

Д. Л. ГЛИЗМАНЕНКО

СВАРКА И РЕЗКА МЕТАЛЛОВ

ИЗДАНИЕ ПЯТОЕ, ПЕРЕРАБОТАННОЕ

*Одобрено Ученым советом
Государственного комитета Совета Министров СССР
по профессионально-техническому образованию
в качестве учебника
для профессионально-технических училищ*

В книге рассматриваются вопросы технологии ручной дуговой сварки, излагаются основы современных способов полуавтоматической и автоматической дуговой сварки, сварки в среде защитных газов, электрошлаковой сварки, газовой сварки и кислородной резки металлов. Приводятся основные сведения по современному сварочному оборудованию, методам контроля производства, организации труда, технике безопасности и нормированию сварочных работ.

Книга является учебником для электрогазосварщиков по дуговой и газовой сварке и резке металлов, учащихся профессионально-технических училищ, составленным в соответствии с учебными планами и программами, действующими в системе профтехобразования.

Она может быть использована также для переподготовки и повышения квалификации рабочих сварочного производства на различных курсах, в школах, технических кружках и для самостоятельного изучения сварочного дела.

Все замечания по книге просим направлять по адресу:
Москва, Центр, Хохловский пер., 7, Профтехиздат.

ВВЕДЕНИЕ

«Великое будущее принадлежит сварочному делу», — такими словами охарактеризовал значение сварки в народном хозяйстве Н. С. Хрущев в своем выступлении на июньском Пленуме ЦК КПСС в 1959 г.

О развитии сварки в нашей стране сказано в решении июльского (1960 г.) Пленума ЦК КПСС, определившем основные задачи внедрения сварки в промышленности, строительстве и транспорте в текущей семилетке.

Сварка имеет важнейшее самостоятельное значение в основных отраслях, потребляющих металлопрокат. Широкое внедрение сварки резко сокращает сроки выполнения работ, расход металла и трудоемкость производственных процессов. Благодаря применению современных методов сварки стало возможным создание ряда новых экономичных машин и сооружений, увеличение сроков службы и производительности выпускаемого оборудования.

К 1965 г. выпуск сварных конструкций намечено увеличить в два раза по сравнению с 1958 г., а уровень механизации сварочных работ за этот же период — с 11 до 40 %. Получаемая за счет применения сварки экономия в народном хозяйстве составит около 20 млрд. руб. за семилетие. Непрерывно растет уровень механизации и автоматизации сварки. Сейчас в нашей промышленности работает свыше 12 тыс. автоматов для дуговой сварки и более 40 тыс. машин для контактной сварки. По масштабам использования механизированной сварки под флюсом и электрошлаковой сварки в настоящее время Советский Союз уже опередил США.

В СССР созданы специализированные заводы по выпуску и монтажу сварных заготовок и элементов строительных металлоконструкций самого различного назначения, а также осуществляется широкая специализация сварочных производств.

Достигнутые успехи в области автоматизации и механизации сварочных процессов позволили осуществить коренные изменения в технологии строительства и изготовления доменных печей и других металлургических агрегатов, мостов, трубопроводов, судов, ва-

гонов, химического оборудования, мощных прессов, гидротурбин и прочих конструкций из металла.

Количество сварщиков в нашей стране исчисляется сотнями тысяч, а выпуск сварных конструкций — миллионами тонн в год.

В настоящее время насчитывается около 150 различных способов сварки, используемых в промышленности. Количество типов применяемого при сварке оборудования исчисляется сотнями наименований. Созданы десятки новых типов сварочного оборудования, построены и работают автоматические линии для сварки корпусов судов, труб различных диаметров, автомобильных колес и кузовов, деталей электроприборов, арматуры для железобетонных конструкций и др.

Непрерывно расширяется сварка специальных сталей и сплавов, в том числе таких, которые прежде считались трудносвариваемыми. Современные способы сварки позволяют соединять металлы как очень большой (1000 мм и более), так и очень малой (5—10 мк) толщины.

Применение сварки позволило в короткие сроки освоить производство сварных труб больших диаметров для прокладки газопроводов и нефтепроводов протяженностью в тысячи километров. Построенный в СССР первый в мире атомный ледокол «Ленин» водоизмещением 16 тыс. т имеет цельносварной корпус с общей длиной сварных швов более 6 тыс. км. В СССР изготавливают сварные резервуары из рулонов стальных листов, предварительно сваренных на заводах.

На десятках машиностроительных заводов внедрен разработанный Институтом электросварки им. Е. О. Патона электрошлаковый способ сварки, позволяющий осуществлять однопроводную сварку металла практически неограниченной толщины (1 м и более). Больших успехов достигла электронаплавка, в 4—5 раз повышающая срок службы работающих на трение деталей. Широкое применение нашла контактная электрическая сварка, выпуск оборудования для которой непрерывно растет из года в год, а также сварка в среде защитных газов (углекислом, аргоне, гелии и др.).

Непрерывное развитие сварки и расширение объема сварочных работ, повышение уровня механизации и автоматизации сварки возлагает на всех работников сварочного дела, в том числе и на молодые кадры рабочих-сварщиков, большие задачи по освоению передовой сварочной технологии и оборудования, повышению производительности труда, улучшению качества сварных конструкций, борьбе за ускорение темпов развития сварочной техники.

Новая Программа КПСС, принятая историческим XXII съездом партии, содержит величественный и конкретный план построения коммунистического общества в нашей стране в течение ближайших 20 лет. Создание предусмотренной новой Программой КПСС материальной основы коммунизма осуществляется на базе использования всех достижений передовой техники. Для успешного внедре-

ния новой техники нужны кадры, в совершенстве овладевшие современными передовыми технологическими процессами, к которым относится и сварка.

Среди передовых рабочих, показывающих образцы коммунистического труда, есть много сварщиков, в совершенстве освоивших и широко применяющих новейшие высокопроизводительные методы сварки. Так, например, всем хорошо известно имя дважды Героя Социалистического Труда сварщика А. А. Улесова, освоившего и внедрившего метод ванной электросварки арматуры на строительных Куйбышевской и Волгоградской ГЭС. Профессия сварщика становится у нас одной из самых распространенных, массовых и почетных.

Молодые учащиеся-сварщики должны стремиться стать мастерами своего дела. Для этого необходимо в первую очередь хорошо изучить основы процесса сварки и резки металлов и непрерывно совершенствовать свое мастерство, стремясь к увеличению выпуска и повышению качества сварных изделий, экономии металла, сварочных материалов, электроэнергии, снижению себестоимости сварочных работ и повышению производительности труда.

Настоящий учебник должен помочь молодым рабочим-сварщикам в изучении основ сварочной технологии. Пятое издание учебника дополнено материалами, освещающими современный уровень развития сварочной техники в нашей стране и за рубежом.

Автор приносит благодарность читателям, высказавшим замечания по предыдущему изданию книги, которые были по возможности учтены при подготовке настоящего издания.



ГЛАВА I

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О СВАРКЕ МЕТАЛЛОВ

§ 1. Общие сведения

Процесс соединения металлических частей путем местного нагрева их до пластичного или расплавленного состояния называется сваркой. Сварку можно осуществлять без применения или с применением давления для сжатия свариваемых деталей.

Все свариваемые металлы и сплавы относятся к твердым кристаллическим телам и состоят из множества отдельных зерен —

кристаллитов, связанных между собой межатомными и межмолекулярными силами взаимодействия. Для соединения двух частиц металла в одно целое нужно сблизить их атомы настолько, чтобы между ними начали действовать силы взаимного притяжения. Это возможно при расстоянии между атомами около $4 \cdot 10^{-8}$ см (четыре сто-миллионные доли сантиметра), что осуществимо только при следующих условиях:

1) применении очень больших усилий сжатия деталей без их нагрева;

2) нагревании и одновременном сжатии деталей умеренными усилиями;

3) нагревании металла в месте соединения до расплавления без применения сжатия.

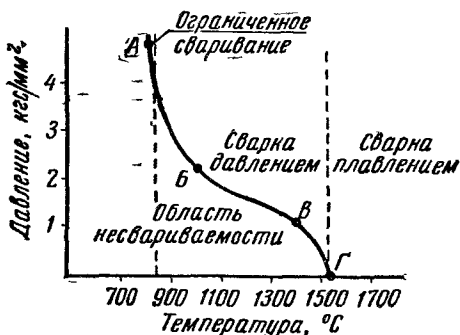


Рис. 1. Зависимость между давлением и температурой сваривания для чистого технического железа

На рис. 1 показан график, характеризующий условия, необходимые для сваривания чистого технического железа. По вертикальной оси отложены значения давления сжатия, а по горизонтальной — температуры нагрева. При давлениях и температурах в области, расположенной ниже кривой *АВВГ*, сварка железа не происходит или получается очень низкого качества. Качественная сварка железа может осуществляться только при давлениях и температурах, расположенных выше кривой *АВВГ*. Точка *Г* соответствует температуре плавления железа. Вправо от этой точки железо сваривается в расплавленном состоянии без давления, влево — при нагревании до пластического состояния, но с применением соответствующего давления, которое будет тем выше, чем ниже температура нагрева.

В ненагретом (холодном) состоянии сваривают только очень пластичные металлы, например алюминий, и при условии применения очень высоких удельных давлений сжатия.

Сварным соединением называют неразъемное соединение металлических частей, полученное сваркой.

Сварным швом называется та часть сварного соединения, которая образуется расплавленным в процессе сварки и затем затвердевшим металлом.

Основным металлом называется металл, из которого изготавливаются свариваемые детали. Электрическая дуга или пламя горелки расплавляет одновременно с основным металлом также металлический электрод или присадочный пруток, образуя жидкий металл, заполняющий шов. Металл присадочного прутка или электрода, смешиваясь с расплавленной частью основного металла, образует металл шва. Металл шва по своему составу и строению отличается от основного и присадочного металла.

В месте нагрева основного металла сварочной дугой или пламенем горелки образуется заполненное жидким металлом углубление, называемое сварочной ванной.

§ 2. Развитие сварки и ее значение

Сварка металлов является одним из выдающихся русских изобретений и впервые была освоена в нашей стране, которая является родиной многих важных открытий в области науки и техники.

В 1802 г. русский академик Василий Владимирович Петров обратил внимание на то, что при пропускании электрического тока через два стержня из угля или металла между их концами возникает ослепительно горящая дуга (электрический разряд), имеющая очень высокую температуру. Он изучил и описал это явление, а также указал на возможность использования тепла электрической дуги для расплавления металлов и тем заложил основы дуговой сварки металлов.

Результаты опытов В. В. Петрова тогда не были известны за границей, а в России не использовались. Только спустя 80 лет русские инженеры — Николай Николаевич Бенардос и Николай Гаврилович Славянов применили открытие В. В. Петрова на практике и разработали различные промышленные способы сварки металлов электрической «дугой Петрова».



Н. Н. Бенардос



Н. Г. Славянов

Н. Н. Бенардос в 1882 г. изобрел способ дуговой сварки с применением угольного электрода. В последующие годы им были разработаны способы сварки дугой, горящей между двумя или несколькими электродами; сварки в атмосфере защитного газа; контактной точечной электросварки с помощью клещей; создан ряд конструкций сварочных автоматов. Н. Н. Бенардосом запатентовано в России и за границей большое количество различных изобретений в области сварочного оборудования и процессов сварки.

Автором метода дуговой сварки плавящимся металлическим электродом, наиболее распространенного в настоящее время, является Н. Г. Славянов, разработавший его в 1888 г.

