

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:

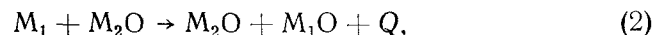
$$Q = (U_1 - U_2) - A, \quad (1)$$

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 Fe₂O₃);

M_1O — окись алюминия (Al₂O₃);

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 Al₂O₃ — прочное химическое соединение с температурой плавления 2050° и температурой кипения 2980°. Теплота образования окиси алюминия 378 ккал/моль.

Удельный вес алюминия 2,7 г/см³ при 20°; в расплавленном состоянии, при температуре 1000° — 2,35 г/см³. Температура плавления технически чистого алюминия (99,5%) — 659,8°; температура кипения — 2400°. Для окисления алюминия на 1,12 г металла требуется 1 г кислорода. При этом алюминий, сгорая, выделяет 714 кал тепла и развивает температуру до 3000°.

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°, 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 чугуновой 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 окалина 24,5—26% O₂, что недостаточно для получения активной высококалорийной термитной реакции. Чтобы увеличить содержание кислорода в окалине, ее подвергают специальной обработке при высокой температуре в окислительной среде.

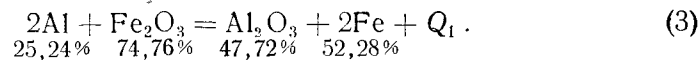
Большое влияние на ход реакции оказывает измельчение составляющих термитной шихты. Более крупные компоненты используются в реакциях с большими порциями шихты. Для небольших порций термита применяют более измельченные порошки.

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

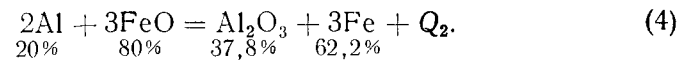
Таблица 2

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 Fe₂O₃ (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 окалина, 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.

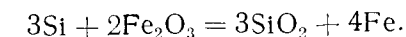
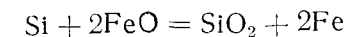
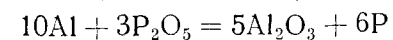
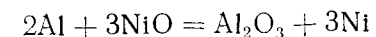
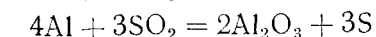
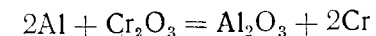
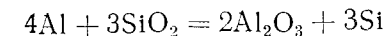
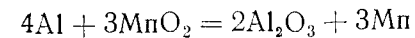
Чтобы осуществлялась реакция между алюминием и железной окалиной, термитная шихта должна быть нагрета до температуры воспламенения, которая для железо-алюминиевого термита при указанной выше химической чистоте компонентов и измельчении, а также правильно выбранном соотношении составляющих достигает 1340—1360°. 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.

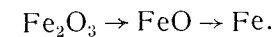
2. Термохимические реакции

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:



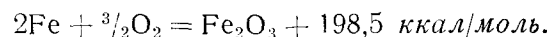
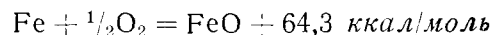
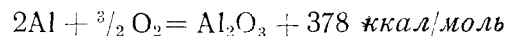
В соответствии с рядом напряжений все элементы, стоящие левее, во время реакции способны из окислов вытеснять элементы, расположенные правее. Следовательно, из ряда напряжений (табл. 3) алюминий имеет возможность вытеснять из окислов Mn, Si, Cr, Ni и т. д.

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

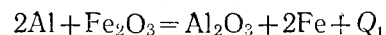
В процессе реакций как основных элементов, так и примесей происходит выделение тепла (экзотермические реакции).

