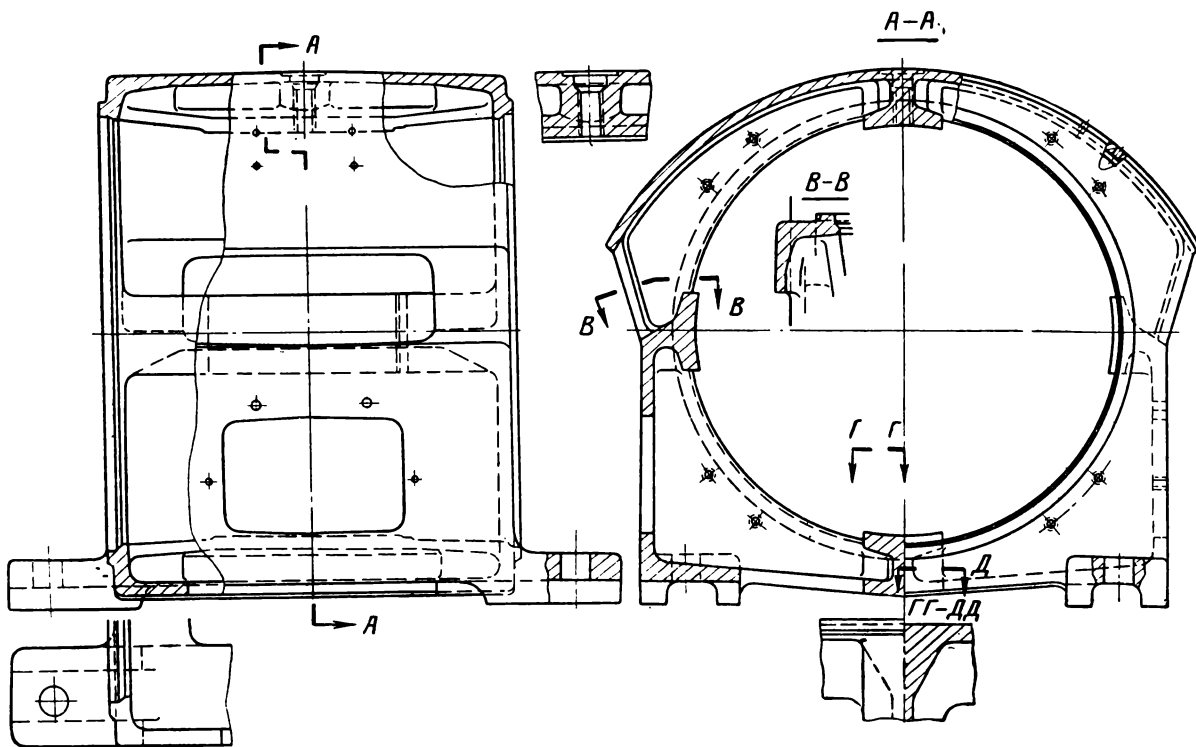


Рис. 20-17. Чугунная станина асинхронного двигателя.

20-10. ТРАВЕРСЫ

Траверса предназначена для того, чтобы передвигать одновременно все щетки по окружности коллектора и обеспечить равномерное распределение по окружности коллектора щеток, сидящих на разных пальцах. Хотя современные машины постоянного тока выполняются с добавочными полюсами и положение нейтрали у них постоянное, однако траверсы сохранились, так как они позволяют за счет поворота щеток компенсировать неточности сборки и обмотки. С точки зрения технологии наличие траверсы позволяет дифференцировать сборку и собирать весь щеточный аппарат отдельно от машины.

Расстояние между центрами отверстий траверсы и направление осей отверстий должны быть точно выдержаны, так как этим определяются равномерное расположение щеток по окружности коллектора и параллельность щеточных пальцев.

Машины малой мощности в целях сокращения габаритов иногда изготавливаются без поворотной траверсы, и щеточные пальцы укрепляются на стенке подшипникового щита. Если машина не имеет добавочных полюсов, то при обмотке концы проводников смещают по окружности коллектора на величину сдвига нейтрали, определяемую расчетным путем и проверяемую при испытании пробных образцов машины. Следует отметить, что сдвиг проводников обмотки должен быть сделан в противоположную сторону по сравнению со сдвигом щеток. Так, например, если в генераторах щетки сдвигают по направлению вращения, то концы обмотки должны быть смещены против направления вращения. В электродвигателях, где щетки сдвигают против направления вращения, концы обмотки должны быть сдвинуты по направлению вращения.

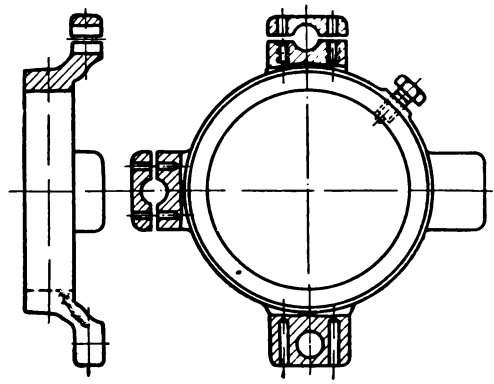


Рис. 20-18. Траверса щеткодержателей.

В машинах малой и средней мощности траверсы надевают на специальную заточку переднего подшипникового щита (рис. 20-18) и застопоривают винтом. Положение траверсы устанавливают при испытании машины и отмечают чертой, проведенной через ее торец и головку подшипникового щита. Таким образом, при сборке машины в процессе эксплуатации положение траверсы определяют по совпадению черты на обеих деталях. В машинах на стояковых подшипниках траверсы укрепляют на торце станины (рис. 21-15). При большой длине коллектора к траверсе прикрепляют массивные кронштейны (бракетты), на которых закрепляют щеткодержатели.

Соединение между щеточными пальцами одинаковой полярности, а также с полюсными катушками и зажимами при токе до 200 а делают проводами, свитыми из тонких медных проволок и изолированными вулканизированной резиной, с защитной оплеткой проводов пряжей (марка ПРГ).

ГЛАВА ДВАДЦАТЬ ПЕРВАЯ

СБОРКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

21-1. ХАРАКТЕРИСТИКА СБОРОЧНЫХ РАБОТ

В процессе сборки электрической машины не создается никаких новых деталей, а производится лишь соединение комплектных узлов и отдельных деталей в готовую машину. Сборка имеет важное влияние на качество машины. При неправильной сборке могут быть повреждены детали машины, особенно обмотки, сердечники, шейки валов, подшипники и т. п. Поэтому сборка должна выполняться соответ-

ственно установленному технологическому процессу с применением необходимых приспособлений. Она является проверкой качества выполнения отдельных узлов и деталей машин, а также технологичности ее конструкции.

Основные операции общей сборки машины заключаются в установке якоря или ротора на подшипниках внутри статора, сборке подшипниковых узлов, щеточного аппарата и выводных устройств для присоединения к сети.

К подготовительным операциям относится балансировка вращающихся частей.

Крупные машины после контрольных испытаний на заводе разбирают и отправляют на место установки в разобранном виде. Для обеспечения правильной сборки на месте установки положение лап станины и стояковых подшипников на фундаментной плите фиксируют установочными штифтами. Прокладки под лапы станины и стояки подшипников, которыми выверяют положение валов при центровке, отправляют вместе с машиной с указанием количества и места их установки.

Крупные гидрогенераторы на заводе не разбирают, а детали и узлы отправляют на гидростанцию для монтажа.

21-2. БАЛАНСИРОВКА РОТОРОВ

Балансировка заключается в совмещении центра тяжести ротора с осью вращения. К этой операции приходится прибегать, так как обычно центр тяжести смещается с оси вращения. Причинами смещения центра тяжести являются: разностенность литых деталей, неоднородная плотность шихтованных сердечников и неравномерное распределение лобовых частей обмотки по окружности. В некоторых машинах добавляются еще дефекты конструкции, заключающиеся в несимметричных приливах, различной толщине ребер или отсутствии в роторе специальных мест для крепления балансировочных грузов.

При вращении несбалансированных масс возникают центробежные силы, которые вызывают сильные вибрации, разрушают фундаменты и подшипники, а в быстроходных машинах могут привести к авариям.

Вес балансировочного груза определяется из следующего уравнения моментов:

$$Ge = Pr, \quad (21-1)$$

где G — вес якоря или ротора;
 e — смещение центра тяжести;
 P — вес балансировочного груза;
 r — расстояние балансировочного груза от оси вращения,
откуда

$$P = \frac{Ge}{r} \quad (21-2)$$

Очевидно, что чем больше расстояние r , тем меньше может быть величина груза P . Поэтому балансировочные грузы стремятся расположить на возможно большем расстоянии от центра ротора.

Следует различать три вида дебалансов: статический, динамический и смешанный. Сме-

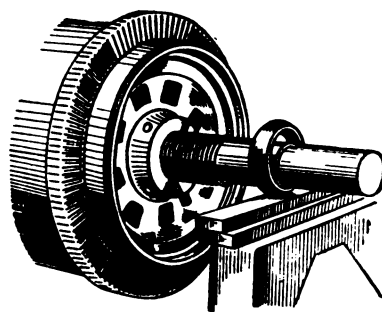


Рис. 21-1. Балансировочное кольцо.

шанный и динамический дебалансы могут быть устранены установкой грузов на обоих торцах якоря, а статический — на одном. Статические дебалансы могут иметь короткие роторы тихоходных машин при скорости вращения не выше 1000 об/мин. При больших скоростях вращения и для роторов с длиной сердечника, превышающей радиус ротора, нельзя ограничиться устранением только статического дебаланса. Это объясняется тем, что при вращении ротора с большой скоростью каждый торец будет иметь самостоятельные биения, вызванные несбалансированными массами. Такой дебаланс называют динамическим и его можно устранить только двумя грузами, расположенными в двух плоскостях ротора. Смешанный дебаланс отличается от динамического тем, что грузы на двух торцах ротора могут быть не равны и расположены не диаметрально противоположно.

В соответствии с видами дебалансов существуют различные способы балансировки: статические и динамические. Статическими способами балансировки можно устранить только статический дебаланс, а динамическими — любой вид дебаланса и с гораздо большей точностью.

Наиболее распространенным методом статической балансировки является перекачивание ротора, положенного шейками вала на горизонтальные стальные линейки. Очевидно, что ротор будет находиться в устойчивом равновесии, когда центр его тяжести будет в самой нижней точке. Будучи выведен из этого положения принудительно, он возвратится к нему после нескольких перекачиваний то в одну, то в другую сторону. Если диаметры шеек вала разные, то качение будет происходить с разными окружными скоростями, что снизит точность балансировки. Для устранения этого при статической балансировке применяют кольцо, толщина которого равна разности радиусов шеек вала (рис. 21-1). Наружную поверхность кольца делают сферической,

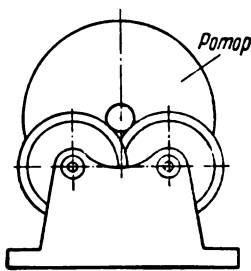


Рис. 21-2. Балансировка на дисках.

чтобы облегчить перекачивание его по линейке.

Для легких роторов весом до 30 кг вместо линеек применяют тонкие, вращающиеся на шарикоподшипниках стальные диски (рис. 21-2), на которые кладут шейки вала ротора. При хорошем состоянии подшипников этот способ обеспечивает большую точность, чем перекачивание ротора на линейках.

Статическая балансировка может быть выполнена методом взвешивания (рис. 21-3). Ротор 4 кладут шейками вала на подшипники 5 рамы 1, которая может качаться на призме 2, опирающейся на опору 3. В таком положении ротор уравнивают грузом 6. Если теперь повернуть ротор на 180°, то центр тяжести его *A* переместится по окружности и потребуются дополнительный груз для уравнивания, которое устанавливается по стрелке индикатора 7, соединенного с рамой 1. На станке для балансировки дополнительный груз перемещается по линейке, шкала которой градуирована по моментам в граммосантиметрах. Разделив величину момента на плечо груза, получим величину груза.

Определив смещение центра тяжести ротора, к противоположной стороне прикрепляют балансировочный груз. Величину груза подбирают опытным путем до тех пор, пока ротор не перестанет перекачиваться, будучи остановлен в любом произвольном положении.

Балансировочные грузы должны быть надежно закреплены как от передвижения по окружности ротора, так и от отрыва под действием центробежной силы. Прежде балансировку производили исключительно свинцовыми грузами, так как свинец обладает большим

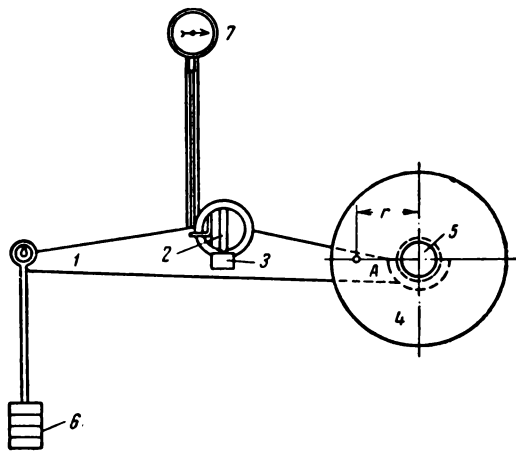


Рис. 21-3. Балансировка методом взвешивания

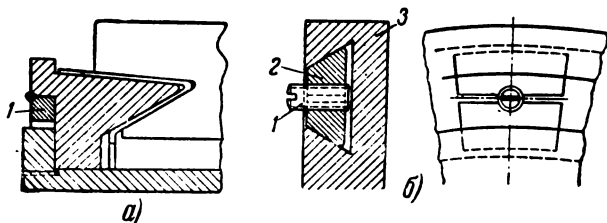


Рис. 21-4. Балансировочные грузы.

удельным весом и ему легко можно придавать различные формы и резать на куски. Но при большой скорости вращения свинцовый груз может изменять форму под действием центробежной силы или оторваться от ротора.

В машинах новых типов применяют балансировочные грузы 1, которые согнуты из полосовой или квадратной стали и приварены к торцам ротора или якоря (рис. 21-4,а). Для быстроходных машин со скоростями вращения 3000 об/мин применяют грузы, нарезанные из стального кольца трапециевидального сечения (рис. 21-4,б). Каждый грузик 2 разрезан пополам и крепится винтом 1, прижимающим обе половинки груза к канавке, проточенной в нажимной шайбе ротора 3. Балансировку производят, передвигая эти грузики по окружности ротора.

Балансировку ротора можно производить и без грузов путем удаления части металла с противоположной стороны ротора.

