

Б. В. МАЛКИН, А. А. ВОРОБЬЕВ

# ТЕРМИТНАЯ СВАРКА

ЧД 1-84991-5020-32-63H

ИЗДАТЕЛЬСТВО  
МИНИСТЕРСТВА КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА РСФСР

Москва — 1963

В книге дано общее теоретическое обоснование термитных смесей, приведена методика расчета сварочного термита, изложена технология термитной сварки стыков рельсов и производства специальных частей трамвайного пути — крестовин и пересечений, а также кратко освещены вопросы использования термита в других отраслях народного хозяйства.

Книга рассчитана на инженерно-технических работников мастеров и рабочих городского электротранспорта, занимающихся вопросами термитной сварки.

## ВВЕДЕНИЕ

Одним из наиболее экономичных и надежных в работе видов общественного транспорта по-прежнему остается трамвай.

Основной элемент трамвайного хозяйства — путь, техническое состояние которого обуславливает работу трамвая.

Наличие бесстыкового сварного пути во многом улучшает работу трамвая: устраняется шум от удара колес по стыкам рельсов, уменьшаются затраты на содержание пути, повышается скорость движения трамвая, увеличивается межремонтный пробег подвижного состава и кардинально решается проблема борьбы с блуждающими токами. Все это свидетельствует о необходимости как можно скорее внедрить во всех трамвайных хозяйствах современную технологию сварки стыков рельсов. Применение устаревшей технологии термитной сварки стыков наносит экономический ущерб и заставляет некоторые хозяйства применять иные способы сварки с низкими прочностными данными.

Книга знакомит читателя с современными достижениями сварочной техники в области термитной сварки. Кроме того, в ней рассматриваются вопросы применения термитной сварки в других отраслях народного хозяйства.

## Глава I

### СУЩНОСТЬ ПРОЦЕССА ТЕРМИТНОЙ СВАРКИ

Термитная сварка — процесс сварки металлических деталей жидким металлом заданного химического состава, получаемого в результате термитной (алюминотермической) реакции. Сущность термитной реакции заключается в том, что алюминий способен восстанавливать окислы металлов со значительным выделением тепла, в результате чего происходит изменение потенциального состояния энергии и рекристаллизация компонентов, участвующих в процессе:

$$Q = (U_1 - U_2) - A, \quad (1)$$

где:  $Q$  — теплота реакции;

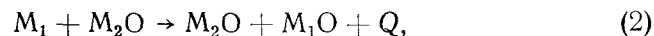
$U_1 - U_2$  — изменение энергетического состояния материалов;

$A$  — работа по рекристаллизации компонентов.

Значительное количество тепла, выделяемого при термитной реакции, длительное время сохраняет металл в жидком перегретом состоянии и дает возможность использовать его для технологических целей.

В отличие от обычного процесса горения термитная реакция может происходить в замкнутых системах или даже в вакууме, так как реакция происходит за счет кислорода, содержащегося в окислах металлов.

Термитный процесс с железо-алюминиевым составом протекает в соответствии со следующей зависимостью:



где:  $M_1$  — металл, стоящий левее в ряду напряжений химических элементов (см. табл. 3). В рассматриваемой реакции  $Al$ ;

$M_2$  — металл, стоящий правее в ряду напряжений. В данном случае  $Fe$ ;

$M_2O$  — окислы железа ( $FeO$  и  $Fe_2O_3$ );

$M_1O$  — окись алюминия ( $Al_2O_3$ );

$Q$  — теплота реакции.

Основным высококалорийным горючим, применяющимся в термитных смесях, является алюминий. После кислорода и кремния алюминий является самым распространенным элементом земной коры и составляет около 8% массы Земли (железо 4,7%).

Алюминий в тонкоизмельченном состоянии при нагревании на воздухе быстро окисляется, выделяя большое количество тепла, и образует окись алюминия  $Al_2O_3$  — прочное химическое соединение с температурой плавления  $2050^\circ$  и температурой кипения  $2980^\circ$ . Теплота образования окиси алюминия  $378 \text{ ккал/моль}$ .

Удельный вес алюминия  $2,7 \text{ г/см}^3$  при  $20^\circ$ ; в расплавленном состоянии, при температуре  $1000^\circ$  —  $2,35 \text{ г/см}^3$ . Температура плавления технически чистого алюминия ( $99,5\%$ ) —  $659,8^\circ$ ; температура кипения —  $2400^\circ$ . Для окисления алюминия на  $1,12 \text{ г}$  металла требуется  $1 \text{ г}$  кислорода. При этом алюминий, сгорая, выделяет  $714 \text{ кал}$  тепла и развивает температуру до  $3000^\circ$ .

Принцип получения трудновосстанавливаемых металлов из их окислов впервые был выдвинут крупнейшим русским ученым-химиком, основоположником современной физической химии Н. Н. Бекетовым. В 1865 г. в своей докторской диссертации «Исследования над явлениями вытеснения одних элементов другими» Бекетов превратил этот принцип в научную теорию, заложив основу алюминотермии. Он установил, что алюминий обладает очень большой активностью, соединяясь с кислородом, и что при определенных условиях алюминий легко восстанавливает из окислов другие металлы, стоящие правее его в таблице напряжений химических элементов.

Сварочный термит состоит из порошкообразного металлического алюминия и окислов железа в виде окалины (технологического отхода горячей обработки стали), а также различных присадок, вводимых в шихту для легирования получаемой стали.

Какие условия необходимы для начала термитной реакции?

1. Термитная шихта должна быть рассчитана так, чтобы в ходе реакции выделилось необходимое количество тепла для расплавления и перегрева конечных продуктов термитной реакции.

2. Компоненты термитной шихты: алюминиевый порошок и окислы железа должны быть мелких фракций и тщательно перемешаны.

3. Для начала термитной реакции в любой точке термитной шихты необходимо создать температурный толчок не ниже  $1350^\circ$ , после чего термитная реакция быстро распространится на всю шихту.

В результате термитной реакции, которая в течение 15—30 сек. протекает очень активно, образуются металл (около 50% от первоначального веса термитной шихты) и шлак.

В процессе термитной реакции часть тепла расходуется на нагревание стенок тигля, лучеиспускание и т. д. Однако, несмотря на это, количество выделяющегося тепла достаточно для того,

чтобы расплавить шихту и перегреть продукты реакции—жидкий металл и шлак—до 2600—2700°. Это обуславливает возможность получения чистого металла, так как благодаря значительной разнице в удельных весах жидкий шлак всплывает на поверхность, а металл опускается на дно тигля.

Качество термитного металла определяется физико-химическими свойствами компонентов шихты.

Для получения металла (стали) нужного химического состава в шихту вводят в измельченном состоянии легирующие материалы: ферромарганец, ферромolibден, ферротитан, феррованадий, углерод и т. д.

Измельченная легирующая присадка закладывается в тигель вместе с термитными компонентами.

Участие легирующих элементов в термитной реакции—очень многообразно: они легируют термитную сталь, раскисляют и рафинируют ее. Кроме того, они частично теряются—испаряются и переходят в шлак.

Ценные ферросплавы (ферротитан, феррованадий и др.) повышают прочность термитной стали, так как в ходе реакции, находясь в жидком состоянии, они образуют карбидную фазу титана и ванадия. Наличие в стали перечисленных карбидов увеличивает ее мелкозернистость, повышает твердость и т. п.

Длительность термитной реакции от момента зажигания термита до ее окончания и полного отделения металла от шлака находится в прямой зависимости от количества сжигаемого термита и колеблется от 15 до 40—50 сек.

При одновременном сжигании больших количеств термита реакция протекает с относительно небольшими потерями тепла.

Термитные смеси в зависимости от их назначения можно условно разделить на следующие группы:

1) элементарная термитная смесь—железная окалина плюс алюминиевый порошок в стехиометрическом соотношении;

2) термит для сварки рельсовых стыков. В шихту вводится стальной наполнитель—мелкие кусочки малоуглеродистой проволоки или стальная малоуглеродистая стружка, ферромарганец и порошкообразный графит;

3) термит для сварки легированных сталей. В качестве присадки используются ферротитан, феррованадий и др.;

4) термит для сварки чугуна. В присадку вводится значительное количество кремния. Марганец исключается. Высокое содержание кремния в термитном металле способствует выделению графита в сварочной и переходной зонах и обеспечивает получение достаточно прочных сварных соединений;

5) термит для сварки высокомарганцовистых сталей. В этот термит вводится увеличенное количество марганца и углерода в виде ферромарганца и чугунной стружки;

6) специальные термиты—пиротехнические, для наварки пода

в металлургических печах, уменьшения усадочных раковин в слитках, вторичного дробления минералов и руд, изготовления термитных брикетов и т. п.

## 1. История развития производства термита и термитной сварки рельсов

В Москве термитную сварку впервые применили в 1915 г., когда было сварено 126 стыков. В 1918 г. сварили еще 151 стык. С 1923 г. в трамвайных путях столицы начинают регулярно варить стыки термитом. До 1925 г. стыки сваривали импортным термитом. В 1925 г. на Московском термитно-стрелочном заводе инженером М. А. Карасевым было налажено промышленное производство термита.

М. А. Карасев внес крупный вклад в развитие алюминотермии, организовав на базе отечественной технологии выпуск термитных смесей для народного хозяйства. Он предложил рациональные способы производства алюминиевого порошка и термита. Ему были выданы авторские свидетельства на «аппарат для получения зерноволокнистого алюминия», «шаровой мельницы для производства алюминиевого порошка», «механической нагревательной печи для обжига железной обечки и окалины при изготовлении термита» и т. п.

В последующие годы в путях московского трамвая было сварено термитом свыше 100 000 стыков.

Сварка производилась двумя способами: комбинированным и врасклинку. Ввиду того, что стыки, свариваемые последним способом, часто выходили из строя, к 1931 г. этот способ перестали применять. Вместо него начали внедрять способ сварки промежуточным литьем. Одновременно начали применять способ сварки «дуплекс» (способ промежуточного литья с последующим прессованием). Однако этот способ не получил широкого распространения из-за сложности технологического процесса.

Качество сварки термитных стыков за первые 10 лет ежегодно улучшалось, и количество лопнувших (в течение года) стыков в среднем не превышало 0,8%.

Применение отечественного термита для сварки рельсовых стыков показало его превосходство перед импортировавшимся термитом. В стыках рельсов, сваренных отечественным термитом, значительно меньше процент брака. Это подтверждают результаты эксплуатации первой очереди Московского метрополитена. Так, например, каждый рельсовый стык на участке Сокольники—Парк культуры в 1938 г. выдержал 13,4 млн. ударов с грузонапряженностью 53 млн. т-км.

В 1936 г. вышло из строя 0,17% от количества эксплуатируемых в путях стыков, в 1937 и 1938 г. — по 0,5%.

Из приведенного количества выбывших из строя стыков 75% разрушились из-за наличия болтовых отверстий в зоне сварки.

В эти же годы термит стали внедрять в другие отрасли народного хозяйства. В частности, была разработана и успешно осуществлена термитная сварка стыков легированных труб первого прямого котла высокого давления; начали применять также термитную сварку для ремонта крупногабаритных стальных деталей: валов, колонн и т. п.

## 2. Применение термитной сварки в трамвайных хозяйствах

Сварка стыков рельсов радикально решает проблему борьбы с блуждающими токами, которые наносят значительный ущерб подземным металлическим коммуникациям.

Бесстыковой путь дает возможность уменьшить экономические затраты по текущему содержанию пути, позволяет увеличить скорость движения рельсового транспорта, уменьшает шум и удлиняет срок службы подвижного состава.

Рассматривая применяющиеся в настоящее время различные способы сварки стыков рельсов — электроконтактный, электрошлаковый, газопрессовый, ванный, электродуговой с приваркой накладок и подкладок и термитный, — нельзя не отдать предпочтение последнему, у которого такие преимущества:

- 1) удобство, маневренность применяющейся оснастки;
- 2) возможность применения без электроэнергии;
- 3) высокая производительность;
- 4) достаточная прочностная характеристика.

Термитная сварка позволила к 1953 г. в Москве и Ленинграде иметь в трамвайных путях бесстыковые соединения.

В трамвайных хозяйствах многих городов отдается предпочтение термитной сварке стыков рельсов. За последние 25—30 лет термитная сварка претерпела небольшие качественные изменения.

Из всех способов термитной сварки — кузнечного, промежуточного литья, комбинированного, «дуплекс» — получил широкое распространение способ промежуточного литья.

С 1950 г. применяется модернизированный способ промежуточного литья — «единый» способ, который хотя и не дает провара по всему сечению рельсов, но благодаря простоте всего технологического процесса позволил расширить внедрение термитной сварки в трамвайных путях.

В связи с массовым применением термитной сварки на транспорте появилась потребность как в качественном улучшении сварного стыка — получение плотного стыка с хорошим проваром и постоянством химического состава термитной стали, так и в изменении количественных характеристик — повышение производительности, уменьшение расхода материалов и т. д.

В настоящее время продолжительность сварки термитом одного стыка достигает 40—45 мин., а прочность стыка рельсов Р-43 на излом не превышает 60 т, что ниже достигнутых данных таких стран, как ГДР и ЧССР.

Исследования, проводившиеся авторами на Московском термитно-стрелочном заводе, позволяют сделать следующие выводы:

- 1) разработать новые марки высококалорийного термита с введением в шихту ряда легирующих элементов;
- 2) применить легкую универсальную оснастку и новую сварочную аппаратуру;
- 3) применить интенсифицированный предварительный подогрев стыка с подачей в пламя кислорода под давлением или сжатого воздуха;
- 4) внедрить новые огнеупоры, обладающие высокой газопроницаемостью, достаточной термической устойчивостью и механической прочностью.

## Глава II

### ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ И МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕРМИТНОЙ СВАРКИ

#### 1. Условия, необходимые для проведения термитной реакции

Чтобы осуществить термохимическую реакцию между восстановителем и окислителем, необходимо наличие определенных условий, как то: химической чистоты компонентов термитной шихты, соответствующего измельчения их, определенного соотношения составляющих термита в шихте, доведения термитной смеси до температуры начала реакции.

В составе железо-алюминиевого термита восстановителем является алюминий в порошкообразном состоянии, а окислителем — порошок железной окалины. Химическая чистота восстановителя и окислителя необходима для обеспечения определенной активности и теплотворной способности термита, а также для качества сварки.

Влияние химической чистоты алюминиевого порошка на качество сварных стыков видно из данных за 1938 г. (табл. 1).

Для термитной сварки рельсов используются алюминиевые порошки из алюминия марок А-00, А-0, А-1 по ГОСТ 3549—55. Содержание алюминия в этих порошках находится в пределах: для А-00—99,05% Al; для А-0—98,95% Al и для А-1—98,80% Al.

Таблица 1

Химическая чистота алюминиевого порошка	Количество обследованных стыков	Процент стыков, лопнувших в течение года
99% Al	2370	0,14
97% Al	1721	0,23
96% Al	503	0,33
94% Al	829	0,48
91% Al	808	2,13

Окислитель — железная окалина — должен содержать минимальное количество кремния, серы и фосфора.

Кислородный баланс окалины 24,5—26% O<sub>2</sub>, что недостаточно для получения активной высококалорийной термитной реакции. Чтобы увеличить содержание кислорода в окалине, ее подвергают специальной обработке при высокой температуре в окислительной среде.

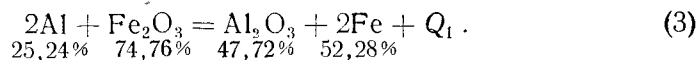
Большое влияние на ход реакции оказывает измельчение составляющих термитной шихты. Более крупные компоненты используются в реакциях с большими порциями шихты. Для небольших порций термита применяют более измельченные порошки.

В табл. 2 приводятся средние данные по грануляции порошкообразных составляющих термита, принятые в разных странах.

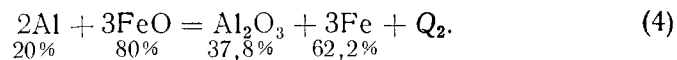
Таблица 2

Основные составляющие термитной шихты	ГДР		ЧССР		Московский термитно-стрелочный завод	
	измельчение в мм	содержание в %	измельчение в мм	содержание в %	измельчение в мм	
					до 1948 г.	с 1948 г.
Восстановитель	0,6—0,2	40—75	0,6—0,2	50—75	0,75—0,1	1,0—0,00
	0,2—0,15	15—30	0,2—0,1	15—30		
	0,15—0,075	10—25	0,1	10—20		
	0,075	5—20				
Окислитель	1,5—1,0	5—15	1,4—0,4	30—50	0,75—0,1	1,0—0,00
	1,0—0,5	15—50	0,4—0,1	50—70		
	0,5—0,15	40—70	0,1	0,00		

Кроме определенной химической чистоты и измельчения составляющих термита, в термитной шихте необходимо создать правильные соотношения компонентов. Если железная окалина состоит из окиси железа Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (содержание кислорода 30,06%), то в соответствии с уравнением (3) соотношение компонентов определится:



Если окалина состоит из закиси железа FeO (содержание кислорода 22,27%), то соотношение будет:



В зависимости от кислородного баланса окалины, который находится в пределах 22,27—30,06%, содержание алюминия, как видно из выражений (3) и (4), колеблется в пределах 20—25,24%.

Отклонение от указанных пределов в ту или иную сторону нарушает нормальные соотношения восстановителя и окислителя в термите, что приводит к снижению его калорийности, повышает в термитном металле содержание Al или насыщает металл кислородом, что отрицательно влияет на качество термитной сварки.

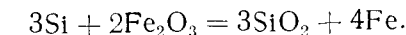
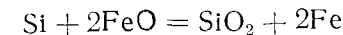
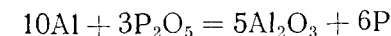
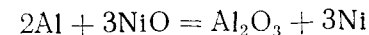
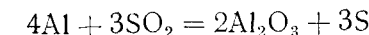
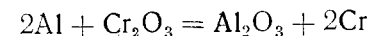
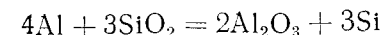
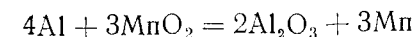
Чтобы осуществлялась реакция между алюминием и железной окалиной, термитная шихта должна быть нагрета до температуры воспламенения, которая для железо-алюминиевого термита при указанной выше химической чистоте компонентов и измельчении, а также правильно выбранном соотношении составляющих достигает 1340—1360°. Это — критическая точка начала активной реакции, хотя медленно протекающие термохимические процессы уже начинаются при нормальной температуре после смешения компонентов термитной шихты.

Медленно протекающие термохимические процессы безопасны, но они снижают теплотворную способность термита, вследствие этого длительное хранение его нежелательно.

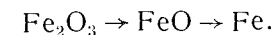
## 2. Термохимические реакции

Компоненты термитной шихты имеют различные примеси: окалина Mn, Si, S, P, C, Ni, Cr, Cu и др.; алюминиевый порошок — Si, Cu, Mg, Zn, Pb и др.

Наряду с основной термохимической реакцией между алюминием и окислами железа происходит ряд дополнительных химических реакций:



Окислы железа во время реакции раскисляются с образованием чистого железа:



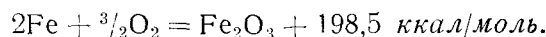
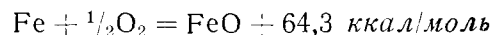
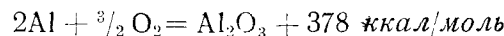
В соответствии с рядом напряжений все элементы, стоящие левее, во время реакции способны из окислов вытеснять элементы, расположенные правее. Следовательно, из ряда напряжений (табл. 3) алюминий имеет возможность вытеснять из окислов Mn, Si, Cr, Ni и т. д.

K, Na, Ca, Mg, Al, Mn, Si, Cr, S, Fe, Co, Ni, Sn, Pb, H, Cu.

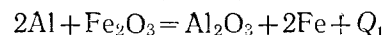
В процессе реакций как основных элементов, так и примесей происходит выделение тепла (экзотермические реакции).

Все химические реакции подчиняются закону постоянства сумм тепловых эффектов — закону русского ученого Гесса, который установил, что какими бы путями из исходных веществ ни получались определенные химические продукты, суммы тепловых эффектов всех отдельных реакций вдоль каждого пути одинаковы.

Так, тепловой эффект соединений:



или тепловой эффект реакций (3) и (4) выразится:



$$\text{O} - 198,5 \text{ ккал/моль} = -378 \text{ ккал/моль} + \text{O} + Q_1 \text{ или } Q_1 = 378 - 198,5 = 179,5 \text{ ккал/моль}$$



$$\text{O} - 3 \cdot 64,3 \text{ ккал/моль} = -378 \text{ ккал/моль} + \text{O} + Q_2 \text{ или } Q_2 = 378 - 192,9 = 185,1 \text{ ккал/моль.}$$

В соответствии с законом сохранения энергии, энергия не теряется и не создается вновь, она переходит из одного состояния в другое.

Алюминий в процессе окисления в  $\text{Al}_2\text{O}_3$  способен выделить 378 ккал/моль тепла, а для восстановления из окисла  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  железа Fe поглощается 198,5 ккал/моль. Во время реакции получаем разницу в тепловом балансе (179,5 ккал/моль), которую используем для сварки.

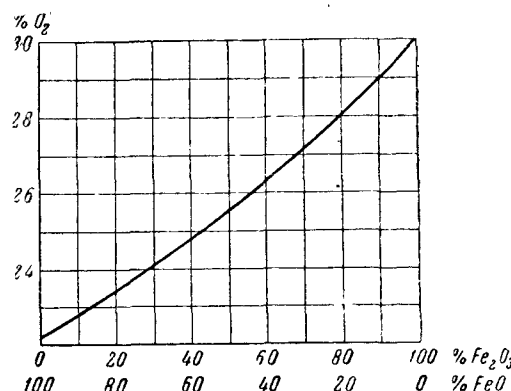


Диаграмма 1. Зависимость между кислородным балансом окалины и содержанием закисного и окисного железа.

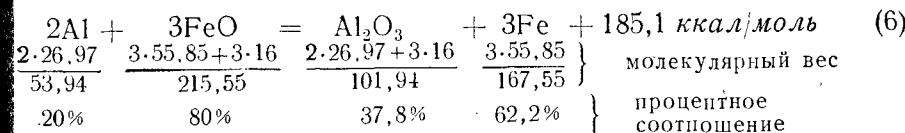
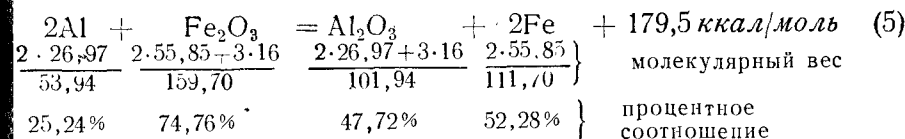
В процессе восстановления железа из окисла кислородный баланс\* в окалине сокращается. Окись железа  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  постепенно переходит в закись железа  $\text{FeO}$ , а последняя, теряя кислород, образует чистое железо.

Между содержанием

кислорода в окалине и количеством закисного и окисного железа существует определенная зависимость (диаграмма 1).

### 3. Тепловой баланс термитных реакций

В процессе термохимических реакций между алюминием и окислами железа выделяется теплота, которая для реакций с окисью и закисью железа имеет значения:



Если 2·26,97 грамм-молекулы алюминия в процессе реакции с окисью железа выделяют 179,5 ккал/моль, а 25,24% Al (0,2524 — процентное содержание алюминия в весовой единице термита) будут выделять  $x$  калорий теплоты, то  $2 \cdot 26,97 - 179,5 \text{ ккал/моль}$   $0,2524 - x$

$$\text{или } x = \frac{179,5 \cdot 0,2524}{2 \cdot 26,97} = 843 \text{ ккал/кг,}$$

т. е. при сгорании 1 кг термита выделяется 843 ккал тепла.

Скрытая теплота плавления Fe — 65 ккал/кг.

Скрытая теплота плавления  $\text{Al}_2\text{O}_3$  — 49 ккал/кг.

Имеем  $65 \cdot 0,5228 + 49 \cdot 4,772 = 57,4$  или при окиси  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  1 кг термита дает  $843 - 57,4 = 785,6$  ккал тепла.

При средней теплоемкости расплавленного Fe  $C_{p\text{Fe}} = 0,22 \text{ ккал/кг} \cdot \text{град}$ , и теплоемкости  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

$$C_{p\text{Al}_2\text{O}_3} = a + bT - cT^{-2} = 27,43 + 3,06 \cdot 10^{-3} \cdot 2600 - 8,47 \cdot 10^5 \times \times 2600^{-2} = 3,53 \text{ ккал/град} \cdot \text{моль или } \frac{35,3}{101,94} \approx 0,35 \text{ ккал/кг} \cdot \text{град.}$$

Температура, развиваемая во время реакции, будет:

$$t = \frac{Q}{m(C_{p\text{Fe}} \cdot a + C_{p\text{Al}_2\text{O}_3} \cdot b)} \quad (7)$$

где:

$t$  — температура реакции в град;

$Q$  — теплотворная способность термита в ккал/кг;

$m$  — масса термита в кг;

$C_{p\text{Fe}}$  и  $C_{p\text{Al}_2\text{O}_3}$  — теплоемкости в ккал/кг·град;

$a, b$  — процентное содержание Fe и  $\text{Al}_2\text{O}_3$  в термитном расплаве.

Для реакции (5)

$$\frac{785,6}{1(0,22 \cdot 0,5228 + 0,35 \cdot 0,4772)} = 2670^\circ.$$

Для реакции (6) соответственно:

$$Q = 606 \text{ ккал/кг} \text{ и } t = 2260^\circ.$$

Если в железной окалине колебание кислородного баланса находится в пределах:

$$\Delta O_2 = 30,06\% O_2 - 22,27\% O_2 = 7,79\% O_2,$$

то отклонение в калорийности термита будет:

$$\Delta Q = 785,6 \text{ ккал/кг} - 606 \text{ ккал/кг} = 179,6 \text{ ккал/кг},$$

а по температуре реакции:

$$\Delta t = 2670^\circ - 2260^\circ = 410^\circ.$$

Изменение кислородного баланса окалины на 1% вызывает соответствующие изменения в калорийности термита на 23 ккал/кг.

Статистическая обработка материалов по химическим анализам на железную окалину, вводимую в сварочный термит на Московском термитно-стрелочном заводе, за 1931—1935 гг. дала следующий кислородный баланс:

$$\frac{23,59\% O_2 - 28,13\% O_2}{25,81\% O_2} \Delta O_2 = 4,54\%.$$

Исследования на этом заводе импортной окалины дали следующие результаты кислородного баланса окалины (табл. 4).

Таблица 4

Состав импортной железной окалины	Химический анализ в %						Средние значения
	Даты проведения анализа на МТСЗ						
	декабрь 1931 г.	декабрь 1931 г.	апрель 1932 г.	август 1932 г.	ноябрь 1932 г.	ноябрь 1932 г.	
Fe	71,2	69,9	71,3	68,88	68,20	68,65	70,02
Mn	0,32	0,30	0,33	0,56	0,60	0,37	0,41
Si	0,17	0,18	0,12	0,36	1,37	1,0	0,53
O <sub>2</sub>	28,31	29,62	28,25	30,30	30,86	29,98	29,5

или

$$\frac{28,25\% O_2 - 30,86\% O_2}{29,55\% O_2} \Delta O_2 = 2,61\%.$$

Из результатов исследования составов железной окалины по кислороду имеем разницу в кислородном балансе:

$$29,55\% O_2 - 25,81\% O_2 = 3,74\% O_2,$$

что дает отклонение по калорийности термита:  $23 \text{ ккал/кг} \times 3,74\% O_2 = 86 \text{ ккал/кг}$  или 12,4% (в процентном отношении).

Для значений минимального кислородного баланса (23,59% O<sub>2</sub>) отклонения по калорийности составляют до 20%.

Калорийность термита, выпускавшегося в 30-е годы, вследствие несовершенства технологии термической обработки окалины была на 12—20% ниже оптимальных возможностей термитных смесей по их теплотворной способности.

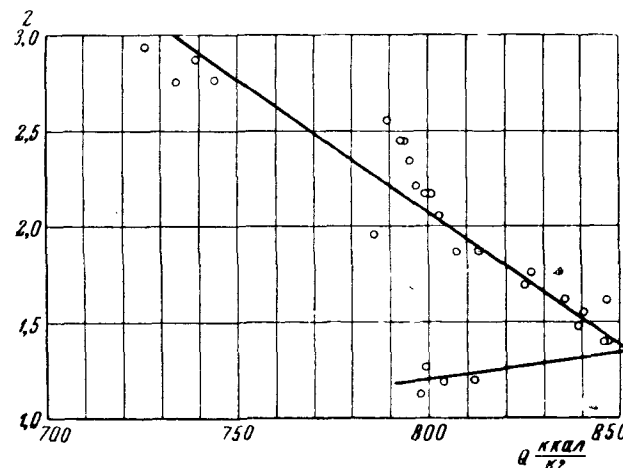


Диаграмма 2. Калорийность термита для различных значений соотношения основных компонентов шихты.