Н. Г. Славянов не только изобрел дуговую сварку металлическим электродом, описал ее в своих статьях, книгах и запатентовал в различных странах мира, но и сам широко внедрял ее в практику. С помощью обученного им коллектива рабочих-сварщиков Н. Г. Славянов дуговой сваркой исправлял брак литья и восстанавливал детали паровых машин и различного крупного оборудования. Н. Г. Славянов создал первый сварочный генератор и автоматический регулятор длины сварочной дуги, разработал флюсы для повыше-

ния качества наплавленного металла при сварке. Созданные Н. Н. Бенардосом и Н. Г. Славяновым способы сварки явились основой современных методов электрической сварки металлов.

Однако наибольшее развитие наука о сварке и техника применяемых в настоящее время передовых методов сварки получили в нашей стране благодаря трудам многих советских ученых, инженеров и рабочих-новаторов сварочного производства. Ими создано большое количество типов сварочного оборудования, марок электродов, разработаны новые прогрессивные сварочные процессы, в том числе высокомеханизированные и автоматизированные, освоена техника сварки многих металлов и сплавов, глубоко и всесторонне разработана теория сварочных процессов.

В последние годы сварка повсеместно вытеснила способ неразъемного соединения деталей с помощью заклепок.

Сейчас сварка является основным способом соединения деталей при изготовлении металлоконструкций. Широко применяется сварка в комплексе с литьем, штамповкой и специальным прокатом отдельных элементов заготовок изделий, почти полностью вытеснив сложные и дорогие цельнолитые и цельноштампованные заготовки.

Сварка обеспечивает ряд преимуществ, основные из которых приводятся ниже:

1. Экономия металла вследствие наиболее полного использования рабочих сечений элементов сварных конструкций, придания им наиболее целесообразной формы в соответствии с действующими нагрузками и уменьшения веса соединительных элементов. В сварных конструкциях вес металла сварных швов обычно составляет от 1 до 2⁰/₀, в то время как в клепаных вес заклепок и косынок — не менее 4⁰/₀ от веса изделия. Сварка дает до 25⁰/₀ экономии металла по сравнению с клепкой, а по сравнению с литьем в отдельных случаях — до 50⁰/₀.

Использование сварки на строительстве зданий позволяет уменьшить вес стальных конструкций на 15⁰/₀, облегчает изготовление и увеличивает жесткость всей конструкции. При сооружении доменных печей применение сварки вместо клепки позволяет сэкономить от 12 до 15⁰/₀ металла, в конструкциях стропильных ферм — 10—20⁰/₀, в конструкциях подъемных кранов — 15—20%.

2. Сокращение сроков работ и уменьшение стоимости изготовления конструкций за счет снижения расхода металла и уменьшения трудоемкости работ. Так, например, при постройке крупных доменных печей на металлургических заводах изготовление кожуха печи из стальных листов с помощью сварки осуществляется менее чем за два месяца. Выполнение такого кожуха с помощью клепки требует не менее полугода.

3. Возможность изготовления сварных изделий сложной формы из штампованных элементов взаменковки или литья. Такие конструкции называются штамповар-

ными и широко применяются в автомобилестроении, самолетостроении, вагоностроении. С помощью сварки можно изготавливать детали из металла, прошедшего различную предварительную обработку, например сваривать прокатанные профили со штампованными, литыми или коваными заготовками. Можно сваривать и разнородные металлы: нержавеющие стали с углеродистыми, медь со сталью и др.

4. Возможность широкого использования сварки и резки при ремонте, где эти способы обработки металла позволяют быстро и с наименьшими затратами восстанавливать изношенное или вышедшее из строя оборудование и разрушенные сооружения.

5. Удешевление технологического оборудования, так как отпадает необходимость в использовании дорогих сверлильных, дыропробивных станков и клепальных машин.

6. Герметичность получаемых сварных соединений.

7. Уменьшение производственного шума и улучшение условий труда рабочих.

Сваркой можно получить сварное соединение прочностью выше основного металла. Поэтому сварку широко применяют при изготовлении весьма ответственных конструкций, работающих при высоких давлениях и температурах, а также при динамических (ударных) нагрузках — паровых котлов высокого давления, мостов, самолетов, гидросооружений, арматуры железобетонных конструкций и др.

§ 3. Классификация способов сварки

Все способы сварки можно разделить на две основные группы (рис. 2). Если в месте соединения металлические части нагреваются до пластичного или оплавленного состояния и затем сдавливаются внешним усилием, в результате чего свариваются, то такой способ относится к сварке с применением давления.

Если сварка происходит без приложения давления, только нагреванием металла в месте сварки сосредоточенным источником тепла (дугой, пламенем горелки) до расплавленного состояния с образованием сварочной ванны, то такой способ относится к сварке плавлением.

Разработаны также механические способы сварки, которые не требуют затраты химической или электрической энергии для нагревания металла. К ним относятся холодная сварка, осуществляемая за счет приложения очень высоких удельных давлений в месте контакта и сварки деталей, а также сварка трением, когда нагревание свариваемых стержней осуществляется в результате взаимного трения торцов свариваемых деталей. Эти способы используются, например, при сварке инструмента (сварка трением), алюминиевых проводов (холодная сварка) и в других случаях.

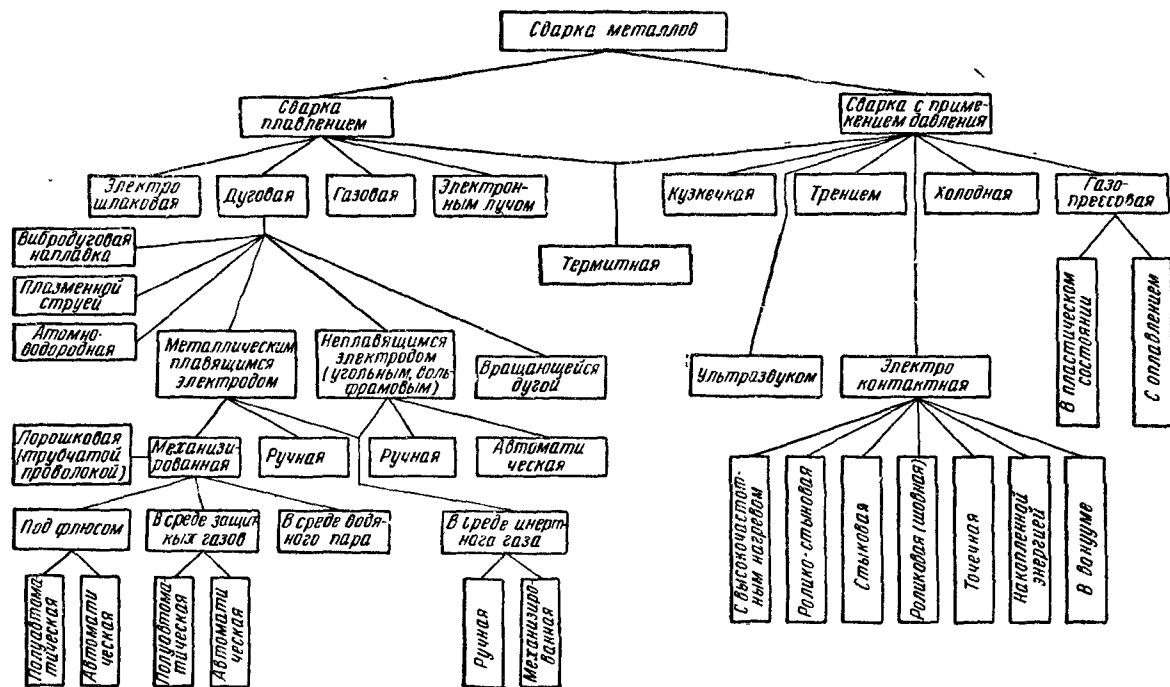


Рис. 2. Схема классификации основных способов сварки

Из новых способов, разработанных и внедряемых в производство за последние годы, следует указать на сварку ультразвуком, сварку давлением в вакууме, сварку электронным лучом в вакууме, вибродуговую наплавку, сварку с высокочастотным нагревом, сварку вращающейся дугой, сварку плазменной струей и др.

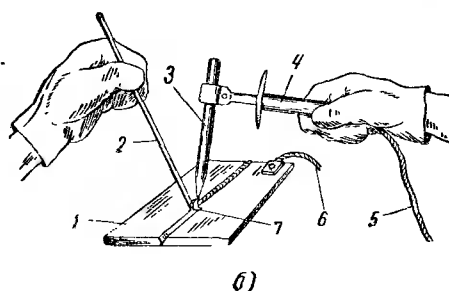
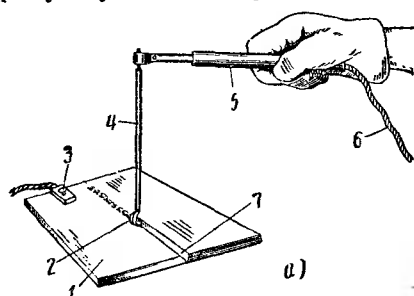


Рис. 3. Дуговая сварка:

а — металлическим электродом, б — угольным электродом

Однако эти способы сварки имеют специализированное назначение и область их применения более ограничена, чем дуговой или контактной электрической сварки; они используются, например, в приборостроении, при сварке пластмасс, сварке твердых сплавов, наплавке тонких слоев металла, сварке тугоплавких металлов и других подобных процессах. Данные об этих способах сварки можно найти в специальной литературе*.

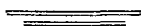
Наибольшее применение в промышленности имеют способы сварки плавлением, использующие тепло электрической сварочной дуги.

Два основных метода этого вида дуговой сварки показаны схематически на рис. 3.

При сварке листов 1 металлическим электродом по способу Н. Г. Славянова (рис. 3, а) электрод 4 и кромки 7 свариваемого металла одновременно расплавляются сварочной дугой 2, образуя жидкий металл, заполняющий промежуток между свариваемыми частями. Для повышения качества наплавляемого металла электрод покрывается специальной обмазкой, которая расплавляется и покрывает жидкий металл слоем шлака. В шлак частично удаляются из расплавленного металла вредные примеси, кислород и др., а также шлак защищает металл от вредного влияния кислорода и азота окружающего воздуха. Ток к электроду подводится через электрододержатель 3 по гибкому проводу 5, а к свариваемому металлу — по второму проводу через зажим 3. Этот способ наиболее широко применяется при дуговой сварке на постоянном и переменном токе.

* В. С. Черняк и К. П. Вощанов. Справочник молодого сварщика. Профтехиздат, 1961.

При сварке листов 1 угольным электродом по способу Н. Н. Бенардоса (рис. 3, б) электрод 3 не плавится. Заполнение шва производится расплавлением металлического прутка 2, вводимого в сварочную дугу 7. Ток к электроду подводится по проводу 5 через электрододержатель 4. Второй провод 6 с помощью зажима присоединен к свариваемому металлу. Способ этот используют реже, так как он менее удобен, требует применения постоянного тока и не всегда дает нужное качество металла шва при сварке стали. Данный способ используется преимущественно при сварке меди, алюминия, наплавке твердых сплавов, а иногда при сварке тонколистовой стали.



ГЛАВА II

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ТИПОВОМ ОБОРУДОВАНИИ ДЛЯ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ И ЕГО ОБСЛУЖИВАНИИ

§ 1. Электросварочный пост ручной сварки

Общий вид рабочего места сварщика при ручной дуговой сварке постоянным током схематически показан на рис. 4, а. От сети 1 переменный ток напряжением 220 или 380 в подается через рубильник 2 и предохранители к электродвигателю 3, который вращает якорь генератора, вырабатывающего постоянный сварочный ток напряжением 25—40 в. Электродвигатель и сварочный генератор, установленные на тележке, образуют общий агрегат, называемый сварочным преобразователем.