На рис. 21-5 показан станок ХЭМЗ для балансировки роторов, совмещенный со сверлильным станком для высверливания отверстий в торце ротора. Балансировка производится статическим методом. Для более легкого перекачивания ротора в качестве линеек применены круглые валики 5, которые крепят при помощи хомутов 3. В процессе балансировки на вал ротора надевают стальное кольцо 9 с равномерно распределенными отверстиями диаметром 20 мм и стопорят его на валу винтом. В эти отверстия при балансировке вставляют гирьки. По окончании балансировки ротор перекачивают на призму 7 сверлильного станка и при помощи пневматического цилиндра 2 поднимают его до упора в планку 8. Она имеет два выреза для роторов разных диаметров и передвигается в прорези кронштейна 6. Ротор устанавливают так, чтобы гирька в балансировочном кольце была в нижней точке. Через отверстие, диаметрально противоположное гирьке сверлом 4, закрепленным в сверлильной головке 1, просверливают отверстие в торце сердечника глубиной, разной толщины гирьки. Отверстие в балансировочном кольце используется при сверлении как втулка кондуктора.

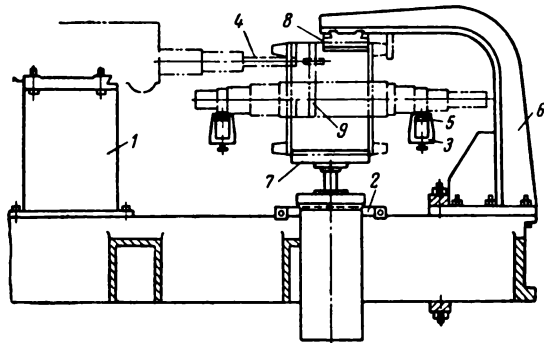


Рис. 21-5. Балансировочный станок.

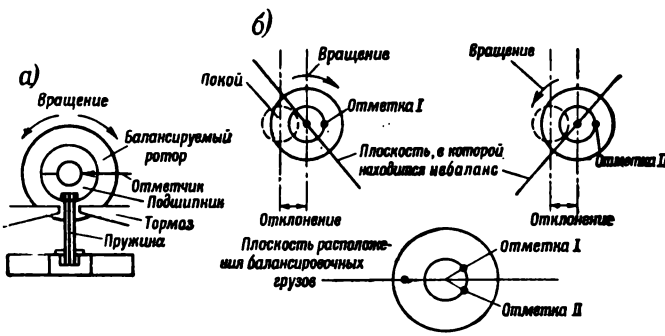


Рис. 21-6. Схема станка для динамической балансировки.

Не следует балансировать ротор путем высверливания алюминиевого замыкающего кольца обмотки. Ввиду малого удельного веса алюминия в таких случаях приходится удалять значительную часть его сечения, что нарушает симметрию обмотки.

В машинах постоянного тока балансирующие грузы располагают в торцах нажимного конуса коллектора и нажимной шайбы якоря. В машинах с коллектором из пластмассы на вал рядом с коллектором насаживают металлическое кольцо, в обод которого просверливают отверстия для балансировки.

При балансировке путем напайки кусочков припоя на проволочные бандажки лобовых частей обмотки грузы растягивают бандажки и при вращении ротора балансировка нарушается, а при больших грузах может произойти разрыв бандажки.

Балансировку роторов микромашин производят путем фрезерования коронок зубцов, забиванием медного клина в один из пазов и другими способами.

Для проведения динамической балансировки ротор устанавливают в подшипниках специального станка (рис. 21-6). Эти подшипники укреплены на плоских пружинах и могут быть зажаты между тормозами или совершать свободные колебания вместе с пружиной. Ротор при помощи электродвигателя приводят во вращение. Появляющаяся при этом центробежная сила дебаланса, которая направлена радиально, будет раскачивать подшипники станка. Для проведения балансировки один подшипник закрепляют неподвижно, а другой освобождают и под действием дебаланса он колеблется. На какой-либо точно обработанной поверхности ротора, концентричной с осью вала, делают цветным карандашом отметку в точке наибольшего отклонения ротора. Однако по этой точке еще нельзя точно определить место, где находится дебаланс ротора, так как наибольшее отклонение ротора получается с некоторым запаздыванием по отношению к положению дебаланса. Это запаздывание зависит от отношения скорости вращения к собственной частоте колебаний ротора на опорах.

При совпадении числа оборотов ротора с частотой собственных колебаний происходит резонанс и колебания приобретают наибольший размах. При резонансе величина запаздывания близка к 90° и, следовательно,

место дебаланса на роторе может быть найдено отсчетом от середины отметки 90° вперед по вращению, а место установки груза 90° — против вращения.

Если балансировку производят при скорости вращения, меньшей резонансной, то для определения положения дебаланса делают две отметки (I и II) карандашами разных цветов при разных направлениях вращения. Тогда дебаланс находится посредине между отметками, а балансирующий груз устанавливают в диаметрально противоположной точке окружности ротора. Величину груза подбирают опытным путем — до исчезновения вибраций подшипника. После того как отбалансирована одна сторона якоря, подшипник закрепляют неподвижно, а подшипник другой стороны освобождают и аналогично производят балансировку. Затем повторяют балансировку первой стороны и в случае необходимости устанавливают дополнительный груз.

В настоящее время существует много станков для динамической балансировки, на которых величину и положение балансирующего груза определяют по специальным приборам.

21-3. ДИАГРАММЫ БАЛАНСИРОВКИ

При отсутствии сложных балансирующих станков динамическая балансировка может быть произведена в собственных подшипниках. Необходимо только иметь приборы для замера наибольшей величины вибрации ротора (виброметр) и углового положения дебаланса (неоновая лампа).

На рис. 21-7 показаны диаграммы устранения статического дебаланса ротора методом динамической балансировки. Делается пробный разгон ротора, и измеренные величины наносят на диаграмму вибраций (рис. 21-7, а). Амплитуда вибраций оказалась равной $0,37$ мм, а угол дебаланса 55° от начала координат, выбранного в первом квадранте. Затем на роторе укрепляют произвольный пробный груз, величину и положение которого наносят на диаграмму грузов (рис. 21-7, б). Как видно на диаграмме, груз был взят 17 г и укреплен под углом 190° . После этого ротору сообщается вторичный разгон, при котором были замерены амплитуда вибраций $0,14$ мм и угол дебаланса 155° . Этих данных достаточно, чтобы довести балансировку до конца. Для этого поступают следующим образом. Вычитая на диаграмме вибраций векторы амплитуд, получают вектор с амплитудой $0,43$ мм. Из центра диаграммы откладывают параллельный ему вектор и измеряют угол 209° . Этот вектор определяет эффект от пробного груза. Если теперь от центра диаграммы отложить вектор, диаметрально противоположный вектору собственного дебаланса ротора, то он окажется под углом 235° .

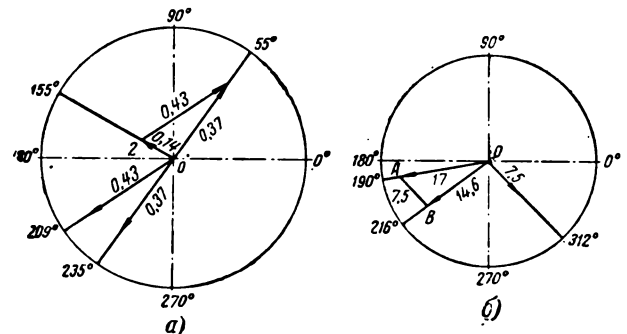


Рис. 21-7. Диаграммы вибраций и грузов.

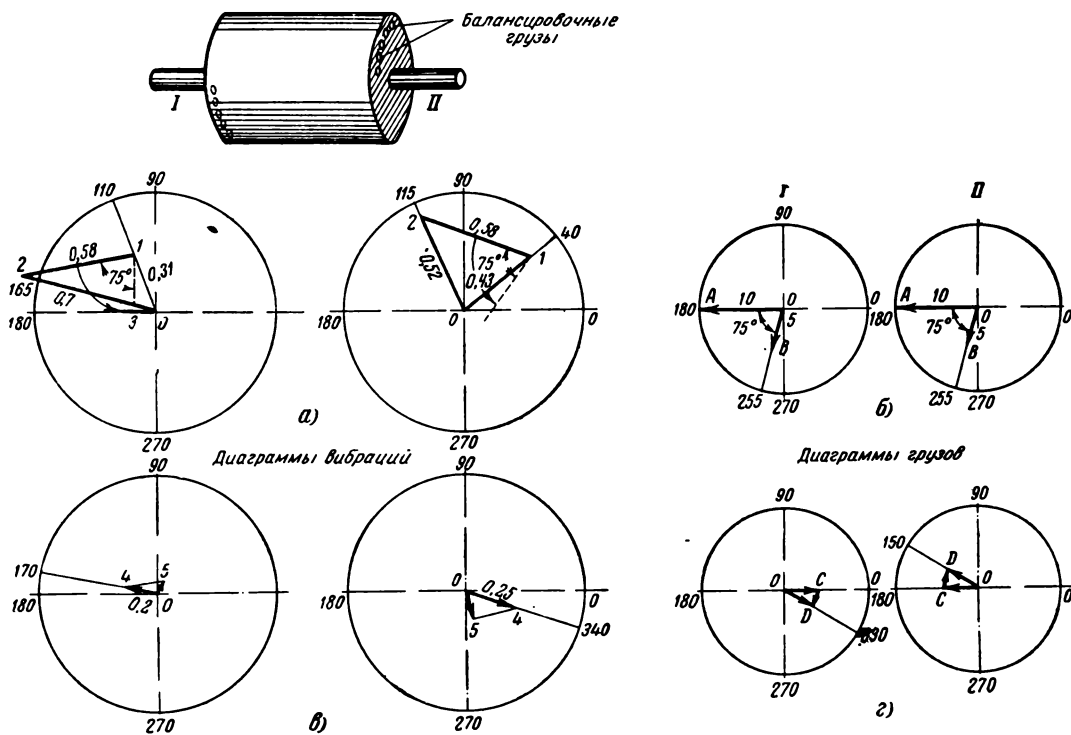


Рис. 21-8. Диаграммы динамической балансировки.

Угол 26° между этими векторами есть угол поправки, которую надо внести в положение пробного груза. Поправку на величину груза легко определить из пропорции

$$\frac{17}{x} = \frac{0,43}{0,37},$$

откуда требуемая величина груза будет:

$$x = \frac{17 \cdot 0,37}{0,43} = 14,6 \text{ г.}$$

Таким образом, пробный груз надо поместить под углом 216° , а величину его взять $14,6 \text{ г}$. Теперь можно поступить двояким образом: или перенести груз в новое место и уменьшить его величину до $14,6 \text{ г}$, или оставить груз 17 г на прежнем месте и добавить груз $7,5 \text{ г}$ под углом 312° , как это вытекает из графического сложения векторов. Третий разгон ротора можно провести только для проверки сделанных вычислений. Применение графического метода позволяет избежать многих лишних разгонов ротора и обойтись минимальной величиной балансировочного груза.

На рис. 21-8 показано устранение омешанного дебаланса. Замеры производились при одновременном колебании обеих сторон ротора, поэтому были построены две диаграммы вибраций и две грузов. При первом разгоне на торце I были зафиксированы амплитуды вибраций $0,31 \text{ мм}$ и угловое положение дебаланса 110° , а на торце II соответственно $0,43 \text{ мм}$ и 40° (рис. 21-8,а). Как правило, если разность между угловыми положениями дебалансов меньше 90° , то сначала устраняют статический дебаланс. Для этого на обоих торцах были укреплены грузы по 10 г под углом 180° (рис. 21-8,б).

При втором разгоне ротора амплитуда вибраций на торце I стала $0,7 \text{ мм}$ и ее положение 165° , а на тор-

це II — соответственно $0,52 \text{ мм}$ и 115° . Эффект пробных грузов выразился векторами 1—2 (рис. 21-8,а). На основании этих данных можно полностью устранить статический дебаланс. Как видно из диаграмм вибраций, если векторы 1—2, амплитуда которых равна $0,58 \text{ мм}$, повернуть на 75° каждый, как показано пунктиром, то они будут равноудалены от центра, т. е. образуют пару сил. В соответствии с этим вторые грузы по 5 г с каждой стороны ротора ставим со сдвигом по отношению к первым на 75° , т. е. под углом 255° . Результаты замеров после третьего разгона ротора показаны векторами 3—4 на диаграмме вибраций (рис. 21-8,в). Теперь ротор имеет почти чистый динамический дебаланс. Поэтому грузы OC (рис. 21-8,г) укрепляются диаметрально противоположно, что не может вызвать нового статического дебаланса. При следующем разгоне фиксируются вибрации, выраженные векторами 0—5 (рис. 21-8,в), а окончательные балансировочные грузы по величине и направлению должны соответствовать векторам 0—D. На этом балансировка заканчивается.

21-4. СБОРКА ПОДШИПНИКОВЫХ УЗЛОВ

Сборка электрических машин начинается с насадки на вал подшипников качения. Если в машине имеются внутренние крышки подшипников, то они должны быть надеты на вал до посадки подшипников.

Шарикоподшипники являются неразборными комплектами. Что касается роликоподшипников, то они перед насадкой на вал разделяются. Внутреннее кольцо идет на насадку на вал, а внешнее — на сборку в подшипниковый щит или в капсуль.

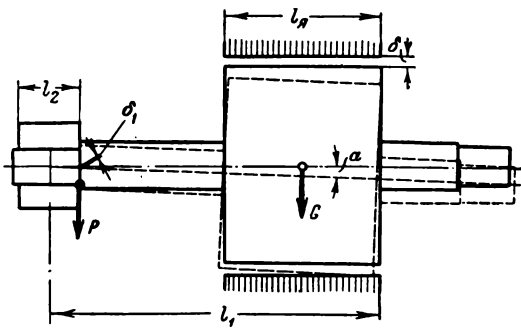


Рис. 21-9. Перекос подшипников при сборке.

Следует отметить одно обстоятельство, на которое часто недостаточно обращают внимание в сборочных цехах. При сборке и разборке машины подшипниковые щиты присоединяют или отделяют от станины не одновременно. При этом якорь занимает положение, показанное пунктиром на рис. 21-9. Одна сторона якоря опускается на полюсы, а вал занимает наклонное положение под углом α по отношению к горизонтали:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\delta}{l_1}. \quad (21-3)$$

Если при этом один подшипник сидит в замке станины, то получается перекося шейки вала в подшипнике

$$\delta_1 = \frac{l_2}{2} \operatorname{tg} \alpha, \quad (21-4)$$

а на роликах создается усилие P . При этом у роликоподшипников с цилиндрическими ро-

ликами могут образоваться вмятины на кольцах. При повреждении рабочей поверхности подшипник работает с ударами, которые значительно снижают срок его службы. Это устраняется при вертикальном способе сборки, когда якорь вместе с подшипниковым щитом опускают в станину краном. Этот способ применяют при сборке тяговых двигателей.