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:



$$0 - 198,5 \text{ ккал/моль} = -378 \text{ ккал/моль} + 0 + Q_1 \text{ или } Q_1 = 378 - 198,5 = 179,5 \text{ ккал/моль}$$



$$0 - 3 \cdot 64,3 \text{ ккал/моль} = -378 \text{ ккал/моль} + 0 + Q_2 \text{ или } Q_2 = 378 - 192,9 = 185,1 \text{ ккал/моль.}$$

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 Al_2O_3 способен выделить 378 ккал/моль тепла, а для восстановления из окисла Fe_2O_3 железа Fe поглощается 198,5 ккал/моль. Во время реакции получаем разницу в тепловом балансе (179,5 ккал/моль), которую используем для сварки.

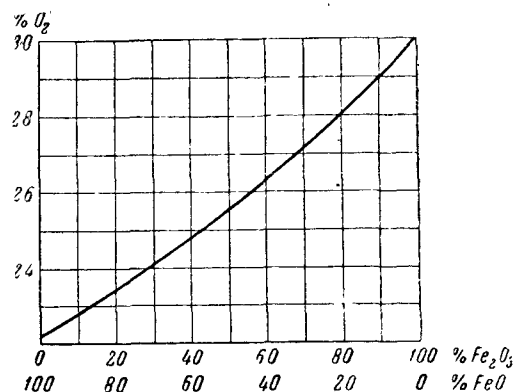


Диаграмма 1. Зависимость между кислородным балансом окалины и содержанием закисного и окисного железа.

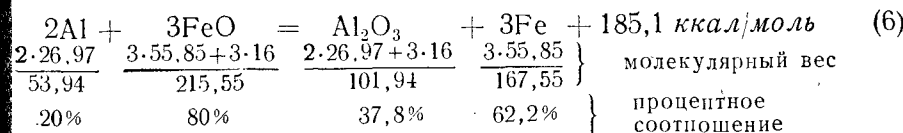
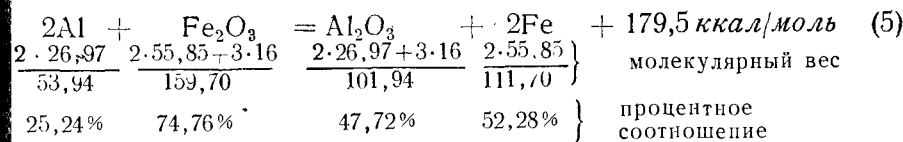
В процессе восстановления железа из окисла кислородный баланс* в окалине сокращается. Окись железа Fe_2O_3 постепенно переходит в закись железа FeO , а последняя, теряя кислород, образует чистое железо.

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 Al_2O_3 —49 ккал/кг.

Имеем $65 \cdot 0,5228 + 49 \cdot 4772 = 57,4$ или при окиси Fe_2O_3 1 кг термита дает $843 - 57,4 = 785,6$ ккал тепла.

При средней теплоемкости расплавленного Fe $C_{\text{Fe}} = 0,22 \text{ ккал/кг} \cdot \text{град}$, и теплоемкости Al_2O_3 .

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

Температура, развиваемая во время реакции, будет:

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

где:

t — температура реакции в град;

Q — теплотворная способность термита в ккал/кг;

m — масса термита в кг;

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

a, b — процентное содержание Fe и Al_2O_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	0,92	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 ₂	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% O₂) 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.

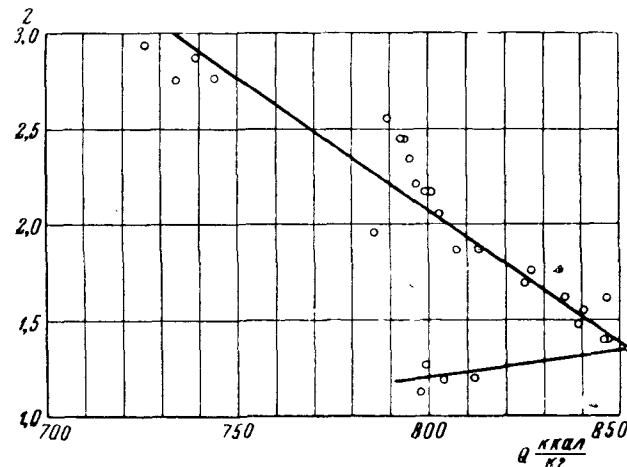


Диаграмма 2. Калорийность термита для различных значений соотношения основных компонентов шихты.