Ток от сварочного генератора по гибким проводам 4 и 5 подводится к электрододержателю 7 и свариваемому изделию 6. Электрододержатель служит для подвода тока непосредственно к электроду. Во время сварки в левой руке сварщик должен держать щиток 8, защищающий лицо и глаза от вредного действия лучей сварочной дуги. Вместо щитка часто применяют шлем, тогда левая рука сварщика остается свободной. Свариваемую деталь, если она невелика, кладут на металлический сварочный стол 9, к которому присоединяют второй провод от сварочного генератора. При возбуждении дуги лежащее на металлическом столе свариваемое изделие оказывается включенным в цепь сварочного тока.

На рис. 4, б изображена схема поста для дуговой сварки переменным током. В этом случае вместо сварочного преобразователя используются сварочным трансформатором 3, который понижает напряжение подводимого от сети переменного тока с 220 или 380 в до напряжения 60—65 в, требуемого для возбуждения дуги при сварке.

Переменный ток от сети 1 по проводам 2 подводится к сварочному трансформатору через рубильник и предохранители. Трансформатор снабжается регулятором 4 (дросселем) для плавного изменения сварочного тока в соответствии с толщиной свариваемого металла и создания падающей внешней характеристики.

Регулятор имеет реактивную обмотку, создающую дополнительное индуктивное сопротивление, благодаря которому напряжение в сварочной цепи, питаемой от вторичной обмотки трансформатора, понижается до величины, необходимой для устойчивого горения дуги при заданном токе. В момент коротких замыканий сварочной цепи концом электрода или каплями расплавленного металла реактив-

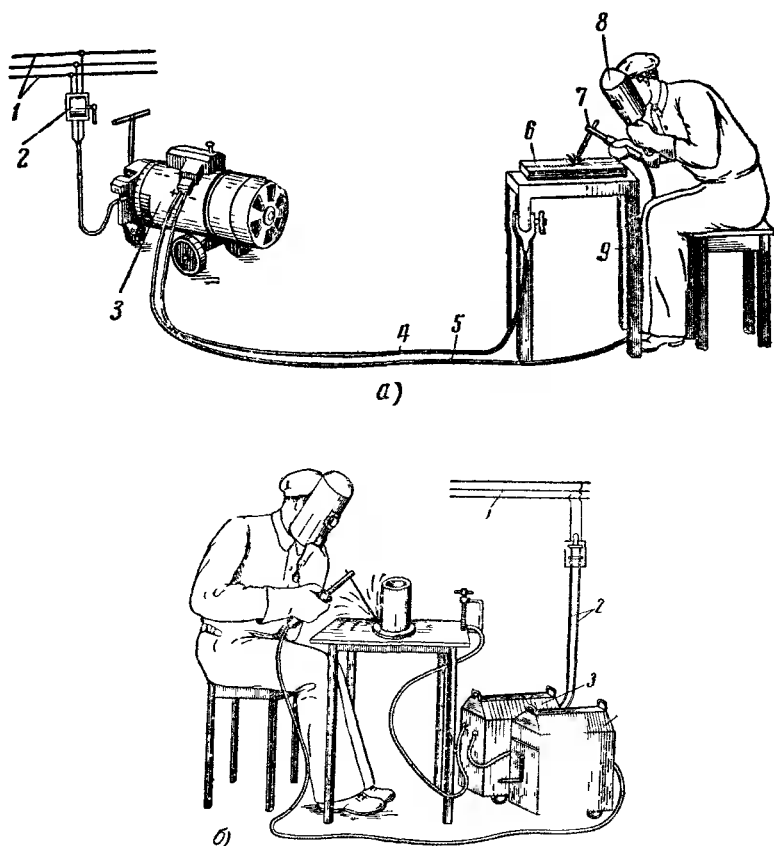


Рис. 4. Сварочные посты для ручной дуговой сварки:
а — постоянным током, б — переменным током

ная обмотка целиком поглощает вторичное напряжение сварочного трансформатора. Реактивная обмотка используется для регулирования сварочного тока. Изменяя величину воздушного зазора в магнитопроводе реактивной обмотки, можно изменять величину создаваемого ею индуктивного сопротивления, а следовательно, и величину сварочного тока в цепи.

§ 2. Понятие об устройстве сварочного преобразователя

Сварочный преобразователь (рис. 5) служит для преобразования переменного электрического тока в постоянный ток, используемый для питания сварочной дуги. Преобразователь состоит из генератора тока и электродвигателя. В корпусе 1 генератора расположены подшипники, в которых вращается вал с насаженным на нем якорем (ротором) 3 и коллектором 5. Якорь набран из тонких пластин электротехнической стали и снабжен продольными лазами, в которых уложены изолированные витки обмотки. Со стороны коллектора 5 концы обмотки якоря выведены наружу и припаяны к соответствующим пластинам коллектора. Магнитный поток в генераторе создается между полюсами электромагнита, укрепленного в корпусе. Чтобы собрать магнитный поток в один пучок в том месте, где его пересекают витки обмотки якоря, на полюса магнита насаживаются железные башмаки 7. На полюсах магнита расположены катушки с обмотками из изолированной проволоки, включенными в электрическую цепь генератора. При прохождении тока по обмотке, называемой обмоткой возбуждения, между полюсами возникает магнитный поток, возбуждающий ток в витках обмотки якоря. Этот ток поступает во внешнюю цепь 8 через пластины коллектора 5 и прилегающие к ним щетки 4. К щеткам подключены две цепи: внешняя электрическая цепь и цепь обмоток возбуждения. Генераторы, в которых питание обмоток возбуждения током происходит от якоря самого генератора, называются генераторами с самовозбуждением и чаще всего применяются на практике.

Якорь генератора вращается каким-либо двигателем — электрическим, или двигателем внутреннего сгорания. Обычно в сварочных преобразователях используются электрические двигатели переменного тока, работающие от заводской сети. В преобразователе, изображенном на рис. 5, якорь электродвигателя размещен в общем корпусе, на одном валу с якорем генератора.

В настоящее время электропромышленностью разработаны конструкции аппаратов для преобразования переменного тока в постоянный, работающих с использованием полупроводниковых — селеновых или германиевых выпрямителей.

§ 3. Включение, регулирование и выключение сварочного преобразователя

Для пуска в ход сварочного преобразователя необходимо включить электродвигатель, приводящий во вращение якорь генератора. Перед включением сварщик должен:

1) проверить надежность всех контактов в местах соединения проводов сварочной цепи;

2) осмотреть щетки и коллектор генератора, убедиться в их чистоте и исправности,

3) поставить рукоятку 6 (см. рис 5), с помощью которой перемещаются щетки по коллектору при грубом регулировании тока, в то положение, которое будет соответствовать требуемому сварочному току;

4) повернуть до отказа против часовой стрелки маховичок 2 (см. рис. 5) реостата для более точного регулирования сварочного тока,

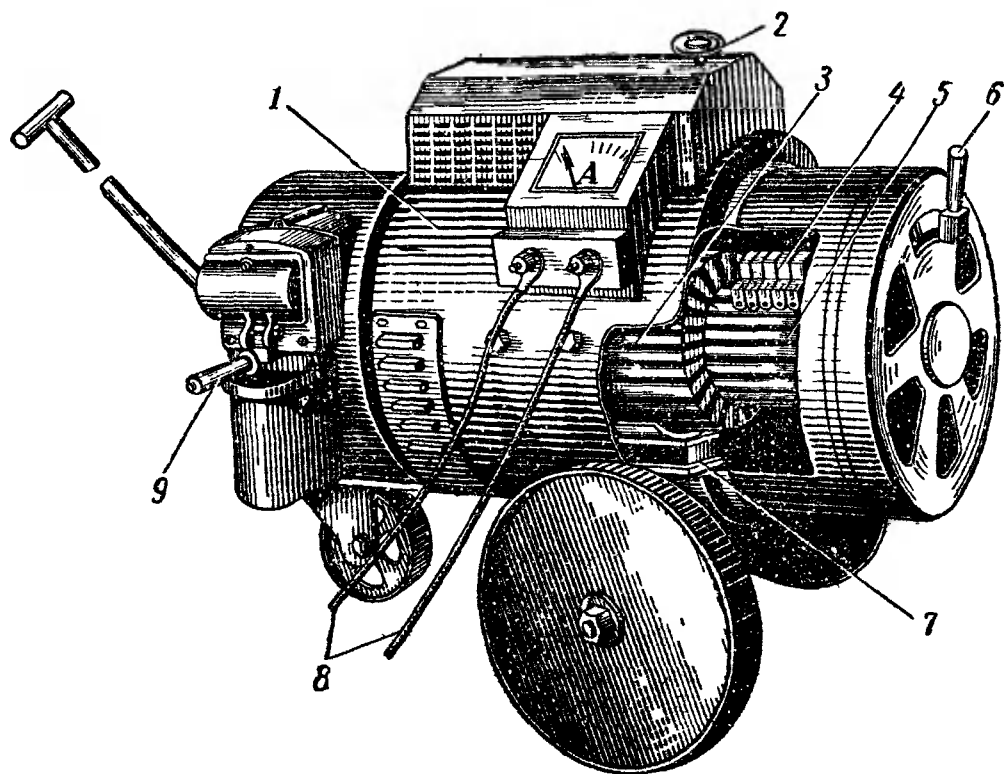


Рис 5 Сварочный преобразователь СУГ-26

5) надежно присоединить сварочный провод к свариваемому предмету или сварочному столу, а второй — к электрододержателю в соответствии с требуемой полярностью тока при сварке данного металла или маркой применяемого электрода,

6) убедиться в том, что сварочная цепь разомкнута, т. е. присоединенный к проводу электрододержатель не касается сварочного стола или свариваемой детали;

7) проверить, надежно ли заземлен корпус преобразователя.

После выполнения перечисленных выше операций можно пускать электродвигатель сварочного преобразователя. Пуск электродвигателя производится включением пускового рубильника. Перед включением рубильника нужно ручку 9 (см. рис. 5) поставить в положение против знака λ (звезда). Когда якорь двигателя получит нормальное число оборотов, ручку ставят в положение против знака Δ (треугольник). Некоторые электродвигатели не имеют специальной рукоятки для переключения их обмоток со звезды на треугольник при пуске и включаются одним рубильником.

Регулируется сварочный ток поворотом маховичка, около которого на корпусе реостата обычно располагается шкала, имеющая деления, соответствующие току в амперах. При наличии у сварочной машины амперметра шкалу не устанавливают.

Выключение преобразователя производится рубильником. Перед выключением сварка должна быть прекращена и сварочная цепь (электрод — свариваемый металл) разомкнута.

§ 4. Понятие об устройстве сварочного трансформатора и регулятора (дресселя)

Сварочные трансформаторы применяют при сварке переменным током для понижения напряжения заводской сети с 220—380 в до 60—65 в, необходимого для возбуждения сварочной дуги.

Изменение величины сварочного тока осуществляется регулятором (дресселем). Трансформатор и регулятор могут быть сделаны в виде отдельных аппаратов или объединены в одном корпусе и иметь обмотки на общем сердечнике.

При помощи трансформатора можно понижать напряжение и повышать его, пропуская первичный ток по соответствующей обмотке. Трансформатор, от которого получают ток низкого напряжения, называется понижающим. Трансформатор, позволяющий получать ток высокого напряжения, называется повышающим. Сварочные трансформаторы являются понижающими.