Перед насадкой подшипники нагревают до $80-90^\circ \text{C}$ в масляной ванне, из которой их достают крючками. При переносе к месту сборки машин масло стекает с подшипников и загрязняет рабочие места. Подшипник, сорвавшийся в ванну с крючка, образует брызги масла, которые могут причинить ожоги. Для устранения этих недостатков на заводе имени Владимира Ильича применена ванна, в которой подшипники помещают в проволочную корзину. Перед выниманием подшипников корзину поднимают над ванной с помощью пневматического подъемника и масло с них стекает [Л. 21-4].

Ванна (рис. 21-10) состоит из внутреннего резервуара 1 для масла. Ребристая наружная поверхность дна 2 обеспечивает площадь, необходимую для обогрева резервуара. Спиральные обогреватели уложены на керамическую плиту 3, которая установлена на опорных угольниках 4. Для теплоизоляции наружного кожуха 5 пространство между его двойными стенками заполнено асбестовой набивкой 6.

Подъемная корзина 7 представляет собой четырехугольную коробку с решетчатым дном. Со стороны рабочего места она не имеет стенок, что облегчает загрузку и выемку подшипников. Подъем корзины производится с помощью пневмоцилиндра 8 двустороннего действия, подвешенного к каркасу ванны. Шток с ходом поршня 170 мм шарнирно соединен системой рыча-

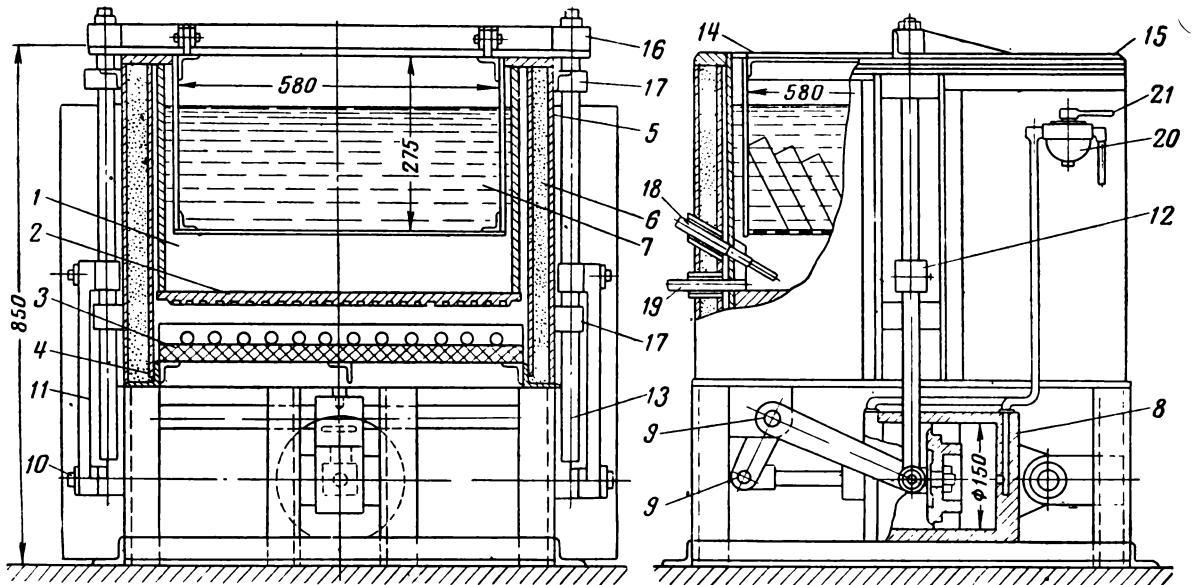


Рис. 21-10. Масляная ванна для нагрева подшипников.

гов 9 с нижними осями 10 ведущих шатунов 11, которые располагаются по обеим сторонам ванны. Верхние оси шатунов соединяются с боковыми колонками 13 подъемной корзины. Для регулирования величины подъема верхние оси могут переставляться по направляющим колонкам 13.

Верхняя поперечина 16, приваренная к подъемной корзине, имеет по обе стороны ванны выпущенные концы, к которым жестко крепятся направляющие колонки корзины. Свободные концы направляющих колонок скользят в двух боковых опорах 17, которые крепятся к кожуху ванны. Управление подъемом и спуском ванны производится воздушным распределителем крана 20 путем перестановки рукоятки 21 в различные положения. Для контроля температуры ванны имеется специальный патрубок 18 для термометра. Масло из ванны спускается через сливную грубу 19. Сверху корзина прикрывается двумя крышками, из которых задняя 14 закреплена наглухо, а передняя 15 — откидная.

21-5. ВВОД РОТОРА В СТАТОР

Наиболее ответственной операцией при сборке электрических машин является ввод ротора в статор. Для предохранения поверхностей ротора и статора от повреждений между ними вкладывают лист картона 1 (рис. 21-11,а).

Сначала ротор застропливают краном, как показано на рис. 21-11,а, за среднюю часть сердечника и вводят в расточку статора. При этом конец вала обычно не выступает за то-

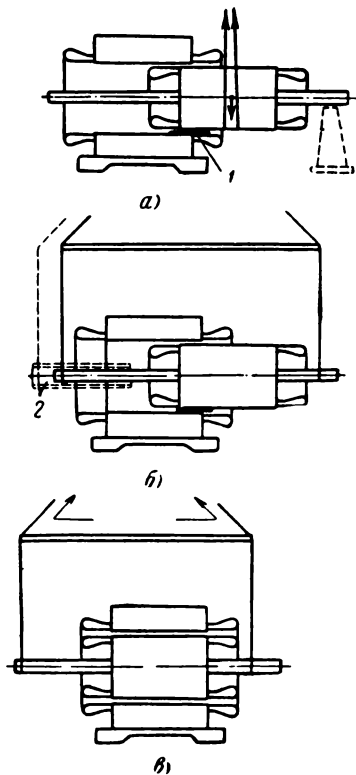


Рис. 21-11. Ввод ротора в статор.

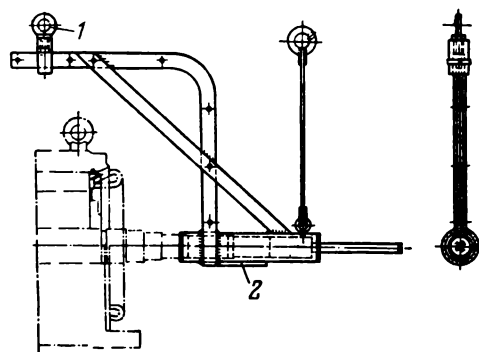


Рис. 21-12. Приспособление для ввода ротора в статор.

рец статора. Для удлинения вала на него надевают стальную трубу 2 с прокладкой из картона, чтобы не повредить шейки вала. Затем застропливают ротор краном, как показано на рис. 21-11,б, и продвигают его вдоль статора (рис. 21-11,в). После этого надевают на вал подшипниковые щиты, снова захватывают концы вала стропами и, приподняв ротор, вдвигают подшипниковые щиты в отверстие замка станины.

На рис. 21-12 показано приспособление завода имени Владимира Ильича, которое дает возможность одному рабочему-сборщику выполнить операцию ввода ротора в статор. Для этого на конец вала ротора надевают трубу приспособления 2, подхватывают его краном за подъемное кольцо 1, устанавливаемое на кронштейне по центру тяжести ротора, и вводят в отверстие статора.

Операции ввода роторов крупных машин в неразъемные статоры описаны в § 21-11 и 21-14.

Болты при сборке заворачивают пневматическими или электрическими болтовертами, которые намного снижают трудоемкость работ.

21-6. СБОРКА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ АК-92

Последовательность операций сборки машины средней мощности рассмотрена на примере электродвигателя единой серии с контактными кольцами АК-92 (рис. 21-13). Особенностью его конструкции являются нажимные шайбы ротора, которые выполнены отдельно от обмоткодержателей 6. Это упрощает конструкцию деталей и процесс прессовки сердечника. Обмоткодержатели надевают на вал перед укладкой обмотки в пазы и застопоривают винтами. Кольца ступицы и обмоткодержатели соединены ребрами, через которые проходит охлаждающий воздух, пргоняемый лобовыми частями обмотки. К выступам ребер

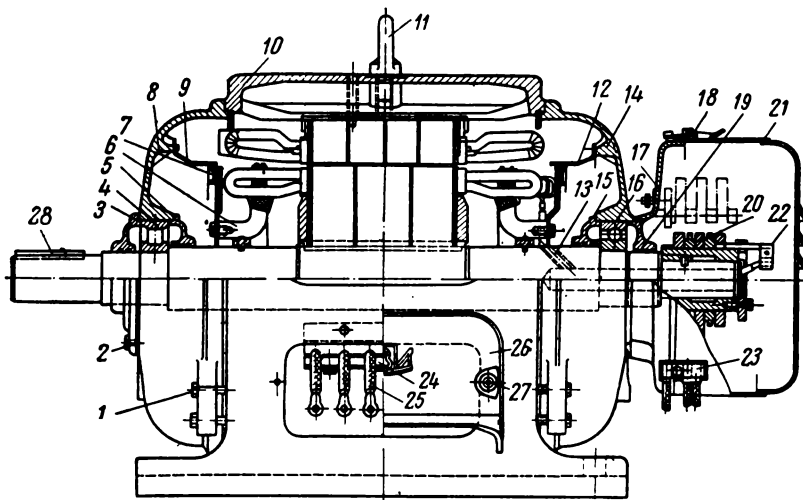


Рис. 21-13. Электродвигатель АК-92.

обмоткодержателей привернуты штампованные диски с приваренными к ним коробчатыми желобками 7 для балансировочных грузов. К этим желобкам с небольшим зазором примыкают диффузоры 9, приклепанные к подшипниковым щитам и служащие для направления охлаждающего воздуха. Благодаря тому, что контактные кольца вынесены на конец вала, подшипниковые щиты имеют симметричную форму. Оба подшипника имеют одинаковые размеры. Компенсация линейных допусков и температурного удлинения вала осуществляется за счет возможности перемещения роликов вдоль внешнего кольца 4.

В двигателях с вынесенными контактными кольцами необходимо обеспечить возможность разборки машины без снятия контактных колец с вала. В двигателях АК это выполнено за счет того, что диаметр контактных колец 20 меньше отверстия под подшипник 16 в шпиге 14. Внешняя крышка подшипника 19 не имеет фланца, чтобы не мешать съёмке подшипникового щита 14. Чашку 17, в которой закреплен палец щеткодержателей, надевают на крышку подшипника 19 и крепят болтами, которые на чертеже не показаны, к подшипниковому щиту 14. Три выводных провода 13 от обмотки ротора пропущены через отверстие в валу и соединены с шинами контактных колец наконечниками 22.

Основные операции сборки электродвигателя нужно выполнять в такой последовательности.

Привернуть диски к обмоткодержателям 6 и отбалансировать ротор.

Надеть на вал крышки подшипников 5 и 15, ввернув в них по одной шпильке вместо болта 2.

Нагреть в масляной ванне шарикоподшипник 16 и внутреннее кольцо роликоподшипника 4 и насадить их на вал.

Приклепать диффузоры 9 и 12 к подшипниковым щитам 8 и 14.

Ввернуть подъемное кольцо 11 в станину статора 10 и подать ее на сборочный верстак.

Вставить ротор в отверстие статора.

Посадить внешнее кольцо роликоподшипника 4 в подшипниковый щит 8.

Надеть подшипниковый щит 8 на роликоподшипник, ориентируя его по шпильке, ввернутой в крышку 5.

Приподнять ротор за конец вала, ввести замок подшипникового щита 8 в отверстие станины 10 и ввернуть болты 1 механическим болтовертом, не затягивая их окончательно.

Надеть подшипниковый щит 14 на шарикоподшипник 16, ориентируя его по шпильке, ввернутой в крышку 15.

Приподнять ротор за контактные кольца, ввести замок подшипникового щита 14 в отверстие станины 10 и ввернуть болты 1 механическим болтовертом, не затягивая их окончательно.

Проверить легкость вращения ротора, регулируя затяжку болтов 1.

Надеть на вал крышку 19.

Заложить консистентную смазку в подшипники.

Надеть на вал крышку 3 и ввернуть два болта 2, подтягивая их равномерно, чтобы крышка 5 вошла в отверстие подшипникового щита 8 без перекосов; ввернуть шпильку из крышки 5 и ввернуть третий болт 2.

Повторить предыдущую операцию для крышки 19.

Проверить легкость вращения ротора, регулируя затяжку болтов.

Укрепить болт со щеткодержателями в чашке 17.

Надеть чашку 17 на крышку 19 и закрепить болтами.

Установить щеткодержатели, опустить щетки на кольца и окончательно закрепить щеткодержатели на болте.

Присоединить выводные концы к щеткодержателям и закрепить их в колодке 23.

Надеть кожух контактных колец 21 и запереть его эксцентриковыми замками 18.

Зажать в деревянной колодке 24 выводные проводники статора 25 и установить защитную крышку 26, закрепив ее болтами 27.

Вставить шпонку 28 в канавку на конце вала.

Проверить легкость вращения ротора и поставить его на обкатку.

21-7. ИЗМЕРЕНИЕ ВОЗДУШНОГО ЗАЗОРА

Измерять зазор следует при положении ротора, когда в определенном месте зазор получается наименьшим. Это положение находят следующим образом (рис. 21-14,а). Выбирают произвольную точку А на окружности статора и, поворачивая ротор, измеряют зазор против этого места. В некотором положении ротора зазор будет наименьшим. Это место В на роторе отмечают мелом. Затем проверяют зазор между отмеченной точкой В ротора и статора, медленно поворачивая ротор, и таким

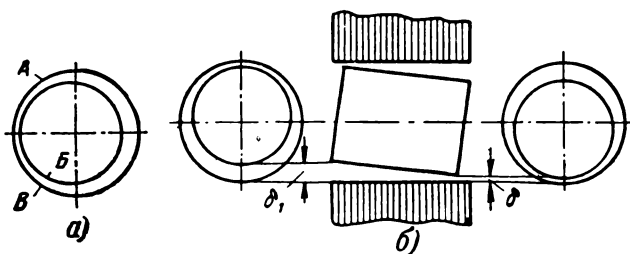


Рис. 21-14. Измерение воздушного зазора.