Если приводимые относительные значения в расчетах теплового баланса термита имеют достаточную степень точности, то нельзя говорить об абсолютных значениях, так как принятые величины скрытой теплоты плавления и средней теплоемкости требуют тщательной проверки применительно к условиям термитных реакций.

Интересным материалом по определению абсолютных значений калорийности железо-алюминиевого термита являются измерения его калорийности в адиабатическом калориметре, проводившиеся на МТСЗ.

В калориметре испытывался термит, содержащий алюминиевый порошок с химической чистотой по Al 98,18% и кислородным балансом окалины 25,05% O<sub>2</sub>.

Калорийность термита (диаграмма 2) резко меняется с изменением соотношения основных компонентов термитной шихты и для различных значений коэффициента  $z = \frac{Al}{O_2}$  имеет значения (см. диаграмму 2).



С увеличением кислородного баланса окалины повышается калорийность термита, которая достигает 850 ккал/кг для максимальных значений содержания кислорода в окалине (диаграмма 3).

Результаты калориметрических измерений теплоты, выделяемой в процессе реакции, уточняют ориентировочные расчеты, приводимые в настоящем разделе.

С введением в термитную шихту металлической обечки калорийность термита несколько снижается, так как часть ее расходуется на расплавление обечки.

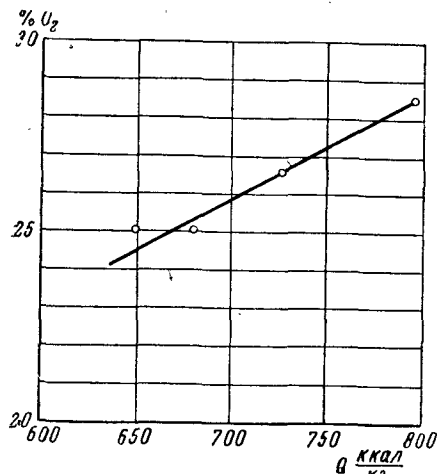


Диаграмма 3. Изменение калорийности термита  $z = 1,12$  в зависимости от кислородного баланса окалины.

Стальная обечка увеличивает выход термитного металла из расплава, однако чрезмерное ее содержание в шихте может охладить термитный металл.

Калориметрические измерения сварочного термита с качественными показателями ( $z = 1,030$ ;  $Al = 96,32\%$ ;  $O_2 = 26,58\%$ ) дают следующие значения теплоты реакции (диаграмма 4).

Если принять содержание обечки в шихте в размере 10%, что установлено практикой термитных сварок в различных странах для средних сечений рельсов, то для этих значений калорийность термита снизится на 8%. Для термитов, имеющих высокий кислородный баланс окалины, снижение калорийности за счет введения указанного выше количества обечки несущественно. Для термитов с содержанием 24%  $O_2$  суммарное снижение калорийности достигает 25–30%, что неприемлемо для сварки.

Обязательным условием постоянства теплотворной способности термита является стабильность состава железной окалины по кислороду.

Если разброс по кислородному балансу окалины допускался в размере  $\Delta O_2 = 2,61\text{—}4,54\%$  (колебания по калорийности  $\Delta Q = 60\text{—}150$  ккал/кг или 13,5–15,1% потерь тепла), то в соответствии со стандартом TGL 3082–56 (ГДР) колебание кислородного баланса для окалины допускается в пределах 0,05%  $O_2$  (колебание по закиному железу 13,5–14% FeO). Это обеспечивает высокую стабильность термита по его калорийности.

#### 4. Продукты термитных реакций

Продуктами термитных реакций алюминия с оксидами железа являются шлаковая составляющая  $Al_2O_3$  и металл Fe (5 и 6).

Шлак или термито-корунд применяется в стекольной промышленности при производстве огнеупоров. Термито-корунд имеет огнеупорность более 2000°, температуру начала деформации под нагрузкой 2 кг/см<sup>2</sup>—1800°, предел прочности при сжатии 1000 кг/см<sup>2</sup>.

Наряду с высокими показателями огнеупорности термито-корунд обладает абразивными свойствами, которые позволяют использовать его в абразивной промышленности.

Введение в термитную шихту цирконового концентрата или других элементов IV, V и VI групп периодической системы элементов Д. И. Менделеева повышает огнеупорные свойства термито-корунда, а использование элементов этой группы как окислов в термитном процессе ведет к получению материалов с высокой огнеупорностью.

При производстве термитным способом огнеупоров и абразивов применяется шлак, а металл является технологическим отходом. При термитной сварке или литье используется металл, а отходом является шлак.

В элементарном процессе окислы железа восстанавливаются до железа с ферритной структурой.

Физико-механические свойства такого железа без легирующих элементов следующие: предел прочности не превышает 35 кг/мм<sup>2</sup>, а твердость 120 единиц по Бринеллю.

При введении в термит легирующих элементов резко повышаются его механические свойства и получается термитная сталь любого химического состава.

#### 5. Получение термитного металла заданного химического состава

Для сварки рельсовой стали составляют термитную шихту с введением легирующих компонентов: углерода, марганца и редкоземельных элементов. Практикой установлено, что термитной сталью в среднем усваивается: углерода—70%, марганца—60%, кремния—50%.

Рассчитывая состав термитной стали, принимают во внимание наличие перечисленных выше элементов в окалине и металличе-

ском наполнителе. В окалине содержание углерода колеблется от 0,08 до 0,23%, марганца—0,45%, а кремния—0,35%.

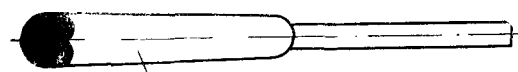
От рельсовой стали термитная отличается тем, что она содержит 0,08 ÷ 0,18% Al. Эти включения алюминия не изменяют механических свойств стали, но способствуют улучшению структуры металла.

Имеющиеся способы расчета термитной шихты позволяют получить термитную сталь: по содержанию алюминия в металле—с точностью до 0,1% и до 0,15%—по ряду других элементов.

Помимо углеродистых сталей, термитным способом можно получить высоко- и низкомарганцовистые стали, стали аустенитного класса, обладающие антикоррозионными и жароупорными свойствами.

## 6. Воспламеняющие средства, применяемые при проведении термитных реакций

Для зажигания термитных смесей употребляют легковоспламеняемые составы, которые при горении развивают температуру, превышающую 1500°. Для этого используется переходной состав, загорающийся при 150—200°, который вызывает загорание второго состава с температурным барьером в 400—600°. Этот состав при своем горении перекрывает температурный барьер начала термитной реакции.



*Переходной воспламеняющий состав*

Рис. 1. Термитная спичка.

На этом принципе основывается конструкция термитных спичек, выпускаемых нашей промышленностью (рис. 1).

Наряду с термитными спичками можно пользоваться следующими переходными составами.

Рецепт 1:

бертолетова соль  $KClO_3$ —25%;  
перекись марганца  $MnO_2$ —50%;  
мелкий алюминиевый порошок—10%;  
сера—15%.

Рецепт 2:

термит (мелкие фракции компонентов)—75%;  
магний порошок—8%;  
калийная селитра—7%;  
дымный порох—10%.

Рецепт 3:

перекись бария  $BaO_2$ —75%;  
алюминиевая пудра—22%;  
порошок магния—3%.

Термитный состав также можно зажечь электрической дугой.

При зажигании брикетированного термита хорошие результаты дает электрозапал из двух-трех витков мягкой стальной проволоки диаметром 0,8—1,0 мм. Спираль электрозапала при подключении к низковольтному источнику электрического тока сначала разогревает термитную шихту, а затем, перегорая, вызывает реакцию термитных компонентов. Этим способом воспламенения термита удобно пользоваться при зажигании больших порций шихты.

В сложных сварочных и литейных процессах электрозапал дает возможность производить одновременное зажигание термита в разных тиглях.

## Глава III

## РАСЧЕТ СОСТАВА ТЕРМИТНОЙ ШИХТЫ

### 1. Компоненты термитной шихты

Термитная шихта должна иметь состав, который дает термитную сталь, максимально приближающуюся по химическому составу и механическим свойствам к рельсовой стали.

Химический состав рельсовой стали для различных типов рельсов дается в табл. 5.

Из таблицы видно, что в составе стали имеются такие элементы, как углерод, марганец, кремний, сера и фосфор, а для рельсов, изготовляемых заводом «Азовсталь», — включения мышьяка.

Чтобы обеспечить выход термитной стали аналогичного химического состава с рельсовой сталью, в термитную шихту вводятся легирующие элементы: ферромарганец—для получения марганца, редко ферросилиций—для получения кремния и графит—для получения углерода. Иногда вместо графита вводится чугунная стружка, которая одновременно является и металлическим наполнителем.

### 2. Состав термитной стали

При проведении реакции без ввода легирующих элементов между основными компонентами шихты получается термитный металл, который по химическому составу имеет: C—0,1%, Mn—0,08%, Si—0,09%, S—0,03%, P—0,04%, Al—0,02—0,08%.

Такая сталь имеет следующие механические свойства  $\sigma_b$ —35 кг/мм<sup>2</sup>,  $\delta$ —18—20%.

В период развития термитной сварки в СССР М. А. Карасев рекомендовал для сварки рельсов в обливе иметь металл с химическим составом C—0,25—0,40%, Mn—0,55—1,00%, Si—0,25—0,40%, P≤0,05%, S≤0,04% и механическими свойствами  $\sigma_b$ —50 кг/мм<sup>2</sup>,  $\delta$ —8%.

Таблица 5

Марка стали	C	Mn	Si	P	S	As*	Таблица 5			
				не более			Стандарт	Тип рельсов	Твердость концов рельсов, прочностные свойства	Дата введения стандарта
М-76	0,69—0,82	0,70—1,00	0,13—0,28	0,040	0,050	0,15	ГОСТ 8160—56 ГОСТ 6944—54 ЧМТУ 2222—49 ГОСТ 4224—54 ГОСТ 4224—48 ГОСТ 5633—51 ГОСТ 5633—51 ГОСТ 4224—48 ГОСТ 7521—55 ГОСТ 7521—55 ОСТ 4118 То же " " " " " " ГОСТ 5876—51 ГОСТ 5876—51 Для рельсов трамвайного типа То же	Р-65 (Р-75) Р-50 Р-50 Р-43; Р-38 Р-43; Р-38 Р-43; Р-38 Р-43; Р-38 Р-43; Р-38 Р-33 Р-33 30—35 кг пог. м 35—45 " " Менее 35 " " Более 35 " " Все типы Р-15; Р-18; Р-24 Р-15; Р-18; Р-24	300—401 Н <sub>В</sub> 300—401 Н <sub>В</sub> $\sigma_B > 75 \text{ кг/мм}^2$ 300—401 Н <sub>В</sub> $\sigma_B > 80 \text{ кг/мм}^2$ $\sigma_B > 72 \text{ кг/мм}^2$ 300—401 Н <sub>В</sub> $\sigma_B > 75 \text{ кг/мм}$ 300—401 Н <sub>В</sub> $\sigma_B > 75 \text{ кг/мм}^2$ $\sigma_B > 70 \text{ кг/мм}^2$ 300—401 Н <sub>В</sub> $\sigma_B > 70 \text{ кг/мм}^2$ $\sigma_B > 70 \text{ кг/мм}^2$ $\sigma_B > 70 \text{ кг/мм}^2$ $\sigma_B > 70 \text{ кг/мм}^2$ $\sigma_B > 55 \text{ кг/мм}^2$ $\sigma_B > 55 \text{ кг/мм}^2$	С 1 января 1957 г. С 1 апреля 1954 г. Поставка до 1 января 1953 г. С 1 июля 1954 г. С 1 января 1949 г. по 1 июля 1954 г. После 1 апр. 1951 г. После 1 апр. 1951 г. С 1 января 1949 г. по 1 апреля 1951 г. С 1 октября 1955 г. С 1 октября 1955 г. С 1 марта 1933 г. по 1 января 1949 г. То же " " " " " " с 1 октября 1951 г. То же
М-75	0,67—0,80	0,70—1,00	0,13—0,28	0,040	0,050	0,15				
М-70	0,63—0,78	0,65—1,00	0,13—0,28	0,045	0,050	—				
М-71	0,64—0,77	0,60—0,90	0,13—0,28	0,040	0,050	—				
М-62	0,55—0,70	0,60—0,90	0,13—0,28	0,05	0,05	—				
НБ-57	0,48—0,67	0,60—1,00	0,15—0,30	0,07	0,06	—				
НБ-61	0,53—0,70	0,60—1,00	0,15—0,30	0,07	0,06	—				
Б-48	0,42—0,55	0,60—1,10	0,10—0,30	0,03	0,06	—				
М-67	0,60—0,75	0,60—0,90	0,13—0,28	0,04 (0,05)	0,050	0,16				
Б-56	0,48—0,65	0,60—1,00	0,15—0,30	0,075	0,060	0,16				
Мартеновская	0,48—0,61	0,60—0,90	>0,18	0,05	0,05					
То же	0,50—0,65	0,60—0,90	>0,18	0,05	0,05					
Бессемеровская	0,38—0,50	0,60—1,00	—	0,08	0,06					
То же	0,42—0,52	0,60—1,00	—	0,08	0,06					
Томассовская	—	—	—	0,07	0,05					
Мартеновская	0,40—0,80	—	—	0,050	0,055					
Бессемеровская	0,35—0,60	—	—	0,085	0,065					
Углеродистая	0,67—0,80	0,70—1,00	0,13—0,28	0,04	0,04					
Среднемарганцовистая	0,40—0,55	1,2—1,6	0,15—0,35	0,04	0,04					

\* Для завода «Азовсталь».

\* Для завода «Азовсталь».

Этот состав термитного металла отвечал качественной характеристике рельсов 30-х годов, по углероду находился на нижней границе химического состава рельсовой стали (ОСТ 4118), а по марганцу, кремнию, сере и фосфору соответствовал требованиям стандарта.

В ЧССР для сварки рельсов используют термитный металл с химическим составом: С—0,25—0,32%, Si—0,2—0,5%, Mn—1,2—1,5%, Al—0,2—0,4%, Cu ≤ 0,5%, P ≤ 0,05%, S ≤ 0,05%, S + P ≤ 0,07% и механическими свойствами:  $\sigma_b$  — 60 кг/мм<sup>2</sup>,  $a_n$  — 1,5 кгс/см<sup>2</sup>.

В ГДР состав термитной стали для сварки рельсов принят:

C > 0,25% или средние значения C — 0,35%,

Mn < 1,5% или средние значения Mn — 1,25%,

Si < 0,5% или средние значения Si — 0,44%,

P < 0,05% или средние значения P — 0,047%,

S < 0,05% или средние значения S — 0,025%,

Al < 0,5% или средние значения Al — 0,35—0,40%,

Cu < 0,5% или средние значения Cu — 0,12—0,15%, для рельсовой стали с содержанием 0,45% С и 0,8—1,0% Mn.

В ФРГ для сварки рельсовой стали с содержанием 0,45% С, 0,8—1,0% Mn употребляется сварочный термит марки 16в, дающий термитную сталь (Аллерт В. ETR 1957 г. VI, 202—214) со следующим содержанием: С—0,4%; Mn—1,0%; Al—0,48%, с твердостью термитного металла Н<sub>В</sub> = 230 кг/мм<sup>2</sup>.

Для сварки среднепрочных рельсов используется марка термита Z-80, а для прочных рельсов Z-90 с механическими свойствами Н<sub>В</sub> — 242 и 260 кг/мм<sup>2</sup>.

Если сравнить термитные стали на склонность их к образованию закалочных зон через коэффициент эквивалентности по углероду:

$$C_s = C + \frac{Mn}{6} + \frac{P}{2} + \frac{Cu}{13} + \frac{Cr}{3} + \frac{Ni}{15},$$

то можно иметь следующие значения коэффициентов.

А. Для термитного металла:

1. М. А. Карасева

$$C_s = 0,40 + \frac{1,0}{6} + \frac{0,05}{2} = 0,595,$$

где  $C_s - C = 0,195$

2. ЧССР

$$C_s = 0,32 + \frac{1,5}{6} + \frac{0,05}{2} + \frac{0,5}{13} = 0,633$$

$$C_s - C = 0,313.$$

3. ГДР:

$$C_{s_{max}} = 0,4 + \frac{1,5}{6} + \frac{0,05}{2} + \frac{0,5}{13} = 0,713$$

$$C_{s_{max}} - C = 0,313.$$

$$C_{s_{cp}} = 0,35 + \frac{1,25}{6} + \frac{0,047}{2} + \frac{0,13}{13} = 0,59,$$

$$C_{s_{cp}} - C = 0,24.$$

4. ФРГ

$$C_{s_{16b}} = 0,4 + \frac{1,0}{6} = 0,567.$$

Если принять содержание фосфора и меди как в термитном металле ГДР (P=0,047%; Cu=0,13), то:

$$C_{s_{16b}} = 0,567 + \left( \frac{0,047}{2} + \frac{0,13}{13} \right) = 0,597;$$

$$C_{s_{16b}} - C = 0,197.$$

Б. Для рельсовой стали:

1. Сталь М-75 для рельсов Р-50 и трамвайного типа (см. табл. 5):

$$C_{s_{max}} = 0,8 + \frac{1,0}{6} + \frac{0,04}{2} = 0,987 \quad C_{s_{max}} - C = 0,187;$$

$$C_{s_{cp}} = 0,750 + \frac{0,84}{6} + \frac{0,035}{2} = 0,907 \quad C_{s_{cp}} - C = 0,157.$$

2. Сталь М-71 для рельсов Р-43 и Р-33:

$$C_{s_{max}} = 0,77 + \frac{0,9}{6} + \frac{0,04}{2} = 0,94 \quad C_{s_{max}} - C = 0,17;$$

$$C_{s_{cp}} = 0,71 + \frac{0,75}{6} + \frac{0,035}{2} = 0,853 \quad C_{s_{cp}} - C = 0,143.$$

3. Сталь среднемарганцовистая, трамвайных типов рельсов:

$$C_{s_{max}} = 0,55 + \frac{1,6}{6} + \frac{0,04}{2} = 0,836 \quad C_{s_{max}} - C = 0,286;$$

$$C_{s_{cp}} = 0,48 + \frac{1,4}{6} + \frac{0,035}{2} = 0,730 \quad C_{s_{cp}} - C = 0,25;$$

4. Мартеновские рельсовые стали по ОСТ 4118:

$$C_{s_{max}} = 0,65 + \frac{0,90}{6} + \frac{0,05}{2} = 0,825 \quad C_{s_{max}} - C = 0,175;$$

$$C_{s_{cp}} = 0,56 + \frac{0,75}{6} + \frac{0,04}{2} = 0,705 \quad C_{s_{cp}} - C = 0,145.$$

5. Сталь для рельсов S-49:

$$C_{s_{cp}} = 0,45 + \frac{0,9}{6} + \frac{0,04}{2} = 0,626; \quad C_{s_{cp}} - C = 0,176.$$

Сопоставляя значения коэффициентов эквивалентности по углероду, имеем (табл. 6).

Таблица 6

Страны	Рельсовая сталь				Термитный металл				
	Марка	$C_{э\max}$	$C_{э\text{ср}}$	$C_{э}-C$	$H_B$ кг/мм <sup>2</sup>	Марка	$C_{э\max}$	$C_{э\text{ср}}$	$C_{э}-C$ $H_B$ кг/мм <sup>2</sup>
СССР	ОСТ 4118	0,825	0,705	0,175 0,145	215	М. А. Карасев	0,595	—	0,195 140
ЧССР	Рельсы S-49	—	0,626	0,176	205	Аморт-15а	0,633 0,713	0,313 0,313	170
ФРГ	Рельсы S-49 обычные	—	0,626	0,176	205	—	0,59	0,24	205 210
То же	То же Рельсы 50 кг пог. м среднепрочные	—	0,626	0,176	205 242	16в Z-80	—	—	230 254,6
"	Рельсы S-49 прочные	—	—	—	260	Z-90	—	—	278
СССР	М-75	0,987	—	0,187 0,157	260	—	—	—	—
То же	М-71	0,94	0,907	0,17 0,143	250	—	—	—	—
"	Среднемарганцевистая трамвайная *	0,836	0,853 0,730	0,143 0,286 0,25	—	—	—	—	—

Если термитный металл в 30-х годах в какой-то мере соответствовал существовавшему тогда эксплуатационным данным и составу рельсовой стали, то последовавшее затем изменение грузонапряженности на путях привело к использованию более прочных рельсов и повысило требования, предъявляемые к термитному металлу.

Соответственно коэффициент эквивалентности по углероду возрос с 0,705 до 0,907 (средние значения для рельсовой стали СССР).

Механические свойства термитного металла также повысились.

для рельсов  $H_B = 205$  кг/мм<sup>2</sup>, термитный металл  $H_B = 205$  кг/мм<sup>2</sup>,

для рельсов  $H_B = 205$  кг/мм<sup>2</sup>, термитный металл  $H_B = 210$  кг/мм<sup>2</sup>,

для рельсов  $H_B = 205$  кг/мм<sup>2</sup>, термитный металл  $H_B = 230$  кг/мм<sup>2</sup>,

для рельсов  $H_B = 242$  кг/мм<sup>2</sup>, термитный металл  $H_B = 254,6$  кг/мм<sup>2</sup>,

для рельсов  $H_B = 260$  кг/мм<sup>2</sup>, термитный металл  $H_B = 278$  кг/мм<sup>2</sup>.

По данным табл. 6 строится диаграмма 5, в которой механические свойства рельсовой стали пропорциональны изменению значений коэффициента эквивалентности по углероду.

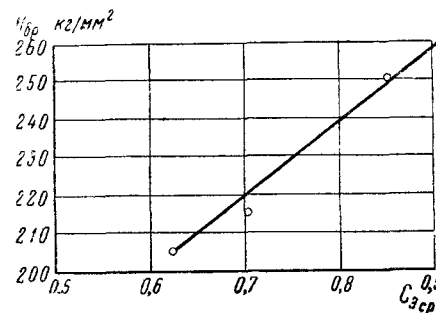


Диаграмма 5. Диаграмма  $H_B = f(C_{э})$  для рельсовой стали.

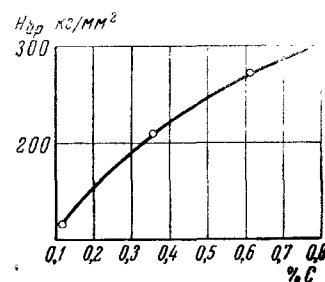


Диаграмма 6. Диаграмма  $H_B = f(C)$  для термитного металла.

Значения коэффициента  $C_{э\text{ср}}$  для рельсовой стали будут:

S-49 обычные —  $C_{э\text{ср}} = 0,626$ ;

50 кг/пог. м среднепрочные —  $C_{э\text{ср}} = 0,81$ ;

S-49 прочные —  $C_{э\text{ср}} = 0,91$ .

Из табл. 6 значения  $C_{э}-C$  для рельсовой стали равны в среднем 0,17—0,15; для термитного металла эти величины колеблются от 0,195 до 0,313.

Содержание фосфора в термитных сталях не превышает 0,05%, что определяет величину  $C_{э}-C = 0,025$ .

Концентрация меди также мало влияет на коэффициент эквивалентности. При 0,5% Cu в термитном металле  $C_{э}-C = 0,038$ .

Введение хрома и никеля в небольших количествах не дает резкого увеличения твердости, что имеет место при введении марганца. Эти элементы являются дефицитными и дорогостоящими, поэтому их не употребляют в больших количествах. То же можно сказать и о молибдене и других элементах.

Легирование термитного металла Cr, Ni, Mo, V в небольших количествах не оказывает заметного увеличения величины  $C_{э}-C$ . Следовательно, в термитном металле марок Z-80 и Z-90 механические свойства были повышены за счет Mn и C.

Между содержанием углерода в термитном металле и механическими свойствами этого металла имеется следующая зависимость (диаграмма 6).

Используя диаграмму 6 и материалы табл. 6, определяем возможное содержание элементов в термитах, изготавливаемых в ФРГ (табл. 7).

Таблица 7

Марка термита	C <sub>эср</sub>	C <sub>вп</sub>	H <sub>Б</sub> кг/мм <sup>2</sup>	Химический состав термитных металлов в %					Примечание
				C	Mn	Si	P	S	
Amoterm	0,59	0,24	205	0,35	1,25	0,44	0,047	0,025	Изготовлено в ГДР
15а	(0,59)	(0,22)	210	(0,37)	(1,1)				
16в	0,597	0,197	230	0,4	1,0				
Z-80	(0,87)	(0,33)	254,6	(0,54)	(1,2—1,6)				
Z-90	(0,93)	(0,33)	278	(0,65)	(1,4—1,6)				

Ударная вязкость при легировании стали марганцем снижается с увеличением его содержания более 0,8%. При 1,5% Mn ударная вязкость снижается в два раза, а при 2% Mn она в десять раз ниже показателей, которые имеются при 0,8% Mn. Следовательно, в термитном металле содержание марганца не должно превышать 1,6—1,7%.

К рельсовой стали с твердостью 260 H<sub>Б</sub> приравнивается сталь с содержанием углерода 0,75+0,8%. Сравнение механических свойств термита Z-90 с данными диаграммы 6 указывает на средние данные по углероду в размере 0,65% C в металле, что находится в соответствии с содержанием углерода в рельсовой стали.

На основании анализа состава термитного металла и наметившихся тенденций к увеличению его механических свойств для сварки в трамвайных хозяйствах можно рекомендовать в настоящий период термит, дающий сталь следующего химического состава: C — 0,35—0,45%, Mn — 0,8—1,2%, Si — 0,15—0,25%, S ≤ 0,04%, P ≤ 0,05%, Al — 0,08—0,18% (при тщательной зачистке торцов рельсов под сварку), которым можно сваривать рельсы с содержанием углерода 0,4—0,7%, марганца 0,6—1,0% и термитную сталь: C — 0,40—0,50%; Mn — 1,1—1,4%; Si — 0,15—0,25%.

S ≤ 0,04%, P ≤ 0,05%, Al — 0,08—0,18% для рельсов с содержанием 0,6—0,8% C и 0,7—1,0% Mn и среднемарганцовистых трамвайных рельсов.

Приведенные составы термитного металла, которые рекомендуются для сварки трамвайных рельсов, несколько отличаются от зарубежных данных по содержанию углерода. Это объясняется тем, что имеется ряд особенностей отражающихся на механических свойствах сварного стыка. Эти особенности связаны с

кристаллизацией термитного металла и возможным наличием внутрикристаллизационных трещин в стыке. До полного выяснения закономерностей кристаллизации в термитном стыке нельзя увеличивать содержание углерода и марганца в термитном металле против рекомендованных значений, так как это отрицательно скажется на механических свойствах термитного металла.

В приводимых химических составах термитного металла содержание алюминия ограничено десятными долями процента. Если свести к минимуму содержание алюминия в стали, в последней в больших количествах появится другой элемент — кислород, который вызывает в ней газовую пористость и отрицательно влияет на механические свойства стали.

Кислород и алюминий в термитной стали содержатся в определенной пропорции. При содержании 0,08—0,18% Al в термитном металле сталь существенно не отличается от рельсовой стали. Большее содержание алюминия ведет к укрупнению зерновой структуры и снижению прочности металла.

### 3. Методы расчета термитной шихты

Существует несколько методов расчета термитной шихты. Разница между методами определяется в точности расчета.

В различные периоды развития термитной сварки использовались следующие методы расчета, среди них:

#### Метод прямых соотношений

При этом способе расчета соотношение между основными компонентами термитной шихты и другими составляющими определялось постоянными весовыми отношениями [18].

Принималось отношение:

окалины железной . . . . .	8800 г
алюминиевого порошка . . . . .	2488 г
железной обечки . . . . .	262 г
ферромарганца . . . . .	30 г
ферросилиция . . . . .	30 г

Итого . . . . . 11610 г

Эти соотношения соответствовали начальному периоду развития термитной сварки рельсов и отвечали существовавшим эксплуатационным условиям того времени.