Основой трансформатора (рис. 6, а) является замкнутый сердечник 1, набранный из большого количества одинаковых пластин, отштампованных из тонкой (0,5 мм) листовой трансформаторной (электротехнической) стали и стянутых шпильками; на сердечнике помещены обмотки 2 и 3, имеющие различное число витков. Если по обмотке 2 с большим числом витков пропускать переменный ток, то он будет намагничивать сердечник 1, создавая в нем переменный магнитный поток. Этот магнитный поток воздействует на витки второй обмотки 3, вследствие чего в ней появляется индуктированный переменный ток, но другого напряжения, величина которого зависит от числа витков в обмотке 3. Чем больше витков имеет обмотка 3, тем выше напряжение индуктируемого в ней

тока, и наоборот. Так как обмотка 3 сварочного трансформатора имеет меньше витков, чем обмотка 2, то возникающий в обмотке 3 ток будет иметь меньшее напряжение, но большую величину.

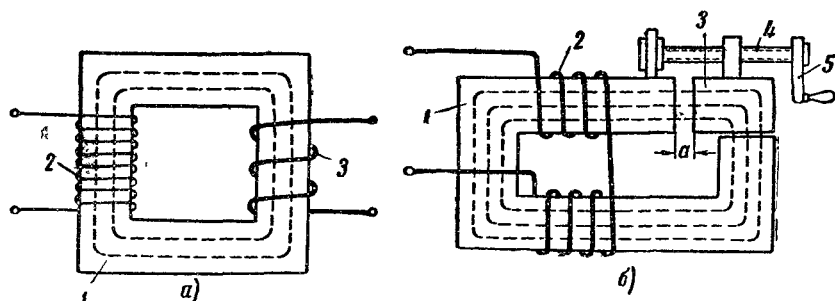


Рис. 6. Схемы трансформатора (а) и отдельного регулятора-дресселя (б)

Обмотка 2, в которую поступает ток из сети, называется п е р в и ч н о й, а обмотка 3, от которой ток отводится в сварочную цепь, — в т о р и ч н о й. На рис. 6, а путь магнитного потока в сердечнике показан пунктирными линиями. Для получения более компактной конструкции трансформатора катушки его первичной и вторичной обмоток обычно помещаются на обоих стержнях сердечника. Первичная обмотка делается двухслойной, из медного изолированного провода прямоугольного профиля и располагается поверх вторичной обмотки. Вторичная обмотка — однослойная, имеет большее сечение и выполнена из голого медного провода прямоугольного профиля.

На рис. 6, б показана схема отдельного регулятора. Регулятор имеет наборный сердечник 1 с обмоткой 2, включаемой последовательно в сварочную цепь. Сердечник имеет подвижную часть 3, которую можно перемещать вправо или влево с помощью винта 4, вращаемого рукояткой 5. При этом воздушный промежуток а между неподвижной и подвижной частями сердечника будет увеличиваться или уменьшаться. Когда по обмотке 2 проходит переменный ток, в сердечнике возникает переменный магнитный поток, линии которого условно показаны пунктиром на рис. 6, б. Этот поток будет тем меньше, чем больше величина воздушного промежутка а, так как последний создает значительное сопротивление для прохождения магнитного потока по сердечнику. Магнитный поток, пересекая витки обмотки регулятора, в свою очередь индуцирует в них электродвижущую силу, направленную против движения тока в обмотке, образуя дополнительное сопротивление прохождению тока в сварочной цепи. Это дополнительное

сопротивление называют и н д у к т и в н ы м; оно будет тем выше, чем меньше промежуток a . Следовательно, уменьшая величину воздушного промежутка a , мы увеличиваем индуктивное сопротивление в сварочной цепи и тем самым уменьшаем сварочный ток. Наоборот, при увеличении воздушного промежутка a магнитный поток уменьшается, что уменьшает индуктивное сопротивление, вследствие чего сварочный ток возрастает. Обмотка регулятора выполнена из голого медного провода прямоугольного сечения.

Существуют различные конструкции сварочных трансформаторов, описание устройства которых дано в главе XVIII.

§ 5. Включение, регулирование и выключение сварочного трансформатора

Перед началом сварки необходимо проверить правильность и плотность присоединения наконечников проводов к зажимам контактов трансформатора и регулятора.

На одной торцевой стенке кожуха трансформатора имеются клеммы первичной обмотки, около которых нанесены цифры 220 и 380, обозначающие напряжение в вольтах. К этим клеммам присоединяются провода, соединяющие трансформатор с заводской электросетью через двухполюсный рубильник и предохранители. Если напряжение в сети 220 в, то провода присоединяются к клеммам с обозначением 220, а если 380 в, то — к клеммам с обозначением 380.

На противоположной стенке кожуха расположены две другие клеммы большего сечения, к которым присоединены концы вторичной обмотки. К одной клемме присоединяется сварочный провод, идущий от трансформатора к свариваемой детали, а ко второй — провод, идущий к регулятору, также имеющему две клеммы на торцевой стенке кожуха. К одной из этих клемм присоединяется провод от трансформатора, а к другой — провод к электрододержателю. Схема соединения трансформатора и регулятора показана на рис. 7.

Перед включением рубильника на стороне высокого напряжения трансформатора сварщик обязан:

- 1) осмотреть трансформатор и регулятор, очистить их от пыли и грязи;

- 2) проверить плотность всех мест присоединения проводов к клеммам, очистить их от пыли и других загрязнений;

- 3) заземлить кожух трансформатора, для чего нужно присоединить заземляющий провод к специальному болту с надписью «земля», имеющемуся внизу на боковой продольной стенке кожуха трансформатора. Регулятор заземлять не требуется.

После выполнения указанных выше операций можно включить рубильник, подводящий ток к трансформатору.

Регулирование сварочного тока в соответствии с диаметром электрода и толщиной свариваемого металла производится рукояткой 7 регулятора (рис. 7). Вращая рукоятку слева направо (по часовой стрелке), увеличиваем сварочный ток. Вращая ее справа налево (против часовой стрелки), уменьшаем сварочный ток. Примерная величина сварочного тока указывается стрелкой 8, находящейся на дросселе. Для точного определения величины тока пользуются амперметром.

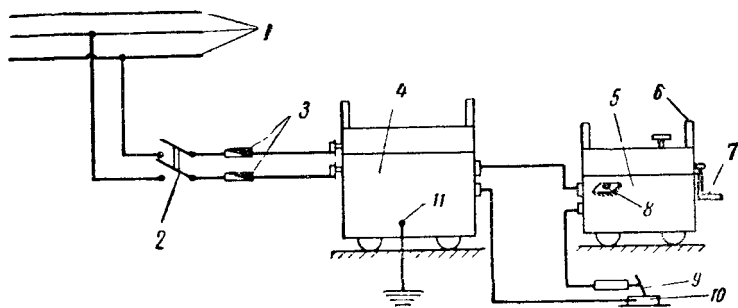


Рис. 7. Схема соединения сварочного трансформатора и регулятора:

1 — заводская сеть, 2 — рубильник, 3 — предохранители, 4 — трансформатор сварочный, 5 — регулятор тока (дроссель), 6 — ручка, 7 — рукоятка регулятора, 8 — указатель сварочного тока, 9 — электрод, 10 — свариваемое изделие, 11 — болт заземления

Для выключения сварочного трансформатора нужно разомкнуть цепь (электрод — изделие) и выключить рубильник 2.

§ 6. Принадлежности и инструмент сварщика

Электрододержатели применяются при ручной дуговой сварке для зажима электрода и подвода к нему тока. Конструкция электрододержателя позволяет быстро заменить электрод без прикосновения к токоведущим частям и дает наименьшую длину остающегося огарка.

Электрододержатель должен быть легким, удобным в обращении, не стеснять движений и не утомлять руку сварщика. На смену электрода должно затрачиваться минимальное время.

Для зажатия электрода в электрододержателях применяются различные устройства: специальные пружины, плоские пружинящие губки, устройства вилочного типа (пружинящие стержни), винтовые зажимы, зажимные устройства типа клещей и др. Способ закрепления конца кабеля в электрододержателе должен быть простым, надежным и обеспечивать хороший контакт в месте зажима кабеля. Наилучшим является способ зажатия конца кабеля специаль-

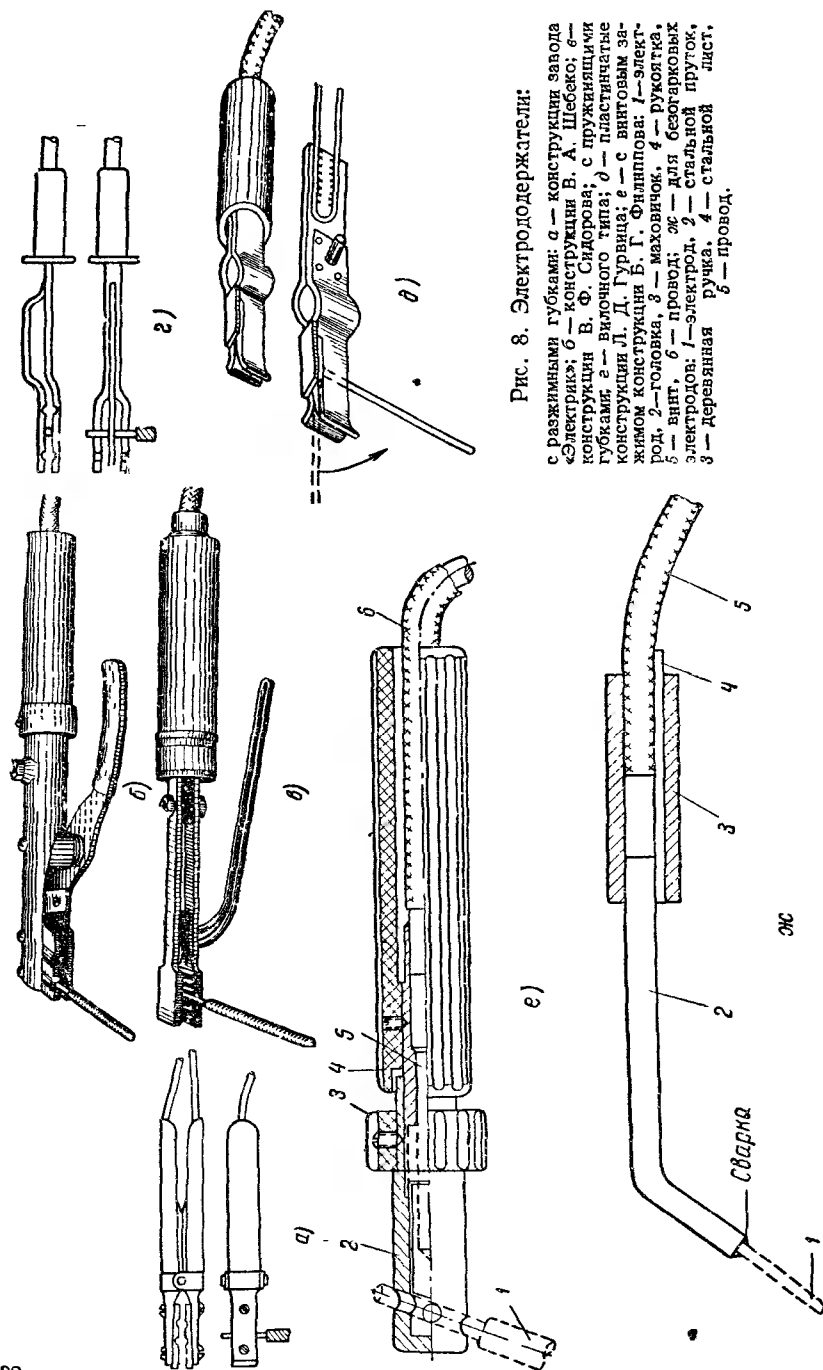


Рис. 8. Электрододержатели:

с разжимными губками: а — конструкция завода «Электрик»; б — конструкция В. А. Шебеко; в — конструкция В. Ф. Сидорова; г — с пружинами губками; д — вилочного типа; е — пластинчатые конструкции Л. Д. Гурвича; ж — с винтовым зажимом конструкции Б. Г. Фидиппова; 1 — электрод, 2 — головка, 3 — маховичок, 4 — рукоятка, 5 — винт, 6 — провод; жс — для безогарковых электродов; 1 — электрод, 2 — для стальной прутков, 3 — деревянная ручка, 4 — стальной лист, 5 — провод, 6 — провод.