образом находят место абсолютного минимума зазора *БВ*.

В машинах с явно выраженными полюсами зазор измеряют под каждым полюсом, в машинах с неявно выраженными полюсами — в 2 *p* точках, но не менее чем в четырех.

Места измерения зазора должны находиться приблизительно на равном расстоянии друг от друга. За исходную точку при измерении зазора принимают место минимального зазора.

Сумма измеренных зазоров, деленная на число измерений, дает средний зазор, который не должен отличаться от номинального (расчетного) больше следующих величин: при номинальном зазоре

мм	на
до 0,5	$\pm 10\%$
0,6 — 1	$\pm 10\%$
10 — 20	± 1 мм
больше 20	$\pm 5\%$

Наибольшие отклонения от среднего измеренного зазора в отдельных точках не должны превышать $\pm 10\%$. Измерения производят щупом. Если длина статора больше длины щупа, то измеряют на обеих сторонах статора и для каждого осевого направления берут среднее значение обоих измерений.

Измеренные в одном и том же направлении с противоположных сторон статора зазоры δ и δ_1 (рис. 21-14, б) не должны отличаться больше чем на 5% от величины меньшего измерения.

21-8. СБОРКА ЩЕТОЧНОГО АППАРАТА

Щеточный аппарат машины состоит из щеткодержателей со щетками, щеточных пальцев или колец, на которых они укрепляются, а в машинах постоянного тока траверс 1 и бракетов 2 (рис. 21-15).

Щеткодержатели укрепляют на пальцах, представляющих собой металлические стержни круглого или прямоугольного сечения или

угольники. Щеткодержатели зажимного типа машин переменного тока сидят на изолированной части пальца, металлический конец которого запрессован или ввинчен в прилив подшипникового щита. Между щеткодержателями на палец надевают изоляционные шайбы, которые увеличивают путь поверхностного перекрытия изоляции.

Щеткодержатели 3 машин постоянного тока укрепляют на неизолированной части щеточного пальца, изолированного от траверсы слоистой изоляцией 5, состоящей из бакелизированной бумаги с добавлением слюды, или опрессовывают пластмассой. В машинах малой мощности при небольшом числе щеткодержателей на пальце применяют щеточные пальцы из текстолита. Благодаря этому отпадают операции изолировки пальца и тем упрощается технология их изготовления. В этом случае щеточный палец имеет прямоугольную форму, конец его вставляют в паз, профрезерованный в траверсе, и прикрепляют к ней болтом.

Для электрического соединения щеткодержателей одинаковой полярности, укрепленных на пальцах или бракетах, служат медные шины 4, от которых берут отвод во внешнюю цепь.

При большом числе щеткодержателей, сидящих на одном пальце, должна быть обеспечена достаточная жесткость его, чтобы вибрации не создавали механических причин искрения под щетками.

В современных конструкциях асинхронных двигателей контактные кольца расположены на консоли вала (рис. 21-13), что упрощает сборку и регулировку щеткодержателей. Исключение составляют крановые двигатели,

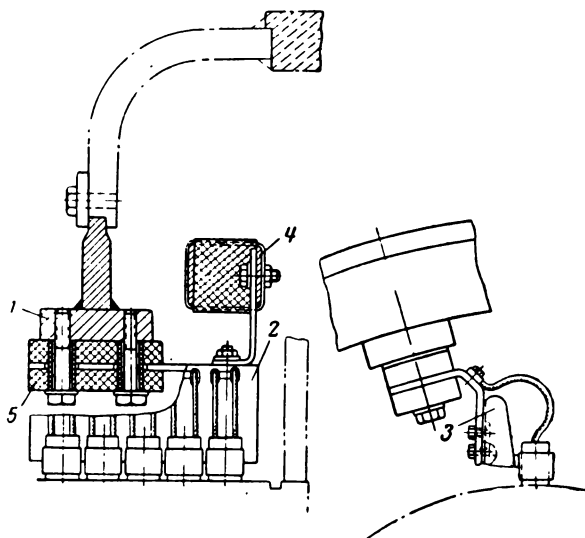


Рис. 21-15. Сборка щеточного аппарата.

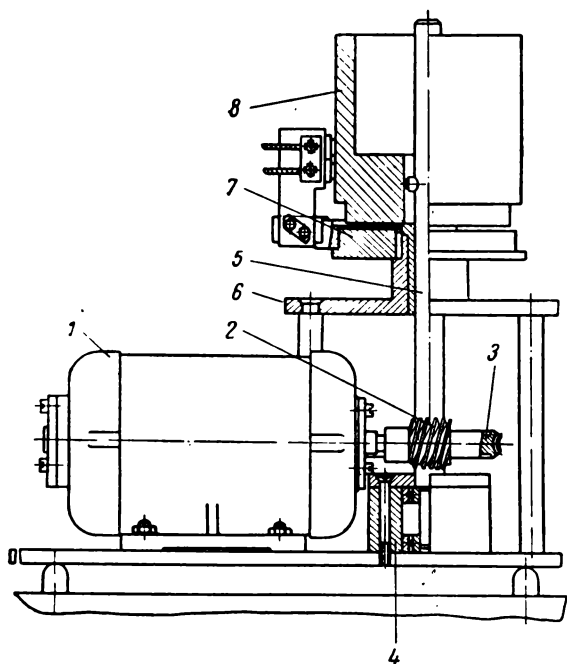


Рис. 21-16. Приспособление для притирки щеток.

у которых два выступающих конца вала, а потому контактные кольца расположены внутри машины и щеточный палец укреплен в стенке подшипникового щита, что позволяет собрать щеткодержатели до установки щита в статоре.

Коллекторные машины предъявляют повышенные требования к точности сборки щеточного аппарата в отношении расстановки щеток по окружности коллектора, расстояния от щеткодержателей до коллектора и тщательной притирки щеток к поверхности коллектора.

Раньше притирку щеток производили вручную после сборки машины. Для этого под щеткой протаскивали полоску стеклянной бумаги, прилегающую гладкой стороной к поверхности коллектора. При большом числе щеток на эту операцию уходило много часов, щеточная пыль оседала внутри машины и снижала сопротивление изоляции обмоток.

В настоящее время щетки притирают вне машины на специальном барабане, обернутом стеклянной бумагой, а для микромашин — на шлифовальном круге. Для этого щеткодержатели собирают в траверсе или в подшипниковом щите. Одновременно проводится контроль расстановки щеток по окружности.

На рис. 21-16 показана конструкция приспособления, которое служит одновременно для точной расстановки щеток по окружности и притирки их. Червячный винт 2, насаженный на конец вала электродвигателя 1, вращает через червячное колесо 3 вал 5, который опирается на два шарикоподшипника, вставленных в капсуль 4, а вверху направляется бронзовой втулкой, за-

прессованной в плите 6. На шейку, проточенную в плите, надевают сменные оправки 7 для установки траверсы щеткодержателей машин разных типов. На конец вала 5 надевают барабан 8, наружный диаметр которого на 1 мм меньше диаметра коллектора. На барабане нанесены риски глубиной 0,5 мм, закрашенные светлой краской. Число рисок по окружности равно числу щеток. После надевания траверсы на оправку щетки устанавливаются так, чтобы края их совпадали с рисками на барабане, и затягивают винты, крепящие щеткодержатели к траверсе. Затем вынимают щетки из обоймы щеткодержателей и обертывают барабан стеклянной бумагой с перекрытием на 30—40 мм. Бумагу закрепляют лентой на верхней части барабана, на которой нет щеток. После этого вставляют щетки в обоймы, опускают на них нажимные пальцы щеткодержателей и включают двигатель. В процессе притирки высота щетки не должна уменьшаться более чем на 0,5 мм. Для притирки щеток машин других типов заменяют оправку и барабан.

Механическая притирка щеток начала применяться в машинах малой мощности, в которых вследствие тесноты невозможно было хорошо притереть щетки в собранной машине. Эта операция вполне себя оправдала с точки зрения повышения производительности труда и культуры производства. Поэтому она получила широкое распространение и для крупных машин. На ряде заводов применяются приспособления для притирки щеток при диаметрах коллектора больше 600 мм.

21-9. АВТОМАТИЗАЦИЯ СБОРКИ

Несмотря на большой выпуск электродвигателей, сборка их большей частью производится вручную, что тормозит дальнейшее повышение производительности и не позволяет увеличить съем продукции без увеличения производственных площадей и числа рабочих. При крупносерийном производстве двигателей сборочные участки оборудованы конвейерами для передвижения двигателей, электрическими и пневматическими инструментами для закручивания болтов, прессовки подшипников качения на вал, прессовки подшипниковых щитов в станину, поворотными столами для сборки двигателя со стороны привода и противоположной стороны на одном рабочем месте, а также грузоподъемными механизмами. Однако проблема автоматической сборки еще не решена.

Наиболее массовыми объектами сборки являются микродвигатели и асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором 3—5-го габаритов. Для этих двигателей ведутся разработки автоматических сборочных линий. Решение этой задачи может быть достигнуто при комплексной разработке следующих проблем: повышение технологичности конструкции отдельных деталей и узлов, внедрение высокопроизводительных технологических процессов

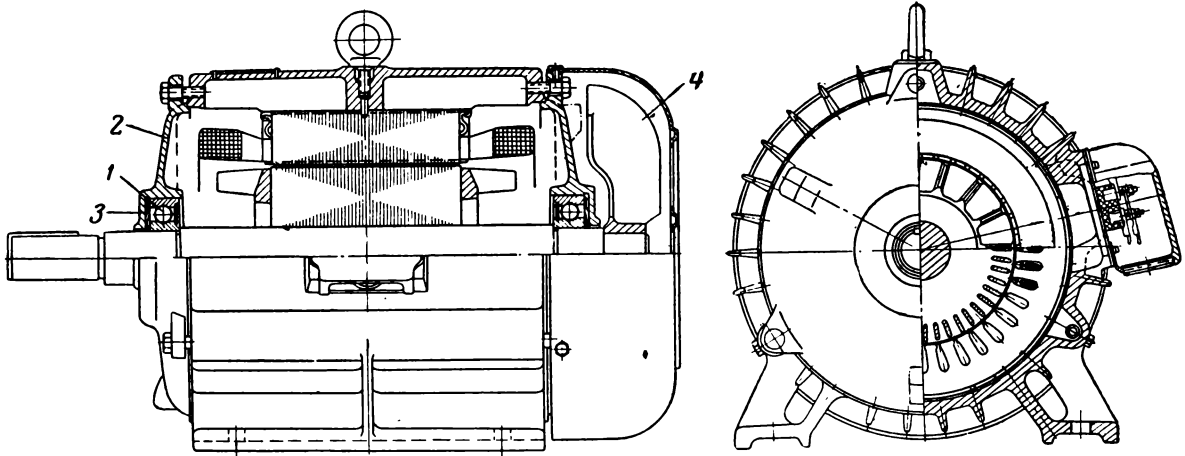


Рис. 21-17. Электродвигатель серии А2.

и разработка агрегатов для вспомогательных, транспортных и сборочных операций.

Несмотря на простоту конструкции двигателей с короткозамкнутым ротором, они являются сложными объектами для автоматической сборки. Опасность повреждения обмотки статора требует применения сложных транспортных и сборочных устройств. Наиболее целесообразным транспортным средством следует признать шаговый конвейер, на котором устанавливаются приспособления-спутники с точной технологической базой. Основным сборочным узлом, в котором устанавливают все другие детали в процессе сборки, является статор, закрепляемый на приспособлении-спутнике, вместе с которым он перемещается от одной операции к другой. Крупные узлы (статор и ротор) подаются электротельфером с подвесного конвейера, а мелкие детали — из бункеров. Собранные двигатели должны поступать на автоматическую испытательную станцию, а после испытания — на отделку.

В существующих конструкциях асинхронных двигателей имеются элементы и узлы, препятствующие внедрению автоматической сборки. Это в первую очередь относится к подшипниковым узлам с внутренними крышками, которые надевают на вал до посадки подшипников (см. рис. 21-13). В конструкции подшипниковых щитов не предусмотрены базы для ориентировки их относительно сборочного агрегата. Болты для крепления крышек подшипников, расположенные по окружности малого диаметра, затрудняют их одновременное заворачивание электроинструментами.

На рис. 21-17 показана конструкция электродвигателя единой серии А2, в которой учтены требования автоматизации сборки. Применение шарикоподшипников 1 с защит-

ными шайбами делает ненужными внутренние крышки подшипников. Конструкция подшипниковых щитов 2, объединенных с наружной крышкой подшипника 3 в одну отливку, полностью устраняет болты в подшипниковом узле. Упрощена конструкция вентилятора 4 наружного обдува. В новой серии двигатели первых габаритов выпускаются только в обдуваемом исполнении, что увеличивает число однотипных двигателей в производстве.

Внедрение автоматической сборки предъявляет требования повышенной точности обработки деталей. Если при ручной сборке еще значительна доля подгоночных операций, то при автоматической необходима полная взаимозаменяемость всех узлов и деталей.

В проекте автоматической сборочной линии электродвигателей А2 предусматриваются следующие сборочные операции [Л. 21-1]:

- 1) горячая промывка шарикоподшипников от защитной смазки и сушка;
- 2) нагрев шарикоподшипников в масляной ванне;
- 3) установка и прессовка подшипников на вал;
- 4) ввод ротора в статор;
- 5) заправка подшипников смазкой, прессовка подшипниковых щитов в станину, установка и затяжка болтов;
- 6) установка и закрепление на валу вентилятора наружного обдува;
- 7) установка и закрепление кожуха вентилятора;
- 8) испытания двигателя на автоматической станции;
- 9) окраска и сушка;
- 10) установка и крепление таблички мощности;

11) установка шпонки в канавку на конце вала;

12) консервация выступающего конца вала.

21-10. ОТДЕЛКА И ОКРАСКА МАШИН

Для придания внешней поверхности машины красивого вида и защиты от коррозии машины после сборки проходят операции отделки и окраски наружной поверхности. Поверхность отливов имеет значительные шероховатости, поэтому перед окраской они подвергаются шпатлевке и грунтовке. В состав шпатлевок входят следующие материалы: мел, охра, сурик железный, белила цинковые, олифа «оксоль», лак масляный, сиккатив, уайт-спирит или скипидар.

Грунтовки представляют собой раствор густотертой краски в олифе и скипидаре с добавлением сиккатива.