Постоянные соотношения препятствовали нормальному ходу реакции: из-за колебаний в химической чистоте алюминиевого порошка и отклонений в кислородном балансе окалины. Практика сварочных работ и изучение составов термитной шихты позволили предложить новый метод расчета термитной шихты.

М. А. Карасев, проводивший большие экспериментальные работы на Московском термитно-стрелочном заводе по изучению термитных составов, разработал зависимости для расчета основных компонентов шихты. Для расчета шихты, в которой использовался алюминиевый порошок с химической чистотой по содержанию алюминия (88—93% Al), было предложено уравнение:

$$Y_a = \frac{100 \cdot k \cdot z}{A \cdot m \cdot (kz + q + k)}, \quad (8)$$

где:  $Y_a$  — содержание алюминиевого порошка в термитной шихте в %;

$k$  — содержание кислорода  $O_2$  в окалине в %;

$A$  — содержание активного алюминия в порошке в %;

$q$  — содержание железа в окалине в %;

$z$  — маркировочный коэффициент (колеблется от 0,950 до 1,240) зависит от содержания Al в термите, изменяется от марки термита и его назначения;

$m$  — коэффициент качественной зависимости, характеризующей засоренность алюминия (колеблется от 1,0 до 0,97).

Для алюминиевого порошка с химической чистотой по содержанию алюминия (94—99,8% Al) применялось другое уравнение:

$$Y_a = \frac{100 \cdot z \cdot k}{A + k \cdot z}, \quad (9)$$

где:  $Y_a$  — содержание алюминиевого порошка в термитной шихте в %;

$A$  — содержание активного алюминия в порошке в %;

$z$  — маркировочный коэффициент, находится в пределах 0,950—1,240;

$k$  — содержание кислорода  $O_2$  в окалине в %.

В этих выражениях учтены существующие колебания в химическом составе компонентов. Одновременно М. А. Карасевым были введены зависимости для расчета легирующих составляющих термитной шихты.

Для расчета потребного количества ферросплавов использовались уравнения (10) и (11):

$$F_m = \frac{Y_m(a + b + c)}{M_1}; \quad (10)$$

$$F_s = \frac{Y_s(a + b + c)}{S_1}, \quad (11)$$

где:  $F_m$  — количество ферромарганца, входящего в состав шихты, в г;

$F_s$  — количество ферросилиция, входящего в состав шихты, в г;

$Y_m Y_s$  — коэффициенты 1,4—2,0 — для  $Y_m$  и 0,16—0,21 — для  $Y_s$ ;

$a$  — вес алюминиевого порошка в шихте в г;

$b$  — вес порошка окалины в шихте в г;

$c$  — вес металлического наполнителя (обсечки) в шихте в г;

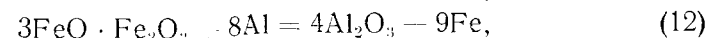
$M_1$  — процентное содержание Mn в ферромарганце в %;

$S_1$  — процентное содержание Si в ферросилиции в %.

В приведенных уравнениях учитываются существующие колебания в химическом составе компонентов термитной шихты.

В уравнении (9) маркировочный коэффициент  $z$  изменяется от целей и назначения термита (для сварки железнодорожных, трамвайных путей, в химической промышленности и металлургии). Коэффициент  $z$  для термитов, используемых в химической и металлургической промышленности, при употреблении алюминиевого порошка с содержанием активного алюминия не менее 94%, составляет 1,124.

При этих условиях реакция протекает по формуле:



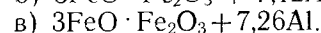
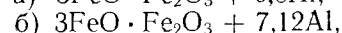
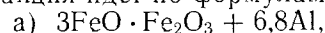
где в значении  $4Al_2O_3$  соотношение элементов будет:

$$4Al_2 = 4 \cdot 26,97 \cdot 2 = 216$$

$$4O_3 = 4 \cdot 16 \cdot 3 = 192$$

$$z = \frac{216}{192} = 1,124$$

Если в уравнении (12) вместо теоретического значения 8Al принимается меньшее количество алюминия, т. е. от 6,8 до 7,5, то реакция идет по формулам:



Коэффициенты для этих выражений соответственно равны: а)  $z=0,955$ ; б)  $z=1,008$ ; в)  $z=1,022$  (используется в большинстве сварок).

Теоретическое содержание Al в уравнении (12):

$$Al = \frac{8Al \cdot 100}{3FeO \cdot Fe_2O_3 + 8Al} = \frac{8 \cdot 26,97 \cdot 100}{3[(55,85 + 16) + (55,85 \cdot 2 + 16 \cdot 3)] + 8 \cdot 26,97} = 23,7\%, \quad (13)$$

а содержание кислорода  $O_2$  в химически чистом соединении  $FeO \cdot Fe_2O_3$  по весу равно:

$$\frac{O_1 \cdot O_3}{FeO \cdot Fe_2O_3} = \frac{16 + 3 \cdot 16}{[(55,85 + 16) + (2 \cdot 55,85 + 3 \cdot 16)] \cdot 100} = 27,64\%. \quad (14)$$

Проверяем уравнение (9):

$$Y_a = \frac{100 \cdot k \cdot z}{A + k \cdot z},$$

где:  $k = 27,64$ ;  
 $A = 100$  (при химически чистом 100% Al);  
 $z = 1,124$  (при химически чистом  $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ , т. е. 27,64%  $\text{O}_2$ ).

$$\frac{100 \cdot 27,64 \cdot 1,124}{100 \cdot 27,64 \cdot 1,124} = \frac{3109}{131,1} = 23,7\%,$$

что соответствует результатам из выражения (13).

Для алюминиевого порошка с содержанием 95,97% Al и 1,92% Si приведенная активность алюминия:

$$\text{Al} = 95,97 + 1,92 \cdot f = 95,97 + 1,92 \cdot 0,8 = 97,5\%,$$

где  $f$  — приведенный коэффициент для кремния при расчетах сварочного термита, равный 0,8.

Кислородный баланс окалины 25,8%  $\text{O}_2$ ,  $k = 25,8$ , маркировочный коэффициент  $z = 1,022$  или:

$$Y_a = \frac{10^2 \cdot k \cdot z}{A \cdot k \cdot z} = \frac{100 \cdot 25,8 \cdot 1,022}{97,5 \cdot 25,8 \cdot 1,022} = 21,45\%.$$

В этот период для сварки рельсов типа II-A комбинированным способом с предварительным подогревом до 500° и весом порции 7580 г при 380 г обески (количество обески установлено опытным путем) необходимо ввести 21,4% алюминиевого порошка или:

$$(7580 - 380) \cdot 21,4 = 1540 \text{ г}$$

и окалины соответственно:

$$7580 - (380 + 1540) = 5660 \text{ г}.$$

Легирующая присадка рассчитывается для термитных порций весом от 3 до 13 кг с учетом накопленного опыта.

Количественное содержание ферромарганца принималось равным 1,7—1,9%, а ферросилиция 0,18—0,21%.

Учитывая качество алюминия и окалины, определяем:

$$\text{FeMn} - 1,7\%;$$

$$\text{FeSi} - 0,18\%.$$

Исходя из общего веса порций по уравнениям (10) и (11), определяем:

по анализам содержание Mn в FeMn — 64,68%; Si в FeMn — 0,67%; Si в FeSi — 42,10%; Mn в FeSi — 2,52% или количество ферромарганца:

$$\text{FeMn} = \frac{7580 \cdot 1,70}{64,7} = 200 \text{ г};$$

количество ферросилиция:

$$\text{FeSi} = \frac{7580 \cdot 0,18}{42,1} = 33 \text{ г}.$$

Если Si в FeMn и Mn в FeSi незначительное количество, они не учитываются.

Рецептура термита из приведенного расчета выразится:

Алюминиевый порошок . . . . .	1540 г
Порошок окалины . . . . .	5660 г
Металлический наполнитель . . . . .	380 г
Итого . . . . .	7580 г
Ферромарганец . . . . .	200 г
Ферросилиций . . . . .	33 г

В этот период вес сварочного термита для различных типов рельсов в зависимости от режима подогрева выражался (табл. 8) для комбинированного способа сварки.

Таблица 8

Тип рельсов	Температура подогрева в град.	Вес термита в г	Вес металлического наполнителя в г	Общий вес в г
IA	До 750	6680	820	7500
IIA	До 750	5000	500	5500
IIA	До 500	7200	380	7580
IIIA	До 750	4500	450	4950
IVA	До 750	4000	400	4400
Ф				
Объединенный I	До 750	11 100	1320	12 420

### Вывод зависимостей М. А. Карасева

Почти 30 лет основные формулы для расчета термитной шихты считались эмпирическими зависимостями, однако в действительности они получены не опытным путем, а в результате теоретической разработки.

Маркировочный коэффициент

$$z = \frac{\% \text{ Al}}{\% \text{ O}_2} \quad (15)$$

с учетом химической чистоты алюминиевого порошка по алюминию и порошка окалины по кислородному балансу:

$$z = \frac{\text{Al}_{\text{тер}} \cdot A_{\text{x.ч}}}{\text{Oк}_{\text{тер}} \cdot \text{O}_2} \quad (16)$$

где:  $\text{Al}_{\text{тер}}$  — процентное содержание алюминиевого порошка в термите;

$A_{\text{x.ч}}$  — химическая чистота алюминиевого порошка по алюминию;



$Ok_{тер}$  — процентное содержание порошка окалины в термитной шихте;

$O_2$  — кислородный баланс окалины, но содержание порошка окалины в шихте можно выразить

$$O_{к.тер} = 100 - Al_{тер} \quad (17)$$

или, подставляя в выражение (16), имеем

$$z = \frac{Al_{тер} \cdot A_{x,y}}{(100 - Al_{тер}) O_2}$$

и

$$Al_{тер} \cdot A_{x,y} = z(100 - Al_{тер}) \cdot O_2$$

$$Al_{тер} \cdot A_{x,y} = 100 \cdot z \cdot O_2 - z \cdot Al_{тер} \cdot O_2$$

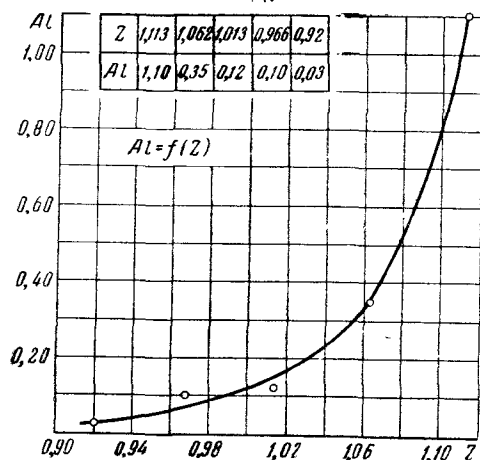


Диаграмма 7. Функциональная зависимость маркировочного коэффициента от содержания алюминия в термитном металле.

$$Al_{тер} \cdot A_{x,y} - z \cdot Al_{тер} \cdot O_2 = 100 \cdot z \cdot O_2$$

$$Al_{тер} = \frac{100 \cdot z \cdot O_2}{A_{x,y} + z \cdot O_2} =$$

$$= \frac{102 \cdot k \cdot z}{A + k \cdot z},$$

где  $k = O_2$ ;  $A_{x,y} = A$ . (18)

Выведенная зависимость (18) является выражением уравнения (9). Следовательно, расчет сводится к созданию определенного равновесного состояния в составе термитной шихты для проведения реакции по формуле (12).

Так как в уравнении (9) для разных назначений термита  $z = 0,95 \div 1,240$ , то из этого предела для сварочных процессов могут быть приняты наименьшие значения ( $x = 0,964 \div 1,02$ ).

При недостаточной газопроницаемости форм допустимо доведение  $z$  до 1,022.

Приведенным значениям  $z$  соответствует содержание  $Al$  в термитном металле (диаграмма 7).

Из диаграммы следует, что при  $z = 0,964 \div 1,02$  содержание алюминия в термитном металле составляет  $0,08 \div 0,18\%$ , а при  $z = 1,022 - 0,19\%$ .

Я. Л. Клячкин, работавший с М. А. Карасевым, дает материалы по подбору маркировочного коэффициента в зависимости от величины термитной порции (табл. 9).

Значениям приведенных коэффициентов  $z$  (см. диаграмму 7) соответствует содержание алюминия в термитном металле  $0,27\% Al$ ;  $0,22\% Al$ ;  $0,19\% Al$ .

Таблица 9

Вес термитной порции в кг	4 ÷ 6,5	6,5 ÷ 8,5	8,5 ÷ 12
Маркировочный коэффициент	1,048	1,036	1,023
$z = \frac{Al}{O_2}$			

Практика показывает, что при недостаточно высокой газопроницаемости форм и использовании небольших порций термита следует увеличивать содержание алюминия в термитном металле, чтобы избежать в облив сварного стыка газовой пористости.

При небольших порциях термита затрудняется ход термитной реакции, так как происходит сегрегация порошкообразных составляющих, что увеличивает содержание кислорода в термитной стали. Чтобы избежать этого, при составлении шихты приходится резервировать некоторое дополнительное количество алюминия, который, переходя в металл облива, исключает появление в нем кислорода и предупреждает газовую пористость.

Для увеличения выхода термитного металла из шихты и исключения возможности выброса жидких продуктов термитной реакции М. А. Карасев предлагал использовать гвоздевую или шурупную обсежку как металлический наполнитель с химическим составом:  $C - 0,10 - 0,20\%$ ;  $Mn - 0,3 - 0,4\%$ ;  $Si - 0,05 - 0,10\%$ ;  $S - 0,01 - 0,03\%$ .

Обсежка применяется с измельчением от 2 до 3 мм. Количество обсежки, предназначенной для сварочных процессов, колеблется от 10 до 15% от общего веса термита в порции.

В зависимости от величины облива он делал следующие рекомендации по проценту вводимого в шихту металлического наполнителя:

облив весом до 2 кг — обсежки 9% к весу основных компонентов,

облив весом до 3 кг — обсежки 10% к весу основных компонентов,

облив весом до 4 кг — обсежки 11% к весу основных компонентов,

облив весом до 5 кг — обсежки 12% к весу основных компонентов,

облив весом до 6 кг — обсежки 13% к весу основных компонентов,

облив весом до 7 кг — обсежки 14% к весу основных компонентов.

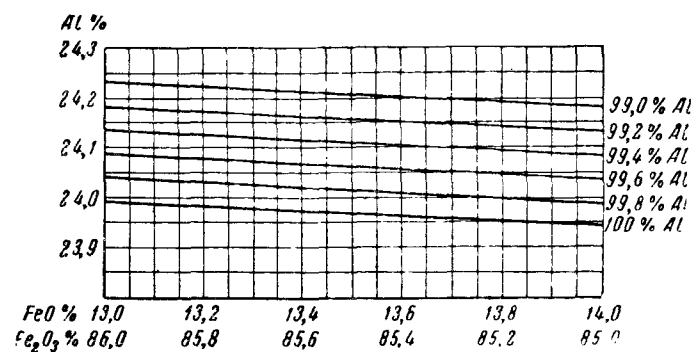
В специальных сортах термита содержание обсежки доводилось до 25%.

### Метод расчета термитной шихты, принятый в ГДР

В соответствии со стандартом TGL 3082—56 при расчете термитной шихты учитывается использование алюминиевого порошка имеющего более 99% Al (алюминиевый порошок Al99 HDin1712) и железной окалины с химическим составом (табл. 10) или соответственно кислородным балансом в пределах  $28,70 \div 28,65\% \text{ O}_2$  (см. диаграмму 1).

Таблица 10

FeO в %	P	S	Cu	Si
	не свыше		в %	
13,5÷14,0	0,05	0,07	0,5	0,35



Примечание: 1% минералов включений в окалинах

Диаграмма 8. Содержание алюминиевого порошка в термитной порции

Соотношение основных компонентов термитной шихты определяется по диаграмме 8.

Легирующие элементы вводятся из расчета табл. 11.

Таблица 11

Легирующие компо- ненты	Стандарт ГДР	Весовая до- ля от веса основных компонен- тов в %	Химический состав легирующих элементов в %								
			C	Mn	Si	Cr	P	S	Ni	Fe	
					не более						
FeMn C=1,5	TGL=272:1	$3,6 \pm 0,4$	до 2	>80	2	1	0,45	0,06	0,1	Осталь- ное	
FeMn C=6	TGL=272:1	$0,7 \pm 0,05$	2÷8	>70	3	1	0,55	0,06	0,1	Осталь- ное	
Графит		0,3	95	—	—	—	—	—	—	—	

Металлический наполнитель — гвоздевая обсечка — вводится в размере от 10 до 20% от веса основных компонентов.

Количество обсечки определяется количеством термитной шихты.

Термит, изготавливаемый в соответствии с приведенными материалами (табл. 12), имеет высокую калорийность. Этим термитом можно сваривать рельсовую сталь с содержанием углерода не более  $0,45 \div 0,50\%$ . При сварке рельсов с содержанием углерода более  $0,50\%$  термитная сталь не имеет достаточно высоких механических свойств и не дает равнопрочного с рельсом сварного соединения. Кроме того, при принятых условиях расчета термитный металл содержит до  $0,35\%$  алюминия.

Таблица 12

Марка термита	3510	4010	4515	5015	5515	6020	6520	7020	7520	8020	8520	9020
Вес основных компонентов (в кг)	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0
% металлического наполнителя от веса основных компонентов	10	10	15	15	15	20	20	20	20	20	20	20

В проспектах, изданных ГДР в 1960 г., процентное содержание алюминиевого порошка в шихте дается несколько пониженным по сравнению с данными, приводимыми в диаграмме 8. Так, содержание алюминиевого порошка при 13% FeO составляет для 99% Al —  $23,6\%$  вместо  $24,24\%$  по диаграмме 8.

При этих данных расчетное содержание алюминия в термитном металле будет составлять  $0,22 \div 0,25\% \text{ Al}$ . Некоторая компенсация избыточного алюминия в шихте имеет место потому, что на железных дорогах ГДР принят способ обрезки стыка под сварку пропано-кислородным пламенем, когда торцы рельсов несут на себе значительный слой окалины. Этот слой и принимает на себя для раскисления небольшое количество алюминия из термитного расплава.

### Метод расчета термитной шихты, принятый в ЧССР

Для термитной шихты используются железная окалина с содержанием  $13,5—14,5\% \text{ FeO}$  (кислородный баланс окалины  $28,87 \div 28,57\% \text{ O}_2$ ), окалина с листового проката. Алюминиевый порошок с содержанием 99% Al. Для окалины с 14% FeO принято соотношение основных компонентов в шихте:

алюминиевый порошок —  $24,3\%$ ;  
 порошок железной окалины —  $75,7\%$ .

При изменении количества закисного железа FeO на 0,1% от принятой величины производится уточнение весового количества окалины на 0,005%.

Легирующие добавки состоят из низкоуглеродистого ферромарганца (с содержанием до 80% Mn) и высокоуглеродистого ферромарганца (содержание углерода — 3—3,5%). Низкоуглеродистый FeMn вводится в размере 3% от веса основных компонентов, а высокоуглеродистый — в размере 1%.

Чтобы увеличить содержание углерода, используют чистый графит, который добавляется к шихте в количестве  $0,3 \pm 0,05\%$ .

Для сварочных порций свыше 4 кг металлический наполнитель — гвоздевая обсека — вводится в размере 15% от веса основных компонентов.

Недостатком этого способа расчета является то, что расчет составлен на производство одной марки термита.

При составлении шихты с окалиной, имеющей 13,5% FeO, происходит расчетное завышение алюминия в термитной стали, превышающее показатели, принятые в ГДР

#### Аналитический метод расчета

Этот способ расчета разработан для получения термитной стали, которая может быть использована для сварки рельсов с содержанием углерода 0,4—0,6% и марганца 0,6—0,9%.

Расчетом регламентируется получение термитного металла с химическим составом: C —  $0,30 \div 0,40\%$ ; Mn —  $0,8 \div 1,2\%$ ; Si —  $0,1 \div 0,26\%$ ; P —  $\leq 0,05\%$ ; S —  $\leq 0,04\%$ ; Al —  $0,08 \div 0,18\%$ .

Для термитной шихты используется алюминиевый порошок из алюминия А-0 (табл. 13) и железная окалина с химическим составом: Fe —  $>68,8\%$ ; Mn —  $0,3 \div 0,6\%$ ; Si —  $0,21 \div 0,45\%$ ; прочие примеси —  $\leq 0,30\%$ ;  $O_2$  —  $>28,65\%$  ( $\leq 14\%$  FeO).

Расчет основных компонентов термитной шихты ведется по формуле:

$$A = 46,92 - 0,2346(\%Al) - 0,052(\%FeO), \quad (19)$$

где: A — процентное содержание алюминия в термитной шихте;

% Al — химическая чистота алюминиевого порошка по алюминию;

% FeO — содержание закиси железа в окалине.

Содержание окалины рассчитывается:

$$O_k = 100\% - A, \quad (20)$$

где  $O_k$  — процентное содержание окалины в термитной шихте.

Металлический наполнитель — гвоздевая обсека — вводится в количестве 10% от веса алюминиевого порошка и порошка окалины для порции термита в 3,5 кг.

Легирующие составляющие:

а) ферромарганец Mn 1 по ГОСТ 4755—49, который рассчитывается от веса алюминиевого порошка, порошка окалины и металлического наполнителя;

$$M_n = \frac{2,4(a + b + c)}{M}, \quad (21)$$

где: Mn — количество ферромарганца в г;

a + b + c — компоненты шихты: порошок алюминия, окалина и гвоздевая обсека в г;

M — процентное содержание марганца в ферромарганце;

б) графит скрытнокристаллический по ГОСТ 5420—50 вводится в количестве 0,4% от веса основных компонентов.

Рассчитывая общий вес порции термита, исходят из конструкции облива, способа сварки и типа свариваемых рельсов. Для этих расчетов необходимо знать выход металла Fe из термитной шихты.

Для определения процентного содержания железа, вышедшего из расплава алюминиевого термита в стехиометрическом соотношении, можно пользоваться уравнением:

$$\%Fe = 28,69 + \frac{612}{\%O_2} + \frac{2978}{\%O_2^2}, \quad (22)$$

где: % Fe — выход железа из термитной шихты от общего веса основных компонентов;

%  $O_2$  — кислородный баланс окалины.

#### Метод графического расчета

Этим способом, предложенным проф. Н. Н. Мурач, определяют выход металла из концентрата при производстве ферросплавов, границы термитных смесей, подбирают шихту, дающую сплав с определенным соотношением между металлами, восстанавливаемыми из концентрата и окисла.

Расчет шихты ведется по тройной диаграмме (диаграмма 9), в которой одна составляющая — алюминиевый порошок, другая — восстанавливаемый материал (порошкообразные окислы извлекаемого металла MnO или  $Cr_2O_3$ ;  $TiO_2$  и т. д.), третья — окисел металла, добавляемый для повыше-

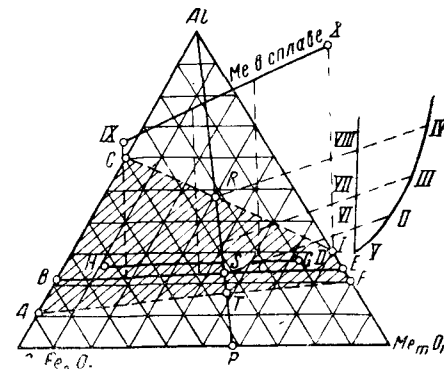


Диаграмма 9. Тройная диаграмма для расчета металлотермических шихт.

ния термичности и введения металла окисла в получаемый сплав.

Заштрихованная часть диаграммы обуславливает границы термичности металлотермических смесей. Линия *BE* показывает границу стехиометрического состава термита.

Если точки *R* и *T* показывают границы термичности смеси для избранного соотношения окислителей, то кривая *I—IV* определяет данные по относительному весу полученного металла из шихты, а кривая *V—VIII* — извлечение металла из концентрата.

При изменении состава шихты по линии стехиометрических смесей *BE* или параллельной ей (например, составы по линии *HG*) можно пользоваться зависимостью процентного содержания металла в ферросплаве *IX—X*.

Приведенная диаграмма может использоваться для расчета сварочных термитных смесей.

#### 4. Контроль состава сварочного термита

При исследовании сварочного термита проверяются химический состав и механические свойства конечного продукта — термитного металла. В процессе химического анализа выявляются имеющиеся отклонения

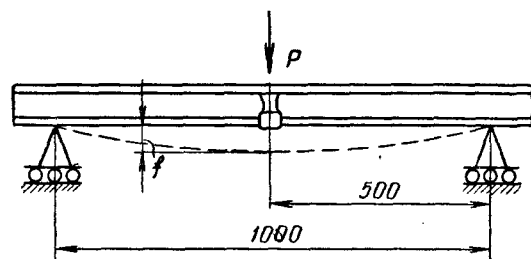


Рис. 2. Испытание сварного стыка рельсов на статический излом.

по содержанию *C*, *Mn*, *Si*, *P*, *S*, *Al*. Одновременно проводятся контрольные механические испытания термитной стали на  $\sigma_s$ ;  $\sigma_m$ ;  $a_n$ ;  $\delta$ ;  $\psi$ ;  $H_B$ , для чего производят отливку заготовок образцов в песчаные (на крепежные формы).

Контрольными образцами сварочного термита свариваются рельсы Р-43. Производится испытание сваренного стыка при статической нагрузке (рис. 2) с приложением силы в средней части образца по оси облива. При этом новые рельсы Р-43 должны выдерживать без разрушения следующие испытания: нагрузка статическая —  $P > 60$  т; стрела прогиба  $f > 12$  мм.

Каждый стык рельсов, контролируемый на статический излом разрушается для осмотра характера излома и структуры металла. Данные по нагрузке *P* и стреле прогиба *f* в момент разрушения образца регистрируются.

В месте излома стыка не должно быть газовой пористости, непровара рельсов, трещин, вызванных сваркой, и видимых визуальным осмотром шлаковых включений.

Чтобы облегчить визуальный осмотр, производят надрез образца по оси облива. Для этого со стороны подошвы по обливу делается пропилен на глубину 10—15 мм.

Для получения точных данных о качестве работы рельсовых сварных стыков в условиях, приближающихся к характеру эксплуатации в путях, целесообразно производить испытания стыков при соответствующей динамической нагрузке.

Эти испытания проводятся на пульсаторах при асимметричной нагрузке  $\frac{P_{\min}}{P_{\max}} = \frac{1}{10}$  с определением предела усталости сварных рельсовых стыков при  $2 \cdot 10^6$  циклов приложения нагрузок.

Каждый компонент термита перед составлением шихты должен иметь данные по ситовому анализу и анализу содержания химических элементов.

Контролируемая партия алюминиевого порошка проверяется на содержание в нем *Al*; *Fe*; *Si*; *Cu*, порошок окислы — на *FeO*; *Fe*; *Mn*; *Si*; *P*; *S*; *O*<sub>2</sub>, а металлический наполнитель — на *C*; *Mn*; *Si*; *P*; *S*.

Легирующие элементы по химическому составу сверяются с требованиями ГОСТов.

#### Глава IV

### ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЖЕЛЕЗО-АЛЮМИНЕВОГО ТЕРМИТА

Способ производства термита как по калорийности так и по получаемому составу термитного металла, влияет на качество термитной шихты.

Калорийность термита в зависимости от технологии может колебаться в пределах 20%. Такие же отклонения имеют место и в химическом составе термитной шихты.

Ряд процессов (получение алюминиевого порошка распылением, магнитная сепарация окислы и т. п.), несмотря на их появление в 30-х годах, не утратили своего значения и до настоящего времени.

#### 1. Производство алюминиевого порошка

Для производства сварочных термитных смесей целесообразно использовать алюминиевый порошок с повышенным против ГОСТ 4135—48 содержанием активного алюминия. Для производства алюминиевых порошков используется алюминий, изготавливаемый по ГОСТ 3549—55, который подвергается измельчению и в порошкообразном состоянии имеет следующий химический состав (табл. 13).

Наиболее эффективным способом производства алюминиевого порошка является метод М. А. Карасева, предложенный в 1925 г. По этому методу впервые в Советском Союзе начался массовый выпуск сварочного термита способом воздушной пульверизации жидкого алюминия.