ным конусом. Контактные губки электрододержателя, между которыми зажимается электрод, выполнены из меди.

Наилучшими являются электрододержатели с плоскими губками, в которых зажатие электрода обеспечивается упругостью самих губок или усилием специальной пружины. Электрододержатели с винтовым зажимом менее пригодны: они быстро выходят из строя вследствие нагрева и заклинивания винтового устройства. Ручка электрододержателя должна иметь надежную электроизоляцию из резины или пластмассы.

В зависимости от величины сварочного тока электрододержатели делятся на две группы: нормальные для тока до 350 а и усиленные для тока до 500 а. Для обеспечения безопасности работ применяются также электрододержатели с устройством для выключения напряжения во время смены электрода. На рис. 8 показаны некоторые конструкции электрододержателей.

В электрододержателе с винтовым зажимом конструкции Б. Г. Филиппова (рис. 8, е) электрод 1 вставляется в медную головку 2 и с помощью текстолитового маховичка 3 и рукоятки 4 зажимается винтом 5, в который впаян провод 6.

В электрододержателе для безогарковых электродов (рис. 8, ж) конец электрода приваривается в стык к торцу стержня электрододержателя. Электрод расплавляется полностью. Этот способ снижает расход электродов на 15—20%. Для приварки электродов сварщик должен пользоваться дополнительным несложным приспособлением — кассетой.

Щитки и шлемы (рис. 9) служат для защиты лица сварщика от лучей сварочной дуги и брызг расплавленного металла. Они изготавливаются из фибры черного матового цвета. В щиток вставляется специальное темное защитное стекло — светофильтр. Нельзя пользоваться случайными цветными стеклами, так как они не могут хорошо защитить глаза от невидимых лучей сварочной дуги, вызывающих хроническое заболевание глаз.

Защитные стекла (светофильтры) для электросварщиков имеют различную прозрачность. Согласно ГОСТ 9497—60 при электро-сварке рекомендуется применять следующие защитные стекла:

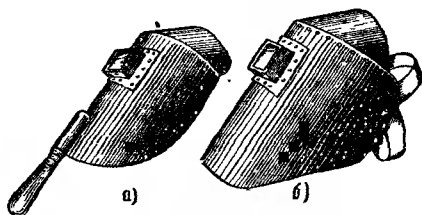


Рис. 9. Устройства для защиты лица сварщика:

а — щиток, б — шлем

при сварочном токе от 30 до 75 а	Э-1
» » » от 75 до 200 а	Э-2
» » » от 200 до 400 а	Э-3
» » » свыше 400 а	Э-4

Снаружи стекло для защиты от брызг металла прикрыто обычным прозрачным стеклом, которое нужно два-три раза в месяц заменять новым, так как оно портится от брызг металла. Вес щитка или шлема не должен превышать 0,6 кг.

Одежда сварщика должна быть сшита из плотной и трудно загорающейся ткани — брезента, асбестовой ткани и других материалов. При работе сварщик пользуется брезентовыми рукавицами. В резиновых одежде, обуви и перчатках работать нельзя, так как они легко прожигаются брызгами расплавленного металла. Одежда и обувь не должны иметь складок, открытых карманов, обшлагов, куда могут попадать капли расплавленного металла. Брюки должны быть выпущены наружу, а не заправлены в сапоги.

Прочий инструмент сварщика. Сюда относятся винтовые зажимы типа струбцин, в которые конец провода впаивается на твердом припое. Зажимы должны обеспечивать плотный контакт со свариваемым изделием.

Для зачистки швов и удаления шлака используют проволочные щетки — ручные и с электроприводом.

Для клеймения швов и обрубки шлака служат клейма, зубила и молотки.

При выполнении монтажных работ для хранения электродов применяют брезентовые сумки длиной 300 мм, подвешиваемые к поясу. В цеховых условиях для этой цели пользуются стаканами, изготовленными из отрезка трубы диаметром 50—75 мм, длиной 300 мм, с приваренным к нему донышком-подставкой.

Сварочные провода служат для подвода тока от сварочной машины или трансформатора к электрододержателю и свариваемому изделию. Электрододержатели снабжаются гибким изолированным проводом ПРГ или ПРГН, сплетенным из большого количества медных, отожженных и облуженных проволок диаметром 0,18—0,2 мм.

В зависимости от тока берется следующее сечение сварочных проводов:

Ток, а	200	300	400	500
Сечение сварочного провода, мм ² :				
одинарного	25	50	70	95
двойного	2×16	2×25	2×35	

Применять провод длиной более 30 м не рекомендуется, так как это вызывает значительное падение напряжения в сварочной цепи.

ГЛАВА III

СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

§ 1. Виды сварных соединений и швов

Существуют следующие основные виды сварных соединений: стыковые, в нахлестку, тавровые, угловые, прорезные, торцовые, с накладками, электрозаклепками.

Стыковые соединения (рис. 10) являются самыми распространенными почти при всех способах сварки, так как дают наименьшие собственные напряжения и деформации при сварке (подробно о сварочных деформациях и напряжениях см. главу VIII).

Стыковые соединения в основном применяются для конструкций из листового металла. Они требуют наименьшего расхода основного и наплавленного металла и времени на сварку, могут быть выполнены равнопрочными основному металлу. Однако при выполнении стыковых соединений нужна тщательная и достаточно точная подготовка листов под сварку и пригонка их друг к другу.

При ручной дуговой сварке стальных листов толщиной 4—8 мм кромки можно обрезать под прямым углом к поверхности. В этом случае листы располагают с зазором 1—2 мм.

Без скоса кромок можно сваривать в стык листы до 3 мм при односторонней и до 8 мм при двухсторонней сварке.

Листы толщиной от 4 до 26 мм при ручной дуговой сварке соединяют в стык с односторонним скосом кромок. Этот вид подготовки кромок называется V-образным. Листы толщиной 12—40 мм и более соединяют с двухсторонним скосом кромок, называемым X-образным.

Притупление кромок делается с целью предотвратить протекание металла при сварке (прожог). Зазор между свариваемыми кромками оставляется для облегчения провара корня шва (нижних частей кромок). Большое значение для качества сварки имеет сохранение равномерной ширины зазора по всей длине шва, т. е. соблюдение параллельности кромок.

Двухсторонний скос кромок (Х-образный) имеет преимущества перед односторонним (V-образным), так как при одной и той же толщине свариваемых листов объем наплавленного металла будет поч-

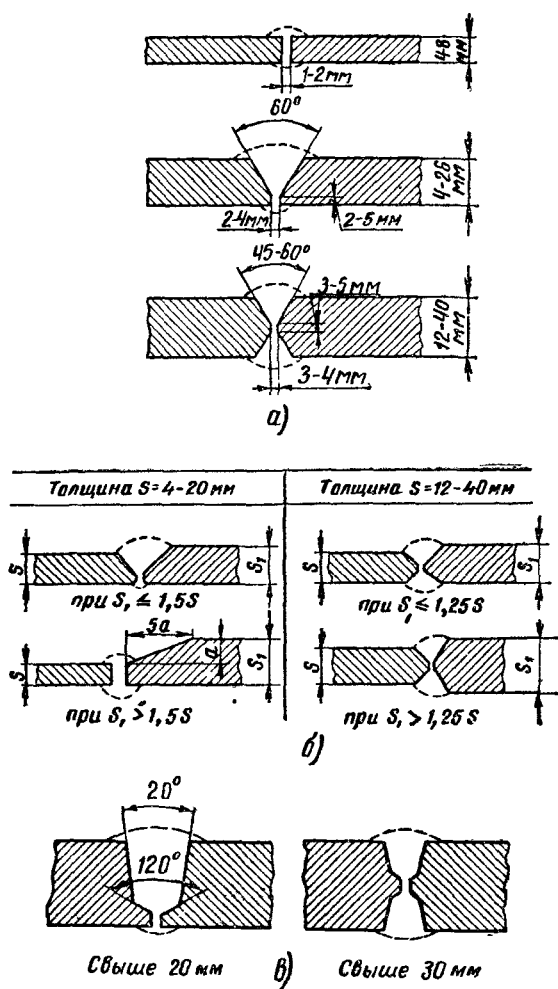


Рис. 10. Стыковые соединения:

а — листов одинаковой толщины, б — разной толщины, в — листов большей толщины при многослойной сварке

ти в два раза меньше, чем при одностороннем скосе кромок. Соответственно уменьшится расход электродов и электроэнергии при сварке. Кроме того, двухсторонний скос кромок дает меньшие коробления и остаточные напряжения при сварке, чем односторон-

ний. Поэтому листы толщиной свыше 12 мм рекомендуется соединять с Х-образным скосом кромок. Однако это не всегда осуществимо из-за конструкции и размеров изделия.

При ручной дуговой сварке стали толщиной свыше 20 мм можно угол скоса между кромками уменьшать с 60 до 45°. Зазор между притуплениями кромок должен быть равен 4 мм, что облегчает надлежащий провар их. Уменьшение угла скоса кромок приводит к сокращению объема наплавленного металла, а следовательно, к увеличению производительности сварки и экономии электродов.

Кромки листов неодинаковой толщины, соединяемых в стык, скашивают так, как это показано на рис. 10, б, причем более толстый лист скашивается в большей степени.

При соединении сталей больших толщин с целью уменьшения количества наплавленного металла прибегают в ряде случаев к чашеобразной форме подготовки кромок: для толщин от 20 до 50 мм — односторонней, а свыше — двухсторонней (рис. 10, в).

Соединения в нахлестку (рис. 11, а) находят преимущественное применение при дуговой сварке строительных конструкций из стали толщиной не более 10—12 мм. Они не требуют специальной обработки кромок, кроме их обрезки. При таком соединении рекомендуется листы сваривать с обеих сторон, так как при односторонней сварке возможно попадание влаги в щель между листами и последующее ржавление металла в этом месте.

Сборка изделия и подготовка листов при сварке в нахлестку упрощаются, однако расход основного и наплавленного металла больше, чем при сварке в стык. При роликовой и точечной контактной электросварке применяются соединения только в нахлестку.

Тавровые соединения (рис. 11, б) широко используются при дуговой сварке; выполняются без скоса кромок и со скосом кромок с одной стороны или с двух сторон. Вертикальный лист должен иметь достаточно равно обрезанную кромку. При одностороннем и двухстороннем скосе кромки вертикального листа между вертикальным и горизонтальным листами оставляется зазор в 2—3 мм для лучшего провара вертикального листа на всю толщину. Односторонний скос применяется в том случае, если конструкция изделия не позволяет произвести сварку таврового соединения с обеих сторон.

Угловые соединения применяются при сварке различно предварительно обработанных кромок листов и показаны на рис. 11, в. Свариваемые части располагаются под прямым или иным углом и свариваются по кромкам. Такие соединения применяются преимущественно при сварке резервуаров, работающих под небольшим внутренним давлением газа или жидкости. Иногда угловые соединения провариваются также и с внутренней стороны, как это показано пунктиром на рис. 11, в (слева).