Окраска машин производится пульверизатором. Прежде эта операция выполнялась исключительно вручную, что вызывало большой расход краски, не обеспечивало равномерности покрытия и занимало много времени. Теперь все шире применяется окраска деталей и собранных машин в электростатическом поле. Электрическое оборудование электрокрасочной установки состоит из высоковольтного выпрямительного блока, включающего высоковольтный трансформатор, кенотронный выпрямитель и пульт управления. Для нанесения покрытия на детали применяют специальные электрораспылители различных типов, установки для автоматической подачи дозированного количества краски и блоки питания дозирующих насосов. Процесс окраски автоматизируется с помощью конвейера.



Рис. 21-18. Малярно-сушильный конвейер.

Сушка красочных покрытий раньше производилась на воздухе или в печах с электронагревом. Для ускорения процесса и повышения качества применяются новые способы сушки, к которым относятся: лампы инфракрасного излучения, индукционно-сушильные камеры, токи высокой частоты и терморadiационная сушка.

На рис. 21-18 показан малярно-сушильный конвейер завода имени Владимира Ильича. Конвейер служит для транспортировки электродвигателей от одного рабочего места к другому. Весь процесс отделки электродвигателя состоит из 10 операций: 1) загрузки рабочих мест и нанесения второго слоя шпатлевки; 2) сушки после второй шпатлевки; 3) остывания после сушки; 4) зачистки второй шпатлевки; 5) первой окраски; 6) сушки после первой окраски; 7) остывания после сушки; 8) второй окраски; 9) сушки после второй окраски; 10) съема готового электродвигателя.

Конвейер работает автоматически от пульта управления. Автоматически выполняются: 1) сигнализация предупредительная и аварийная; 2) включение и выключение компрессора; 3) открытие и закрытие дверей сушильных камер; 4) пуск и остановка конвейера.

Конвейер может работать и с ручным управлением, при котором все перечисленные операции будут производиться нажатием соответствующих кнопок, расположенных на крышке пульта управления.

Конвейер работает циклично с заданным ритмом. Через каждый цикл установленные на конвейере электродвигатели продвигнутся с одной операции на другую на один шаг, равный 1,4 м. Точность перемещения ленты конвейера по шагу составляет ± 5 мм, что устраняет возможность попадания электродвигателей под автоматически опускающиеся двери сушильных камер. За 5 мин до начала движения ленты конвейера включается компрессор, который заполняет ресивер сжатым воздухом при давлении 5 ат. Ревисер питает сжатым воздухом пневмоподъемники дверей сушильных камер. Рабочие предупреждаются о начале движения конвейера и действии дверей сушильных камер звуком сигналами: первый сигнал — за 5 мин, второй — за 13—20 сек до начала движения.

Звуковой и световой сигналы даются одновременно. При этом по всей трассе отделочного участка загораются четыре красные сигнальные лампы и раздается продолжительный звонок. Сигналы прекращаются, как только включится электродвигатель приводной станции конвейера. Вслед за этим происходит подъем дверей сушильных камер. Движение конвейера может начаться только после поднятия всех шести дверей, так как концевые выключатели дверей, соединенные последовательно, должны замкнуть электроцепь двигателя приводной станции конвейера. Сделав один цикл, конвейерная лента останавливается. Одновременно с этим электромагнитный пневматический кран переключается на «выхлоп», двери сушильных камер опускаются и компрессор отключается. Затем цикл повторяется в той же последовательности. Электродвигатели, установленные на загрузочной части конвейера, после прохождения полного цикла отделки окажутся на последних рабочих местах разгрузочной части конвейера, с которых они снимаются мостовым краном. Если готовый электродвигатель не будет вовремя снят с разгрузочного участка конвейера, то при следующем цикле движения конвейера он нажмет станиной на рычаг, соединенный с концевым выключателем, и конвейер остановится.

При аварии конвейер можно остановить аварийными стоп-кнопками, установленными на рабочих местах,

у каждой сушильной камеры и на пульте управления. Отсутствие сжатого воздуха в ресивере или недостаточное его давление сигнализируется сиреной, срабатывающей от сигнализатора давления, отрегулированного на давление 4,5 ат.

21-11. СБОРКА КРУПНЫХ МАШИН

Разъем статора в машинах переменного тока создает конструктивные и технологические трудности. Поэтому их выполняют с неразъемным статором, если это допускается условиями железнодорожных перевозок.

При большой длине статора приходится прибегать к помощи специальных приспособлений для ввода ротора в статор. В асинхронных машинах эта операция усложняется из-за малого воздушного зазора.

Рассмотрим сборку крупной машины с неразъемным статором на примере асинхронного двигателя АТМ-2000, который выполнен на стойковых подшипниках. Процесс сборки состоит из следующих операций.

Статор устанавливают на подставки 1 (рис. 21-19), изготовленные из швеллеров, с укрепленными на них деревянными прокладками.

Со стороны контактных колец прикрепляют к валу двигателя при помощи хомутов 2 удлинитель 3, изготовленный из швеллеров. Под хомуты подкладывают прокладки из картона, чтобы защитить шейку вала от повреждений.

Со стороны привода прикрепляют к валу при помощи хомута 4 и двух болтов 5 четырехколесную тележку. Под колеса тележки подкладывают два направляющих швеллера 7, по которым будут катиться колеса тележки. Под концы швеллеров, положенных на фундаментную плиту двигателя, устанавливают регулировочные планки с болтами 16. Вторые концы направляющих швеллеров опирают на подставку 9 и укрепляют болтами 8.

Застропливают ротор канатом по центру тяжести (рис. 21-19,а) и начинают вдвигать его краном в расточку статора, следя за равномерностью воздушного зазора. Передвигая крюк крана, одновременно подталкивают вручную тележку 6. Когда центр тяжести ротора дойдет до торца статора, движение крана приостанавливают.

К станине болтом 15 с резьбой М24 прикрепляют опорный угольник 14, к которому подвешивают тягу 12, имеющую с обеих сторон резьбу М30. К тяге прикрепляют зажим 11, который двумя болтами 10 с резьбой М24 устанавливают на удлинитель 3. Гайкой 13, которой тяга крепится к угольнику, создают необходимый натяг подвески, при которой освобождают натяжение стропа и снимают его.

Переводят крюк мостового крана в новое положение (рис. 21-19,б), захватывают канатом за конец удлинителя и дают ему натяжение. После этого снимают тягу 12 и, передвигая краном, вводят ротор в расточку статора.

Под конец вала со стороны контактных колец подставляют стойку подшипника и освобождают строп.

Приподнимают конец вала краном со стороны привода, выдвигают тележку 6, разбирают направляющие швеллера 7 и подставляют под шейку вала стойковый подшипник.

Зазор регулируют, поднимая и опуская стойки подшипников. Для этого в лапах стоек нарезаны отверстия, в которые ввинчивают болты. Торцы этих болтов упираются в фундаментную плиту. Ввертывая и вы-

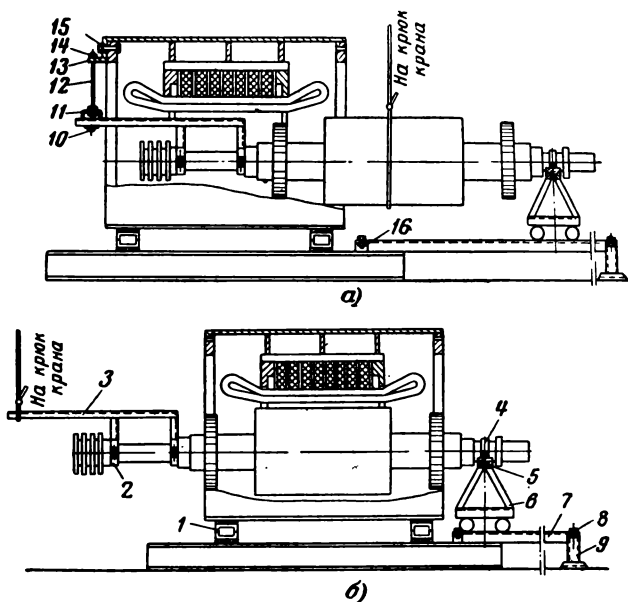


Рис. 21-19. Сборка двигателя АТМ 2000.

вертывая болты, выверяют положение ротора в вертикальной плоскости. Ротор в горизонтальной плоскости перемещают, передвигая стойки подшипников по плите.

Статоры крупных электрических машин переменного тока при диаметре более 4 м, а также машин постоянного тока даже при меньших диаметрах делают разъемными. Необходимость разъема обуславливается допускаемыми габаритами для провоза по железным дорогам, а также соображениями удобства сборки.

В машинах постоянного тока разъем упрощает установку якоря, так как она производится без верхней половины станины. В машинах переменного тока это упрощение сборки создает дополнительные операции, состоящие в пригонке стыков шихтованного статора и вкладывании части катушек статора после соединения половин станины. Горизонтальный разъем статоров машин переменного тока делают по диаметру, проходящему через центр вала, а у машин постоянного тока разъем несколько смещают вверх. Этим устраняется необходимость выемки полюсов при разборке машины.

Сборка производится следующим образом. Сначала на фундаментную плиту устанавливают нижнюю половину статора. Положение ее выверяют по струне, натянутой вдоль плиты. Затем ротор кладут шейками вала на вкладыши подшипников и регулируют его положение вдоль продольной оси машины. Зазоры между ротором и статором регулируют при помощи прокладок, помещаемых под лапы станины, и подшипниковых стоек.

После выверки зазора обе части статора сблечивают и устанавливают контрольные штифты в местах разъема. Если под влиянием веса верхней части статора обнаружится смещение отверстий для болтов и контрольных шпилек, то регулировкой давления домкрата добиваются совпадения отверстий.

Место стыков обеих частей станины в машинах постоянного тока должно быть без зазоров. Отсутствие зазоров проверяют щупом после затяжки болтов. В машинах переменного тока плотность стыков частей статора достигается тем, что в станине оставляют зазор 0,3—0,5 мм. При натяжке болтов, соединяющих обе части статора, поверхности разъема статора соприкасаются. В стыке не должно быть выступающих более чем на 0,2 мм листов. Выступающие листы осторожно опиливают; место опилки очищают металлической щеткой и продувают сжатым воздухом.

После соединения обеих частей статора приступают к выверке воздушных зазоров между ротором и статором. До установки верхней части статора закреплять нижнюю часть статора болтами на фундаментной плите не следует. Затяжку болтов в лапах статора и установку контрольных штифтов в них производят после окончательной выверки воздушного зазора, причем после затяжки болтов рекомендуется произвести вторичную выверку зазоров.

21-12. ЗАЩИТА ОТ ПОДШИПНИКОВЫХ ТОКОВ

Во время эксплуатации крупных электрических машин часто происходят повреждения подшипников из-за длительного действия подшипниковых токов. Эти токи протекают по контуру — вал машины, стояки подшипников, фундаментная плита. Подшипниковые токи появляются в результате асимметрии магнит-

ного потока машины, которая может быть вызвана следующими причинами:

- а) неодинаковым числом витков в катушках возбуждения синхронной машины;
- б) витковыми замыканиями в катушках возбуждения;

в) неодинаковой магнитной проводимостью статора по окружности, например из-за разъема статора или из-за неравномерного воздушного зазора по окружности.

Обычно для разрыва цепи подшипниковых токов один из стояков подшипника изолируют от плиты текстолитовой прокладкой. Фундаментные болты изолируют трубками и шайбами.

В агрегатах изолируют также трубопроводы, подводящие масло и воду к подшипникам, а в вертикальных машинах также перекрытия верхней крестовины, лестницы и перила.

При компоновке агрегатов из крупных электрических машин достаточно изолировать подшипниковые стояки по одну сторону машины, генерирующей большие токи, а в случае возможности наведения э. д. с. на концах валов всех машин можно оставить неизолированным только один крайний подшипник.

В правилах эксплуатации электрических установок для проверки отсутствия подшипниковых токов рекомендуется измерять сопротивление изоляции подшипников на установленной машине и напряжение на концах вала работающей машины. Но одновременно измерять изоляцию подшипников и напряжение на концах вала невозможно.

Изолировка стояков подшипников не всегда возможна, например, если электрическая машина является приводом двухрядного поршневого компрессора, где стояки подшипников объединяются с корпусом компрессора. В этом случае подшипниковый ток будет циркулировать по цепи — подшипники, вал и корпус, а часть тока будет шунтироваться через поршневой механизм компрессора.

Для изучения разрушительного действия подшипниковых токов необходимо иметь возможность их измерить. Это особенно важно для машин с разъемными статорами, у которых наиболее выражена асимметрия магнитного потока. Измерение подшипниковых токов позволяет также контролировать качество изготовления и сборки крупных электрических машин.

Ниже приводится способ измерения подшипниковых токов электрических машин [Л. 21-5]. В основу положен принцип трансформации тока с применением гибкого сердечника трансформатора (рис. 21-20). Роль первичной обмотки выполняет контур подшипниковых токов, а вторичную обмотку наматывают вокруг гибкого сердечника, охватывающего вал машины на участке между подшипниками. Сердечник трансформатора выполняют из электротехнической стали марки Э31 или Э41 толщиной 0,5—0,35 мм. На сердечник наматывают вит-

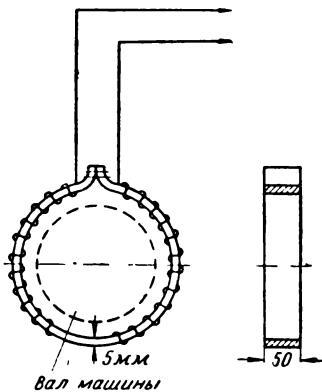


Рис. 21-20. Измерение подшипниковых токов.

ки провода сечением около 5 мм². Сердечник обгибают вокруг вала и концы его скрепляют болтом.

Для градуировок изготовленных трансформаторов снимают характеристики

$$I_2 = f(I_1), \quad (21-5)$$

где I_1 — ток, проходящий через вал машины;

I_2 — ток в обмотке ленточного трансформатора, измеренный амперметром.

При помощи ленточного трансформатора можно измерять подшипниковые токи электрических машин любых конструкций и габаритов, а также контролировать качество изоляции подшипников в процессе работы машины.

21-13. ЦЕНТРОВКА ВАЛОВ

Одной из основных операций сборки агрегатов из двух электрических машин — это центровка, целью которой является правильное взаимное положение соединяемых валов, обеспечивающее спокойную работу машин. Для этого необходимо, чтобы оси валов лежали на одной линии и центры валов совпадали. Наиболее распространенной является центровка при помощи двух скоб, закрепляемых на полумуфтах соединяемых машин [Л. 21-3].