Таблица 13

Химический состав алюминия в %							Химический состав алюминиевого порошка в %								
Марка алюминия	ГОСТ	Al, не менее	Fe	Si	Fe+ Si	Cu	всего примесей	Al не менее	Fe	Si	Fe+ Si	Cu	всего примесей		
			не более						не более						
A-00	3549—														
	—55	99,7	0,16	0,16	0,26	0,01	0,30	99,05	0,50	0,60	0,90	0,01	0,95		
A-0	3549—														
	—55	99,6	0,25	0,20	0,36	0,01	0,40	98,95	0,60	0,65	1,0	0,01	1,05		
A-1	3549—														
	—55	99,5	0,30	0,30	0,45	0,015	0,50	98,8	0,68	0,78	1,1	0,015	1,2		
A-2	3549—														
	—55	99,0	0,50	0,50	0,90	0,02	1,0	98,2	0,90	1,0	1,6	0,02	1,8		

Модернизированный метод М. А. Карасева в настоящее время используется в мировой практике производства металлических порошков.

Из существующих способов pulverизации жидкого алюминия способ, предложенный М. А. Карасевым, является наиболее эффективным, экономичным и дает мало потерь алюминия.

Установка для производства порошка алюминия представлена на рис. 3. Она состоит из реторты 1, вмещающей 100 кг алюминия. Жидкий алюминий при температуре около 750° воздухом, подаваемым под давлением 0,5—1 атм, вытесняется по трубке 5 и фонтанирует через штуцер 3.

Жидкий металл вытекает из отверстия штуцера диаметром 3,2 мм со скоростью 5,62 м/сек. Вертикальная струя фонтанирующего алюминия распыляется направленным под прямым углом потоком сжатого воздуха.

Сжатый воздух под давлением в 5—6 атм выбрасывается через 18—20 отверстий форсунки 2. Диаметр этих отверстий 1,8 мм.

40

Распыленный сжатым воздухом алюминиевый порошок поступает в приемную камеру, где он оседает и ссыпается в бункер.

При нормальном режиме работы установка с двумя ретортами может давать в сутки до 3 т алюминиевого порошка. Две реторты, имеющие по боковым сторонам ребра жесткости, вмонтированы в специальную печь, где они прогреваются двумя газовыми горелками низкого давления, с подачей 20 м³ газа в час через каждую горелку.

В промышленности применяются установки с отдельной плав-

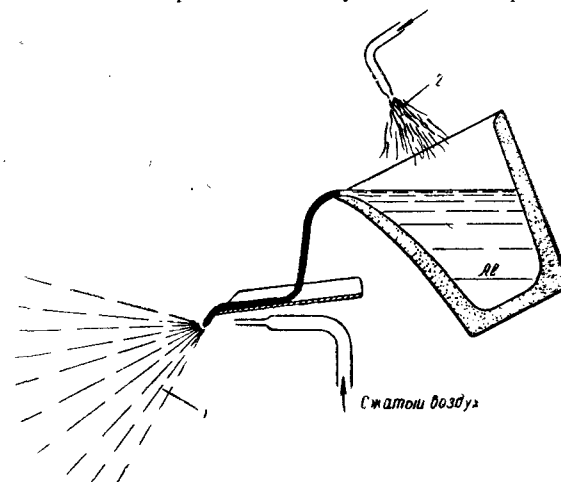


Рис. 4. Установка для распыления падающей струи жидкого алюминия:

1 — гранулы алюминия; 2 — защитное пламя.

кой алюминия и последующим распылением его из другой реторты.

Упрощенным является способ распыления сливаемой струи жидкого металла (рис. 4). В этой установке жидкий алюминий тонкой струей сливается из ковша на приемный лоток. При стекании металла с лотка он распыляется сжатым воздухом под давлением 5—6 атм.

Алюминиевый порошок, полученный в рассматриваемом устройстве, имеет следующий гранулометрический состав:

зерно более 3,0 мм	0,18%
зерно более 2,5 мм	0,15%
зерно более 2,0 мм	0,21%
зерно более 1,0 мм	1,33%
зерно более 0,6 мм	7,68%
зерно более 0,5 мм	7,73%
зерно более 0,4 мм	11,72%
зерно более 0,25 мм	23,60%
зерно более 0,20 мм	13,50%
зерно более 0,10 мм	18,59%
зерно более 0,09 мм	3,94%
зерно менее 0,09 мм	10,71%

Эта установка с емкостью ковша 0,6 т жидкого металла позволяет получить 0,5 т алюминиевого порошка в час.

Алюминиевый порошок, получаемый способом пульверизации представляет собой застывшие гранулы жидкого металла каплеобразной формы. Каждая гранула покрыта тонким слоем окиси алюминия, которая предохраняет ее от дальнейшего окисления.

В алюминиевом порошке содержание окиси алюминия  $Al_2O_3$  находится в пределах (табл. 14).

Таблица 14

Измельчение в мм	Свыше 1	1 ÷ 0,80	0,80 ÷ ÷ 0,24	0,24 ÷ ÷ 0,20	0,20 ÷ ÷ 0,14	< 0,14	Пудра
Содержание $Al_2O_3$ в %	0,59	0,67	0,93	1,05	1,19	1,83	2,6 ÷ 9,6

Алюминиевый порошок, получаемый методом распыления, имеет объемный вес в пределах 0,85—1,4 г/см<sup>3</sup>. Более крупные фракции порошка имеют меньший объемный вес.

В процессе распыления порошок алюминия насыщается железом и кремнием. Для порошков, изготавливаемых из алюминия с химической чистотой 99%, содержание железа и кремния находится в пределах (табл. 15).

Таблица 15

Компоненты	Насыщение алюминиевого порошка	
Fe	$\frac{0,43-0,5}{0,47}$	$\frac{0,73-1,0}{0,85}$
Si	$\frac{0,28-0,70}{0,38}$	

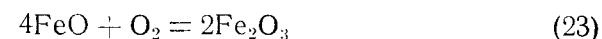
## 2. Обработка железной окалины

Используемая в сварочном термите железная окалина должна быть свободна от органических примесей и различного рода включений: Si, P, S, Cu и других элементов, ухудшающих состав термитной стали. Окалина должна иметь высокое содержание кислорода и по кислородному балансу максимально приближаться к 30,06%  $O_2$ , когда железная окалина состоит только из окиси железа  $Fe_2O_3$ .

Окалина, получаемая с прокатных рельсобалочных станов, имеет следующие среднегодовые данные химического состава за ряд лет: Fe — 73,55%; Mn — 0,45%; Si — 0,35%;  $O_2$  — 25,43%.

Прочие примеси — 0,22% (из них C=0,11%).

В процессе обжига в окислительном пламени кислородный баланс достигает 28,0—29,0%  $O_2$ , что является вполне нормальным для составления термитной шихты. При этом происходит реакция доокисления закисы железа:



В зависимости от кислородного баланса меняется как удельный, так и объемный вес окалины. Удельный вес окалины можно подсчитать по уравнению (24):

$$\gamma = 3,46 \cdot \frac{50}{O_2} \quad (24)$$

где:  $\gamma$  — г/см<sup>3</sup>;

$O_2$  — кислородный баланс окалины.

Объемный или «насыпной» вес определяется по следующей формуле:

$$\gamma_n = 1,45 \cdot \frac{21}{O_2} \quad (25)$$

где:  $\gamma_n$  — г/см<sup>3</sup>;

$O_2$  — кислородный баланс окалины.

С увеличением кислородного баланса окалины повышается температура ее плавления:

$$t_{пл} = 1960 - \frac{12034}{O_2} \quad (26)$$

где:  $t_{пл}$  — температура плавления окалины в °C.

$O_2$  — кислородный баланс окалины.

Между грануляцией окалины и ее кислородным балансом имеется определенная зависимость.

Рассеивание по фракциям окалины и проверка химического состава по кислороду дают следующие данные (табл. 16):

Таблица 16

Измельчение сита по ГОСТ 2138—56	+ 1	+ 063	— 063	Промышленная поставка окалины
Процентное содержание фракций	63,5	12,5	24,0	100
Содержание кислорода в %	24,9	27,09	28,27	25,96

Приведенные в табл. 16 данные показывают, что наряду с увеличением кислородного баланса в окалине за счет повышения температурного режима обжига в окислительной среде возможно

осуществлять регулировку содержания кислорода отбором определенных фракций окалины.

Смешивая в необходимых количествах различные фракции окалины, можно добиться получения стабильного кислородного баланса в ней, который подбирается с точностью до 0,05%. При этом условии обеспечивается постоянная калорийность в выпускаемых партиях термита.

В процессе обработки промышленной поставки окалины, она распределяется на технологических объектах в следующих процентных соотношениях:

крупный отход на грохоте . . . . .	9%
вальцованная окалина . . . . .	27,8%
сеяная окалина (сито 063—016) . . . . .	34,4%
отходы при магнитной сепарации . . . . .	14,6%
пыль и прочие отходы . . . . .	14,2%
Итого . . . . .	100%

Окалина проходит обработку в такой технологической последовательности: просушка, просев через грохот, обжиг в окислительном пламени при температуре 900°, охлаждение, просев по верхнему пределу измельчения, магнитная сепарация, просев на трех ситах. Просушкой устраняется ее комковатость, особенно в зимний период, когда окалина смерзается при транспортировке и трудно поддается для последующей обработки. Просушку производят за счет отходящих газов при обжиге.

Для удаления крупных металлических частиц, кирпичных осколков и других включений окалину пропускают через грохот.

Окалину обжигают во вращающейся печи с диаметром барабана 1 м и длиной 10 м.

Направление потоков окалины и топочных газов — встречное.

Окалина обжигается при температуре 900° в окислительной бессернистой среде. После обжига окалина охлаждается за счет воздушной аэрации.

Просев по верхнему пределу измельчения ведется через сито 063 по ГОСТ 2138—56. Сброс с этого сита идет в отход.

На магнитном сепараторе от окалины отделяются неметаллические составляющие — кварцевый песок и др. Статистические материалы показывают, что при магнитной сепарации фракции окалины имеют различный отход немагнитной составляющей, что видно из табл. 17.

Таблица 17

Сито по ГОСТ 2138—56	+1	+063	—063
Немагнитная часть	1,54%	3,28%	7,30%

Чтобы обеспечить возможность регулировки окалины по кислородному балансу, ее рассеивают на несколько фракций. Наиболее приемлема разбивка на три фракции.

Просев окалины ведут через три сита, в результате получается окалина с измельчением:

первая фракция — 063, +04;

вторая фракция — 04, +025;

третья фракция — 025, +01.

Фракция 01, проходящая через третье сито, идет в отход.

### 3. Подготовка стального наполнителя

Используемый при сварке рельсов стальной наполнитель, который входит в состав термитной шихты, по химическому анализу должен отвечать следующим требованиям: С — 0,08—0,50% (отклонения в одной партии  $\pm 0,1\%$ ); Мп — 0,3—0,8%; Si  $\leq 0,37\%$ ; Р  $\leq 0,04\%$ ; S  $\leq 0,04\%$ .

По степени измельчения металлический наполнитель характеризуется наибольшим и наименьшим сечениями по толщине частиц. Наибольшая толщина металлических частиц не должна превышать 5 мм, а наименьшая — 0,5 мм.

Объемный вес стального наполнителя находится в пределах 1,9—2,5 г/см<sup>3</sup>.

Гвоздевая обсека и стальная стружка проходит технологическую обработку в следующей последовательности: просев через грохот, промывание в горячем содовом растворе, промывание горячей водой, обжиг, охлаждение.

Чтобы устранить попадание осколков кирпичей, крупных гвоздей и других включений, стальной наполнитель просеивают на грохоте. Дробленая стружка с фрезерных и зубофрезерных станков, однородная по составу, может не подвергаться просеву.

Перед обжигом для удаления масла и других органических веществ, которые могут вызывать резкое задымление как производственных помещений, так и окружающей местности, металлический наполнитель промывают в 5-процентном содовом растворе, при температуре последнего в 60—80°. После этого производят душирование горячей водой при такой же температуре для удаления щелочных включений и мелких частиц.

Промытая обсека или стальная стружка обжигается при температуре 600° в барабанной печи обжига окалины. Для этого может использоваться также печь обжига стального наполнителя конструкции М. А. Карасева.

Во время обжига из металлических частиц удаляется кристаллизационная влага, также выгорают остатки органических включений.

Охлаждение стального наполнителя производят за счет воздушной аэрации, рассчитывая потоки воздуха с учетом выветривания мелких частиц окалины, которые могут попадать при обра-

ботке металлического наполнителя в барабанной печи обжига окалины.

Количество окалины, образующейся в процессе обжига на поверхности стальных частиц, не превышает  $0,5 \div 1,5\%$ . Так как металлический наполнитель вводится в среднем до  $15\%$  от веса основных составляющих шихты, влияние этой окалины на состав термита незначительно.

#### 4. Технологическая обработка и подготовка ферросплавов и других легирующих элементов, вводимых в термитную шихту

Легирующие элементы могут вводиться в термитную шихту или в чистом виде или в составе различных сплавов. В термитную шихту они могут вводиться через восстановитель (в сплаве с алюминием) через окислитель (в составе окалины), через металлический наполнитель (в легированной стали), в химически чистом состоянии или через ферросплавы. Наиболее распространенным видом легирования является введение элементов через ферросплавы и в чистом виде.

Ферросплавы и другие легирующие добавки перед вводом их в шихту должны пройти процесс обработки: измельчение крупных глыб, доведение грануляции легирующих веществ до требуемой величины и устранение кристаллической влаги.

Для измельчения ферросплавов используются щековые дробилки, которые позволяют доводить грануляцию легирующих частиц от  $5$  до  $1$  мм. После дробления производится просев, в результате чего достигаются принятые границы измельчения ферросплавов.

Для устранения влаги ведут прокатку ферросплавов при температуре  $300\text{—}350^\circ$ . Допустима прокатка и при более высокой температуре, которая несколько окисляет частицы, в результате они принимают более активное участие в реакции.

Графит, используемый как легирующий элемент, поступает в порошкообразном состоянии.

По верхнему пределу измельчения графит пропускается через сито 025 для отсева возможного попадания крупных частиц. После просева графитный порошок прокаливается при температуре  $300^\circ$ .

#### 5. Технологические процессы изготовления термитных порций

Термитные компоненты в соответствии с разработанным составом шихты проходят следующие технологические операции:

1) взвешивание порошка алюминия на весах с точностью до  $\pm 0,1\%$ ;

2) взвешивание порошка железной окалины, который состоит из нескольких фракций, отличающихся друг от друга по кислородному балансу и измельчению.

Каждая из фракций в соответствии с требованиями расчета по стабильности кислородного состава в окалине, используемой для шихты, взвешивается с точностью до  $\pm 0,15\%$ ;

3) взвешивание стального наполнителя с точностью до  $\pm 0,5\%$ . Перечисленные компоненты поступают в смеситель, где в течение  $30$  сек.  $160\text{—}180$  раз перелопачиваются четырехлопастным ротором. Из смесителя шихта ссыпается в бумажный пакет или хлопчатобумажные мешочки;

4) взвешивание легирующих компонентов. Ферросплавы и графитный порошок взвешиваются с точностью до  $\pm 0,1\%$ . После взвешивания они упаковываются в бумажную тару;

5) взвешивание огнеупорного порошка и упаковка запорного устройства. Огнеупорный порошок глинозема  $Al_2O_3$  измельчается по верхнему пределу, определяемому ситом 016. В каждую порцию термита для запорного устройства добавляется порошок глинозема в количестве  $35 \pm 1$  г. Он расфасовывается в бумажный пакет. Туда же закладывают асбестовый кружок диаметром  $24 \times 3$  мм.

Пакет с легирующими компонентами и запорным устройством упаковывается в бумагу, в которую закладывается запорный гвоздь (стержень  $\varnothing 6 \times 120$  мм, имеющий на одном конце шляпку  $\varnothing 17 \times 1,5$  мм Ст. 10—15). Затем все это упаковывают вместе с термитной шихтой в бумажный пакет или хлопчатобумажный мешочек.

При серийном производстве развеску компонентов шихты следует вести только на весовых дозаторах, так как объемные дают относительно высокие отклонения количества отмеряемой шихты.

На пакете с легирующими компонентами ставится штамп (обычно это делается до упаковки ферросплавов), на котором указываются завод-изготовитель, марка термита, номер партии, даты изготовления и слова «Беречь от сырости!».

В зависимости от дальности транспортировки используются контейнеры или специальная тара, в которую складываются порции с термитом.

#### 6. Порции сварочного термита

Применяемый для сварки стыков рельсов трамвайных путей сварочный термит имеет недостаточную калорийность, поэтому его берут две-три порции по  $6\text{—}7,5$  кг в зависимости от типа и профиля рельсов.

Повышение калорийности термита, увеличение кислородного баланса железной окалины сокращают расход термита, используемого для сварки рельсов. Этому также способствует совершенствование технологического процесса.

Использование сварочного термита с кислородным балансом окалины  $> 28,65\%$   $O_2$ , алюминиевым порошком с химической чистотой  $> 99\%$   $Al$  и с  $10\%$  стальной обечки дает возможность употреблять для рельсов Р-50 (оптимальный стыковой зазор



12 мм, площадь сечения 65,8 см<sup>2</sup>) термит в количестве 4,0 кг основных компонентов, а для Р-43 (оптимальный стыковой зазор 12 мм, площадь сечения 57,0 см<sup>2</sup>) — 3,5 кг.

Для сварки рельсов S-49 (площадь сечения 62,97 см<sup>2</sup>) в ГДР используется 3,5—4,0 кг термита. Для сварки рельсов трамвайного типа 180×180 мм хорошие результаты дает термит марки 6520—6,5 кг основных компонентов и 20% стальной обечки (сварка с зазором 13 мм). Этой маркой термита сваривают рельсы Р-65 (площадь сечения 82,92 см<sup>2</sup>).

В ФРГ для сварки рельсов S-49 (площадь сечения 62,4 см<sup>2</sup>) в 1957 г. использовали сварочные порции марки 5515—5,5 кг основных компонентов и 15% стального наполнителя. В настоящее время для этого типа рельсов в связи с интенсификацией подогрева стыка рельсов под сварку количество сварочного термита сократилось до 3,5—4,0 кг — веса основных компонентов.

В ЧССР для рельсов сечением 63,3 см<sup>2</sup> использовали сварочный термит весом 5,5 кг. Постепенно вес основных компонентов был доведен до 4,5 кг.

Для сварки рельсов крупных сечений Р-65 в ЧССР применяют сварочный термит марки 6520 (6,5 кг основных компонентов и 20% стальной обечки).

Используя данные из практики количественного применения сварочного термита для сварки рельсов Р-65, Р-50 и Р-43 и основные показатели табл. 18, приводим диаграмму весового количества основных компонентов термита.

Таблица 18

Тип рельсов	Сечение S в мм <sup>2</sup>	Максимальный стыковой зазор, равный толщине шейки рельса, в мм	Стыковой объем V в см <sup>3</sup>
Р-38	49,063	13,0	63,8
Р-43	57,0	14,5	82,5
Р-50	65,8	15,5	102,0
Р-65	82,92	18,0	149,0
Т-55	70,47	12+2=14	98,5
Т-60	76,72	12+2=14	107,5
Т-65	82,55	12+2=14	115,5
S-49	62,97	14	88,0

На основании данных диаграммы 10 весовой состав термита (Al+Ok) равен:

для рельсов Р-38—2,7 кг;

для рельсов Р-43—3,25 кг.

Учитывая сложность профиля трамвайных рельсов, следует увеличить весовой состав шихты в 1,5 раза. Это увеличение дало хорошие результаты при сварке трамвайных рельсов в ГДР.

Если для порции в 6,5 кг содержание обечки составляет 20%.

а для порции в 3,5 кг — 10%, то в логарифмической сетке для различных весовых значений процент обечки будет (диаграмма 11).

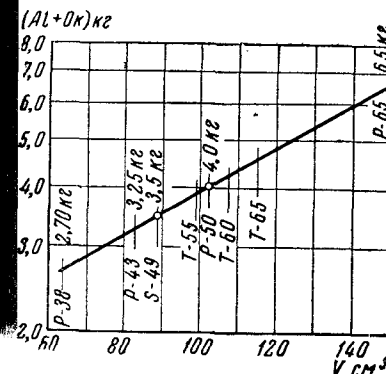


Диаграмма 10. Весовое содержание основных компонентов термита в порции.

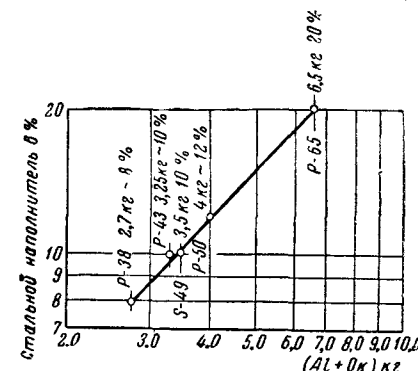


Диаграмма 11. Процентное содержание обечки в термитной шихте.

На основании диаграмм 10 и 11 весовой состав сварочного термита будет (табл. 19):

Таблица 19

Тип рельсов	Состав порции термитной шихты			
	основные компоненты (Al+Ok)	Стальной наполнитель	всего без легирующих компонентов	
Р-38	2,70 кг	0,216 кг	8%	2,916 кг
Р-43	3,25 .	0,325 .	10%	3,575 .
Р-50	4,00 .	0,480 .	12%	4,480 .
Р-65	6,50 .	1,300 .	20%	7,800 .
Т-55	6,00 .	0,900 .	15%	6,900 .
Т=60 и Т=65	6,50 .	1,300 .	20%	7,800 .

Иногда используют несколько увеличенные порции сварочного термита для стыков рельсов, установленных с завышенным зазором. Содержание основных компонентов в этой порции — 500 г. В порцию вводят 10% стальной обечки и соответствующее количество легирующих компонентов, которые перемешивают со всей шихтой. Порции упаковывают в бумажные пакеты и используют для увеличения количества термитной шихты при сварке.

Термит должен храниться в сухих проветриваемых помещениях. Длительное хранение его ведет к потере им кондиций сварочного термита.

Термит взрывобезопасен, воспламеняется от искры, температура которой превышает 1350°. Поэтому электроосветительные устройства в складских помещениях и на предприятиях, где используется термит, должны быть взрывобезопасными.

Сварочный термит должен храниться в отсеках (на деревянном настиле и стеллажах), вмещающих не более 10 упакованных порций. Под настилом делается бетонированный приямок с хорошей гидроизоляцией, способный вместить 10 т шихты.

При соблюдении норм противопожарной безопасности термит безопасен при перевозке.

Не допускается тушение термита водой, так как в результате реакции между алюминием термита и кислородом воды может произойти взрыв большой разрушительной силы. При тушении термита необходимо рассыпать шихту тонким слоем, или ввести в нее сухие инертные материалы (сухая земля, кирпич, песок, щебень, шлак) или металлический лом.

Допускается блокирование помещений с горящим термитом всеми противопожарными средствами. При этом необходимо следить за тем, чтобы вода или противопожарные растворы не попали на термит.

## Глава V

### ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ ДЛЯ ТЕРМИТНОЙ СВАРКИ

#### 1. Требования, предъявляемые к огнеупорам

Огнеупоры для термитной сварки подразделяются на два вида: огнеупоры разового применения и огнеупоры многократного использования. Огнеупоры разового применения (формы) предназначены для формования сварочного облива. Они должны обладать высокой газопроницаемостью, необходимой термической устойчивостью и механической прочностью. В огнеупорах многократного использования (тигли, штепселя) происходит термитная реакция при температуре 2500—3000°. Эти огнеупоры должны иметь высокую термоустойчивость, низкую химическую активность и достаточную механическую прочность.

#### Формовочные материалы

Формовочные материалы используют для набивки сварочных форм. Они должны обладать огнеупорностью не ниже 1650°, а также иметь однородный зерновой состав. Для этого используют кварцевый песок марок 1К0315Б; 2К0315Б; 1КРК; 2КРК; 1К025А; 2К025А по ГОСТ 2138—56, в котором содержание кремнезема, глинистых составляющих и вредных примесей составляет (табл. 20).

Наименование песка	Класс	Содержание глинистой составляющей в %	Содержание кремнезема в %	Вредные примеси (не более)		
				сера сульфидная в %	окислы щелочно-земельных и щелочных металлов в %	окись железа в %
Кварцевый	1К	до 2	≥ 97	Не допускается	$K_2O + Na_2O \leq 0,5$ $CaO + MgO \leq 1,0$	0,75
"	2К	до 2	≥ 96	0,025	1,5	1,0
"	3К	до 2	≥ 94	0,025	2,0	1,5

В кварцевом песке измельчение и газопроницаемость соответственно будут (табл. 21):

Таблица 21

Марка песка	Основная фракция		Остатки на верхних и нижних ситах					Газопроницаемость при оптимальной влажности	
	номера сит	остаток в % (не менее)	номера верхних сит	остаток в % (не более)	номера нижних сит	остаток в % не более	Категории		
							А	Б	
							остаток на крайнем верх- нем сите основной фракции больше, чем на крайнем нижнем сите	остаток на крайнем ниж- нем сите основной фракции больше, чем на крайнем верхнем сите	
единиц (не менее)									
1К0315Б; 2К0315Б	04,0315 025	70	2,5+1,6	3	0063 и мельче	5	—	250	
1КРК; 2КРК	04,0315 025	60	2,5+1,6	3	0063 и мельче	5	—	250	
1К025А; 2К025А	0315,025 016	70	2,5+1,6	2	005+ тазик	4	200	—	

Кварцевый песок — основа формовочного состава, который различными связующими может скрепляться в прочные смеси. Наиболее распространенными связующими веществами являются формовочные глины марок ФПС-1; ФВ-1 и ФО-1 по ГОСТ 3226—57.

Формовочная смесь на глинистой связующей имеет следующий состав:

кварцевый песок — 80—85 %;  
формовочная глина — 20—15 %;  
вода — 6—7 %.

При машинном замесе в формовочном составе меньше содержится глинистой составляющей и воды.

Формовочный состав после замеса через несколько часов взрыхляют.

Для разных способов сварки употребляют или свежеприготовленный состав, или тот же состав, но с последующей просушкой форм после их набивки.

Физико-механические свойства формовочных составов с глинистой связующей должны удовлетворять по газопроницаемости (в сыром виде)  $\geq 80$  единицам, по прочности на сжатие (в сыром виде)  $> 0,5 \text{ кг/см}^2$ , по плотности набивки (в сыром виде)  $70 \div 80$  единиц по твердомеру.

Помимо глин указанных марок, могут использоваться также неорганические связующие материалы (например, жидкое стекло, технический силикат натрия по ГОСТ 8264—56).

Для формовочных составов употребляют жидкое стекло марки А с модулем  $2,00 \div 2,30$  и удельным весом  $1,48 \div 1,52$  и марки Б с модулем  $2,31 \div 2,60$  и удельным весом  $1,47 \div 1,51$ .

Формовочная смесь готовится по следующему рецепту:

кварцевый песок —  $92 \div 93$  %;  
жидкое стекло —  $7 \div 8$  % (удельный вес  $1,47 \div 1,52$ ).

Быстрое затверждение формовочной смеси после набивки форм ускоряется продуванием углекислого газа через смесь. При этом осуществляется повышение давления пропускаемого газа от 0,5 до 1,5 атм в течение 1,5—2 мин. В результате жидкое стекло прочно связывает состав.

Допускается просушка изготовленных форм при температуре  $200^\circ$ .

В формовочных составах для сварки широко могут применяться органические материалы, используемые в промышленности. Эти крепители обеспечивают повышенную по сравнению с глинистыми связующими газопроницаемость форм и практически исключают пригар формовочных материалов к термитному обливу.

### Высокоогнеупорные материалы

Для производства тиглей используют магнезитовые материалы, например магнезитовый порошок марки МПЭП по ТУО 49, в состав которого входит:

MgO не менее 88 %;

CaO не более 4 %;

SiO<sub>2</sub> не более 4 %.

Для скрепления употребляют формовочную глину марок ФПС-1, ФВ-1 и ФО-1 по ГОСТ 3226—57.

Футеровочная смесь имеет следующие соотношения:

магнезитовый порошок — 85—88 %;

формовочная глина — 15—12 %;

вода — 7—8 %.

Перед набивкой тиглей футеровочные материалы выдерживают и рыхлятся.

Нормальные магнезито-глинистые футеровочные составы способны выдержать до 10—15 термитных плавок; до 30—40 термитных плавок могут выдержать магнезитовые огнеупоры, изготовленные по следующей технологии.

Магнезитовый порошок проходит обжиг при температуре  $1600^\circ$ . Обожженный магнезит дробится и рассеивается по фракциям.

Для футеровочной смеси употребляют две фракции с измельчением:

сито 1,6—04 — 60 %;

сито 0063 и мельче — 40 %.

Одна фракция с крупным зерном кристаллического строения выдерживает высокие температуры, а другая является связующей.