Прорезные соединения (рис. 11, г) применяются, когда длина нормального шва в нахлестку не обеспечивает доста-

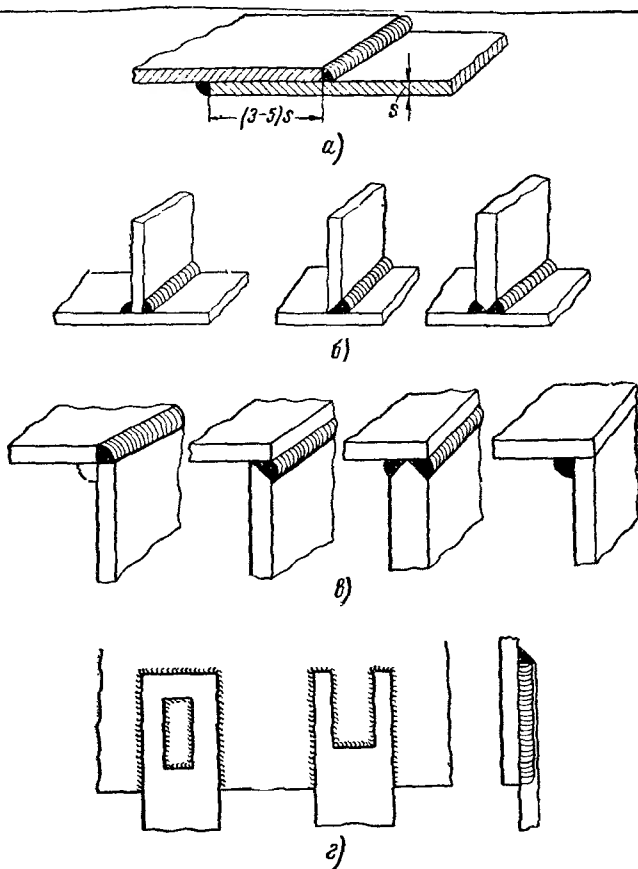


Рис. 11. Сварные соединения:

а — в нахлестку, б — тавровые, в — угловые, г — прорезные

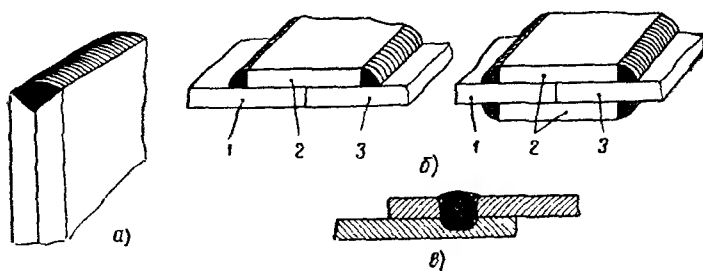


Рис 12 Сварные соединения:

а — торцовые, или боковые, б — с накладками, в — электрозаклепками

точной прочности. Прорезные соединения бывают закрытого или открытого типа. Прорезь обычно выполняется кислородной резкой.

Торцовые, или боковые, соединения показаны на рис. 12, а. Листы соединяются своими поверхностями и свариваются по смежным торцам.

Соединения с накладками показаны на рис. 12, б. Накладка 2, перекрывая стык листов 1 и 3, приваривается по боковым кромкам к поверхности листов. Эти соединения требуют дополнительного расхода металла на накладки и поэтому применяются только в тех случаях, когда они по каким-либо причинам не могут быть заменены стыковыми или нахлесточными соединениями.

Соединение электрозаклепками показано на рис. 12, в. С помощью электрозаклепок получают прочные, но не плотные соединения. Верхний лист просверливается и отверстие заваривается так, чтобы был захвачен нижний лист. При автоматической сварке под флюсом верхний лист, если его толщина невелика, предварительно не просверливается и он проплавляется сварочной дугой.

Описанные соединения являются типовыми для ручной дуговой сварки стали. При газовой сварке, сварке под флюсом, сварке легкоплавких цветных металлов и в других случаях формы кромок могут быть иными. Соответствующие сведения о них будут даны в последующих главах при описании этих способов сварки.

Сварные швы делятся на следующие группы:

1. По положению в пространстве — **нижние, горизонтальные, вертикальные и потолочные** (рис. 13, а). Наиболее простым для выполнения является нижний шов, а наиболее трудным — потолочный. Потолочные швы могут выполнять сварщики, специально освоившие этот вид сварки. Выполнять потолочные швы дуговой сваркой труднее, чем газовой. Сварка горизонтальных и вертикальных швов на вертикальной поверхности несколько сложнее, чем сварка нижних швов.

2. По отношению к действующим усилиям — **фланговые, торцовые, или лобовые, комбинированные и косые** (рис. 13, б).

3. По протяженности — **непрерывные, или сплошные, и прерывистые** (рис. 13, в). Прерывистые швы применяются в тех случаях, когда соединение не должно быть плотным, а по расчету на прочность не требуется сплошного шва.

Для прерывистого шва длина отдельных участков его (l) составляет от 50 до 150 мм; расстояние между участками шва обычно в 1,5—2,5 раза больше длины участка; величина l называется **шагом шва**. Прерывистые швы применяют довольно широко, так как они дают экономию наплавленного металла, стоимости и времени сварки.

4. По степени выпуклости — **нормальные, выпуклые и вогнутые** (рис. 13, г). Выпуклость шва a' зависит от типа

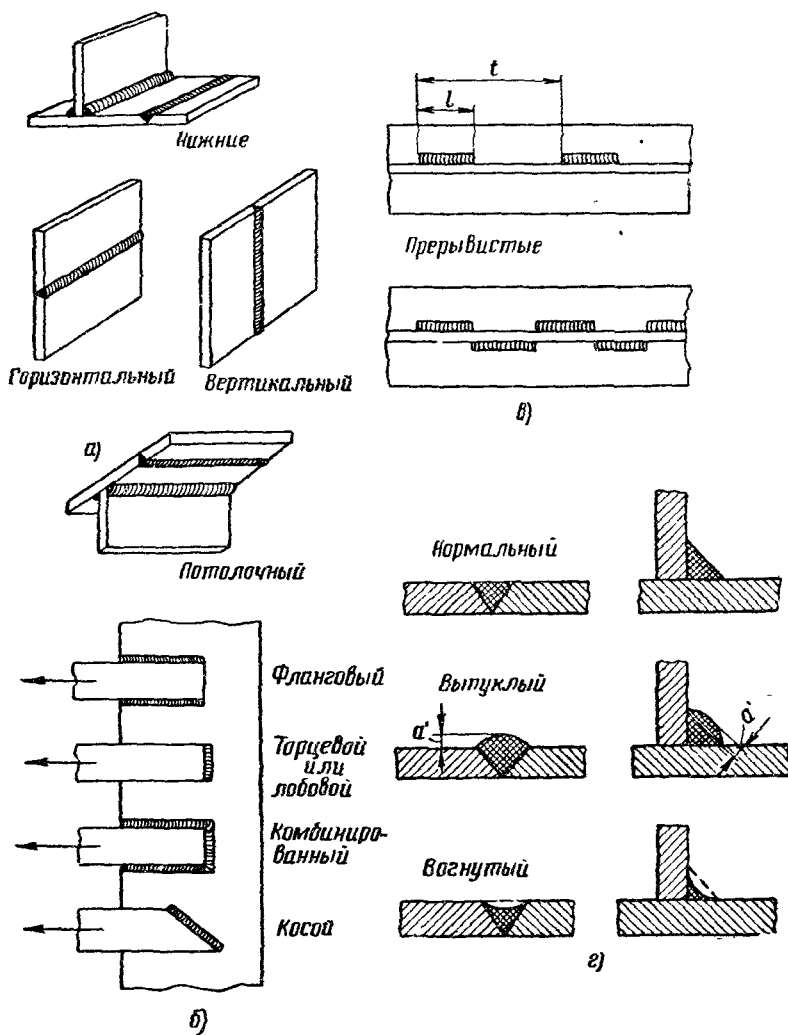


Рис. 13. Классификация швов:

a — по положению в пространстве, b — по отношению к действующему усилию,
 $в$ — по протяженности, $г$ — по степени выпуклости поверхности шва

применяемых электродов: тонкопокрытые электроды дают шов с большой выпуклостью; при толстопокрытых электродах вследствие большей жидкотекучести расплавленного металла обычно получаются нормальные швы.

Исследования показали, что швы с большой выпуклостью не увеличивают прочность шва, особенно если сварное соединение подвергается переменным нагрузкам и вибрациям. Это объясняется тем, что при швах с большой выпуклостью нельзя получить плавного перехода от валика шва к основному металлу и в этом месте образуется нечто вроде «подреза» кромки шва, где происходит значительная концентрация напряжений. Поэтому при действии переменных, ударных или вибрационных нагрузок с этого места может начаться разрушение сварного соединения. Швы с большой выпуклостью неэкономичны, так как на их выполнение расходуется больше электродов, времени и электроэнергии.

5. По типу соединения — стыковые и угловые (валиковые). Угловые швы применяются при соединениях в нахлестку, впритык, угловых соединениях и соединениях с накладками. Сторона к углового шва (рис. 14) является катетом. Заштрихованная площадь $ABГ$ характеризует степень выпуклости шва по сравнению с нормальным и не принимается в расчет при определении прочности сварного соединения. Угловые швы выполняются так, чтобы их катеты были равны, т. е. $OB = OG = \kappa$. Угол между сторонами OG и $BГ$ равен 45° .

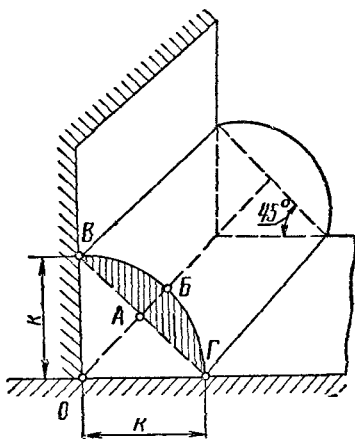


Рис. 14. Угловой (валиковый) шов

§ 2. Обозначение сварных швов на чертежах

Сварные швы на чертежах указываются с помощью графических условных обозначений. Согласно ГОСТ 5263—56 графическое обозначение шва состоит из следующих элементов: индекса вида сварки, условного графического знака типа шва, дополнительных знаков и размеров элементов шва.

В качестве индексов для обозначения видов сварки применяются следующие буквы: Э — электродуговая, Г — газовая, З — в среде защитных газов и Кт — контактная.