На рис. 21-21,а показаны конструкция скоб и их крепление. Наружная скоба 2 закреплена на полумуфте установленной машины, а внутренняя 5 на полумуфте машины, которая должна быть соединена с установленной. Скобы крепятся хомутами 7 и болтами 6. В процессе центровки измеряют радиальные зазоры a и осевые b щупами, индикаторами или микрометрами. В двух последних случаях индикатор или микрометрическую головку ставят на место болтов 3 и 4. Перед началом измерений полумуфты должны быть разъединены, а валы раздвинуты для того, чтобы скобы и полумуфты не задевали при вращении валов.

На рис. 21-21,б показаны четыре взаимных положения валов машин. В положении А валы расположены на одной прямой и центры их совпадают; при одновременном поворачивании валов зазоры a и b будут неизменными. В положении Б валы параллельны, но между ними есть сдвиг; при поворачивании валов осевые зазоры b будут неизменными, а радиальные a будут меняться. В положении В центры валов совпадают, но оси их расположены под углом. В этом случае при поворачивании валов будут меняться величины осевых зазоров b , а радиальные a будут сохраняться. Наконец, в положении Г центры валов сдвинуты и оси их расположены под углом. При вращении валов будут изменяться и осевые и радиальные зазоры.

Первое измерение зазоров производят, когда скобы находятся в верхнем положении. Затем поворачивают валы на 90° в направлении вращения приводного механизма или генератора и снова замеряют зазоры при совпадении рисок Г на валах. Всего делают четыре замера при каждом повороте валов на 90°. Пятый замер производят как контрольный, когда скобы снова придут в верхнее положение. Величины зазоров в первом и пятом положениях скоб должны совпадать. На рис. 21-21,в записаны значения измеренных зазоров в миллиметрах для четырех положений валов. Величины радиальных зазоров написаны под окружностью, а осевых — внутри окружности. Цифры в обозначениях зазоров $a_1, a_2, \dots, b_1, b_2, \dots$ показывают порядковые номера замеров зазоров.

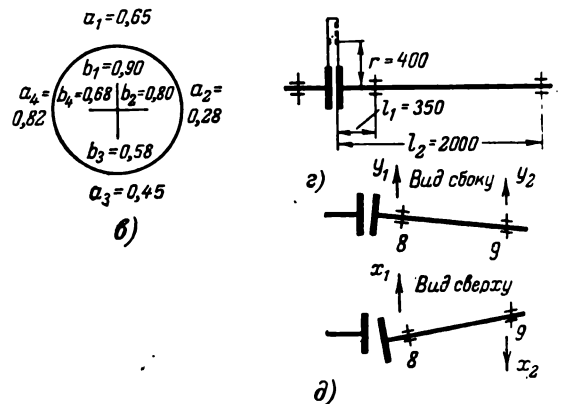
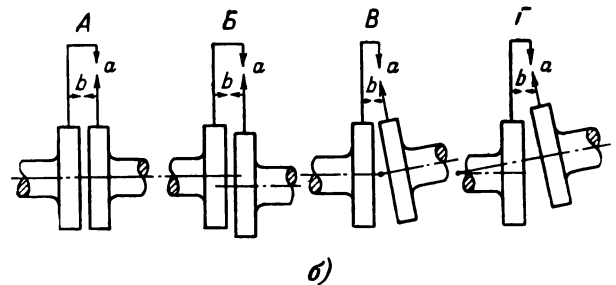
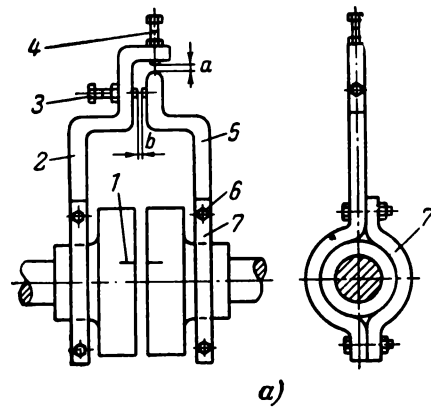


Рис. 21-21. Центровка валов.

На рис. 21-21,г указаны размеры присоединяемой машины, мм:

расстояние от муфты	до подшипника 8	$l_1 = 350$
·	·	9
·	· оси вала	$l_2 = 2000$
·	· болта 3	$r = 400$

Эти размеры будут нужны для подсчетов перемещения подшипников присоединяемой машины. Для обеспечения центровки валов придется смещать подшипники 8 и 9 присоединяемой машины, передвигая их по плите или перемещая в вертикальной плоскости, добавляя или убавляя прокладки под стойкой подшипника.

Введем следующие обозначения:

x_1 — перемещение подшипника 8 по плите вправо, если перед x_1 стоит знак +, и влево при знаке — (смотреть надо на торец муфты со стороны установленной машины);

x_2 — перемещение подшипника 9 по плите вправо, если перед x_2 стоит знак +, и влево при знаке —;

y_1 — вертикальное перемещение подшипника 8 вверх, если перед y_2 стоит знак +, и вниз при знаке —;
 y_2 — вертикальное перемещение подшипника 9 вверх, если перед y_2 стоит знак +, и вниз при знаке —.
 Определить перемещения подшипников можно по следующим формулам:

$$y_1 = \frac{a_1 - a_3}{2} + \frac{b_1 - b_3}{2} \cdot \frac{l_1}{r}, \quad (21-6)$$

$$y_2 = \frac{a_1 - a_3}{2} + \frac{b_1 - b_3}{2} \cdot \frac{l_2}{r}, \quad (21-7)$$

$$x_1 = \frac{a_2 - a_4}{2} + \frac{b_2 - b_4}{2} \cdot \frac{l_1}{r}, \quad (21-8)$$

$$x_2 = \frac{a_2 - a_4}{2} + \frac{b_2 - b_4}{2} \cdot \frac{l_2}{r}. \quad (21-9)$$

Эти формулы справедливы только для расположения скоб по рис. 21-21, а.

Подставим в эти формулы численные значения буквенных величин, мм:

$$y_1 = \frac{0,65 - 0,45}{2} + \frac{0,98 - 0,58}{2} \cdot \frac{350}{400} = 0,24,$$

$$y_2 = \frac{0,65 - 0,45}{2} + \frac{0,90 - 0,58}{2} \cdot \frac{2000}{400} = 0,90,$$

$$x_1 = \frac{0,28 - 0,82}{2} + \frac{0,80 - 0,68}{2} \cdot \frac{350}{400} = -0,22,$$

$$x_2 = \frac{0,28 - 0,82}{2} + \frac{0,80 - 0,68}{2} \cdot \frac{2000}{400} = 0,03.$$

Следовательно, подшипник 8 надо поднять вверх на 0,24 мм и передвинуть влево (минус) на 0,22 мм; подшипник 9 следует поднять вверх на 0,90 мм и передвинуть вправо (плюс) на 0,03 мм.

Направление перемещения подшипников показано стрелками на рис. 21-21, д. Небольшие значения перемещения подшипников объясняются тем, что валы предварительно были выверены линейками, прикладываемыми к полумуфтам, причем подшипники перемещались для предварительной центровки валов.

На рис. 21-21, в видно, что сумма четных замеров горизонтальных и вертикальных зазоров равна сумме нечетных. Действительно,

$$a_1 + a_3 = a_2 + a_4 = 1,1 \text{ [мм]}, \quad (21-10)$$

$$b_1 + b_3 = b_2 + b_4 = 1,48 \text{ [мм]}. \quad (21-11)$$

Пользуясь этим свойством, можно проверить результаты измерений зазоров.

21-14. СБОРКА ТУРБОГЕНЕРАТОРА С ВОДОРОДНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ

На электромашиностроительном заводе производят только контрольную сборку турбогенераторов, а окончательный монтаж их выполняют на электростанции. Сборка турбогенератора затрудняется большой длиной активной части, требующей применения специальных приспособлений.

Наружная оболочка генератора и внутренний канал ротора при водородном охлаждении должны быть герметичными, что вносит

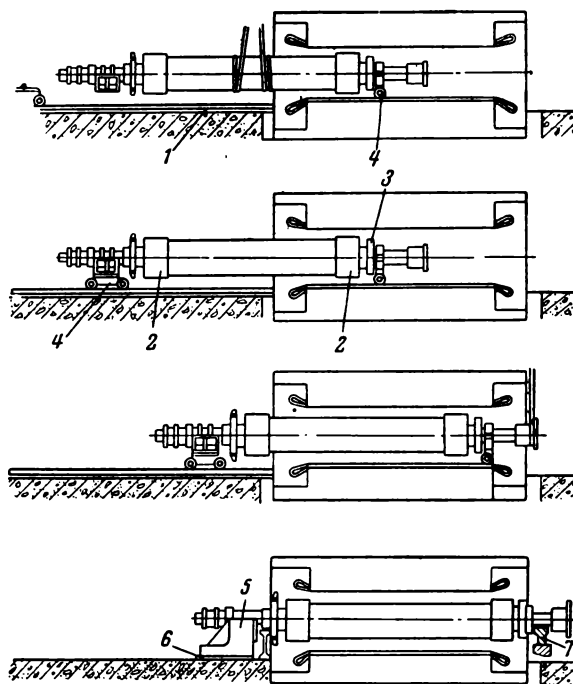


Рис. 21-22. Ввод ротора турбогенератора в статор.

дополнительные трудности в процесс сборки. Уплотнения подшипников не должны допускать утечки водорода [Л. 21-2].

Все швы сварного корпуса должны быть газоплотными. Перед вводом ротора в статор устанавливают торцовые щиты, закрыв центральные отверстия заглушками из листовой стали, уплотненными пластиковыми прокладками. Затем создают в статоре избыточное давление 0,8 атм, наполняя его углекислотой или фильтрованным воздухом, подаваемым компрессором. Проверку газоплотности ведут по отсутствию пузырьков на сварных швах или уплотнениях, смоченных мыльной водой. Эту же проверку повторяют над полностью собранным генератором, причем утечка газа в час не должна превышать 3% от объема газа в генераторе.

До сборки турбогенератора проверяют также газоплотность центрального канала ротора, так как для устранения утечки газа после сборки потребуется отсоединение ротора генератора от турбины. Для выявления мест утечек газа торцы вала закрывают заглушками и нагнетают сжатый воздух или углекислоту с избыточным давлением 1—2 атм. Утечку обнаруживают на ощупь, на слух, а в случае применения углекислоты — по запаху. Края заглушек смачивают мыльной водой.

Для ввода ротора в статор на полу машинного зала со стороны возбудителя устанавливают рельсы (рис. 21-22), проверяя их направление и высоту установки при помощи стальной проволоки, протянутой через центровую ось статора. В расточку статора кладут стальной лист с прикрепленными к нему тросами для передвижения листа при вводе и удаления его из расточки статора.

В процессе монтажа категорически запрещается опирать ротор на бандажные кольца 2, так как при этом они могут получить перекокс. Поэтому должны быть подготовлены стойки, на которые ротор кладут средней частью или шейками вала. Перед вводом ротора необходимо снять лопатки пропеллерного вентилятора 3 со

стороны турбины. Для ввода в статор под шейки вала подводят тележки 4 и вкатывают на них ротор в расточку статора краном. Затем под шейку вала со стороны возбудителя подводят стояковый подшипник. Подшипник со стороны турбины 7 изготовляется турбинным заводом и монтируется вместе с турбиной. В процессе монтажа производят тщательную центровку валов генератора, турбины и возбудителя.

Подшипники имеют принудительную смазку под давлением. Вкладыш с шаровой наружной поверхностью должен свободно поворачиваться в расточке статора подшипника и устанавливаться по направлению оси вала.

Кроме основного подшипника, в головке стояка монтируется уплотняющий подшипник плавающего типа для предохранения от утечки газа. Масло подается в кольцевую щель уплотняющего вкладыша под давлением 1 кг/см^2 . Все маслоуловители должны быть установлены так, чтобы маслосбрасывающие канавки располагались в свободном промежутке между уплотняющими ножами с зазором $0,3-0,5 \text{ мм}$ по всей окружности. Под стояк 5 подшипника и под стояки возбудителя прокладывают изоляцию 6 во избежание циркуляции подшипниковых токов. Изолируют также патрубки маслопровода у подшипников со стороны возбудителя.

Все газоохладители должны быть испытаны водой на герметичность. Для устранения воздушных мешков к ним присоединяют трубки с краниками.

Траверсы щеткодержателей генератора устанавливают после окончательной выверки положения ротора так, чтобы радиальные зазоры между контактными кольцами и сборными кольцами траверсы были одинаковы по всей окружности. Щеткодержатели должны быть установлены так, чтобы щетки при температурном удлинении вала ротора не сходили с контактных колец.

После центровки валов турбины и генератора присоединяют возбудитель, который поступает с завода в собранном виде.