Обе фракции увлажняют 4-процентным раствором сульфитно-спиртовой барды (КБЖ по ГОСТ 8518—57 с удельным весом 1,27). Затем компоненты тщательно перемешивают.

После набивки огнеупоры обжигают в печи при температуре  $1500^\circ$ . Огнеупоры должны иметь кажущуюся пористость в пределах 24—28 %.

## 2. Конструкции сварочных форм, тиглей и моделей

Формы, используемые при термитной сварке рельсов, должны иметь разъем по оси симметрии для того, чтобы обеспечить их свободную установку на свариваемый рельсовый стык.

На рис. 5 представлена сухая форма, состоящая из двух половинок. Каждая половинка формы имеет очертание одной стороны профиля рельса. В средней части формы сделана выемка, которая определяет конструктивные формы облива.

Для заливки термитного металла в форме имеются литниковые каналы.

Чтобы повысить прочность сухих форм, во внутреннюю часть их закладывают металлический каркас.

При использовании в сварочных процессах сырых форм применяется металлический каркас — опока, в которой ведется на-

бивка формы. Опоки предохраняют формы от деформации и механических повреждений.

Тигель—конусообразный огнеупор. В нижней части его имеется коническое отверстие для установки воронки (штепселя). Через это отверстие штепселя сливается термитный металл и пропускается шлак в сварочные формы.

Штепсель предохраняет нижнюю часть футеровки тигля от преждевременного разрушения.

В среднем штепсель выдерживает две-три плавки.

Конусная поверхность штепселя позволяет легко заменять его в тигле.

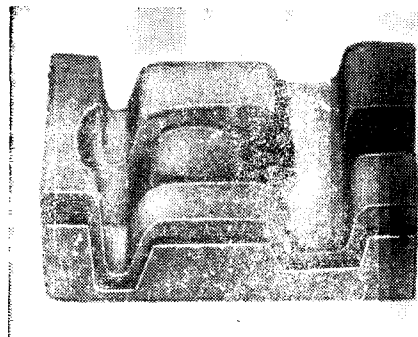


Рис. 5. Сухая форма для термитной сварки рельсов.

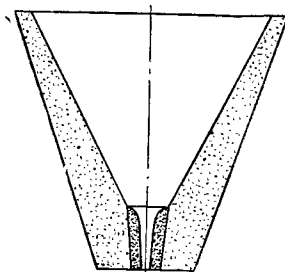


Рис. 6. Тигель со штепселем.

Магnezитовые тигли устанавливают в металлические конусообразные кожухи с промежуточным огнеупорным слоем. Этот слой состоит из формовочной смеси, применяемой для изготовления сварочных форм, и асбестовой ваты. Он предохраняет магnezитовый тигель от механических повреждений и компенсирует линейные тепловые изменения между кожухом и футеровкой в ходе термитной реакции.

Перед эксплуатацией тигель должен быть просушен и прокален. На рис. 6 представлен общий вид тигля с установленным в него штепселем.

На рис. 7 представлена алюминиевая модель для заливки термитного металла сверху и бокового подогрева рельсового стыка.

На рис. 7 показаны конструкция облива и литниковый отъемный стержень. Конструкция располагается на подмодельной плите.

В верхней части модели, определяющей форму головки рельса, имеется набор пластинок. Эти пластинки позволяют подгонять модель по высоте износа рельсов.

При конструировании облива межстыковой зазор принимают равным толщине шейки рельса. В подошвенной части стыка рельсов облив имеет эллиптическое сечение шириной, равной трем

зазорам, а по высоте — одному. По шейке рельсов облив имеет трапециевидальное сечение с плавными округлениями ребер и радиусными переходами к поверхности рельса.

Нижняя часть трапеции и ее высота равны двум, а верхняя часть — половине зазора. Приливы по боковым частям головки

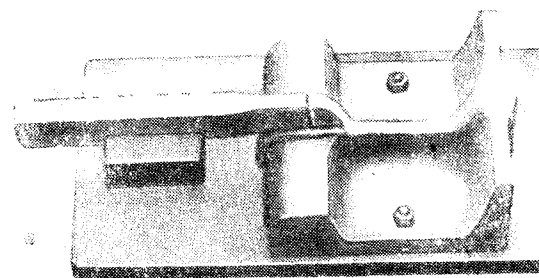


Рис. 7. Модель для набивки сварочных форм.

рельса имеют ширину, равную 1,2 ширины зазора, а по высоте — 1,5 зазора. Верхняя часть головки рельса имеет облив в виде валика радиусом 0,6 зазора. Практика показала, что увеличение ширины облива, превышающее приведенные выше нормы, не дает положительных результатов, а наоборот, создает возможность непровара по краям облива. При этом повышается расход термита.

### 3. Хранение и транспортировка огнеупоров

Сухие формовочные изделия и высокоогнеупорные материалы следует предохранять от увлажнения. Хранить их нужно в сухих складских помещениях на деревянных стеллажах.

При перевозке огнеупоров на небольшое расстояние их укладывают на вдвое сложенный брезент и принимают меры, исключаяющие их увлажнение.

Огнеупоры, транспортируемые на большие расстояния, упаковываются в ящики и перекладываются стружкой или гофрированной бумагой. Внутренние стенки ящика выкладываются упаковочным пергаментом для предохранения от сырости.

## Глава VI

### ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО СБОРКЕ РЕЛЬСОВЫХ СТЫКОВ ПОД СВАРКУ

1. Концы отобранных под термитную сварку рельсов не должны иметь отклонений от оси в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ТЕРМИТНОЙ СВАРКИ РЕЛЬСОВЫХ СТЫКОВ

2. Торцы и концы рельсов должны быть зачищены до металлического блеска не менее чем на 50 мм. Для этого используют круглую стальную проволочную щетку, которую устанавливают на вал электрошлифовальной машины. Если последняя отсутствует, можно применить ручную стальную проволочную щетку.

Особенно тщательно следует зачищать нижнюю поверхность подошвы и место сопряжения шейки с головкой рельса. Если на зачищаемой поверхности окажется трудноудаляемая окалина, необходимо пользоваться напильником, а в отдельных случаях зубилом с молотком.

Если концы рельсов покрыты маслом, мазутом и т. п., их следует обжечь пламенем горелки бензоподогревателя или паяльной лампы.

3. Под каждым рельсом длиной 12,5 м, раскладываемым для сварки в стороне от котлована, должны быть четыре шпалы, которые следует располагать примерно на одном и том же расстоянии друг от друга, причем между торцами рельса и поверхностью крайних шпал необходимо выдержать расстояние 300 мм. При сварке в стороне из-за сложности последующей транспортировки не рекомендуется сваривать плеть, состоящую более чем из четырех звеньев.

Сваренные в стороне плети при перемещении их в котлован неизбежно подвергаются изгибу, который может привести к появлению деформации или даже к разрушению сварного соединения. При поперечном перемещении сваренных рельсовых плетей необходимо равномерно перемещать всю плеть без изгибов. Поэтому термитную сварку стыков рельсов желательно производить в котловане на уложенных шпалах. В этом случае нет необходимости ограничивать длину сварной рельсовой плети.

Сварку в котловане необходимо выполнять до производства работ по подъемке и рихтовке пути.

4. Уложенные на шпалах рельсы стыкуются, одновременно производится предварительная рихтовка их. Затем, выдерживая зазор 12—14 мм между торцами рельсов, проводят контрольную рихтовку. Для этого применяют клинья из твердых пород дерева. Регулируя положение клиньев, которые подбиваются под подошву рельсов, тщательно совмещают профили последних. Используя эти же клинья и специальную стальную линейку длиной 1 м, необходимо произвести завышение места сварки на 1,5—2 мм, так как в противном случае стык после сварки окажется заниженным. Проверка величины такого завышения осуществляется линейкой со штифтами 1,5 мм на концах.

При установке под сварку переходных стыков необходимо измерить по рабочему канту рельсов и также выдержать параллельность шейки и подошвы стыкуемых рельсов.

Существует несколько способов термитной сварки рельсовых стыков (кузнечный, промежуточного литья, комбинированный), которые отличаются способом заливки жидкой термитной стали.

### 1. Кузнечный способ термитной сварки

Торцы рельсов фрезеруют двусторонней фрезой и плотно сжимают прессом. Затем сразу же производят зачеканку по всему периметру стыка.

На стык устанавливают формы. Заливку в зону сварки жидких продуктов термитной реакции производят через край тигля, представляющего собой металлический ковш, футерованный магнием и лишенный нижнего выпускного отверстия, причем сначала сливают шлак, а затем термитную сталь.

Температура стыка в начале процесса равна температуре нагретого воздуха, а температура жидкого шлака превышает 2500°.

Из-за огромного перепада температур шлак, обволакивающий стык рельсов, быстро теряет тепло и при температуре ниже 2050° переходит в твердое стеклообразное состояние, покрывая стык шлаковой коркой толщиной до 4 мм.

Поступающий из тигля металл как более тяжелый вытесняет из нижней части форм оставшийся жидкий шлак, который всплывает наверх.

Так как перегретая жидкая сталь значительно теплопроводнее шлака, она через шлаковую пленку начинает интенсивно отдавать свое тепло рельсовому стыку.

Через 3—4 мин. стык нагревается до температуры 1400—1450°, затем производят осадку его сжимным прессом. Так заканчивается процесс сварки. После этого сбивают формы и удаляют металлический облив, который плотно охватывает стык, но благодаря шлаковой корке, покрывающей его, к последнему не приваривается.

Вследствие большого перегрева стыка во время сварки происходит значительный рост зерна — образуется видманшtedтова структура. Поэтому стыки, выполненные кузнечным способом, необходимо подвергнуть термической обработке.

Кузнечный способ сварки стыков рельсов из-за сложности технологического процесса и низких прочностных данных в настоящее время применяется крайне редко.

## 2. Термитная сварка стыков рельсов способом промежуточного литья

Самым распространенным способом термитной сварки стыков рельсов является способ промежуточного литья, который применяется во многих странах мира. Принципиально схема сварки этим способом проста (рис. 8). Разница между этими вариантами заключается лишь в том, что термитный металл в первом случае заливается, а во втором — сверху, снизу вверх.

При установке рельсов под сварку между торцами стыка выдерживается зазор, равный толщине шейки рельса. Свариваемые поверхности должны быть параллельными. Обрезка рельсов под

сварку (если в этом есть необходимость) может выполняться механическим способом, а также и газом. Величина зазора между торцами рельсов оказывает большое влияние на качество сварки. Применение меньших зазоров выгодно, так как это сокращает расход термита. Однако использование неоправданно узких зазоров изменяет характер кристаллизации металла в сварном шве и металл в верхней части шва может затвердевать раньше, чем успеют выйти газы из нижних слоев. Это может привести к появлению газовой пористости в сварном шве.

При сварке способом промежуточного литья термитный металл полностью заполняет зазор между торцами рельсов по всему сечению. Он является не только мощным теплоносителем, но и расплавляя торцы рельсов, при затвердевании образует сплошное сварное соединение.

Полноценное сварное соединение получается лишь в том случае, если пропускается избыточное количество жидкого металла, который, омывая свариваемые поверхности рельсов, равномерно оплавляет их и обеспечивает хороший провар металла. Поэтому при конструировании сварного стыка необходимо предусмотреть такое размещение прибыльной части и системы подвода металла, чтобы потоки жидкой стали омывали всю площадь свариваемого сечения. Прибыльная часть служит питателем для заполнения жидким металлом мест, образующихся в процессе усадки металла.

Головка рельсового стыка вследствие частичного расплавления ее термитным металлом теряет механические свойства, при

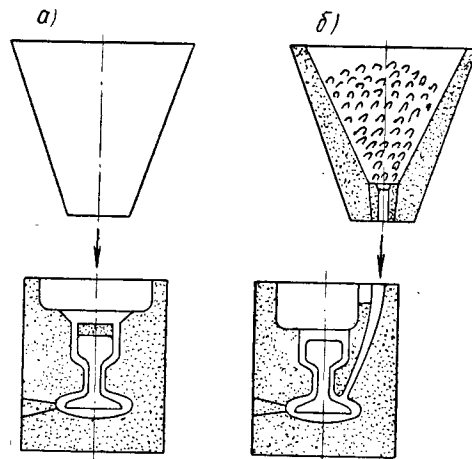


Рис. 8. Способы промежуточного литья:  
а — заливка снизу вверх; б — заливка сверху.

данные ей в процессе прокатки. Это обстоятельство должно быть учтено при конструировании форм, чтобы уменьшить величину этого проплавления головки рельсов.

Предварительный подогрев стыка перед сваркой является важной технологической операцией, от которой в значительной степени зависит качество сварного соединения. Подогрев может производиться любым горючим газом, причем температура подогрева должна быть не менее 850—900°. Предварительный подогрев перед сваркой необходим для того, чтобы создать наиболее благоприятные условия для заливки перегретой жидкой стали, уменьшить температурный перепад между жидкой сталью и сварной зоной, сократить расход термита, повысить качество сварки и устранить газовую пористость в сечении облива, которая может возникнуть от присутствия влаги в сварочной зоне.

В ходе предварительного подогрева стыка огнеупоры вследствие их меньшей, чем у металла, теплопроводности, нагреваются до более высокой температуры. Поэтому расплавленный металл в зоне, прилегающей к огнеупорам, меньше охлаждается, более длительное время сохраняет текучесть и вследствие этого легко перемещается и питает шов по всему периметру облива.

Большое значение имеет конфигурация облива. Применяющаяся сегментообразная форма облива не всегда обеспечивает получение качественного стыка, поэтому при отработке оптимальных параметров конфигурации облива необходимо помнить, что резкие переходы между обливом и рельсом являются источником значительных напряжений, которые в эксплуатационных условиях могут привести к разрушению стыка.

Каждая вновь конструируемая модель облива должна отрабатываться путем пробной сварки стыков рельсов с последующим их исследованием.

Сжигание термита для сварки следует производить только в горячем ошлакованном тигле.

Применение непрогретого тигля недопустимо по следующим причинам:

1) футеровка тиглей обладает высокой гигроскопичностью и активно усваивает атмосферную влагу, поэтому при сжигании термита в таком тигле термитный металл будет насыщаться водородом;

2) холодная футеровка поглощает большое количество тепла, выделяемого в ходе термитной реакции; этим нарушается расчетный тепловой баланс процесса сварки;

3) футеровка ввиду ее загрязнения различными примесями, не обладающими высокой огнеупорностью, может быть источником дополнительных вредных включений в термитном металле. Поэтому, прежде чем пользоваться новым тиглем, его необходимо ошлаковать, т. е. сжечь в нем некоторое количество термита, достаточное для того, чтобы внутренняя поверхность футеровки покрылась шлаком не менее чем на  $\frac{2}{3}$  общей высоты тигля.

Детали и материалы, используемые для запорного устройства тигля (штепсель, асбестовый кружок и глинозем), перед применением нужно прокалить, а запорный гвоздь — прогреть.

Перед засыпкой термита в тигель его следует тщательно перемешать, так как алюминиевый порошок и железная окалина из-за значительной разницы в удельных весах в процессе транспортировки неравномерно распределяются.

Засыпая из бумажного пакета присадку в тигель, необходимо помнить, что если она находится в верхней части термита, то в ходе термитной реакции из-за большой активности процесса присадка почти полностью теряется (испаряется и переходит в шлак).

Если присадка находится в нижней части тигля, она полностью переходит в термитную сталь. В этом случае присадка полностью усваивается нижними слоями термитного металла.

Чтобы получить однородную по химическому составу термитную сталь, а также максимально уменьшить потери присадки, последнюю необходимо закладывать в тигель на  $\frac{2}{3}$  его высоты.

Поджигание термитной смеси можно произвести любым источником тепла, развивающим температуру свыше  $1350^{\circ}$ . На практике чаще всего используются термитными спичками, которые горят в любых атмосферных условиях.

Для воспламенения термитной шихты горящую спичку необходимо погрузить на  $\frac{2}{3}$  ее длины в термит. Горение термитной порции происходит весьма активно и продолжается 15—25 сек. По окончании горения термита, что определяется прекращением бурления в тигле, необходимо дать выдержку 4—6 сек., чтобы закончилось отделение металла от шлака. Затем следует быстро выбить запорное устройство тигля и выпустить жидкие продукты термитной реакции в форму.

В ходе термитной реакции нужно стремиться к возможно более точному определению момента выпуска термитного металла из тигля. Преждевременный выпуск не дает возможности закончиться процессу горения термита и последующему отделению металла от шлака. Это ведет к загрязнению сварного стыка неметаллическими включениями и резко снижает прочность термитного металла.

Задержка выпуска термитной стали ведет к падению ее температуры, что может вызвать непровар в сварном стыке. По этой же причине может произойти застывание металла в нижней части тигля. Такой тигель следует осторожно снять со стойки до полного его остывания.

Через 2,5—3,5 мин. после заливки термитного металла снимают форму, удаляют технологические утолщения: прибыльную часть, литниковую и выпорную системы стыка. Затем очищают сварной стык от пригара формовочной земли и шлифуют абразивным кругом рабочие поверхности рельсов.

### 3. Комбинированный способ термитной сварки стыков рельсов

При комбинированном способе подошвы и шейки рельсов свариваются способом промежуточного литья, а головки рельсов, между которыми устанавливается малоуглеродистая стальная пластина, — кузнечным способом. Перед сваркой стыка комбинированным способом производится предварительная фрезеровка торцов рельсов, доводка поверхности стыка личным напильником и устанавливается межстыковая пластина. Межстыковая сварочная пластина изготавливается из малоуглеродистой (С-0,1%) листовой стали толщиной 3—4 мм. По форме она с небольшим припуском повторяет очертания головки рельсов. Пластина шлифуется, обезжиривается и хранится в специальной упаковке, предохраняющей ее от коррозии и загрязнения.

Устанавливая межстыковую пластину, необходимо следить за тем, чтобы полностью исключалась возможность загрязнения обработанных поверхностей рельсов и пластины. Запрещается прикасаться к шлифованным поверхностям пластины и обработанным торцам рельсов даже пальцами рук, так как это ведет к загрязнению стыка органическими веществами.

Пластина устанавливается в зазор между головками рельсов и сжимается стяжным прессом. Затем производится зачеканка пластины. Зачеканку необходимо произвести особенно тщательно, чтобы при последующей заливке исключить возможность проникновения шлака в зазор между головками рельсов и пластиной. Если в этот зазор попадает шлак, сварка головки рельсов не произойдет. Особое внимание нужно обратить на качественное выполнение зачеканки пластины снизу головки рельса и в месте сопряжения шейки с головкой.

В собранном виде в стыке между подошвами и шейками рельсов образуется зазор в 3—4 мм, который необходим для качественного выполнения сварки этой части рельсов способом промежуточного литья. На собранный и подготовленный стык устанавливаются формы, имеющие специальный литник для заливки металла в нижнюю часть стыка. После этого производят предварительный подогрев стыка до температуры  $700—750^{\circ}$ .

В качестве источника тепла используются любые горючие газы: природный газ, пропан, пары бензина и т. п., которые сжигают в атмосфере воздуха или же в смеси с кислородом, поступающим под давлением.

Подогревать стык необходимо так, чтобы равномерно нагревалось все сечение рельса. Поэтому стык нужно нагревать не только сбоку, где пламя направляется на подошву и шейку, но и сверху для непосредственного прогрева наиболее мощной по сечению головки рельса.

Заливка металла и шлака в формы производится из конусного тигля, футерованного магнезитом и имеющего внизу, в узкой конусной части, запорное устройство.



Вес термитной порции, сжигаемой в тигле, рассчитывается таким образом, чтобы полученный металл заполнил только полость формы, охватывающей подошву и шейку рельсов.

Как известно, головка рельсов сваривается за счет тепла шлака, который заполняет верхнюю часть форм. Через 2—3 мин. после заливки металла в форму производится осадка стыка.

Головки рельсов, разогретые термитным шлаком до 1400—1450°, свариваются в процессе прессования, а остальная часть сечения — термитным металлом (способом промежуточного литья). После этого производят механическую обработку стыка по контуру, а иногда и термическую обработку его.

В стыках, сваренных комбинированным способом, часто встречаются дефекты (непровар головок, продольные трещины в шейке и под головкой, пористость в литом термитном металле и др.). Так, появление непровара в головке рельсов происходит от небрежного фрезерования торцов стыка и загрязнения их и сварочной пластины, а также недостаточного предварительного подогрева.

Конфигурация облива стыка также имеет большое значение, так как резкие переходы от облива к основному профилю рельса способствуют концентрации напряжений, что при низкой температуре может являться причиной разрушения стыков.

В настоящее время сварка рельсовых стыков комбинированным способом применяется редко, так как сложна ее технология, громоздка оснастка и нестабильна прочностная характеристика стыков.

#### 4. Термитная сварка рельсов способом промежуточного литья, применяемая в ГДР

На стык трамвайных рельсов 180 × 180, укладываемых с зазором 13—14 мм, устанавливаются сырые формы, изготавливаемые на месте производства работ.

Для форм употребляется формовочная смесь индустриальной поставки. В нее входят:

кварцевый песок (с содержанием 89% SiO <sub>2</sub> )	— 84—85%;
шамотная глина	— 16—15%;
влаги	— 6—7%.

Основная фракция кварцевого песка имеет грануляцию от 0,6 до 0,1 мм.

Свариваемый стык подогревается пропано-кислородным пламенем до 900° горелкой со следующей характеристикой: давление пропана — 4 атм; давление кислорода — 0,6 атм; диаметр отверстия штуцера (для пропана) — 2 мм; время подогрева стыка — 24—25 мин.

Обмазка зазоров по профилю рельсов производится формовочной смесью.

Для сварки используется сварочный термит, содержащий 6,5 кг основных компонентов и 20% металлического наполнителя. Присадка вводится на высоте 2/3 от засыпаемой порции в тигель.

После проведения термитной реакции в обожженном магниевом тигле промышленного изготовления делается выдержка 4—5 сек. до выпуска металла.

Раскрытие форм после заливки стали производится через 3,5—4 мин. Облив очищается от формовочного состава легкими ударами кувалды. Конфигурация облива приведена на рис. 9.

Обрубка литников и прибыльных частей производится кузнечным зубилом и кувалдой, а проковка рабочих поверхностей стыка — гладилкой.

Рельсы трамвайного типа во время статических испытаний на излом с пролетом в 1000 мм должны выдерживать нагрузку 132—133 т при стреле прогиба 23 мм.

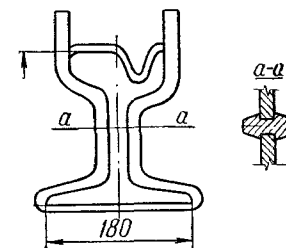


Рис. 9. Профиль облива и прибыльной части стыка трамвайных рельсов Т-60.

#### 5. Технология термитной сварки промежуточным литьем с заливкой металла сверху по обе стороны от шейки

Сущность этого способа заливки заключается в том, что благодаря специальной литниковой системе к отдельным частям стыка подается необходимое количество жидкой стали, обеспечивающей нужный тепловой режим.

Из тигля термитная сталь заливается в литниковую чашу. Оттуда сталь течет в каналы литников, а затем поступает к подошве рельсов. От подошвы сталь поднимается по шейке рельсов вверх на часть высоты ее и оплавляет незначительную ширину шейки. Следующая порция термитной стали поступает через литник к середине шейки. К головке рельса поступает термитная сталь, не соприкасавшаяся с плоскостями сварного стыка, благодаря чему головки рельсов свариваются. При такой технологии сварки (рис. 10) получены более узкие зоны оплавления головок рельсов. Средняя ширина зоны оплавления при сварке по этому способу 26—28 мм.

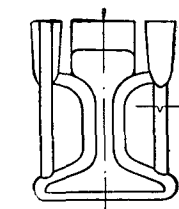


Рис. 10. Способ промежуточного литья с заливкой металла по обе стороны от шейки рельсов.

Этой же технологией предусматривается ряд мер по повышению производительности процессов сварки:

- 1) применение форм из песка на крепителе;
- 2) применение облегченной универсальной крепежной оснастки;
- 3) применение предварительного подогрева сверху многопла-



менной горелкой с плоским пламенем, работающей на смеси горючего газа (пропан или пары бензина) с кислородом.

Для каждого из газов применяется горелка специальной конструкции. Длительность предварительного подогрева стыка — 4—5 мин.;

4) сварочная форма сконструирована так, что после ее заполнения термитной сталью шлак стекает в шлаковую камеру.

Снятие форм производится через 2,5 мин. после заливки. Обработка стыка ведется обычным способом.

## 6. Сварка переходных рельсовых стыков

При строительстве и эксплуатации путевого хозяйства часто приходится сваривать стыки рельсов различных профилей. Термитная сварка таких стыков выполняется только способом промежуточного литья с применением для набивки форм специальных переходных моделей, представляющих собой сопряжение профилей рельсов с переходным обливом. При сварке стыка увеличивается количество термита.

## Глава VIII

### ТЕРМИТНАЯ СВАРКА КРЕСТОВИН И ПЕРЕСЕЧЕНИЙ

Специальные части трамвайных путей (крестовины и глухие пересечения) конструктивно выполнялись сборными — на плитах, накладках и вкладышах с болтовыми креплениями. Поэтому эксплуатационные качества сборных спецчастей не отвечали технико-экономическим требованиям. Срок службы их не превышал года, в течение которого затрачивались значительные средства на текущий ремонт.

Начиная с 1948 г., в Москве стандартные и специальные крестовины, а также глухие пересечения трамвайных путей и пересечения их с железнодорожными путями делаются сварными. Это увеличило срок службы спецчастей, находящийся в прямой зависимости от величины угла пересечения путей, до 3—4 лет.

Сравнивая пересечения, изготавливаемые способом термитной сварки, с литыми пересечениями из марганцовистой стали Г-13Л, убеждаемся, что при одинаковом сроке службы их стоимость пересечений из марганцовистой стали в 3—4 раза превышает стоимость пересечений, сваренных термитом. Кроме того, производство специальных частей из марганцовистого литья ограничено.

До настоящего времени не найден рациональный способ ремонта изношенных участков головок рельсов с желобами.

Для производства спецчастей пути, свариваемых термитом, необходимо оборудовать площадку размером 120 м<sup>2</sup> с навесом из огнестойкого материала. Площадка должна быть оснащена грузоподъемным механизмом. На ней необходимо уложить шесть рель-

сов одного профиля с шагом 2 м, проинвентаризовать их и забетонировать на  $\frac{2}{3}$  своей высоты. На эти стеллажные рельсы поперек кладутся подвижные рельсы длиной 8—10 м, на которых собираются пересечения и крестовины под термитную сварку. Количество подвижных рельсов определяется размером эюптуры пересечений и крестовин с таким расчетом, чтобы все заготовки рельсов подготовляемого к сварке пересечения лежали на них. Это делается так, чтобы под кресты можно было подвести поддоны и сварочные формы. Собранные под термитную сварку пересечение или крестовина должны лежать на передвижных стеллажных рельсах, свободно, без какого-либо крепления к ним.

### 1. Сборка и термитная сварка трамвайных глухих пересечений рельсов Т-65 (180×180)

Трамвайное пересечение, сваренное термитом, представляет собой рамную конструкцию из четырех крестовин. На такое пересечение газовой резкой заготавливаются два основных рельса, два вставных и четыре приставных рельса по соответствующим эюграм пересечений.

Вставные рельсы заготавливаются по размеру между математическими центрами двух крестовин, а приставные — по размеру от математических центров крестовин до конца хвостов. Торцы вставных и приставных рельсов обрезаются газом, головки и шейки их — по соответствующему углу крестовины, а подошвы — по биссектрисам углов крестовин. В основных рельсах (в радиусных пересечениях два кривых рельса) в зоне математических центров крестовин, предварительно размеченных при их установке по колее и диагоналям, размечаются и вырезаются ответные пазы в головках со стороны большого яблока до шейки рельсов, со стороны малого яблока — до половины желоба, а в подошвах — по биссектрисам углов крестовин. Зазоры в стыках не должны превышать 10 мм.

После разметки должна тщательно производиться газовая резка рельсов. При небрежной газовой резке, когда контур реза выходит за пределы облива, пересечение может разрушиться в процессе ее транспортировки, укладки или эксплуатации. Это объясняется тем, что при газовой резке рельсовых сталей в последних в зоне резки могут образовываться микротрещины, которые под действием динамической нагрузки увеличиваются и являются причиной разрушения конструкции.

Заготовленные рельсы укладываются по соответствующей эюпуре пересечения: по колее, диагоналям, раструбам, уровню и шнурку.