На чертеже сварной шов указывается наклонной выносной линией с горизонтальным участком. Выносная линия заканчивается односторонней стрелкой (рис. 15). Графическое обозначение видимого шва сварного соединения проставляется над горизонтальным участком, а невидимого — под горизонтальным участком выносной линии. Если стрелка обозначает шов, не предусмотренный ГОСТ

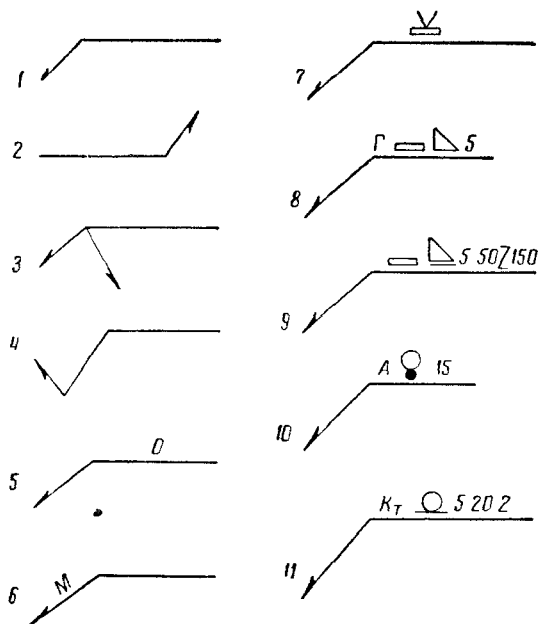


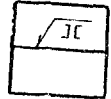
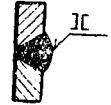
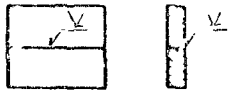
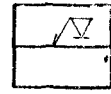
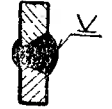
Рис. 15. Стрелки, обозначающие различные швы:

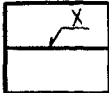
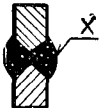
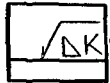
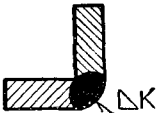
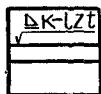
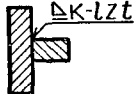
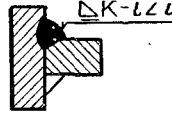
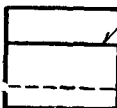
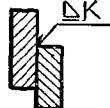
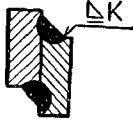
1, 2 — одинарные стрелки, 3 — двойная стрелка, 4 — стрелка с ломаной выносной линией, 5 — стрелка, отмечающая особый шов, 6 — стрелка, отмечающая монтажный шов, 7 — V-образный односторонний шов с подкладкой и скосом двух кромок, выполненный дуговой сваркой, 8 — односторонний шов без скоса кромок с катетом 5 мм, выполненный по периметру газовой сваркой, 9 — шахматный шов без скоса кромок с катетом 5 мм при длине провариваемого участка 50 мм и шаге 150 мм, выполненный дуговой сваркой, 10 — односторонний шов, выполненный автоматической сваркой проплавлением при ширине проплавления 15 мм, 11 — двухрядный односторонний точечный шов при диаметре точки 5 мм и шаге 20 мм, выполненный контактной сваркой

5263—56, то перед обозначением шва ставится буква О (особый). Монтажные швы обозначаются буквой М, проставляемой над наклонным участком выносной линии.

В табл. 1 приведены принятые в ГОСТ 5263—56 условные знаки и примеры изображений на чертежах некоторых сварных швов.

Примеры условных обозначений некоторых швов сварных соединений
(по ГОСТ 5263 — 56)

Типы швов	Графическое обозначение швов на чертежах		
	Вид сварного шва в плане и разрезе при толщине изображения детали на чертеже до 5 мм		Вид сварного шва в разрезе при толщине изображения детали на чертеже свыше 5 мм
	видимые	невидимые	
Стыковые без скоса кромок, двухсторонние			
То же, односторонние			
То же, V-образные со скосом двух кромок, двухсторонние			

Типы швов	Графическое обозначение швов на чертежах		
	Вид сварного шва в плане и разрезе при толщине изображения детали на чертеже до 5 мм		Вид сварного шва в разрезе при толщине изображения детали на чертеже свыше 5 мм
	видимые	невидимые	
То же, Х-образные, симметричные со скосом двух кромок, двухсторонние	 	—	
Угловые без скоса, односторонние	 		
Тавровые без скоса, двухсторонние, шахматные	 		
В нахлестку без скоса кромок, двухсторонние	 		

Примечание Под толщиной изображений детали понимается фактическая ее толщина, вычерченная на чертеже независимо от масштаба. Швы в плане при толщине изображения детали свыше 5 мм показываются так же, как при толщине изображения детали до 5 мм. На чертежах в выносных узлах швы сварных соединений изображаются с указанием размеров конструктивных элементов. Швы в сечениях или разрезах штрихуются или заливается тушью. Швы в боковых проекциях показываются и обозначаются аналогично разрезам или сечениям, но без штриховки и заливки.

§ 3. Подготовка металла под сварку

Если металл, идущий на изготовление сварных конструкций, загрязнен или деформирован, то его нужно предварительно очистить и выправить. Очистка может производиться ручными и механическими проволочными щетками, пескоструем, пламенем специальной горелки, промывкой горячей водой или раствором щелочи, травлением в растворах различных кислот и другими способами.

Для правки металла применяются специальные станки. Например, листы выправляются пропусканием их через листопрямильные вальцы, имеющие от 5 до 11 правильных валков. Чем меньше толщина выправляемого листа, тем большее количество валков должен иметь листопрямильный станок. Уголки правят на уголопрямильных вальцах. Правка швеллерного и двутаврового профиля производится с помощью прямо-гибочных пресов. При очень малых объемах производства и отсутствии правильного оборудования иногда приходится прибегать и к ручной правке металла на правильной плите.

После правки металл подвергается разметке, при которой на нем мелом, кернами и чертилкой наносятся размеры заготовки детали, подвергаемой затем сварке. При серийном производстве однотипных изделий для разметки широко применяются шаблоны из картона, фанеры или тонколистового металла, соответствующие по своей форме и размерам заготавливаемой детали.

Режут металл на гильотинных и дисковых ножницах, дисковых пилах и прессах или ручными газокислородными резаками и машинами для газокислородной резки. Механическая резка применяется обычно для металла толщиной до 10—12 мм, а в отдельных случаях — до 25—30 мм. Более толстый металл, а также детали сложной формы, как правило, режут с помощью газокислородной резки.

Перед сваркой кромки деталей, если это является необходимым, подвергают обрезке, скосу и очистке. Скос кромок выполняется в соответствии с типом сварного соединения. Для получения ровной и чистой поверхности кромок их прострагивают на кромкострогальных станках, длина строгания на которых достигает нескольких метров.

На многих заводах громоздкие и дорогие кромкострогальные станки заменяют специальными машинами для кислородной резки, обеспечивающими чистую поверхность разреза, необходимую точность и высокую производительность резки.

Машинная кислородная резка является распространенным способом подготовки кромок листов под сварку, особенно при большой толщине свариваемого металла (деталей станин, листов, котельных барабанов и др.). Машинная кислородная резка должна применяться во всех случаях, когда это допустимо по техническим условиям на изготовление данного изделия. Для ускорения процесс резки и

скоса кромок выполняют одновременно несколькими резаками, установленными на одной машине под соответствующими углами наклона.

Нельзя сваривать детали, кромки которых покрыты ржавчиной, маслом, краской и другими загрязнениями, так как это ухудшает условия горения дуги, вызывает пористость наплавленного металла и понижает прочность сварного соединения.

От загрязнений кромки очищают проволочными щетками, наждачным камнем, пескоструем, травлением. Для механической очистки

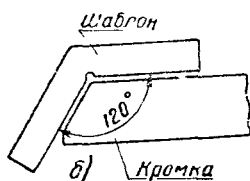
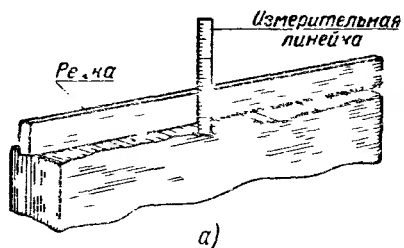


Рис 16 Проверка качества подготовки кромок под сварку

а — прямолинейности обрезки кромок,
б — угла скоса кромок

применяют ручные переносные машинки с гибким валом, на конце которого укрепляется проволочная щетка или наждачный камень. Другой конец вала соединяется с электродвигателем, смонтированным на легкой передвижной тележке.

На кромках не должно быть резцов глубиной более 1,5 мм, прямолинейность кромок должна быть проверена с помощью рейки и измерительной линейки, а углы скоса кромок — шаблонами (рис. 16)

Литые заготовки перед сваркой должны быть тщательно очищены от остатков формовочной земли, а имеющаяся на поверхности литейная корка — снята наждачным камнем в тех местах, где будут накладываться сварные швы.

При изготовлении различных резервуаров, котлов и сосудов из листового металла последний подвергается вальцовке и штамповке. Для вальцовки применяются гибочные вальцы, а для штамповки — механические и гидравлические прессы. Гибке и вальцовке может подвергаться также и профильный прокат металла — полосы, уголки, швеллеры, двутавры и трубы. В зависимости от толщины и требуемой формы заготовки вальцовка и гибка металла производятся в холодном или горячем состоянии.

§ 4. Сборка изделий под сварку

Предварительно заготовленные и подготовленные к сварке детали затем поступают на сборку отдельных узлов и изделий в целом.

Сборка является весьма ответственной операцией в общем технологическом процессе изготовления сварных конструкций. При

сборке важно обеспечивать требуемую точность пригонки и совпадения кромок свариваемых элементов.

Сварные конструкции собирают различными способами. В некоторых случаях собирают всю конструкцию, а затем ее сваривают. Но при этом цикл сварочных работ удлинится, а сварка собранной конструкции в ряде случаев бывает затруднена, так как сварщикам не всегда приходится выполнять швы в наиболее удобном для сварки положении.

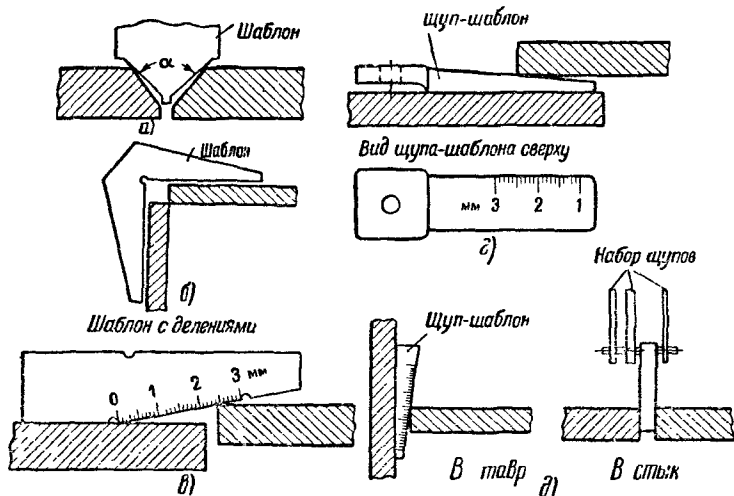


Рис. 17 Проверка качества сборки

а — угла раскрытия кромок листов, б — правильности прямого угла сборки, в — величины превышения кромок, г — зазора между листами в нахлестку, д — зазоров при соединении в тавр и в стык

Поэтому широко распространен способ сборки и сварки крупных конструкций из предварительно сваренных узлов. В этом случае процесс изготовления ускоряется и улучшается качество выполнения сварочных работ, так как сварку узлов осуществляют в приспособлениях. Данный способ применяется при изготовлении, например, судов, вагонов, цистерн и резервуаров, мостов, каркасов зданий и др.

Использование приспособлений обеспечивает точность взаимного расположения собираемых и свариваемых частей, облегчает трудоемкость сборочных работ, сокращает продолжительность процесса сборки, облегчает труд сварщика при установке, прихватке и поворотах изделия. Некоторые приспособления препятствуют короблению деталей при сварке, так как обеспечивают жесткое закрепление свариваемых частей.

Точность сборки изделий под сварку зависит от их конструкции и назначения, а также способа сварки. Обычно она указывается на чертежах и в технических условиях на изготовление изделия.