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% O₂.

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.

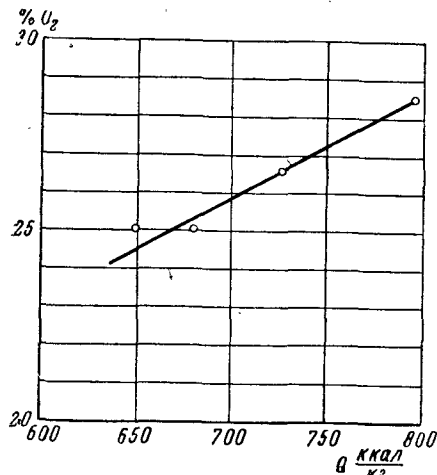


Диаграмма 3. Изменение калорийности термита $z = 1,12$ в зависимости от кислородного баланса окалины.

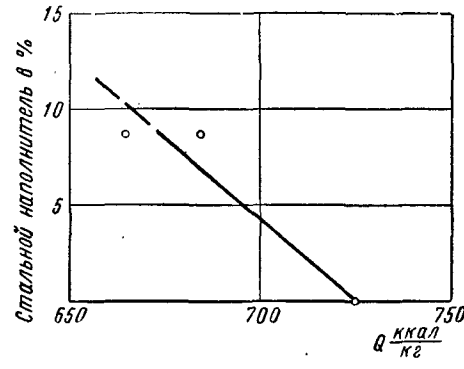


Диаграмма 4. Изменение теплоты реакции термита с введением в шихту металлического наполнителя (стальной обечки).

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%; O₂=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 снижается на 8%. Для термитов, имеющих высокий кислородный баланс окалины, снижение калорийности за счет введения указанного выше количества обечки незначительно. Для термитов с содержанием 24% O₂ 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 $\Delta O_2 = 2,61—4,54\%$ (колебания по калорийности $\Delta Q = 60—150$ 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% O₂ (колебание по закисному 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 Al₂O₃ и металл Fe (5 и 6).

Шлак или террито-корунд применяется в стекольной промышленности при производстве огнеупоров. Террито-корунд имеет огнеупорность более 2000°, температуру начала деформации под нагрузкой 2 кг/см²—1800°, предел прочности при сжатии 1000 кг/см².

Наряду с высокими показателями огнеупорности террито-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 террито-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/мм², 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, принимаем 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



Переходной воспламеняющий состав

Рис. 1. Термитная спичка.

горении перекрывает температурный барьер начала термитной реакции.

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 магнезия—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 σ_b —35 кг/мм², δ —18—20%.

В период развития термитной сварки в СССР М. А. Карасев рекомендовал для сварки рельсов в обливке 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 σ_b —50 кг/мм², δ —8%.

Металлолом

Первый научный сайт про металлы в Рунете

Большое спасибо за чтение ознакомительной версии контента с сайта “Металлолом”. Если вы заинтересованы в полной версии, пожалуйста - нажмите кнопку “Facebook” или “Twitter” и поделитесь своей находкой, чтоб остальным было легче найти наш сайт.

После этого вам нужно будет обновить страницу, где вы расшарили ссылку - и полный контент будет доступен вам для чтения онлайн прямо на сайте!

Если вы находите данный ресурс полезным - пожертвуйте, сколько можете

<https://secure.wayforpay.com/payment/mitalolom>



Важно!

Весь контент защищен авторскими правами и служит только для ознакомительных целей - например, когда вам нужно написать реферат или курсовую.

После прочтения и ознакомления, вам нужно будет удалить скачанный контент или оплатить издателю.