Вставные и приставные рельсы прихватываются электросваркой к основным рельсам. Раструбы крестовин устанавливаются технологическими шпильками, с четырьмя гайками, через стыковые отверстия или приваркой стального стержня  $\varnothing$  — 25 мм к

шейкам рельсов в раструбе крестовин, на 400 мм от конца хвоста (вне зоны установки стыковых накладок).

Затем в крестовинах газом вырезаются желоба глубиной 15 мм, а марганцовистыми электродами наплавляются накаты. В центральных частях крестовин горизонтальные площадки длиной по 200 мм наплавляются с глубиной желоба 9—11 мм, а спуски в обе стороны выполняются с уклоном 1:3. После наплавки накатов крестовин необходимо снова проверить всю эпюру пересечения, так как может появиться деформация от электронаплавки. Вторично выверенное пересечение слается под термитную сварку.

Недостатком выпускаемых крестовин и пересечений являются большие обливы, которые понижают прочность термитного стыка.

Обливы должны быть минимального сечения и с плавными переходами. В больших обливах, как правило, имеется значительное количество усадочных раковин, газовых пузырей и других дефектов. Кроме того, применение очень больших обливов ведет к перерасходу термита и формовочных материалов, а также увеличивает трудоемкость изготовления изделия.

Для изготовления крестовин и пересечений достаточно иметь модели для набивки форм под следующими углами: 90, 65, 45 и 30°.

Чтобы сварить крестовины с углами менее 25° (с литым сердечником), изготавливают модели 9°27' и 17°. Для крестовин 1:6 применяется модель 9°27', а для крестовин 1:3 и 1:4, а также радиусами 20; 30 и 50 мм — модель 17°.

При сварке крестовин пересечений с углом от 70 до 90° формы состоят из четырех одинаковых частей, каждая из которых охватывает один угол. Если же пересечение изготавливается с углом менее 70°, то в тупых углах устанавливаются формы, а в острых — вкладыши.

Под крестовину пересечения предварительно подводится поддон — жесткий металлический короб, плотно набитый формовочной (горелой, сеяной) землей.

На поддоне моделью делается крестообразное углубление, соответствующее необходимому обливу по линии пересечения подошв рельсов. Поддон надежно крепится к крестовине хомутами.

Верхняя часть крестовины пересечения перекрывается вкладышем, который входит во внутрь форм и предохраняет плоскость катания рельсов крестовины от размыва потоком жидкой стали.

Вкладыш имеет отверстие — литник, по которому жидкая сталь поступает в сварочную зону, а также выпор для выхода газов и питания последней при кристаллизации. Наружная поверхность вкладыша должна быть наклонной, чтобы жидкий металл ударялся по касательной. Это уменьшает разбрызгивание металла при его заливке.

Установленные элементы огнеупоров — формы, вкладыши и

поддон — в местах взаимного сопряжения тщательно промазываются огнеупорной глиной.

Предварительно нагреть крестовины пересечения можно двумя стандартными бензоподогревателями, однако этот процесс продолжается 3—4 часа. Желательно применять форсированный подогрев мощными газовыми горелками инжекторного типа, работающими на природном газе. Для этого можно использовать бензо-кислородные или керосино-кислородные резаки, причем пламя резака нужно отрегулировать так, чтобы оно было восстановительным. Ядро пламени должно быть белого цвета и иметь удлиненную форму. Применение обычного окислительного пламени категорически запрещается, так как это приведет к пережогу рельсов.

Подогрев нужно производить двумя горелками, располагая их так, чтобы пламя горелок было несколько смещено. В процессе подогрева следует внимательно следить за работой горелок, регулировать их взаимное положение и характер горения. Подогрев производится до 900° с контролем температуры термопарой.

После окончания подогрева в отверстия в формах, в которые вставлялись горелки, необходимо установить предварительно подогнанные пробки. Эти пробки должны быть хорошо прокалены. Перед применением их необходимо еще раз прокалить на пламени горелки. Устанавливать в отверстия форм холодные пробки не следует, так как это вызовет в примыкающей зоне облива появление газовых пузырей. После установки пробок в отверстия форм их нужно снаружи тщательно промазать огнеупорной глиной.

Для сварки крестовин применяются тигли с полезной емкостью до 90 кг термита (практика показывает, что при совершенствовании конструкции обливов количество термита можно сократить до 40—45 кг).

Тигель перед сваркой берут из сушильной печи и ошлаковывают его. Для этого в тигле сжигают две-три порции некондиционного термита и после окончания реакции выпускают металл и шлак в сухой песок. Таким тиглем для сварки крестовин с магнетитово-глинистой футеровкой, прошедшим термическую обработку, обычно пользуются 8—10 раз. После каждой сварки футеровку тигля нужно внимательно осмотреть. Обнаружив небольшие дефекты — углубления в футеровке диаметром до 50 мм, необходимо устранить их. Дефектные участки футеровки тигля следует очистить от шлаковой корки, замазать магнетитовой массой, а затем тщательно просушить и ошлаковать.

Если в футеровке тигля обнаружены значительные дефекты, появившиеся после сварки, тиглем пользоваться нельзя. В противном случае в ходе термитной реакции через футеровку и кожух возможен прорыв жидких термитных масс, что может привести к повреждению крестовины.

Большое количество термитного металла идет для заполнения литниковой системы, выпоров и прибыльной части.

Избыток тепла, выделяющегося при сжигании больших количеств термита, позволяет дополнительно вводить в термитную шихту стальной наполнитель, который не оказывает отрицательного влияния на качественные показатели термитной реакции.

Дополнительный металл можно получить, не только увеличивая количество одновременно сжигаемого термита, но и вводя в термитную шихту дополнительно 10—12% (от веса загруженного в тигель термита) стальной малоуглеродистой, хорошо обожженной стружки. Стружку следует брать однородную и только в том случае, если на нее есть химический анализ.

Введение в термит стальной стружки рекомендуется только при сжигании больших количеств термита, а при сварке рельсовых стыков это недопустимо.

При увеличении количества сжигаемого термита потери тепла возрастают незначительно (потери на излучение и нагрев футеровки практически не меняются), а тепловой баланс резко повышается. Поэтому, регулируя количество стального наполнителя, вводимого в шихту, можно менять температуру выходящей стали. Дополнительную стружку рассыпают неравномерно — 40% в средней части тигля, а 60% сверху, перемешивая ее с верхним слоем термита.

На расплавление стружки расходуется определенное количество тепла. Это несколько снижает температуру в верхней части тигля, что исключает возможность разбрызгивания и выбросов жидких продуктов термитной реакции.

При сварке пересечений необходимо сжигать до 80—90 кг термита. Если такое количество термита поджигать сверху, то нередко происходит выброс части продуктов термитной реакции в окружающую среду. Это небезопасно для окружающих, нежелательно с точки зрения противопожарной безопасности, приводит к потере части термитного металла, а также ухудшает условия отделения металла от шлака. Если же горение термита начинается в нижней части тигля, то не происходит выбросов и разбрызгивания. Термитная реакция более кратковременна. При этом улучшаются условия отделения металла от шлака и уменьшаются потери тепла на нагрев тигля и излучение.

Такой способ зажигания термита производится следующим образом.

После засыпки в тигель одной-двух порций термита в центре тигля устанавливается газовая труба диаметром 1—1½" и длиной 600—700 мм. По окончании засыпки термита поджигается термитная спичка, которая опускается в отверстие трубы, установленной в тигель. Через 2—3 сек., когда из трубы покажется дымок, трубу извлекают из тигля и закрывают его колпаком.

При зажигании большого количества термита, используемого при сварке крестовин, необходимо принять следующие меры предосторожности:

1) убрать из зоны сварки все лишние предметы, особенно ведра с водой и бензоподогреватели;

2) обеспечить свободный подход к крестовине;

3) засыпать сухим песком или шлаком площадку вокруг крестовины в радиусе 2 м;

4) на рабочую поверхность рельсов, примыкающую к установленным на крестовине формам, уложить кирпичи или толстые стальные полосы, которые предохраняют рельсы от повреждения при выбросе из тигля жидких продуктов термитной реакции;

5) из зоны сварки в радиусе 10 м должны уйти все посторонние лица;

6) весь состав бригады термитных сварщиков должен быть одет в брезентовые костюмы, спецобувь и головные уборы, а также иметь защитные очки.

Поджигают термит два сварщика, из которых бригадир непосредственно зажигает, а сварщик накрывает тигель колпаком.

Во время термитной реакции необходимо очень внимательно следить за горением термита, а также наблюдать за состоянием кожуха тигля. Если в каком-либо месте кожуха начинает появляться раскаленное пятно, это свидетельствует о том, что в этом месте повреждена футеровка и может произойти прорыв жидких термитных масс через футеровку и кожух тигля.

В этом случае нужно принять меры личной предосторожности. Жидкий металл и шлак следует выпускать через запорное устройство, находясь с другой стороны тигля.

После окончания термитной реакции и необходимой выдержки нужно выбить гвоздь запорного устройства. Не следует выбивать запорный гвоздь резким ударом; это приведет к всплеску в тигле, так как в этот момент в тигель через запорное устройство прорываются газы.

Запорный гвоздь следует выбивать легким покачиванием его острия вышибалкой, после чего по торцу гвоздя ударить снизу вверх (в качестве вышибалки рекомендуется применять деревянную рейку двухметровой длины из твердых пород, обожженную с одной стороны).

Необходимо принять меры к тому, чтобы значительное количество шлака, поступающего из тигля, не разливалось по всей рабочей зоне, а концентрировалось в одном месте. Для этого в установленных на крестовину формах, в верхней части шлаковой камеры, делается отверстие диаметром 30 мм, через которое шлак выпускается в расположенный рядом металлический короб с сухим песком.

После заливки металла в формы крестовине нужно дать остыть, поэтому все последующие операции необходимо производить только на другой день.

Многокрестовые пересечения являются сложными сварными конструкциями. Чтобы получить минимальные коробления, пересечение нужно сваривать в определенной последовательности.

При сварке восьмикрестового пересечения в первый день в шахматном порядке сваривают четыре средних крестовины. На следующий день аналогично сваривают концевые крестовины.

Для полного охлаждения и свободной усадки сваренных наковуне четырех крестовин необходимо сделать перерыв в сварке на один день. Полностью охладившиеся крестовины пересечения освобождают от форм, затем срезают литники, выпоры, прибыльную часть и очищают обливы от глины. После этого производится визуальная проверка качества выполненной термитной сварки и проверка соответствия габаритных размеров эпоксид пересечения, а в случае необходимости и правка пересечения с местным предварительным подогревом деформировавшегося элемента.

Плоскости катания крестовин зачищаются абразивным кругом до получения ровных поверхностей.

Крестовины из желобчатых рельсов Т-65 и железнодорожных Р-43 с углом менее  $25^\circ$  варить термитом трудно, так как резко увеличиваются габариты стыка и сильно усложняется конструкция форм. Надежность такого сварного соединения невелика, поэтому в крестовины вводится стальной сердечник. В этом случае сварной узел будет состоять из стального литого сердечника, к которому примыкают четыре куса рельса, образующих крестовину с заданным углом.

Стальной сердечник представляет собой прямоугольный брусок коробчатого сечения, на рабочей поверхности которого имеются два взаимно пересекающихся под заданным углом желоба для прохода реборд колес.

Перед сборкой сердечник нужно очистить от пригара формочной земли, а стыкуемые поверхности зачистить до металлического блеска.

Заранее подготовленные четыре куса рельса следует подогнать к торцам сердечника в одном уровне, выдержать зазор 12—15 мм, а также направление и раструба крестовины.

Куски рельсов прихватываются к сердечнику электросваркой, а между собой скрепляются шпилькой с четырьмя гайками. Эти шпильки являются технологическими элементами при термитной сварке и последующей транспортировке. При укладке в путь крестовины шпильки удаляются.

Термитная сварка таких крестовин производится в формах без поддона с хорошим взаимным сопряжением их, особенно в нижней части.

При установке форм необходимо обратить внимание на совпадение оси форм с зазором стыка. В острые углы между примыкающими к сердечнику рельсами устанавливают боковые вкладыши.

На поверхность стыка сердечника с рельсами, внутрь форм, укладывают верхний вкладыш.

Все элементы взаимного сопряжения огнеупоров в местах примыкания к крестовине тщательно промазываются глиной.

Особое внимание следует обратить на предварительный подогрев двумя горелками до  $900^\circ$  массивного стального сердечника. Температуру предварительного подогрева нужно замерять по нему.

Для сварки применяют тигли емкостью 40 кг термита.

Формы после сварки не следует сбивать в течение четырех часов. Это способствует медленному охлаждению стыка и выравниванию структуры сварного соединения. Изготовление крестовин заканчивается наплавкой марганцовистыми электродами желобов сердечника и плоскостей катания в зоне сваренных термитом стыков и острия сердечника. Затем производят зачистку крестовин абразивным кругом до получения ровной поверхности.

## 2. Железнодорожные пересечения

В практике строительства трамвайных путей часто возникает необходимость пересечения в одном уровне железнодорожных линий — подъездных путей различных предприятий. Для этого изготавливают сборные железнодорожные пересечения, которые состоят из отрезков рельсов, соединяемых специальными угловыми плоскими накладками на болтах. Эта конструкция располагается на стальных плитах, к которым она приваривается электросваркой.

Под воздействием интенсивной динамической нагрузки от колес подвижного состава такие пересечения быстро разрушаются.

В последние годы в Москве изготавливаются железнодорожные пересечения с применением термитной сварки. Железнодорожные пересечения по трамвайному направлению собирают из рельсов Т-65, а по железнодорожному — из рельсов Р-50 с установкой на них после термитной сварки контррельсов. Трудоемкость и стоимость изготовления таких пересечений гораздо ниже, чем сборных, а срок их службы увеличивается в 1,5—2 раза.

Технология изготовления железнодорожных пересечений отличается только заготовкой рельсов.

В трамвайных желобчатых рельсах Т-65 газом по разметке вырезаются фасонные пазы (по профилю железнодорожного рельса Р-50). В эти пазы вводятся железнодорожные рельсы, после чего выдерживается заданный угол взаимного пересечения рельсов (рис. 11).

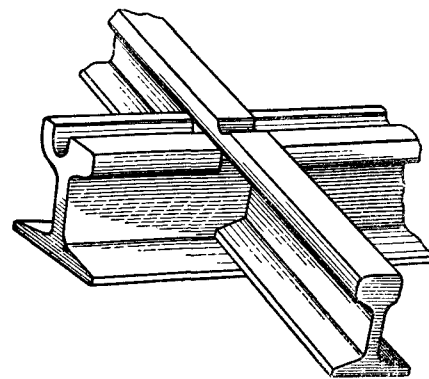


Рис. 11. Стык пересечения железнодорожных рельсов с трамвайными.

Головки рельсов обоих типов должны быть обязательно в одном уровне.

Для сварки крестовин железнодорожного пересечения изготавливаются специальные модели обливов, по которым производится набивка форм.

В крестовинах железнодорожного пересечения подошвы рельсов не совпадают. Это необходимо учитывать при установке огнеупоров. Вначале под крестовину заводится поддон, плотно набитый формовочной землей. Затем в зазор между подошвами рельсов устанавливают металлический стержень диаметром 18 мм, который препятствует попаданию глины в этот зазор. Зазор между поддоном, стержнем и подошвой железнодорожного рельса нужно тщательно замазать формовочной массой с обеих сторон стыка.

После термитной сварки, которая осуществляется так же, как и при сварке трамвайных пересечений, производится разделка желобов газом по железнодорожному направлению глубиной и шириной 45—48 мм и по трамвайному — глубиной 20 мм и шириной 35—37 мм с последующей зачисткой абразивным кругом.

Последней операцией является постановка контррельсов на рельсы железнодорожного направления, которые устанавливают на чугунных вкладышах и болтах.

## Глава IX

### ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ТЕРМИТНОЙ СВАРКИ РЕЛЬСОВ С ВЫСОКОМАРГАНЦОВИСТЫМИ СПЕЦЧАСТЯМИ ПУТИ

*(По материалам опытных работ)*

Высоколегированная сталь, содержащая до 14—15% марганца, после закалки становится прочной и износоустойчивой.

Эти ценные качества высокомарганцовистой стали позволяют использовать ее для отливки крестовин стрелок, пересечений, а также и специальных рельсов для кривых участков пути.

На московском заводе «Серп и молот» эти конструкции отливают из стали Г-13-Л, содержащей: 1—1,4% углерода; 11—14% марганца; 0,3—0,75% кремния; не более 0,05% серы и не более 0,12% фосфора.

Отливки из стали Г-13-Л подвергаются термообработке, что обеспечивает необходимую вязкость, структуру чистого аустенита и твердость по Бринеллю 170—220 единиц.

При термитной сварке стыков рельсов, а также концов литых крестовин и стрелок, отлитых из высокомарганцовистой стали, необходимо учитывать специфические особенности этой стали (при

нагревании ее до 1040° и последующей закалке в воде резко повышаются прочность и вязкость высокомарганцовистой стали).

Закалка высокомарганцовистой стали при отклонении температурных параметров дает пониженные прочностные данные. Поэтому участок перегрева, появляющийся в зоне термического влияния сварного стыка, должен быть наименьшим, т. е. для качественного провара нужно создать минимальную зону технологического нагрева. Следовательно, предварительный подогрев переходит к кратковременной сушке установленных на стык огнеупоров при температуре до 200°.

Низкотемпературная сушка в расчет не принимается, так как не оказывает существенного влияния на тепловой баланс термитной сварки. После заливки жидкой термитной стали в сварочную зону происходит интенсивный отвод тепла в холодное тело свариваемого соединения, что сокращает время от момента заливки жидкой стали до начала ее кристаллизации. По этой же причине уменьшается величина зоны термического влияния сварного стыка.

Для проведения термитной сварки спецчастей без предварительного подогрева необходимо увеличить количество жидкой термитной стали, пропускаемой через стык.

Первые порции термитного металла, отдавшие значительное количество своего тепла на нагревание холодных торцов стыка, нужно удалить в выпорную систему форм. Конструкция форм должна обеспечивать возможность циркуляции жидкого металла во всех точках свариваемого сечения.

Для термитной сварки высокомарганцовистой стали применяют формы специальной конструкции, которые имеют увеличенные габариты, снабжены выпорами, идущими от подошв рельсов, и большой камерой над вкладышем, служащей для образования избыточной части стыка и создания значительного давления на жидкий металл в стыке. На этих формах специальных отверстий для подогрева не делают.

Формы к сопрягаемым поверхностям стыка необходимо подгонять так, чтобы зазоры были минимальными. При этом требуется небольшое количество глины для промазки этих зазоров, что является одним из важных условий получения качественного стыка.

После установки огнеупоров следует горелкой прогреть внутреннюю поверхность форм, а также наклонную поверхность вкладыша и лигниковый канал. Это будет способствовать спокойной (без разбрызгивания) заливке жидкой стали. Кроме того, это необходимо для просушки глины, которой промазывают зазоры между формами.

После того как прекратится выделение пара из обмазки в зазорах форм, сушку заканчивают.

Для сварки высокомарганцовистой стали применяют высококалорийный термит, изготовленный из первичного алюминия, в ко-

торый вместо стального наполнителя вводится повышенное количество ферромарганца.

Количество термита, расходуемого на стык, по сравнению с обычными условиями термитной сварки увеличивают в два раза.

После заливки в сварочную зону термитной стали не следует сбивать опоки и формы; сначала нужно полить сваренный стык водой. При этом сперва поливают с обеих сторон зону примыкания форм к стыку, не направляя струю на формы. Через 2 мин. струю воды направляют непосредственно на верхнюю часть форм, а затем, по мере размывания их, продолжают поливку более сильной струей нижней части форм. Поливать следует до тех пор, пока формовочная земля будет полностью смыта со стыка и он потемнеет. После этого удаляют литниковую и выпорную системы, а также прибыльную часть и шлифуют абразивным кругом рабочую поверхность стыка.

## Глава X

### РАЗЛИЧНЫЕ СПОСОБЫ СВАРКИ РЕЛЬСОВ

#### 1. Электроконтактная сварка

С 1945 г. электроконтактную сварку рельсов широко применяют на железнодорожном транспорте и метрополитене.

Промышленное применение получили два вида:

а) сварка непрерывным оплавлением;

б) сварка непрерывным оплавлением с предварительным прерывистым подогревом.

При первом способе сближают рельсы. Отдельные точки торцов рельсов, соприкасаясь, сплавляются вследствие прохождения тока большой плотности. Кипящий металл выбрасывается с большой скоростью из зазоров между торцами свариваемых рельсов.

Площадь соприкосновения поверхностей рельсов постепенно увеличивается с повышением разогрева торцов.

Жидкий металл, выбрасываемый из зазора, предохраняет свариваемые концы рельсов от окисления.

Сближение торцов рельсов зависит от скорости оплавления их.

При достижении определенной температуры производят осадку рельсов в осевом направлении до 20 мм.

Из стыка при осадке по всему профилю выдавливается металл вместе с оставшимися на поверхности окислами (происходит сварка стыка рельсов).

Сущность второго способа — оплавление и разогрев рельсов за счет тепла, выделяющегося при соприкосновении торцовых поверхностей рельсов в процессе их взаимного сближения и удаления.

Сначала происходит прерывистый подогрев, а затем непрерывное оплавление. При этом способе сварки рельсы прогреваются на большую глубину и более равномерно.

После непрерывного оплавления производят осадку рельсов. В процессе осадки возникает усиление в сварном стыке. Усиление удаляется, производится последующая зачистка стыка и его нормализация со стороны подошвы рельсов в месте сварки.

Электроконтактную сварку выполняют в стационарных условиях на сварочных машинах типа МСГР-500, РСКМ-320у, РСКМ-200ма и др. мощностью от 500 до 200 ква.

Увеличение осадки рельсов положительно влияет на прочностные свойства сварного соединения.

Статические испытания механических свойств рельсов типа IА (углеродистых) при различной величине осадки дали следующие результаты:

осадка 12 мм — стрела прогиба рельсов 39,7 мм при нагрузке 77,8 т;

осадка 20 мм — стрела прогиба рельсов 48,3 мм при нагрузке 90,2 т;

осадка 40 мм — стрела прогиба рельсов 68,3 мм при нагрузке 94,7 т.

Давление осадки при сварке 3,5—4 кг/мм<sup>2</sup>, машинное время сварки колеблется от 2,5 до 6 мин. и находится в прямой зависимости от мощности сварочного агрегата и сечения рельсов.

Институтом электросварки им. Е. О. Патона АН УССР созданы подвесные головки клещевого типа К-134 и К-155 для электроконтактной сварки рельсов в пути. Это оборудование в настоящее время внедряется на транспорте.

К недостаткам электроконтактной сварки относятся: наличие сложного тяжеловесного оборудования с автономными источниками энергоснабжения, которое затрудняет использование этих устройств на проезжих частях улиц, а также проведение осадки рельсов под сварку.

#### 2. Газопрессовая сварка стыков рельсов

При газопрессовой сварке мощные горелки, работающие на ацетилено-кислородной или пропано-кислородной горючей смеси, нагревают стыкуемые концы рельсов до пластического состояния, и затем осуществляют их сжатие. В процессе сжатия (удельное осевое давление — 1,5—2 кг/мм<sup>2</sup>) металл, находящийся в пластическом состоянии, выжимается, образуя по всему профилю рельса усиление, которое затем удаляется.

Для повышения качества сварки необходимы предварительная тщательная обработка торцов рельсов и их обезжиривание дихлорэтаном C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>Cl<sub>2</sub> или четыреххлористым углеродом CCl<sub>4</sub>.

Контурная горелка, охватывающая профиль рельсов, в процессе сварки колеблется с амплитудой до 30 мм и частотой до 50 колебаний в мин. Перемещение пламени горелки необходимо для рав-

номерного прогрева стыкуемых рельсов и устранения местного оплавления металла.

При сжатии рельсов пламя горелки создает газовую защиту от окисления. Осадка рельсов достигает 20 мм.

Средний расход газов на сварку рельсов Р-50 составляет: для кислорода—900 л на стык, для ацетилена—950 л. Время сварки—6—8 мин. на стык.

Для газопрессовой сварки характерно получение высокопрочного сварного соединения, по прочности приближающегося к целому рельсу. Эти прочностные показатели—результат сварки с последующей зачисткой и нормализацией стыка. Нормализация производится горелкой, которой придается удвоенная амплитуда колебаний принятого режима сварки с нагревом стыка рельсов до 850—900°. Расход газа на нормализацию—60% от расхода на сварку.

Недостатками газопрессовой сварки являются:

- 1) громоздкость и сложность применяемого сварочного оборудования;
- 2) трудность сварки неравномерно изношенных рельсов;
- 3) необходимость осадки рельсов до 20 мм;
- 4) сложность равномерного подогрева стыка рельсов под сварку;
- 5) сложность определения момента наступления оптимальной температуры нагрева под сварку.

В настоящее время газопрессовая сварка стыков рельсов применяется редко и в основном используется в стационарных условиях.

### 3. Электродуговая сварка стыков рельсов

Этот способ сварки из-за относительно невысокой прочностной характеристики в трамвайных хозяйствах и на станционных путях железных дорог применяется редко. Преимуществом электродугового способа сварки является то, что им можно сваривать рельсы в пути.

Стыки, свариваемые электродуговым способом, можно разделить на две группы: 1) стыки с приваркой накладок и подкладок; 2) стыки, провариваемые по всему сечению рельсов (ванный способ). Стыки первой группы из-за чрезвычайно низких прочностных показателей на железнодорожном транспорте не применяются, а в трамвайных путях используются редко.

#### Ванный способ

Ванный способ сварки стыков рельсов разработан Московским опытным сварочным заводом.

Сварка производится на постоянном или переменном токе электродами диаметром 5 мм. Питание осуществляется от стандартно-

го электросварочного оборудования типа СТЭ-34; ПС-500; ПАС-400 и т. д.

Применяемая сила тока 300—350 а. Для сварки используют электроды марки УОНИ-13/55А с временным сопротивлением наплавленного металла 55 кг/мм<sup>2</sup>.

В настоящее время в связи с появлением новых марок рельсовой стали, обладающих повышенными прочностными данными, рекомендуется применять электроды УОНИ-13/85у с временным сопротивлением наплавленного металла 85 кг/мм<sup>2</sup>.

Сборку стыков под сварку, как правило, производят на шпалах. Концы рельсов обрезают по угольнику механическими средствами или газом. После обрезки газом торцы рельсов необходимо очистить от окалины.

Стык должен быть выверен в вертикальной и горизонтальной плоскостях, после чего он возвышается на 1,0—1,5 мм на 1 пог. м.

Регулировку величины подъема стыка производят деревянными клиньями, а проверку—специальной стальной метровой линейкой с регулируемыми по длине штифтами на концах.

Зазор между свариваемыми рельсами должен быть 12—15 мм или 1,5 диаметра электрода с учетом толщины слоя обмазки.

Технологически сварку рельсового стыка можно разделить на две главные операции: сварку подошвы, сварку шейки и головки.

Сварку подошвы производят на остающейся (стальной) или съемной медной пластинке. Длина этой пластинки на 20 мм больше ширины подошвы рельса, а ширина пластинки 40 мм.

Используется несколько вариантов таких пластинок:

- 1) стальная (Ст. 3) толщиной 5—6 мм; пластинку укладывают под стык и плотно поджимают;
- 2) комбинированная, под стык укладывают стальную пластинку толщиной 2 мм, а под нее медную подкладку;
- 3) медную пластинку с канавкой, заполняемой несколькими отгарками электродов УОНИ-13/55 А, поджимают непосредственно под стык.

Лучшие результаты дает применение медной и комбинированной пластинок.

Подошва рельса—наиболее чувствительное место сварного стыка, где особенно ярко проявляются низкое качество наплавленного металла и другие погрешности сварки.

При ванном способе сварки очень важно удержать в межстыковом зазоре жидкий наплавленный металл и шлак. Для этого применяют специальные медные формы многократного пользования: нижние—для сварки подошвы и боковые—для сварки шейки и головки.

Снаружи формы имеют прямоугольную конфигурацию. Внутренний контур их соответствует форме того участка рельса, с которым они сопрягаются. По оси формы имеется выемка, которая при сварке заполняется жидким наплавленным металлом с образованием усиления стыка.



При установке форм их ось совмещают с зазором стыка, а боковые формы, кроме того, еще и фиксируют струбиной.

Зазор в местах сопряжения форм с поверхностью рельсов не должен превышать 1 мм. В противном случае края форм необходимо обмазать огнеупорной глиной. Сваривая подошву, шов начинают с края пластинки и, совершая колебательные движения попеременно зазора стыка, ведут его к другому концу, тщательно проваривая углы между торцами рельсов и пластинкой.