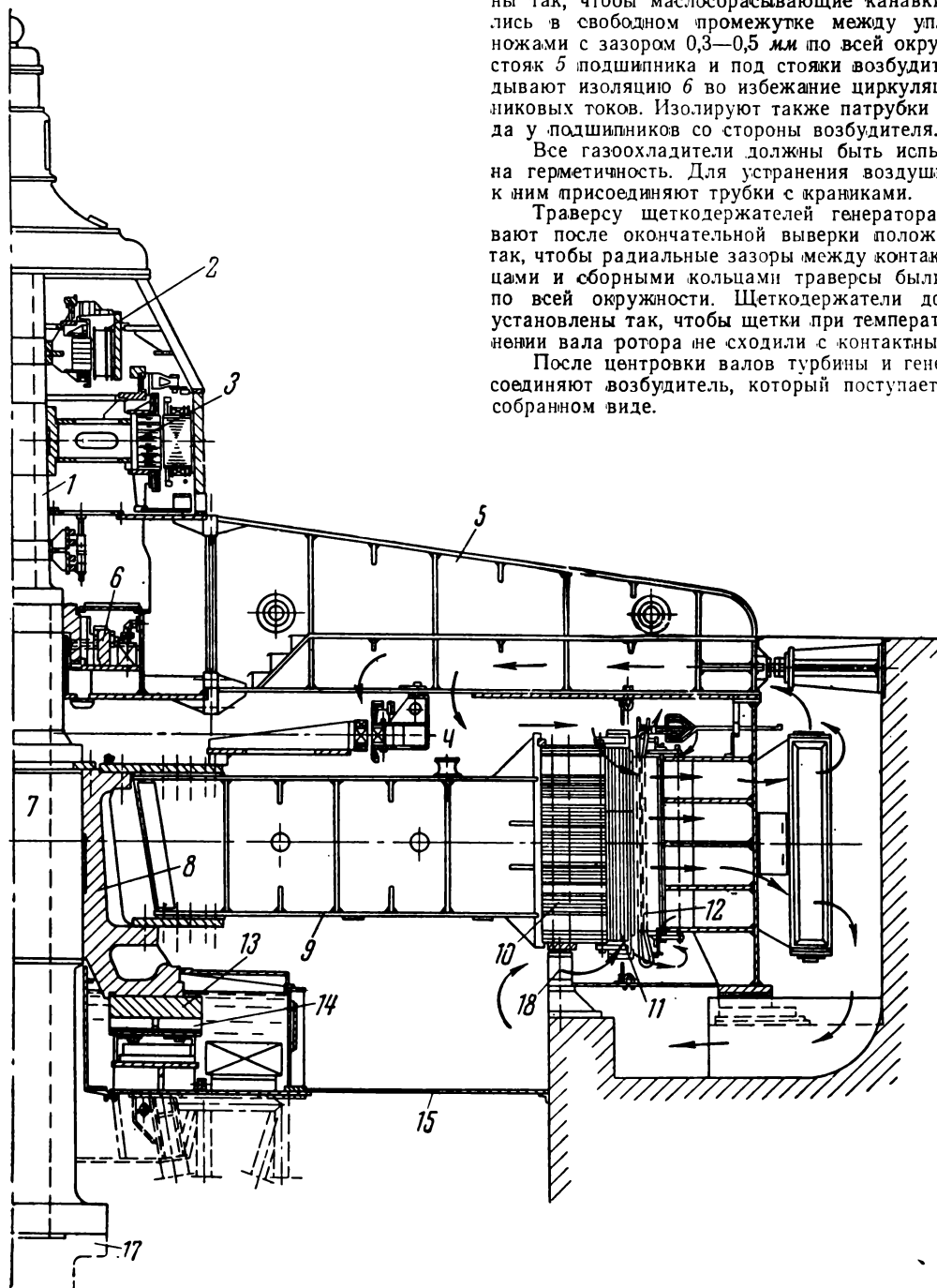


Рис. 21-23. Гидрогенератор Волжской ГЭС имени Ленина.

21-15. СБОРКА ГИДРОГЕНЕРАТОРА НА МЕСТЕ УСТАНОВКИ

На место сборки крупного гидрогенератора поступают обмотанные шестерки статора без тех стержней, лобовые части которых перекрывают стыки. Для ротора в собранном виде поступают только полюсы с катушками. Все остальные детали звезды и обода ротора собирают на месте установки. До сборки ротора производят взвешивание полюсов, сегментов обода и спиц, чтобы не допускать большего дебаланса. Детали одинакового веса располагают на роторе диаметрально противоположно.

В качестве примера рассмотрим последовательность сборки гидрогенератора зонтичного типа для Волжской ГЭС имени Ленина (рис. 21-23).

Операции сборки разделяются на подготовительные, проводимые на монтажной площадке, и монтажные — непосредственно на месте установки. Такое разделение ускоряет монтаж, так как подготовительные операции могут производиться параллельно со строительством фундамента.

На монтажной площадке проводят следующие операции с основными узлами генератора.

Статор. Распаковывают шестерки, осматривают и прочищают их. Шестерки соединяют в кольцо и стягивают болтами. В пустые пазы вкладывают стержни обмотки, соединяют их, спаивают и лакируют. Статор 12 подвергают сушке, после чего испытывают электрическую прочность изоляции напряжением 30 кВ в течение 1 мин.

Ротор. Собирают роторную звезду 9 на временную втулку. Распаковывают сегменты обода 10, шихтуют обод и стягивают его шпильками. На обод навешивают полюсы с катушками 11, располагая их по окружности согласно таблице весов. Производят заклинивание Т-образных выступов полюсов и обрубку выступающих концов клиньев, устанавливают и пропавивают межкатушечные соединения и токоподводы к обмотке ротора. Испытание электрической прочности изоляции производят напряжением 4 кВ

Подпятник. Собирают масляную ванну подпятника. Соединяют диск 13 с втулкой 8 болтами и пришабривают сегменты 14 по диску. Затем собирают подпятник с втулкой и производят предварительную регулировку сегментов.

Вал. На валу 7 устанавливают и закрепляют токоподводы и пришабривают сегменты направляющего подшипника 6. Нагревают втулку ротора 8 до 130—140°С электрическими печами мощностью 400 кВт. Внутренний диаметр втулки при нагреве увеличивается на 2 мм. Нагревшую втулку насаживают на вал и запирают ее от осевых смещений разрезным кольцом. Устанавливают вал с втулкой на монтажной площадке и проверяют биение надставки вала 1 и торцовое биение поверхности диска подпятника.

Верхняя крестовина. Производят установку и крепление лап крестовины 5, собирают верхний воздухоподеляющий щит и перекрытие. На крестовине монтируют масляную ванну направляющего подшипника 6.

Вспомогательный генератор. Собирают разъемный статор 4 из четырех частей, вкладывают обмотки в пустые пазы, соединяют и испытывают электрическую прочность изоляции. Собирают ротор генератора, устанавливают полюсы на обод и соединяют катушки.

После этих подготовительных операций приступают к монтажу генератора на фундаменте. Собранный статор 12 переносят краном при помощи специальных грузоподъемных приспособлений на фундамент, регулируют его по высоте клиньями. Базой служит фланец вала ротора турбины 17, установленной в шахте. До опускания ротора генератора устанавливают перекрытия шахты турбины 15, монтируют тормоза 18, устанавливают масляную ванну и подпятник. Затем опускают вал генератора на подпятник и скрепляют болтами диск подпятника 13 с втулкой 8. Производят центровку вала генератора 7 с валом турбины 17, одновременно проверяя его центричность со статором 12.

Затем собранный ротор разъединяют с временной втулкой, опускают в расточку статора, соединяют с втулкой 8 и производят окончательную центровку и овертывание валов турбины и генератора. Проверяют воздушный зазор и положение статора по высоте, после чего затягивают и заливают цементом анкерные болты корпуса статора. Устанавливают ротор вспомогательного генератора, собирают подшипник и собирают узел надставки вала 1 с возбудителем 3 главного генератора и возбудителем 2 вспомогательного генератора.

Общую линию валов окончательно выверяют индикатором относительно струн отвесов в четырех местах по высоте: 1) у турбинного подшипника; 2) у фланца вала; 3) у шейки направляющего подшипника и 4) у верхнего конца надставки вала.

Заключительными операциями сборки являются установка траверс и щеткодержателей и укладка кабелей по генератору.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кабанов С. А., Контроль производства электрических машин, ОНТИ, 1935.
2. Московский М. И., Технология электромашиностроения, Госэнергоиздат, 1947.
3. Виноградов Н. В., Технология производства электрических машин, Госэнергоиздат, 1948 и 1954.
4. Абаза С. А., Технология поточного производства электродвигателей мощностью до 10 квт, Госэнергоиздат, 1950.
5. Сухоруков Ф. Т., Технология обмоточно-изоляционного производства, Госэнергоиздат, 1951.
6. Бромберг В. А., Оборудование и приспособления для механизации изоляционно-обмоточного производства, Госэнергоиздат, 1953.
7. Зимин В. И. и др., Обмотки электрических машин, Госэнергоиздат, 1954.
8. Сергеев П. С., под редакцией, Проектирование электрических машин, Госэнергоиздат, 1956.
9. Алексеев А. Е., Конструкция электрических машин, Госэнергоиздат, 1958.
10. Бертинов А. И. и Ризник Г. А., Проектирование авиационных электрических машин, Оборонгиз, 1958.
11. Лившиц-Гарик М., Обмотки машин переменного тока, перевод с английского, Госэнергоиздат, 1958.
12. Курицкий Е. И. и Линков А. В., Техника безопасности на заводах электротехнической промышленности, Госэнергоиздат, 1958.
13. Жолдак С. А., Лычагин В. Я. и Попов В. С., Технология изготовления электроэлементов для электродвигателей автоматических устройств, Оборонгиз, 1959.
14. Корицкий Ю. В. и Тареев Б. М., под редакцией, Справочник по электротехническим материалам, Госэнергоиздат, 1958 и 1959.
15. «Электросила», сборник № 14, 15, 16 и 17, Госэнергоиздат.
16. Завод «Динамо» в борьбе за технический прогресс, сборник статей, Центральный институт научно-технической информации электротехнической промышленности и приборостроения, 1959 и 1960.
17. Альбом «Обмоточно-изоляционное оборудование», Центральный институт научно-технической информации электротехнической промышленности и приборостроения, 1960.
18. Виноградов Н. В., Обмотчик электрических машин, Профтехиздат, 1961.
19. Зунделевич М. И., Технология производства крупных гидрогенераторов, Госэнергоиздат, 1961.
- 1-1. Консон А. С., Экономика электротехнической промышленности, Госэнергоиздат, 1960.
- 1-2. Борисенко Н. И., Электропромышленность—база электрификации страны, «Электропромышленность и приборостроение», № 24, 1960.
- 1-3. Каневский Л. М., Некоторые вопросы повышения производительности труда в электромашиностроении, «Вестник электропромышленности», № 12, 1956.
- 1-4. Отчет о работе комплексной бригады по обмену опытом в электропромышленности, № 4, ЦБТИ НИИЭ, 1959.
- 2-1. Ган В. Н., Экономика и организация производства в электротехнической промышленности, Госэнергоиздат, 1958.
- 2-2. Комар Е. Г., Вопросы проектирования турбогенераторов, Госэнергоиздат, 1955.
- 3-1. Зубцов М. Е., Листовая штамповка, Машгиз, 1958.
- 3-2. Слонимский М. Б., Метод предупредительного контроля при штамповке листов ротора и статора, «Вестник электропромышленности», № 12, 1956.
- 3-3. Трахтенберг Б. Ф., О применении новых марок электротехнической стали в электрических машинах и силовых трансформаторах, «Вестник электропромышленности», № 8, 1956.
- 3-4. Усенко В. В., Новое в технологии штамповки листов статора и ротора для электродвигателей, «Вестник электропромышленности», № 11, 1956.
- 3-5. Сборник материалов по обмену опытом, Твердосплавные вырубные и пробивные штампы, ЦИНТИЭ, № 347, 1960.
- 3-6. Фришман А. И., Прохоров М. В., Опыт механизации и автоматизации производства электродвигателей на заводе «Вольта», «Вестник электропромышленности», № 11, 1956.
- 3-7. Зильберейд М. М., Расчет вырубных усилий, «Вестник электропромышленности», № 8, 1948.
- 3-8. Цессарский Б. И., О рациональном конструировании вырубных штампов, Информационно-технический сборник, № 13 (97), ЦБТИ МЭП, 1956.
- 3-9. Циханович Б. Г., Усиленные ролики для давяльных работ, сб. «Электросила», № 16, Госэнергоиздат.
- 3-10. Машков И. В., Усовершенствование технологического процесса штамповки направляющего щитка электродвигателей единой серии 5-го габарита, Сборник рационализаторских предложений, № 1 (76), ЦБТИ МЭП, 1957.
- 3-11. Панкратьев А. Ф., Зак А. А., Новый ряд взрывобезопасных врубовокомбайновых электродвигателей, «Электропромышленность и приборостроение», № 14, 1960.
- 3-12. Трухин К. И., Механизация штамповки листов ротора электродвигателей, «Электропромышленность и приборостроение», № 2, 1960.
- 3-13. Рожицкий Б. В., Коган И. Я., Механизм для выноса листов статора и заготовок листов ротора из зоны штампа с последующим ступелированием, Сборник рационализаторских предложений, № 5, ЦИНТИЭ, 1960.