Второй шов следует накладывать в противоположном направлении, начиная его также от края пластинки.

При выполнении следующих проходов нужно внимательно наблюдать за тем, чтобы жидкая ванна расплавленного металла расплагалась по всей длине подошвы.

В процессе сварки колебательные движения электродом нужно совершать быстро. Закончить сварку подошвы следует в центре стыка, благодаря чему шов получается с уклоном от центра к краям, что соответствует профилю рельсов.

В подошве стыка сварной шов должен иметь усиление в 2—3 мм, а края подошвы — перекрываться плавным швом.

Поверхность шва после заварки подошвы нужно очистить от шлака.

После установки боковых форм следует немедленно начинать последующую сварку, чтобы не допустить значительного охлаждения стыка.

Сварочная дуга возбуждается в месте окончания сварки подошвы, т. е. у основания шейки, и ведется, непрерывно заполняя наплавленным металлом весь зазор.

Заканчивая сварку стыка, на поверхности катания необходимо наплавить прибыльную часть толщиной 4—5 мм, которая компенсирует усадку при кристаллизации стыка.

После сварки, когда стык еще имеет красный цвет, поверхность его следует уплотнить проковкой.

Недостатками ванного способа сварки являются горячие трещины и непровар. Горячие трещины иногда появляются при сварке рельсов из бессемеровской стали, содержащей повышенное количество вредных примесей — серы, фосфора, азота. Эти же дефекты могут быть при ускорении процессов сварки рельсов тяжелых типов.

Непровар и шлаковые включения, наоборот, получаются при замедленных скоростях сварки.

Если обнаружены какие-либо дефекты, последующую подварку можно производить при температуре стыка не менее 300°.

### *Электродуговая сварка стыков, разработанная в ЧССР*

Рельсы зачищают и устанавливают без обрезки торцов с зазором 11—13 мм, выдерживая возвышение в стыке 1,5 мм на 1 пог. м. Под подошву стыка подкладывают и прижимают медную пла-

стину, имеющую продольную полукруглую канавку. На собранный и подготовленный под сварку стык устанавливают кожух со специальной горелкой, при помощи которой стык подогревается до 250°.

После предварительного подогрева стык заваривают электродами с основным покрытием. Для заварки нижней части стыка применяют электроды диаметром 5 мм, а для шейки и головки — диаметром 4 мм. Затем стык подвергается высокому отпуску — подогреву до 650° с последующим медленным охлаждением. После термообработки стык шлифуют по периметру.

Направление вращения шлифовального камня должно совпадать с продольной осью рельса.

### *Электродуговая сварка рельсов с отгибом подошвы*

Электродуговая сварка рельсов с отгибом подошвы является одной из разновидностей дугового способа сварки.

Как известно, механическая прочность стыков, сваренных электродуговым способом, низка и значительно уступает прочностным данным термитной сварки стыков рельсов.

Чтобы в какой-то мере сравниться с результатами термитной сварки рельсов, швейцарской фирмой «Сешерон» был предложен способ увеличения сечения сварного стыка рельсов за счет отгиба подошвы. В переходной части шейки к подошве рельсового стыка (рис. 12) делается вырез, затем прессовым оборудованием подошвы отгибаются на 10 мм ниже общего уровня подошвы рельсов.

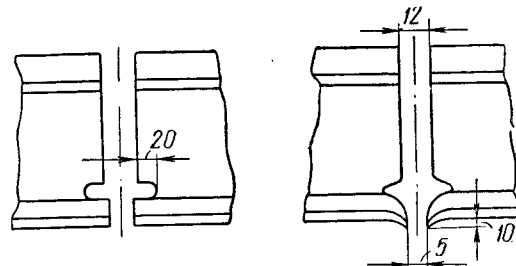


Рис. 12. Заготовка стыка рельсов под сварку

Рельсы устанавливают с зазором 12 мм в головке. В подошвенной части они должны иметь сближение до 5 мм, возвышение концов рельсов на 2 мм на длине 500 мм.

Электродами с основной обмазкой производят сварку подошвы рельсов, предварительно подогретой до 300—400°. Подогрев подошвы под сварку производят газовым пламенем.

При сварке подошвы подкладывают медную пластину, снимая которую, зеркалом просматривают качество сварки подошвенной части рельсов. После сварки подошвы устанавливают боковые медные щеки и производят сварку шейки рельсов.

Головку сваривают износостойкими электродами диаметром 3,8—4,6 мм без боковых медных ограничителей. В верхней части стыка сварку заканчивают небольшой прибылью, а обработку стыка — шлифовкой по подошве для снятия наплывов.

Источником электроэнергии является дизель с генератором переменного тока (300 периодов, 2300 а), общим весом 1500 кг.



Радиус действия такого сварочного агрегата ограничен 70 м.

В течение 5—6 час. может производиться сварка 10 рельсовых стыков. При сварке под движением два сварщика с двумя помощниками производят сварку шести—восьми стыков за смену.

Рельсы с  $\sigma$  до  $85 \text{ кг/мм}^2$ , сваренные этим способом, дают стрелу прогиба  $f=30 \text{ мм}$ , а с  $\sigma$  более  $85 \text{ кг/мм}^2$   $f=20 \text{ мм}$ .

Показатели по устойчивости рельсов, сваренных по этому способу, приблизительно одинаковы с показателями устойчивости прочности рельсов, сваренных термитом.

Несмотря на ряд усовершенствований в конструкции стыка, электродуговая сварка рельсов по прочности не превосходит термитную сварку. Кроме того, громоздкое сварочное оборудование уменьшает маневренность проводимых работ. Выработка на одного рабочего в течение смены составляет 2,5 стыка—самая низкая из всех существующих способов сварки рельсов.

Дуговая сварка по способу «Сешерон» имела распространение в СССР, но не показала хорошей устойчивости стыка рельсов на главных грузонапряженных путях железных дорог.

IX комиссия ОСЖД (Организация сотрудничества железных дорог), состоявшаяся в г. Софии, решила не применять этот способ при сварке главных путей железных дорог.

#### 4. Электрошлаковая сварка стыков рельсов

Электрошлаковая сварка разработана Институтом электросварки им. Е. О. Патона. Этот вид сварки широко применяется при изготовлении мощных по сечению сварных конструкций.

Плавление основного и присадочного металла в отличие от обычного электросварочного процесса производится бездуговым способом за счет тепла, выделяемого сварочным током при прохождении через расплавленный флюс.

Устойчивый бездуговой процесс устанавливается после кратковременного дугового процесса, который необходим для расплавления флюса и образования жидкой ванны.

Температура перегретого жидкого шлака  $1700\text{—}2000^\circ$ .

Для сварки применяется как переменный, так и постоянный ток. Источником питания служит стандартное сварочное оборудование.

##### *Технология электрошлаковой сварки рельсовых стыков*

Электрошлаковая сварка стыков рельсов с 1959 г. применяется на трамвайных путях Волгограда.

Вследствие наличия значительных объемов жидкого металла и шлака, электрошлаковая сварка требует принудительного формирования сварного стыка. Для этого используют формы из огнеупорного материала.

Сварка стыков рельсов рассматриваемым способом состоит из двух основных операций: электродуговой сварки подошвы рельса

в стыке и электрошлаковой сварки шейки и головки рельса в стыке.

##### *Электродуговая сварка подошвы рельсов*

Под подошву стыка устанавливают и поджимают стальную пластинку толщиной 3 мм. Подошву стыка с прихваченной пластинкой проваривают электродуговым способом.

##### *Электрошлаковая сварка шейки и головки рельсов*

На боковой поверхности стыка устанавливают и фиксируют сварочные формы, состоящие из двух половинок. Эти формы изготовляют из огнеупорного шамотного кирпича.

Рабочую внутреннюю поверхность кирпича обрабатывают соответственно профилю рельса.

После установки форм их промазывают огнеупорной глиной в местах сопряжения с рельсами.

В межстыковой зазор засыпают флюс той же марки, который используют при автоматической электросварке. Во флюс вводят электрод—стальную углеродистую полосу толщиной 3 мм и шириной 30 мм, покрытую меловой обмазкой на жидком стекле.

При работе на переменном токе обмазку электродов не производят.

После того как процесс электрошлаковой сварки становится устойчивым, производится регулярная подсыпка в зону сварки флюса. Сварку стыка необходимо заканчивать образованием прибыльной части. Последующую обработку стыка производят, как и при всех других способах сварки.

Одним из существенных недостатков электрошлаковой сварки является ручная подача электродного материала, что исключает возможность равномерного поступления присадочного металла в зону сварки и, следовательно, не обеспечивает стабильности сварочного процесса.

#### Глава XI

### МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ПРОЧНОСТИ СВАРНЫХ РЕЛЬСОВЫХ СТЫКОВ

#### 1. Механическая обработка

Усталостная прочность сварных рельсовых стыков значительно повышается при шлифовке. Особенно тщательно следует шлифовать поверхность катания и рабочей грани. Рельсовый стык необходимо шлифовать вдоль рельса.

Поверхностные дефекты сварных рельсовых стыков можно ограничить или даже совсем ликвидировать, применяя опескоструивание облива.

## 2. Термообработка

Увеличение в химическом составе рельсовой стали углерода, фосфора и мышьяка повышает склонность сварных стыков к хрупким разрушениям. В новых типах рельсов содержится повышенное количество углерода, поэтому сварные стыки следует подвергнуть термообработке. Рекомендуется провести нормализацию подошвы рельса и высокий отпуск шейки и головки.

Учитывая сложность термообработки сварного рельсового стыка, уложенного в путь, можно ограничиться нормализацией. После нормализации сварной стык становится менее хрупким и повышается его пластичность.

Чистота поверхности облива и его форма—плавность сопряжения облива с основным металлом—в значительной степени определяют работоспособность рельсового сварного стыка.

Резкие переходы в сечении сварного стыка концентрируют возрастающие напряжения от динамического воздействия проходящего подвижного состава. Такие стыки, особенно при низких температурах, становятся хрупкими и склонными к разрушениям. Поэтому в районах с континентальным климатом при укладке в путь рельсов, стыки которых сварены термитом, последние необходимо подвергать термической обработке горелкой, применяемой для предварительного подогрева стыка перед термитной сваркой.

## 3. Комплектовка рельсов под сварку

На концах как старогодных, так и новых рельсов могут быть трещины. Трещины на концах рельсов, как правило, появляются от применения обрубки вместо резки.

Иногда на рельсах имеет место расслоение—дефект основного металла, являющийся следствием того, что данный рельс прокатывался из верхней части слитка.

Если в предназначенных под сварку рельсах имеются болтовые отверстия, их необходимо раззенковать. В противном случае в ходе последующей эксплуатации рельсового стыка по границам этих отверстий возникают и развиваются трещины.

## 4. Рекомендация по содержанию пути

Рельсовые стыки, сваренные термитом, следует располагать только на весу. Расстояние между обливом и осями прилегающих шпал не должно превышать 250 мм.

При укладке в путь старогодных рельсов нельзя менять положение рабочей внутренней грани головки.

Состояние пути является одним из важных факторов, определяющих эксплуатационную надежность сварных рельсовых стыков.

Неисправности пути—просадки, перекосы, изношенные шпалы и пр.—в зоне сварных рельсовых стыков резко увеличивают динамическое воздействие на последние со стороны проходящего подвижного состава и преждевременно выводят их из строя.

## Глава XII

### ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ТЕРМИТНОЙ СВАРКИ РЕЛЬСОВ

Переход от болтовых соединений рельсов на сварные позволил более чем в 10 раз сократить расход металла на стык. Если на механический стык рельсов весом 40—50 кг на пог. м расходовали около 40 кг металла, то на стык, сваренный термитом, расход металла составляет 2—3 кг.

Термитная сварка позволяет экономить 5—6% металла, укладываемого в путь, а если принимать износ рельсовых скреплений, равный по времени износу рельсов, то экономические показатели еще более возрастут.

Усталостная прочность сборного стыка рельсов Р-38 с фартучными накладками составляет около 22% от прочности целых рельсов того же типа, испытанных в равных условиях. Болтовые отверстия в рельсах также снижают их усталостную прочность на 40—50%.

Сварка рельсов не только резко сократила расход стали на стык, но и повысила механическую прочность рельсовых стыков.

Исследования, проведенные Институтом металлургии им. А. А. Байкова, показали, что рельсовые стыки, сваренные термитом, имеют более высокую усталостную прочность по сравнению с механическими стыками и стыками рельсов, сваренных дуговым способом (табл. 22).

Таблица 22

Способ соединения рельсов	Усталостная прочность (по основным напряжениям в подошве) в % от усталостной прочности проката	Сравнительный выход рельсов в относительных единицах
Контактная сварка без термической обработки стыков	95	0,15—0,2
Газопрессовая сварка без термической обработки стыков	90	—
Термитная сварка * комбинированным способом без механической и термической обработки стыков	60	0,75
Болтовые стыки с двухголовыми плоскими накладками	35	1
Дуговая ванная сварка без механической и термической обработки стыков	30	0,75
Болтовые стыки с фартучными накладками	25	5

\* Сварка устаревшим способом с использованием низкокалорийного сварочного термита.

Термитная сварка рельсов способом промежуточного литья по усталостной прочности дает в два раза более высокие показатели, чем электродуговой ванном способом без применения специальных видов термической и механической обработки. Прочностные свойства термитной сварки увеличиваются в результате легирования термитного металла. Этому же способствует механическая и термическая обработка стыков рельсов после сварки. Легирование термитной шихты углеродом и ферромарганцем позволяет приблизить механические свойства термитного металла по твердости к рельсовой стали и иметь ее в размере  $H_B = 250 \text{ кг/мм}^2$ .

Исследования изломов термитных стыков в пути трамвая показывают, что при комбинированном способе сварки до 40—50% стыков имеют хрупкий излом с трещинами, которые идут от подошвы рельса по границе облива. Внутрикристаллизационные трещины в стыке, сваренном термитом, почти вдвое снижают стрелу прогиба при испытании рельсов на изгиб.

Механическая и термическая обработки термитных стыков также способствуют повышению усталостной прочности сваренных рельсов.

В табл. 23 приводятся материалы по усталостной прочности рельсов, сваренных электроконтактным способом.

Таблица 23

Вид обработки после электроконтактной сварки	Усталостная прочность шейки стыков рельсов в %	
	изгиб в одной плоскости	эксцентричное сжатие
Цельный рельс (в поставке)	100	100
<b>Механическая обработка</b>		
Обрубка (шлифование головки и подошвы рельса)	92,0	15,4
Прокровка после обрубki	—	101,8
Шлифование по всему периметру после обрубki	126,0	256,7
Пескоструйная обработка после обрубki и шлифования	—	341,8
<b>Термическая обработка</b> (после обрубki и шлифования)		
Высокий отпуск	123,0	117,4
Нормализация	94,6	64,7
Отжиг	82,8	57,7

Продолжение

Вид обработки после электроконтактной сварки	Усталостная прочность шейки стыков рельсов в %	
	изгиб в одной плоскости	эксцентричное сжатие
<b>Дополнительная механическая обработка</b> (после шлифования и нормализации)		
Пескоструйная	139,0	—
Дробеструйная	152,0	—

Создание бесстыковых рельсовых путей — переход от рельсов нормальной длины к рельсам Р-50 длиной 30 м — снижает расходы по текущему содержанию пути на 21,5%, а переход к бесстыковому температурно-напряженному пути без разрядки дает снижение затрат по текущему содержанию пути до 25—30%.

В южных районах СССР, где более благоприятны климатические условия, экономия от эксплуатации бесстыковых рельсовых путей достигает 30—60%.

Термитная сварка рельсов имеет ряд преимуществ по сравнению с электроконтактной и газопрессовой сваркой:

1) она может применяться непосредственно в путях, в то время как электроконтактная и газопрессовая сварка в основном рассчитана только на стационарные условия работ;

2) возможность сварки закрепленных рельсов, уложенных в пути. В процессе сварки рельсов другими способами их нужно перемещать для стяжки гидравлическими прессами;

3) малогабаритность технологической оснастки. Если сварочная аппаратура для термитного способа сварки весит до 80 кг, то существующие образцы передвижных клещевых машин электроконтактной сварки рельсов с генератором имеют общий вес до 8,5 т;

4) термит представляет собой химический аккумулятор энергии. Этим преимуществом не обладает ни один из приводимых видов сварки. Для электроконтактной сварки необходимы электрогенераторы или линии электропередачи, имеющие достаточно высокие энергетические мощности;

5) термитом можно сваривать различные путевые конструкции (крестовины, пересечения), а также стыки рельсов как разных профилей, так и разных сечений.

В Москве и Ленинграде рельсы соединены в бесстыковой путь в основном термитной сваркой. На трамвайных путях неуклонно растет производительность процессов сварки за счет интенсификации, предварительного подогрева стыков под сварку и подготовки стыка к сварке.

Если в первые годы внедрения термитной сварки на подогрев затрачивалось 2—2,5 часа на каждый стык, то через несколько лет продолжительность этого процесса была равна 30—40 мин, а в настоящее время 12—18 мин.

Использование специальных горелок с высококалорийным топливом сокращает это время до 3,5—4 мин.

## Глава XIII

### КРАТКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ТЕРМИТНОЙ СВАРКЕ РЕЛЬСОВЫХ СТЫКОВ

1. Термит необходимо хранить на деревянных стеллажах в отапливаемых складских помещениях, имеющих вытяжную вентиляцию.

Все электрические устройства склада (осветительные приборы, моторы и пр.) должны быть взрывобезопасными, а электрические коммуникации—иметь надежную изоляцию. Склады термита должны быть удалены от жилых зданий и производственных помещений на расстояние не менее 30 м.

2. Термитные спички следует хранить в металлическом шкафу, установленном в помещении, которое изолировано от термитного склада.

3. Огнеупоры для термитной сварки нужно хранить в сухих отапливаемых помещениях.

4. Термит и огнеупоры следует перевозить в крытых автомашинах с сухим чистым кузовом.

5. При транспортировке термита и огнеупоров и кратковременном хранении их на месте производства работ следует принимать необходимые меры, исключающие возможность их увлажнения.

6. На место проведения термитной сварки нужно доставлять такое количество материалов, которое может быть использовано в течение смены. Неиспользованные материалы в тот же день должны быть возвращены на склад.

7. Не следует производить термитную сварку в дождь или снег, а также при температуре ниже—10°.

При промазывании форм в зимний период нужно пользоваться подогретым промазочным составом.

8. Категорически запрещается пользоваться подмоченным или увлажненным термитом.

9. Зимой место вокруг стыка очищается от снега в радиусе не менее 0,5 м.

10. Подклинку рельсов нужно вести плотно насаженными на рукоятку кувалдами. Не следует допускать неравномерный износ ударных поверхностей инструментов, а также заусенцы на них.

11. Вблизи мест сварки рельсовых стыков не допускается производство каких-либо путевых работ.

12. У места проведения термитной сварки должны быть установлены предупредительные знаки и ограждения, а в ночное время и фонари. Кроме того, на рельсы в 40—50 м от места работ устанавливают тормозные башмаки.

13. Если электроосвещение производится от трамвайной контактной сети с напряжением 550—600 в, установку и снятие заземления и «удочки» (щит с группой осветительных ламп) необходимо производить только в резиновых перчатках и галошах. Заземляющий провод к рельсу следует надежно закрепить, а затем навесить «удочку». Заземляющий провод осветительного устройства должен иметь высоковольтную изоляцию.

14. Зажигание термитной шихты от электродуги контактного провода запрещается.

15. Лица, производящие термитную сварку, а также связанные с транспортировкой и хранением термитных сварочных материалов, ежегодно проходят проверку знаний правил техники безопасности.

16. При проведении сварочных работ сварщики должны быть одеты в специальную одежду.

17. Перед термитной сваркой нужно обследовать находящиеся в непосредственной близости от места производства сварочных работ все здания и сооружения, с точки зрения их пожарной безопасности, принять необходимые противопожарные меры, а также получить разрешение на проведение сварки от органов местной противопожарной охраны.

18. Поджигание термитной шихты и выпуск из тигля жидких продуктов термитной реакции производится бригадиром. При поджигании термита и выпуске металла и шлака нужно пользоваться защитными очками.

19. Зажигать небольшие порции термита следует термитной спичкой. Горящую спичку нужно погружать в шихту и прикрывать тигель колпаком.

Если термит не воспламеняется, следует снять крышку с тигля и поджечь вторично термитную массу.

При сжигании больших масс термита необходимо применять электрозапал и автозапальное устройство тигля.

20. Выбивать запорное устройство тигля следует специальной «вышибалкой», которой производят прочистку отверстия штепселя.

21. В ходе термитной реакции рабочие должны отойти от свариваемого стыка на расстояние не менее 2,5—3 м.

22. Перед началом нагрева стыков рельсов необходимо проверить исправность бензоподогревателя. На корпусе бензоподогревателя должны быть порядковый номер и дата срока действия контрольного гидравлического испытания резервуара, которое

производится ежегодно на давление, превышающее в 1,25 раза рабочее. Бензоподогреватель должен иметь манометр.

Необходимо убедиться в исправности всех соединений (шгуцеров, муфт, шланга и горелки).

23. Заправку бензином резервуара нужно производить перед началом работы. Если во время работы возникает необходимость в дополнительной заправке горючим, то это следует делать на расстоянии не менее 10 м от места сварки или другого источника огня.

24. При нарушении нормальной работы горелки необходимо выключить подачу горючей смеси, а после охлаждения горелки произвести необходимую чистку и ремонт.

25. Переставлять работающий бензоподогреватель со стыка на стык следует при выключенной подаче горючей смеси.

26. Если при предварительном подогреве стыка в пламя подается кислород под давлением, то необходимо руководствоваться постановлением НКТ СССР от 9 мая 1933 г. № 53 «Правила безопасности при производстве автогенных работ с применением электродуговой и ацетилено-кислородной сварки».

Кроме того, необходимо:

а) на кислородной линии устанавливать предохранительный клапан против обратного удара конструкции ВНИИАвтоген;

б) запуск горелки производить в последовательности: подача горючего, зажигание, подача кислорода;

в) выключение горелки: отключение кислорода, перекрытие подачи горючего.

Необходимо регулярно проводить обезжиривание соединительных гаек, ниппелей и других частей кислородной аппаратуры дихлорэтаном  $C_2H_4Cl_2$  по ГОСТ 1942—42 или четыреххлористым углеродом  $CCl_4$  по ГОСТ 5827—51.

Эти смывки следует хранить в закупоренных стеклянных сосудах в темном сухом месте.

27. По окончании работы с бензоподогревателем в резервуаре необходимо снять давление.

28. В случае прорыва из тигля или форм жидкого металла или шлака растекающуюся массу необходимо засыпать сухим песком.

29. Если после сгорания термитной шихты не сработало запорное устройство и в тигле образовался «козел», в течение 20—25 мин. тигель не трогать до полного застывания жидких продуктов термитной реакции. Затем тигель устанавливают над поддоном с сухим песком штепселем сверху и легкими ударами молотка по металлическому стержню в отверстии штепселя выбивают слиток застывшего металла и шлака.

30. Если в процессе эксплуатации в футеровке тигля образуются отдельные местные вымоины глубиной не более половины первоначальной толщины футеровки, их можно заделать магни-

товой смесью, а затем прокалить эти места и ошлаковывать тигель.

31. Срубая со стыка прибыльную часть, литниковую и выпорную системы, необходимо пользоваться защитными очками.

При обрубке рельсового стыка между направлением хода кувалды и кузнечным зубилом должен быть примерно прямой угол. Это гарантирует безопасность работающего в случае соскакивания кувалды с рукоятки.

32. Запиловка рельсовых стыков может быть поручена рабочему, сдавшему экзамены по технике безопасности на выполнение этих работ.

33. Запиловщик стыков во время работы должен быть в брезентовом костюме, резиновой обуви, и резиновых перчатках, а также в защитных очках.

34. Абразивные круги для запиловки рельсовых стыков должны предварительно испытываться на специальном стенде.

35. Запрещается работать абразивным камнем, установленным эксцентрично или имеющим неравномерный износ.

36. Установленный абразивный камень должен быть заключен в прочный глухой металлический кожух из стали толщиной 2—3 мм.

37. Перед запиловкой стыков следует надежно заземлить корпус шлифовальной машины.

38. Запиловка стыков во время дождя и в сырую погоду не разрешается.

39. При проведении запиловки стыков необходимо устанавливать ограждения и предупредительные сигналы.

## Глава XIV

### ПРИМЕНЕНИЕ ТЕРМИТА В ДРУГИХ ОТРАСЛЯХ НАРОДНОГО ХОЗЯЙСТВА

Термит широко применяется в различных отраслях народного хозяйства. Он используется для сварки крупногабаритных стальных и чугунных конструкций и арматуры железобетонных узлов. Термитом можно сваривать трубы и провода контактной сети, а также провода высоковольтных линий электропередачи.

Термитный металл обладает хорошими литейными свойствами и может употребляться для прицезионного литья.

#### 1. Термитная сварка крупногабаритных деталей

При эксплуатации в металлургической промышленности прокатного, кузнечно-прессового и другого оборудования, испытывающего большие динамические нагрузки и выдерживающего высо-

кие температуры, происходят разрушение крупных деталей и выход из строя станин прокатных станов, прессов и ковочно-высадочных машин. Термитная сварка позволяет восстанавливать разрушенные детали. При этом необходимо обеспечить минимальную деформацию восстанавливаемого узла. Если, например, прямоугольная замкнутая рама разрушена с одного конца, то необходимо производить предварительный подогрев не только места сварки, но и противоположной стороны, чтобы компенсировать температурные деформации при сварке.

Нагрев противоположной стороны необходимо продолжить и после сварки до тех пор, пока сваренная часть несколько охладиться, а температура противоположных сторон рамы выравняется.

В технической литературе освещено применение термитной сварки при:

а) производстве крупногабаритных деталей, состоящих из нескольких элементов: коленчатых валов, рулевых рам судов, приварке лопастей к гребным валам судов и пр.;

б) восстановлении цилиндров прессов, поршневых штоков, колонн кузнечных прессов, роторных валов, валков, а также ведущих реверсивных шестерен прокатных станов, всевозможных станин—клетей прокатных станов, станин прессов и главных станин ковочно-высадочных машин и пр.;

в) ремонте чугунного технологического оборудования сталелитейных цехов: изложниц, шлаковых ковшей, поддонов и т. д.

Термитную сварку крупногабаритных деталей лучше всего производить в литейном цехе, где имеется необходимое технологическое оборудование, а также грузоподъемные механизмы.

Летом в сухую погоду термитную сварку можно производить и под открытым небом—на монтажной площадке, удаленной от огнеопасных объектов.

Перед сваркой крупногабаритной детали следует сделать химический анализ на содержание в металле основных примесей. На основании полученных данных определяют, какими элементами нужно легировать термитную сталь, и производят расчет количества легирующих элементов и стального наполнителя для введения в термитную шихту. Необходимо также рассчитать количество термитной шихты для сварки данной детали. Для этого подсчитывают объемы всей сварочной зоны, литниковой и выпорной систем, а также прибыльной части.

Перед сваркой обрезают газом поверхности, которые будут свариваться, а затем зачищают их. После этого фиксируют взаимное положение частей, подлежащих сварке. Свариваемые элементы прихватываются электросваркой по зазору при помощи технологических перемычек. После прихватки одна из свариваемых частей должна быть раскреплена для свободного перемещения от температурного воздействия.

При определении габаритных размеров облива можно ориентировочно руководствоваться табл. 24.

Таблица 24

Диаметр, вписываемый в сечение свариваемого изделия, в мм	Зазор в мм	Размер облива в мм	
		по ширине	по высоте
50	12	35	15
100	17	50	20
150	25	70	30
200	30	90	35
300	35	110	40
400	45	140	50

Зазор между свариваемыми частями заклеивают бумажной лентой. Бумажную парафинированную ленту приглаживают нагретой металлической лопаточкой к наружным поверхностям деталей до тех пор, пока она будет плотно прилегать к металлу.

На бумажную ленту слоями наносят разогретый парафино-восковой состав до получения формы облива. Затем производят зачистку неровностей по обливу, пока не получатся плавные переходы к поверхности свариваемых элементов.

Из воска делают прибыльные и литниковые части. Изготавливают металлический симметрично-разъемный кожух-опоку, охватывающий место сварки, который крепят на свариваемом узле. В опоку засыпают формовочную массу, которую послойно утрамбовывают, при подходе ее к обливу закладывается горизонтально стержень диаметром 15 мм, по которому будет вытекать выплавляемая парафино-восковая масса. С противоположной стороны располагается стержень диаметром 30—50 мм для подогревного канала.

Формовку ведут до заливочной чаши. Выше ее располагается сливной канал для стекания шлака в шлакоприемник.

В процессе подогрева свариваемых деталей до 850—900° происходит выплавление восковой массы. Температуру подогрева контролируют термпарой. В процессе предварительного подогрева, который может длиться от нескольких часов до нескольких дней, проводятся подготовка тигля и загрузка в него термитной шихты.

Прокаленный и ошлакованный магнетитовый тигель необходимой емкости надежно устанавливают и фиксируют на жесткой металлической подставке. Положение тигля регулируют, чтобы его запорное устройство оказалось над центром литниковой чаши.

Термитную шихту загружают после установки тигля и монтажа запорного устройства.

Штепсель запорного устройства тигля должен быть увеличен-ных габаритов с диаметром внутреннего отверстия 18—20 мм. В данном случае применяют запорный гвоздь с удлиненным стержнем, однако диаметр шляпки гвоздя не следует значительно увеличивать, так как это может затруднить выбивку запорного устройства.

При одновременном сжигании больших количеств термитной шихты можно использовать систему двух тиглей.

В системе тиглей следует применять автоматические запорные устройства — набор дисков, укладываемых в конусное отверстие штепселя, суммарная толщина которых определяет время, необходимое для их расплавления и соответственно является моментом выпуска из тигля продуктов термитной реакции. В этом случае металл и шлак из тиглей через специальные желоба направляются в общую приемную чашу, а оттуда поступают в литейную систему.

Большое количество термитной смеси нужно поджигать дистанционным электрозапалом. Спираль электрозапала должна укладываться в тигель на высоте  $\frac{1}{3}$  части загрузки термита.

После окончания предварительного подогрева необходимо уплотнить формовочную массу в местах сопряжения с деталью, заделать подогревные отверстия и канал для выплавки воска, а также убрать из зоны сварки все горючие материалы и лишние предметы. Затем следует освободить подходы к месту производства сварочных работ и удалить посторонних лиц.

По окончании сварки опоку с формовочной землей не снимают, сваренную деталь в зависимости от мощности сваренного сечения охлаждают 12—24 часа.

Когда температура сваренной детали резко снизится, следует снять опоку, сбить формовочную землю, срезать газом прибыльную литниковую и выпорную системы, очистить облив от пригара земли и произвести нормализацию или всей детали, или только части ее.

Это зависит от наличия на месте производства работ соответствующего термического оборудования, а также и от габаритов детали. От правильно выбранного режима термообработки и добросовестного проведения ее зависит успешная эксплуатация сваренной детали.

Деталь помещают в холодную печь, а затем медленно поднимают температуру. При достижении предусмотренной температуры, после необходимой выдержки, постепенно охлаждают печь, а следовательно, и деталь.

Если нет возможности провести термообработку в печи, ее производят на месте сварки. Для этого из огнеупорного кирпича сооружают временную печь, которая охватывает сварной шов и прилегающую к нему зону. Затем производят необходимый подогрев с последующим медленным охлаждением.

При термообработке нужно контролировать температурный режим установленными в нескольких зонах термометрами.

Полезно также провести контроль качества сварного соединения гамма-лучами.

## 2. Термитная сварка деталей из серого чугуна

Термитная сварка крупных чугунных деталей дает большой экономический эффект, особенно для восстановления технологического оборудования металлургического производства: различных ковшей, изложниц, поддонов, а также всевозможных станин.

Приступая к термитной сварке чугунных деталей, нужно учитывать повышенную чувствительность чугуна к температурным изменениям. При нагревании чугуна выше критической точки и охлаждении со скоростью, превышающей  $149^\circ$  в мин., он становится хрупким.

В процессе сварки в зоне, прилегающей к термитному металлу, чугун разогревается выше критической точки. Чтобы ликвидировать отрицательное влияние температуры на эту зону, необходимо уменьшать скорость ее охлаждения за счет предварительного нагрева смежных участков.

Одним из важнейших условий успешного проведения термитной сварки чугунных деталей является предварительный подогрев. При сварке чугунных деталей, помимо местного подогрева в зоне сварки до  $900^\circ$ , необходимо произвести и общий подогрев всей детали до  $450—500^\circ$ .

Сваривая жесткие конструкции типа чугунных замкнутых рам, нужно предотвращать появление в них напряжений, которые могут привести к разрушению детали. Для этого с успехом применяют общий компенсационный подогрев.

Усадка термитного металла почти в два раза превышает усадку чугуна; при слишком большом отношении длины свариваемого сечения к толщине могут образоваться поперечные трещины. Поэтому термитную сварку чугунных деталей целесообразно применять лишь тогда, когда ширина деталей превосходит ее толщину не более чем в восемь раз.

Если в относительно тонкой детали имеются длинные трещины, ее целесообразно разделить по оси трещины на две части и произвести сварку всего сечения. Узкие трещины нужно расширить и несколько удлинить. Это необходимо для качественного провара.

При сварке удлиненных стыков их по возможности следует располагать в вертикальном положении, чтобы создать наиболее благоприятные условия для удаления в прибыльную часть песка и шлака. Если сварку производят в горизонтальном положении, шов нужно «промыть» термитным металлом, чтобы освободить его от вредных включений.



Детали, устанавливаемые с необходимым зазором (с учетом усадки термитного металла), заформовывают и нагревают.

Термит используется с присадкой ферромарганца и ферросилиция.

Термитный металл по сравнению с основным металлом при сварке чугунных деталей имеет улучшенные прочностные свойства и способен подвергаться механической обработке.

Внутренние напряжения в чугунных деталях после замедленного охлаждения невелики, поэтому сваренную деталь нет необходимости подвергать специальному отжигу.

### 3. Термитная сварка арматурных стержней

Весьма эффективно применение термита для сварки стыков стержней большого диаметра непосредственно в блоках гидросооружений, где нельзя использовать стыковую сварку. При этом

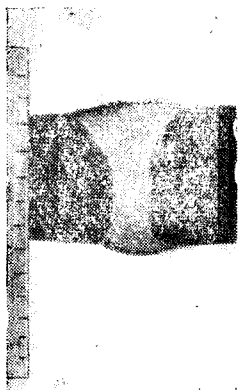


Рис. 13. Продольное сечение арматурного стержня, сваренного термитом.

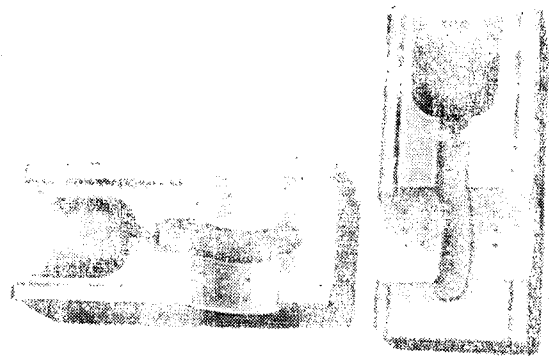


Рис. 14. Сухие формы для сварки арматуры крупного сечения.

повышается экономия металла, используемого на накладки или технологические изгибы сопрягаемых элементов, а также увеличивается производительность сварки по сравнению с электродуговым или вапным способом. Кроме того, облив улучшает работу арматуры в бетонных сооружениях, так как, выступая за габариты стержня, он повышает сцепляемость арматуры с бетоном.

Термитная сварка стыков арматурных стержней, как правило, производится без предварительного подогрева, но с несколько большим расходом термита на стык. На качество провара и прочностные свойства стыка это не оказывает влияния. Это видно из рис. 13, на котором изображено продольное сечение стыка арматуры диаметром 80 мм, сваренного термитом без предварительного подогрева.

При термитной сварке стыков арматурных стержней применяют универсальные огнеупоры, являющиеся одновременно и тиглем и формой.

На рис. 14 показаны огнеупоры для термитной сварки стыков стержней диаметром 80 мм в горизонтальном положении. Эти формы предназначены для разового использования.

Для термитной сварки стыков арматурных стержней характерно применение автоматического запорного устройства, которое способствует получению постоянной прочности свариваемых стыков.

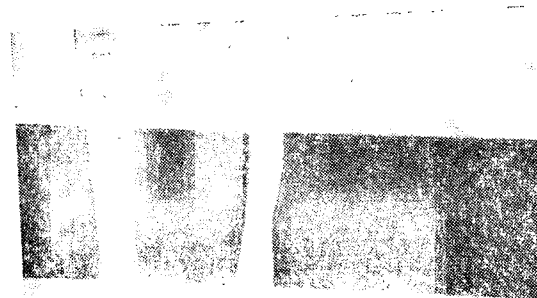


Рис. 15. Установка арматурных стержней под термитную сварку.

Здесь время окончания термитной реакции и отделения металла от шлака определяется не интуицией и опытом сварщика, а является расчетной величиной, которая должна быть равна времени, необходимому для проплавления стального запорного диска, и определяется его толщиной.

Термитная сварка арматурных стержней состоит из следующих операций:

1) стержни под сварку (рис. 15) устанавливают с необходимым зазором. Зачистку стержней после обрезки газом не производят. Стык очищают от грязи и масел;

2) устанавливают формы и фиксируют их положение специальной легкой струбциной (рис. 16). Неплотности между стержнями и формами, а также стыки форм промазывают огнеупорной глиной.

Если необходимо увеличить количество термита, в выемку в верхней части устанавливают отрезок стальной трубы (рис. 17), который впису с наружной стороны в стыке с формой промазывается глиной.



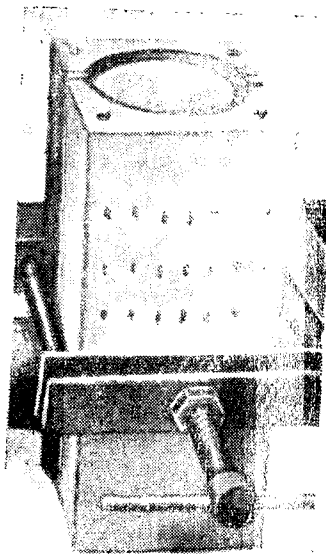


Рис. 16. Установка форм для сварки арматурных стержней.

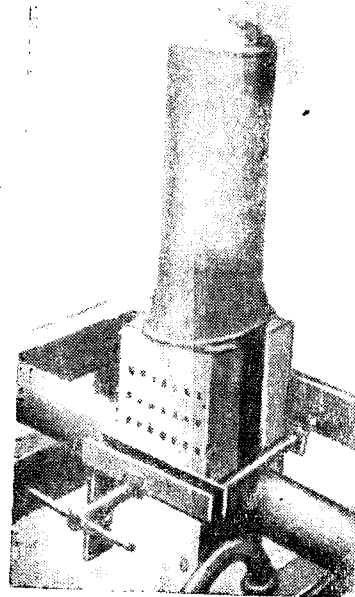


Рис. 17. Стык, подготовленный под термитную сварку.

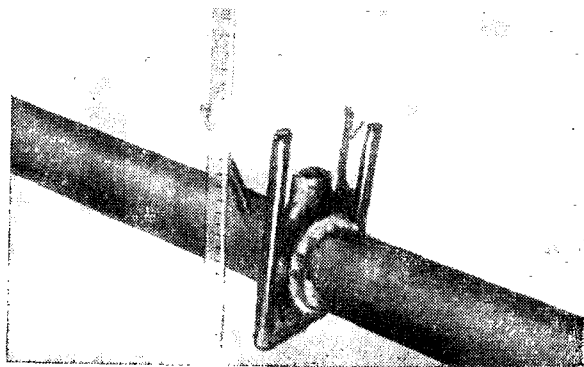


Рис. 18. Сварной термитный стык с прибыльной частью и выпорной системой.

В середине формы, выше прибыльной части облива, расположено круглое отверстие, служащее для укладки в него стальных дисков из малоуглеродистой стали, толщина которых определяет время, необходимое для их расплавления термитным металлом. Ниже выемки под стальными дисками расположено отверстие для прохода жидкого термитного металла в сварочную зону.

Так как сварку проводят без предварительного подогрева, свариваемые поверхности необходимо промыть жидким термитным металлом. В форме от облива вверх располагается система каналов-выпоров, обеспечивающих выброс первых порций охладившегося металла (рис. 18).

Формы по наружному контуру имеют выступы и выемки, которые обеспечивают сопряжение обеих половинок форм в замок;

3) на дно тигельной части форм укладывают стальной диск и высыпают термит;

4) поджигают термитную шихту;

5) через несколько минут снимают струбцину и сбивают форму.

#### 4. Сварка стыков труб высокого давления термитно-прессовым способом

Состыкованные трубы нагревают до сварочного состояния термитным металлом и шлаком. Тепло от термитного металла к стыку передается через шлаковую корку, которой предварительно покрывается поверхность сварочной зоны. Когда температура стыка достигает необходимой величины, производят осадку стыка. Этим заканчивается сварка.

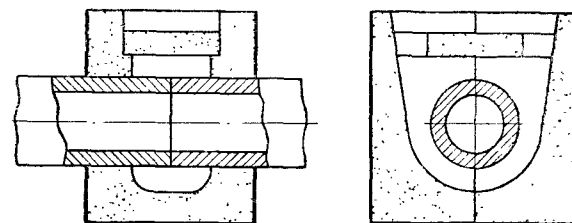


Рис. 19. Сварочные формы для толстостенных труб.

Термитная шихта, используемая для этой цели, состоит только из порошка алюминия и железной окалины.

Две трубы с предварительно обработанными механическим способом торцами устанавливают на центрирующем приспособлении. Торцы обезжиривают и плотно сжимают. Стык уплотняют специальной чеканкой, чтобы исключить возможность проникновения в него жидкого шлака.

Сварочные формы разового применения для термитной сварки толстостенных труб (рис. 19) представляют собой металлический каркас из листовой стали толщиной 1,5 мм, в который по соответ-

ствующей модели набивается огнеупорная масса, состоящая из 80% песка и 20% огнеупорной глины. Формы сушат при температуре 300—400°.

Конический ковш для сжигания термитной шихты изготавливают из листовой стали толщиной 2 мм, футерованной магнезитом перед применением; кроме сушки, он подвергается прокатке при температуре 900°. Этим ковшом можно пользоваться 15—20 раз.

В установленные на стык формы укладывают вкладыш, предохраняющий поверхность труб от размывания их потоком жидкого шлака и металла.

Поверхности сопряжения форм с трубами промазываются глиной.

Один из торцов свариваемых труб необходимо надежно перекрыть глиняной пробкой, чтобы исключить возможность циркуляции воздуха внутри труб при их сварке.

В ковш засыпают необходимое количество термитной шихты. Поджигают шихту термитными спичками. Через 10—12 сек. с момента зажигания, когда реакция распространится на всю шихту, ковш осторожно наклоняют и широкой непрерывной струей выливают содержимое во внутреннюю полость сварочных форм.

Жидкий шлак, попадая на холодную поверхность труб, мгновенно обволакивает ее пленкой, предохраняющей трубы от соприкосновения с перегретой жидкой сталью. Через 6—8 мин. стык труб нагревается до сварочного состояния, при котором трубы осаживаются на 6—10 мм гидравлическим домкратом. Через 15—20 мин. удаляют формы и сбивают шлак. Стык, сваренный термитно-прессовым способом, имеет чистую внутреннюю поверхность и небольшое увеличение диаметра снаружи. После термитно-прессовой сварки стык должен быть подвергнут местной термобработке.

Трубы из стали 20М с наружным диаметром 102 мм и толщиной стенки 19 мм имеют предел прочности на растяжение 40,5 кг/мм<sup>2</sup>, угол загиба 133°, ударную вязкость 7,2 кгм/см<sup>2</sup>.

## 5. Приварка стыковых соединений к рельсам

На железнодорожном транспорте широко применяется термитная приварка электросоединений к рельсам. Для этого используется специальный термит, состоящий из окислов меди, сплава меди с алюминием и ферромарганца. Сжигается этот термит в тигель-форме из жаропрочного графита, способного выдержать несколько сот плавок.

При сгорании термитной шихты получается марганцовистая бронза, которая приваривает стыковой соединитель к рельсу. Таким же термитом, но с применением специальной сварочной оснастки производится приварка заземляющих устройств к мачтам линий высоковольтных электропередач и контактной сети.

## 6. Приварка элементов заземления к металлоконструкциям

На действующих газопроводах для предохранения их от разрушения почвенной коррозией осуществляется электродренажная защита — привариваются стальные стержни, которые подключаются к источникам постоянного тока. Стальные стержни приваривают только термитом. Использование других видов сварки — электрической или газовой — недопустимо, так как в ходе сварки может произойти прожог труб, по которым подается горючий газ под давлением. Термит для приварки стержней дренажной защиты состоит из железо-алюминиевой шихты с введением в нее дополнительно магния и ферромарганца.

## 7. Термитно-муфельная сварка стальных проводов

Для сварки стальных проводов широко применяют спрессованный в цилиндрические шашки термит, который состоит из 25% металлического магния и 75% железной окалины.

Магний термит применяется потому, что при сгорании он не образует жидких шлаков.

Термитно-муфельная шашка, сгорая в течение нескольких секунд, выделяет большое количество тепла, причем размеры шашки после окончания термитной реакции остаются неизменными. Это и позволяет с большим успехом использовать магний термит в качестве концентрированного источника местного подогрева стыков проводов, которые после необходимой выдержки осаживаются специальными клещами.

## 8. Пайка

Термитно-магнєвые шашки можно использовать и при пайке. В паяльник закладывают шашку и поджигают ее обычным способом. Через несколько минут после окончания процесса горения паяльник прогревается до нужной температуры и становится пригодным для пайки.

## 9. Термитная сварка многопроволочных проводов

При строительстве электрических установок высокого напряжения часто приходится сваривать стыки многопроволочных проводов. Перед сваркой производят механическую подготовку и обезжиривание стыков, закладывают подготовленные концы проводов в цилиндрический термитный патрон и закрепляют их в сварочных клещах.

Стык проводов при поджигании термитного патрона и в процессе сварки должен быть в горизонтальном положении.

После осадки проводов клещами процесс сварки заканчивается. Остывший шлак необходимо сбить.

При сварке стале-алюминиевых и алюминиевых проводов со сваренного стыка необходимо удалять металлический кокиль—оболочку термитного патрона.

#### 10. Термитная сварка стыков узкоколейных рельсов

Термитная сварка стыков узкоколейных рельсов без предварительного подогрева может применяться в горной и лесной промышленности. Для этого используют такие же сухие формы, как и при термитной сварке арматурных стержней.

Количество термита для сварки стыка без предварительного подогрева удваивается. Это компенсируется высокой производительностью (7—10 мин.) на один стык и компактностью применяемой оснастки.

#### 11. Термитная наплавка рельсов

Трещины в головке, участки пробуксовки и другие дефекты рельсов устраняют термитной наплавкой, которая состоит из следующих операций:

1) поврежденное место рельса вырезается газом до здорового металла;

2) устанавливается форма;

3) производится предварительный подогрев горелкой наплавляемого участка до 900—950°. При этом желательно применять горелку с прямолинейным соплом, рабочая ширина которого равна ширине головки рельса;

4) заливка термитной стали. Чтобы получился качественный провар, термитную сталь из тигля льют непосредственно на ремонтируемый участок рельса. Между запорным устройством тигля и наплавляемой поверхностью рельса необходимо выдерживать расстояние не более 150 мм, чтобы уменьшить разбрызгивание заливаемой стали;

5) после этого удаляют формы, обрубая шлак, обрезают газом излишки наплавленного металла и шлифуют рабочие поверхности.

Для повышения износоустойчивости наплавляемой термитной стали в термитную шихту вводят несколько повышенное количество легирующих элементов—ферромарганца и углерода.

#### 12. Термитное стальное литье

Термитным способом можно получить термитную перегретую жидкую сталь любого состава, которая имеет высокую жидкотекучесть и хорошие литейные свойства. Это дает возможность получить из термитной стали всевозможные отливки сложной конфигурации.

Получаемая в процессе термитной реакции жидкая сталь заливается в специальные формы, где заформована одна или несколько деталей.

Для изготовления литейных форм под термитное литье используют формовочные материалы, обладающие повышенной термической устойчивостью и хорошей газопроницаемостью.

Изготавливая модели, а также формы по ним, необходимо делать закругленные углы, плавные переходы и пр.

Высокая жидкотекучесть термитной стали позволяет отливать из нее небольшие сложные детали, которые обычным способом из стали отлить нельзя.

#### 13. художественное антикоррозийное стальное литье

Высокие литейные качества термитной антикоррозийной стали позволяют с успехом отливать из нее любые скульптурные композиции.

Неограниченные возможности регулировки состава термитной шихты путем введения в нее всевозможных компонентов позволяют получать декоративно-художественные отливки. Кроме того, открываются возможности получения художественного литья с широкой гаммой оттенков.

В 1960 г. авторами впервые в практике скульптурного литья был отлит из антикоррозийной термитной стали бюст В. И. Ленина в натуральную величину.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Генкин И. З. Способы сварки и их применение. Журн. «Путь и путевое хозяйство» № 1, 1962.
2. Генкин И. З. Повышение прочности и срока службы сварных рельсов. Журн. «Путь и путевое хозяйство» № 2, 1962.
3. Золковер М. З., Гридунов А. С., Бялыницкий-Бируля С. О., Мосяк А. А. Фасонное литье из термитной стали. Дориздат, 1950.
4. Карасев М. А. Термитная сварка. Справочник сварщика. Оргметалл, 1937.
5. Клячкин Я. Л. Термитная сварка. Справочные материалы для сварщиков. Машгиз, 1951.
6. Кукин А. Н. Новые виды термитной сварки. Трансжелдориздат, 1955.
7. Лайко Н. В., Ламин Ф. Г. Укладка и содержание бесстыкового пути. Трансжелдориздат, Москва, 1961 г.
8. Лапшин В. В., Логин М. И. Термитная сварка в путях трамвая. Изд. МХХ РСФСР, 1951.
9. Певзнер Р. Л. Термитокорунд, его свойства и применение. Промстройиздат, 1954.
10. Погудин-Алексеев Г. И. Теория сварочных процессов. Машгиз, 1950.
11. Рукавцев К. А. Сварка трамвайных рельсов термитом при движении поездов. Изд. МХХ РСФСР, 1941.
12. Светопольский В. И., Грязев М. И., Чепурин М. С., Сварка рельсовых стыков. Изд. ЦБТИ, Волгоград, 1959.
13. Хомяков М. В., Якобсон И. А. Термитная сварка многопроводных линий электропередач и подстанций. Госэнергоиздат, 1960.
14. Шепелев В. Н., Обухов А. В. Сварка и наплавка рельсов и крестовин. Трансжелдориздат, 1959.
15. Вопросы производства и исследования железнодорожных рельсов (труды Института металлургии им. А. А. Байкова, АН СССР, 1960).
16. Труды ВНИИ Ж. Т., вып. 166. Газопрессовая сварка деталей подвижного состава и рельсов. Под редакцией Владимирского Т. А. Трансжелдориздат, 1959.
17. Сосынец В. Г. Термитная сварка рельс на Московских городских железных дорогах. Москва, 1927.
18. Ahlert W. «Das neue Thermit—Schnell schweißverfahren für Eisenbahnschienen Eisenbahn ingenieur, № 6, 1957, 133—142.
19. Ahlert W. «Weitere verbesserungen und internationale Ausbreitung der modernen Thermit—Schienenschweißung». Eisenbahn technische Rudschau, 1961, № 8, 323—336.
20. Günther W. und Proschek F. Die aluminothermische Schweißung. Verlag Carl Marhold Verlag Halle. 1959. Vertrieb veb Verlag Technik.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Глава I. Сущность процесса термитной сварки	4
1. История развития производства термита и термитной сварки рельсов	7
2. Применение термитной сварки в трамвайных хозяйствах	8
Глава II. Физико-химические и металлургические основы термитной сварки	9
1. Условия, необходимые для проведения термитной реакции	9
2. Термохимические реакции	11
3. Тепловой баланс термитных реакций	13
4. Продукты термитных реакций	17
5. Получение термитного металла заданного химического состава	17
6. Воспламеняющие средства, применяемые при проведении термитных реакций	18
Глава III. Расчет состава термитной шихты	19
1. Компоненты термитной шихты	19
2. Состав термитной стали	19
3. Методы расчета термитной шихты	27
4. Контроль состава сварочного термита	38
Глава IV. Технология производства железо-алюминиевого термита	39
1. Производство алюминиевого порошка	39
2. Обработка железной окалины	42
3. Подготовка стального наполнителя	45
4. Технологическая обработка и подготовка ферросплавов и других легирующих элементов, вводимых в термитную шихту	46
5. Технологические процессы изготовления термитных порций	46
6. Порции сварочного термита	47
Глава V. Производство огнеупоров для термитной сварки	50
1. Требования, предъявляемые к огнеупорам	50
2. Конструкции сварочных форм, тиглей и моделей	53
3. Хранение и транспортировка огнеупоров	55
Глава VI. Технологические указания по сборке рельсовых стыков под сварку	55
Глава VII. Технологические процессы термитной сварки рельсовых стыков	57
1. Кузнечный способ термитной сварки	57
2. Термитная сварка стыков рельсов способом промежуточного литья	58
3. Комбинированный способ термитной сварки стыков рельсов	61
4. Термитная сварка рельсов способом промежуточного литья, применяемая в ГДР	62
5. Технология термитной сварки промежуточным литьем с заливкой металла сверху по обе стороны от шейки	63
6. Сварка переходных рельсовых стыков	64

Глава VIII. Термитная сварка крестовин и пересечений	64
1. Сборка и термитная сварка трамвайных глухих пересечений рельсов Т-65 (180 × 180)	65
2. Железнодорожные пересечения	71
Глава IX. Технологические процессы термитной сварки рельсов с высокомарганцовистыми спецчастями пути	72
Глава X. Различные способы сварки рельсов	74
1. Электроконтактная сварка	74
2. Газопрессовая сварка стыков рельсов	75
3. Электродуговая сварка стыков рельсов	76
4. Электрошлаковая сварка стыков рельсов	80
Глава XI. Методы повышения прочности сварных рельсовых стыков	81
1. Механическая обработка	81
2. Термосработка	82
3. Комплектовка рельсов под сварку	82
4. Рекомендации по содержанию пути	82
Глава XII. Техничко-экономические показатели термитной сварки рельсов	83
Глава XIII. Краткие рекомендации по технике безопасности при термитной сварке рельсовых стыков	86
Глава XIV. Применение термита в других отраслях народного хозяйства	89
1. Термитная сварка крупногабаритных деталей	89
2. Термитная сварка деталей из серого чугуна	93
3. Термитная сварка арматурных стержней	94
4. Сварка стыков труб высокого давления термитно-прессовым способом	97
5. Приварка стыковых соединений к рельсам	98
6. Приварка элементов заземления к металлоконструкциям	99
7. Термитно-муфельная сварка стальных проводов	99
8. Пайка	99
9. Термитная сварка многопроводочных проводов	99
10. Термитная сварка стыков узкоколейных рельсов	100
11. Термитная наплавка рельсов	100
12. Термитное стальное литье	100
13. Художественное антикоррозийное стальное литье	101
Литература	102

# О П Е Ч А Т К И

Страница	Строка	Напечатано	Следует читать
4	9 снизу в формуле (2)	$M_1 + M_2O \rightarrow M_2O +$ $+ M_1O + Q,$	$M_1 + M_2O \rightarrow M_2 +$ $+ M_1O + Q$
50	6 сверху	не более 10	не более 10 %

Б. В. Малкин, А. А. Воробьев. «Термитная сварка».

БЕР ВЕНИАМИНОВИЧ МАЛКИН, АНАТОЛИЙ АЛЕКСЕЕВИЧ ВОРОБЬЕВ

ТЕРМИТНАЯ СВАРКА

Редактор В. Г. Сосняц

Редактор издательства В. А. Чекризов

Техн. редактор Ф. М. Хенох

Корректор З. Н. Гласко

Сдано в набор 1/IX 1962 г.

Подписано к печати 20/IV 1963 г.

Формат бум. 60×90<sup>1/16</sup>

Печ. л. 6,5

Уч.-изд. л. 6,90

Л58176

Изд. № 1470

Тираж 4000

Цена 35 коп.

Заказ 2397

Издательство МКХ РСФСР, Москва, К-12, Ипатьевский пер., 14

Типография издательства Министерства коммунального хозяйства РСФСР,  
Москва, Е-398, ул. Плющева, 22