- 3-14. Локшин Д. В., Нейман З. Б., О рациональном применении холоднокатаной электротехнической стали в электрических машинах, «Вестник электропромышленности», № 8, 1959.
- 3-15. Гладких А. И., Харьковский электромеханический завод и его задачи на 1959—1965 гг., «Вестник электропромышленности», № 8, 1959.
- 3-16. Дружинин В. В. и др., Аппарат для измерения удельных потерь и магнитной индукции электротехнической стали в целых листах, «Вестник электропромышленности», № 7, 1958.
- 3-17. Нейман З. Б., Применение холоднокатаных сталей в крупном электромашиностроении, «Электропромышленность и приборостроение», № 5, 1960.
- 3-18. Завод малых электродвигателей фирмы АСЕС Шарлеруа, ЦБТИ МЭП, 1955.
- 3-19. Изготовление листов ротора и статора для двигателей мощностью менее 1 л. с., ЦБТИ МЭП, 1955.
- 3-20. Обмен опытом в электротехнической промышленности, Усовершенствование технологических процессов, опыт Баранчинского электромеханического завода имени Калинина, ЦБТИ МЭП, 1955.
- 3-21. Корхов П. К., Фришман А. И., Некоторые вопросы организации и технологии производства на электромашиностроительных заводах Чехословакии, «Электропромышленность и приборостроение», № 20, 1960.
- 4-1. Стальнов В. К., Грязнова Г. Д., Склеивание крайних пакетов железа сердечников клеем на основе эпоксидных смол, Информационно-технический сборник, № 24 (177), ЦИНТИЭ, 1959.
- 4-2. Тиме Л. А., Механизация работ по снятию грата и лакированию электротехнической стали, Сборник рационализаторских предложений, № 9, ЦИНТИЭ, 1960.
- 4-3. Панфилов Б. И., Пневмогидравлический 18-тонный пресс с усилителем, Сборник рационализаторских предложений, № 9, ЦИНТИЭ, 1960.
- 4-4. Туровец О. Г., Баткин С. З., Некоторые вопросы улучшения технологии шихтовки пакетов, «Электропромышленность и приборостроение», № 3, 1960.
- 4-5. Шкилько Г. Я., Исследование свойств магнитопровода асинхронных электродвигателей, «Электропромышленность и приборостроение», № 9, 1960.
- 4-6. Королев В. И., Эмаль для лакировки активной стали электрических машин, «Электропромышленность и приборостроение», № 20, 1960.
- 4-7. Электротехнические металлокерамические изделия, Материалы технического совещания, ЦИНТИЭ, 1959.
- 4-8. Тимофеев С. С., Применение пневматических сблывателей для опрессовки активной стали электромашин, сб. «Электросила», № 14, 1956.
- 4-9. Куликов Н. В., Опыт завода «Электросила» по производству крупных машин постоянного тока, сб. «Электросила», № 17, 1959.
- 5-1. Егоров Б. А., Производство и ремонт коллекторов крупных электрических машин, Госэнергоиздат, 1959.
- 5-2. Бабаджанян П. А. и Люсин Б. И., Конструкция и производство коллекторов электрических машин, Госэнергоиздат, 1960.
- 5-3. Альтман А. Б., Мемелов В. А., Карпова В. П., Перспективы производства и применения металлокерамических коллекторных пластин и контактных колец, «Электропромышленность и приборостроение», № 10, 1960.
- 5-4. Скурихин Л. И., Пайка коллекторных пластин припоем ПМФ-7, Информационно-технический сборник ЦБТИ МЭП, вып. 43, 1952.
- 5-5. Иванов Б. В., Колмакова М. А., Автоматизация и механизация производственных процессов на заводе АТЭ-1, Автотракторное электрооборудование, № 3, 1958.
- 5-6. Шамакин М. К., Фрезерный полуавтомат ФПК-100 для прорезания пазов в пластинках коллекторов, Информационно-технический листок НИАТ, № 18 (472), 1958.
- 5-7. Ковалев П. И., Автомат сборки каркасов коллекторов на пластмассе для автомобильных генераторов, Бюллетень по обмену техническим опытом, НИИ Автоприборов, № 3, 1956.
- 5-8. Циханович Б. Г., Методика проектирования приспособлений для сборки пакетов коллекторов, Информационно-технический сборник ЦБТИ МЭП, вып. 4 (109), 1957.
- 5-9. Циханович Б. Г., Методика проектирования приспособлений для сборки коллекторов, сб. «Электросила», № 16, Госэнергоиздат, 1959.
- 5-10. Виц Ю. И., Рациональная конструкция и методика проектирования пресс-форм для коллекторных манжет электрических машин, сб. «Электросила», № 16, Госэнергоиздат, 1959.
- 5-11. Виц Ю. И., Рациональная конструкция и методика проектирования пресс-форм для изоляционных конусов коллекторов электрических машин, Информационно-технический сборник ЦБТИ МЭП, вып. 18 (102), 1956.
- 5-12. Кудрявцев В. В., Коллекторный миканит на аммофосе, Информационно-технический сборник ЦБТИ МЭП, вып. 2 (131), 1958.
- 5-13. Балыко Ж. С., Кутя И. Т., Новый станок для фрезерования пазового шлица в петушке коллекторной пластины, «Электропромышленность и приборостроение», № 4, 1960.
- 5-14. Селиверстов М. В., Автоматическая линия частичной обработки коллекторных пластин, «Электропромышленность и приборостроение», № 21, 1960.
- 6-1. Фиш А. Я., Тарнопольский Ю. М., Петров А. В., Акуни К. А., Конструкция, расчет и технология производства коллекторов диаметром до 500 мм на пластмассовых корпусах, ЦБТИ НИИЭП, 1959.
- 6-2. Варденбург А. К., Пластические массы в электротехнической промышленности, Госэнергоиздат, 1957.
- 6-3. Бобырев М. Н., Розенбаум С. М., Новые методы изготовления коллекторов, Воронеж, 1957.
- 6-4. Наумов А. Г., Эйтминевич С. К., Изготовление пакетов коллекторов методом ударного пресования, Информационно-технический сборник, вып. 14 (167), ЦБТИ НИИЭ, 1959.
- 6-5. Фиш А. Я., Коллекторы с пластмассовыми корпусами, «Электропромышленность и приборостроение», № 11, 1960.
- 6-6. Ковалев П. И., Автомат сборки каркасов коллекторов на пластмассе для автомобильных генераторов, Информационно-технический сборник, вып. 3 (108), ЦБТИ МЭП, 1957.
- 6-7. Данилов П. К., Универсальный блок для опрессовки коллекторов пластмассой, Сборник рационализаторских предложений, ЦИНТИЭлектропром, № 11, 1960.
- 6-8. Фиш А. Я., Тарнопольский Ю. М., Коллекторы электрических машин диаметром 200—500 мм на несущем пластмассовом корпусе, «Народное хозяйство Советской Латвии», № 3, Рига, 1959.
- 7-1. Бляхман А. Г., Новая технология изготовления медных контактных колец, Сборник рационализаторских предложений, ЦИНТИЭ, № 6, 1960.
- 7-2. Материалы Научно-технического совещания, Электротехнические металлокерамические изделия, ЦИНТИЭ, 1959.

8-1. Казовский Е. Я., Технико-экономические вопросы, связанные с изоляцией электрических машин, ЦБТИ НИИЭ, 1958.

8-2. Передовая, Аллюминий — мощный резерв электрификации, «Электропромышленность и приборостроение», № 4, 1960.

8-3. Майофис И. М., Современные виды обмоточных проводов, «Электропромышленность и приборостроение», № 10, 1960.

8-4. Миллер А. Я., Нормирование процессов укладки обмотки статоров асинхронных электродвигателей, Информационно-технический сборник, № 20 (173), ЦИТИЭ, 1959.

9-1. Чумаков В. Н., Обмоточный станок НП-02, Информационно-технический сборник, вып. 1 (154), ЦБТИ НИИЭлектротехники, 1959.

9-2. Гильберт С. В., Станок для намотки роторов малогабаритных электрических машин, Обмен опытом в электротехнической промышленности, № 294, ЦБТИ НИИЭлектротехники, 1959.

9-3. Пуйло Г. В., Станок для автоматической укладки пазовой изоляции, Информационно-технический сборник, № 14 (167), ЦБТИ НИИЭлектротехники, 1959.

9-4. Слуцкер И. Б., Механизация изготовления якорных катушек, Сборник рационализаторских предложений, вып. 1 (76), ЦБТИ МЭП, 1957.

9-5. Работы ВНИИЭлектромаш по усовершенствованию процессов производства на заводах электротехнической промышленности, Информационно-технический сборник, ЦБТИЭ, № 12 (165), 1959.

9-6. Козорезов М. А., Приспособление для натяжения проводов при намотке секций, Сборник рабочих предложений, вып. 4 (62), ЦБТИ МЭП, 1956.

9-7. Козлов Е. М., Универсально-наладочные приспособления в обмоточно-изоляционном цехе завода «Динамо», ЦБТИ НИИЭлектротехники, 1959.

10-1. Дмитриев С. В., Шарнирный шаблон для намотки секций статора, Сборник рационализаторских предложений, вып. 2 (77), ЦБТИ МЭП, 1957.

10-2. Фарович В. М., Пневматический шаблон для намотки мягких статорных секций, Сборник рационализаторских предложений, вып. 4 (79), ЦБТИ МЭП, 1957.

10-3. Бернштейн Л. М., О конструировании и технологии изготовления секций обмоток статора высоковольтных электродвигателей, «Вестник электропромышленности», № 3, 1960.

10-4. Попов К. К., Станок для обматывания статоров асинхронных электродвигателей, ЦБТИ НИИЭлектротехники, 1959.

10-5. Фришман А. И., Механизация обмотки статоров асинхронных электродвигателей, «Электропромышленность и приборостроение», № 16, 1960.

10-6. Мусвик Б. К., Реконструкция производства крановых электродвигателей, сб. «Завод «Динамо» в борьбе за технический прогресс», ЦИТИЭ, 1960.

10-7. Бондаренко А. А., Полуавтоматические станки для изолировки пазов статоров асинхронных электродвигателей, Сборник рационализаторских предложений, № 3, ЦИТИЭ, 1960.

10-8. Ярошевич В. М., Механизация обмоточных и изолировочных работ в крупном электромашиностроении, сб. «Электросила», № 16, 1959.

11-1. Лысиков М. И., Станки для наложения корпусной изоляции на статорные обмотки стержневого типа крупных электрических машин, Обмен опытом в электротехнической промышленности, № 300, ЦИТИЭ, 1959.

11-2. Циханович Б. Г., Установка для поворота статоров мощных турбогенераторов при обмотке, сб. «Электросила», № 17, Госэнергоиздат, 1959.

11-3. Хвальковский А. В., Новые типы изоляции статорных обмоток высоковольтных генераторов, ЦИТИЭ, 1959.

11-4. Новаторы электротехнической промышленности завода «Электросила», Передовые приемы обмоточных работ в производстве электрических машин, Госэнергоиздат, 1954.

12-1. Пономарев Л. Т., Эскапоновая электрическая изоляция, ЦИТИЭ, 1958.

12-2. Козлов Е. М., Универсально-наладочные приспособления в обмоточно-изоляционном цехе завода «Динамо», ЦИТИЭ, 1959.

12-3. Егоров И. А., Ремонт обмоток крупных электрических машин, Госэнергоиздат, 1953.

13-1. Сафронов А. В., Методы обнаружения дефектов роторов асинхронных двигателей, ЦИТИЭ, 1959.

13-2. Кравчик Э. Д., Асинхронные электродвигатели с алюминиевыми обмотками, «Электропромышленность и приборостроение», № 4, 1960.

13-3. Черепенин Л. А., Опыт механизации заливки алюмином короткозамкнутых роторов единой серии 9-го габарита, Информационно-технический сборник № 82, ЦБТИ МЭП, 1955.

13-4. Иванов Н. П., Клейнман И. Л., Самойлович Н. Я., Короткозамкнутые асинхронные двигатели с одной клеткой из стержней специального профиля, сб. «Электросила», № 12, 1954.

13-5. Лятос Р. Р., Богачев Ю. А., Литье под давлением, Информационно-технический сборник, № 16 (121), ЦБТИ МЭП, 1957.

14-1. Миренбург Л. А., Ремонт роторов турбогенераторов в станционных условиях, Госэнергоиздат, 1959.

14-2. Циханович Г. Б., Установка для обмотки роторов турбогенераторов, сб. «Электросила», № 16, 1959.

14-3. Хазан А. Н., Шкатова А. М., Влияние температуры старения на механические свойства немагнитной бандажной стали, сб. «Электросила», № 15, 1957.

15-1. Степанов Н. П., Установка для намотки полюсных катушек гидрогенераторов, Сборник рационализаторских предложений, вып. 4 (79), ЦБТИ МЭП, 1957.

15-2. Зусман В. А., Рожицкий Б. В., Головка для изолировки лентой катушек, Сборник рационализаторских предложений, № 11, ЦИТИЭ, 1960.

15-3. Козлов Е. М., Станки для наложения покровной ленты на катушки, сб. «Завод «Динамо» в борьбе за технический прогресс», ЦИТИЭ, 1960.

15-4. Зунделевич М. И., Специальный технологический профиль меди роторных катушек гидрогенераторов, сб. «Электросила», № 14, Госэнергоиздат, 1956.

16-1. Лехциер И. Р., Методы соединения алюминиевых проводов и шин между собой и окантовка их медью, «Электропромышленность и приборостроение», № 4, 1960.

16-2. Лужение и пайка с помощью ультразвука, Сборник рационализаторских предложений, № 10, ЦИТИЭ, 1960.

16-3. Петросов Ю. М., Облегченные клещи для пайки меднофосфористым припоем, Сборник рационализаторских предложений, № 11, ЦИТИЭ, 1960.

16-4. Лиссер В. И., Опрессовка наконечников на проводах, Информационно-технический сборник, вып. 8 (113), ЦБТИ МЭП, 1957.

16-5. Куликов Ф. В., Лехциер И. Р., Твердая пайка, Госэнергоиздат, 1959.

16-6. Соловейчик И. Е., Клейменов М. Р., Электроконтактная пайка якорей электродвигателей, сб. «Завод «Динамо» в борьбе за технический прогресс», ЦИТИЭ, 1960.

17-1. Бандажирование якорей тяговых электродвигателей стеклолентой, пропитанной полиэфирной смолой, «Электропромышленность и приборостроение», № 14, 1960.

17-2. Алексеева К. С., Автомат для строжки клиньев электродвигателей», Сборник рационализаторских предложений, № 11, ЦИНТИЭ, 1960.

18-1. Полисский Н. Я. и др., Механизация пропиточно-сушильных работ на Харьковском электромеханическом заводе, ЦБТИ МЭП, 1956.

18-2. Шаров В. Л., Пропиточно-сушильный агрегат для крановых электродвигателей, сб «Завод «Динамо» в борьбе за технический прогресс», ЦИНТИЭ, 1960.

18-3. Быховская М. Х., Когтева Е. В., Использование водноэмульсионного лака для пропитки обмоток электродвигателей серии МТ, сб. «Завод «Динамо» в борьбе за технический прогресс», ЦИНТИЭ, 1960.

18-4. Зусмановская Л. Л., Курочка А. Л., Пропитка обмоток якорей электрических машин термореактивным лаком, Обмен опытом в электротехнической промышленности, № 353, ЦИНТИЭ, 1960.

19-1. Смирнов М. В., Контроль и испытание обмоток электрических машин и аппаратов, Госэнергоиздат, 1959.

19-2. Коварский Е. М., Ремонт электрических машин, Госэнергоиздат, 1960.

19-3. Труфанов С. А., Конвейер для контрольных испытаний крановых асинхронных двигателей, «Вестник электропромышленности», № 3, 1960.

19-4. Яблонник Л. М., Контроль качества паяных головок стержней статорных обмоток гидро- и турбогенераторов, «Вестник электропромышленности», № 3, 1960.

20-1. Мягков В. Д., Допуски и посадки, справочник, Машгиз, 1957.

20-2. Греков Н. А., Применение ультразвуковой дефектоскопии для определения качества металла, сб. «Электросила», № 15, 1957.

20-3. Иванов Б. В., Колпаков М. А., Автоматизация и механизация производственных процессов на заводе АТЭ-1, Информационно-технический сборник, № 1 (154), ЦИНТИЭ, НИИЭ, 1959.

20-4. Варшавский И. И., Из опыта эксплуатации автоматической линии вал — ротор, Информационно-технический сборник, вып. 5 (110), ЦБТИ МЭП, 1957.

21-1. Рюмин В. Н., Абрамсон С. И., Проблемы автоматизации процессов общей сборки электродвигателей, ЦБТИ НИИЭ, 1958.

21-2. Описание и инструкция по подготовке к пуску и эксплуатации турбогенератора с водородным охлаждением, МЭП.

21-3. Ривлин Л. Б., Монтаж крупных электрических машин, Госэнергоиздат, 1956.

21-4. Шершнева Е. Г., Электрованна с пневмоподъемной корзиной для подогрева подшипников, Сборник рационализаторских предложений, вып. 11 (69), ЦБТИ МЭП, 1956.

21-5. Гургенидзе М. З., Измерение тока в подшипниках крупных электрических машин, Информационно-технический сборник, вып. 14 (119), ЦБТИ МЭП, 1957.

1р 51к.