При ручной дуговой сварке металлоконструкций можно руководствоваться следующими допусками на точность сборки:

	Отклонение, мм	
	минус	плюс
Зазор между кромками листов, свариваемых в стык	до 1	до 2
Перекрытие листов при сварке в нахлестку	» 1	» 10
Превышение одной кромки над другой при толщине листов до 10 мм	—	» 1,5
То же, свыше 10 мм	—	» 2
Зазор между листами при соединении в нахлестку	—	» 1
Зазор между элементами в тавровых соединениях:		
при нестроганных кромках . . .	—	» 2
при строганных » . . .	—	» 1

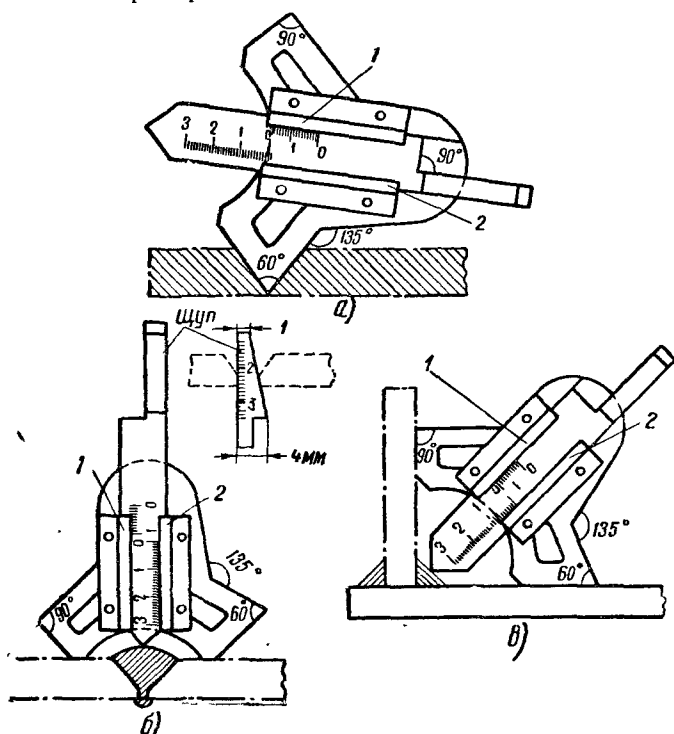


Рис. 18. Универсальный измеритель размеров швов и его применение (конструкция В. Э. Ушерева-Маршака):

а — проверка угла раскрытия стыкового шва, *б* — проверка величины выпуклости стыкового шва, *в* — проверка высоты углового шва; 1 — шкала для выпуклости стыкового шва, 2 — шкала для определения высоты углового шва

Для проверки точности сборки деталей под сварку используются шаблоны, измерительные линейки и щупы (рис. 17), а также универсальные измерители швов. Одна из конструкций такого измерителя и способы пользования им показаны на рис. 18.

При сборке необходимо учитывать возможность последующей деформации изделия под влиянием нагрева при сварке и усадке наплавленного металла. Поэтому, например, при сборке под сварку угловых швов прямой угол между деталями следует увеличивать на $2-3^\circ$, так как при усадке металла шва этот угол уменьшится.



ГЛАВА IV

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СВАРОЧНАЯ ДУГА

§ 1. Основные сведения о сварочной дуге

Сварочная дуга представляет собой длительный электрический разряд, происходящий при атмосферном давлении в газовом промежутке между двумя электродами

При всех основных и наиболее распространенных способах сварки обычно используется дуга прямого действия (рис. 19, а), горящая между электродами, из которых одним является стержень (металлический или угольный), а другим — свариваемый металл

Дуга косвенного действия (рис. 19, б) образуется между двумя электродами (угольными или вольфрамовыми), расположенными под углом друг к другу. Эта дуга менее удобна для сварки и поэтому используется только при некоторых способах сварки, например при атомно-водородной сварке применяют дугу косвенного действия, горящую в атмосфере водорода между двумя вольфрамовыми электродами.

Схема дуги прямого действия постоянного тока, горящей между металлическим электродом 1 и свариваемым металлом 4, показана на рис. 19, а. Дуга состоит из столба 3, основание которого расположено в углублении (кратере) 7, образующемся на поверхности ванны 6 расплавленного металла. Столб дуги имеет цилиндрическую или слегка коническую форму. Верхняя часть столба соприкасается с сильно раскаленной поверхностью электрода 1 в области 8, называемой к а т о д н ы м п я т н о м. Основание столба расположено на свариваемом металле и ограничивается областью 5, называемой а н о д н ы м п я т н о м. При средних значениях сварочного тока (200—300 а) диаметр анодного пятна в 1,5 — 2 раза больше диаметра катодного пятна. Катодное и анодное пятна ограничивают силовые линии тока, плотность которого в этих частях дуги велика и составляет:

при ручной сварке покрытым электродом	18—20
при сварке под флюсом	50—100
при сварке в защитной среде углекислого газа	75—300

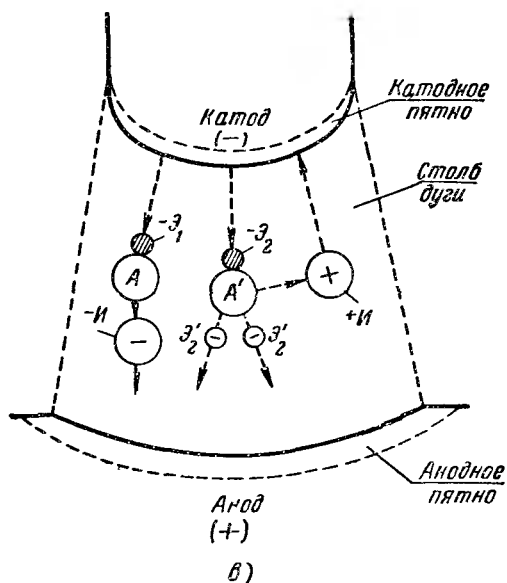
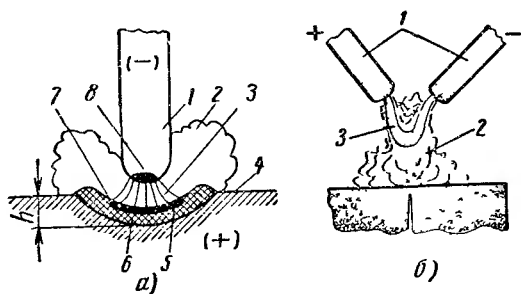


Рис. 19. Схема электрической дуги:

а — прямого действия, б — косвенного действия, 1 — электроды, 2 — факел дуги, 3 — столб дуги, 4 — свариваемый металл, 5 — анодное пятно, 6 — ванна расплавленного металла, 7 — кратер, 8 — катодное пятно, в — схема процесса объемной ионизации газа электронами — $\mathcal{E}_1$, — $\mathcal{E}_2$ — быстрые электроны, А, А' — нейтральные атомы газа, $\mathcal{E}'_1$, — $\mathcal{E}'_2$ — медленные электроны, —И — отрицательный, +И — положительный ион

Вещество столба, так называемая *п л а з м а*, состоит из раскаленных, сильно ионизированных газов. В столбе сосредоточено основное количество энергии дуги, поэтому в его осевой части расположена и зона наиболее высоких температур дуги, достигающих здесь значений от 5500 до 7800°. Чем выше плотность тока в дуге, тем выше температура ее столба. Снаружи столб окружен ореолом пламени 2 из нагретых паров и газов, имеющих более низкую температуру.

Рассмотрим условия, необходимые для возбуждения и горения дуги.

Газы и пары в обычных условиях являются электрически нейтральными веществами и почти не проводят ток. Электрический ток начинает проходить через газ только при наличии в нем частиц, несущих электрические заряды: электронов, положительных ионов, отрицательных ионов. Такой газ называется *и о н и з и р о в а н н ы м*. Чем больше количество электронов и ионов, движущихся в газе, тем выше степень ионизации и электропроводность газа. Эти электрически заряженные частицы вещества и являются переносчиками электрической энергии в среде газа.

Э л е к т р о н о м называется материальная частица, несущая один отрицательный электрический заряд. Масса электрона ничтожно мала, она в 1840 раз меньше массы атома водорода — самого легкого элемента в природе. *И о н* о м называется атом или молекула вещества, несущая только положительный (положительный ион) или отрицательный (отрицательный ион) заряды.

Рассмотрим схематически процесс ионизации газа электронами, движущимися в промежутке между электродом и металлом (рис. 19, в).

Атомы веществ состоят из положительно заряженного ядра и окружающей его оболочки из отрицательно заряженных электронов. При нормальном состоянии вещества отрицательные заряды всех электронов атома уравновешиваются положительным зарядом ядра и поэтому атом электрически нейтрален, а газ, состоящий из таких атомов и молекул, не проводит электрического тока.

Представим теперь, что с поверхности катода начинают вылетать свободные электроны (см. рис. 19, в). Это явление носит название *э м и с с и* электронов*. Под действием электрического поля в катодной зоне движение электронов сильно ускоряется. При столкновении с нейтральными атомами газа электроны, обладая большой энергией движения, выбивают из оболочки более тяжелого и поэтому менее подвижного атома один или несколько электронов.

Эти электроны уже со значительно меньшей скоростью движутся к положительно заряженному аноду под действием его электрического поля. Атом, потерявший с выбитыми из его оболочки электронами часть отрицательного электричества, становится положи-

* От французского слова «эмиссьон», что значит испускание.

тельным ионом, который устремляется к отрицательно заряженному катоду. При ударе о поверхность катода положительный ион выбивает из него электроны: часть из них он захватывает, превращаясь снова в нейтральный атом, а часть электронов через столб дуги устремляется к аноду. Отрицательные ионы образуются из нейтральных атомов при захватывании ими свободных электронов. Так как отрицательные ионы способны образовывать не все элементы, то в ионизированных газах отрицательных ионов содержится меньше, чем положительных.

Образование электрически заряженных частиц в среде газов и паров называется **объемной ионизацией**. Ионизация возникает не только при соударении электронов с молекулами и атомами газа. Ее могут вызывать также энергия светового излучения (особенно ультрафиолетовые лучи) или нагревание газов и паров до температуры 2000° . Ионизация газа под влиянием нагрева, вызывающего ускорение движения частиц газа и увеличивающего число их столкновений при высоких температурах, называется **термической ионизацией***.

В дуге происходит также образование нейтральных атомов из положительных и отрицательных ионов или из положительных ионов и электронов. Это явление носит название **рекомбинации**. Вслед-

ствие этого процессы образования и исчезновения заряженных частиц в газе при данной температуре взаимно уравниваются и степень ионизации нагретого газа остается постоянной при существующих условиях горения дуги.

Степенью ионизации называется отношение количества заряженных частиц в данном объеме к общему количеству частиц до момента ионизации. Если степень ионизации равна единице, то это означает, что все частицы газа в данном объеме имеют положительные или отрицательные электрические заряды. Чем ниже температура, при которой достигается данная степень ионизации газа или пара, тем легче в его среде возникает электрический дуговой разряд.

На рис. 20 показаны кривые зависимости степени термичес-

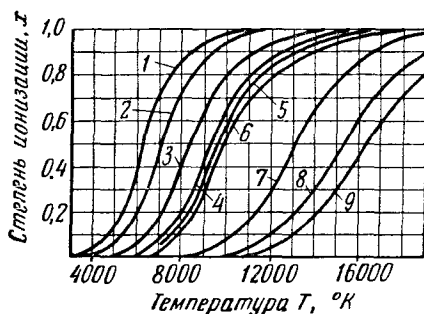


Рис. 20. Зависимость степени термической ионизации различных элементов от температуры при атмосферном давлении:

1—калий, 2—натрий, 3—кальций, 4—марганец, 5—железо, 6—кремний, 7—углерод, 8—кислород, 9—азот

* От греческого слова «термон» — тепло.

кой ионизации атомов различных веществ от температуры. Из графика видно, что калий, натрий и кальций при температуре дуги обеспечивают достаточную степень ионизации. Поэтому присутствие паров этих веществ в столбе дуги облегчает возбуждение и повышает устойчивость горения дуги, вследствие чего указанные вещества всегда вводятся в составы различных электродных покрытий.

Разные элементы обладают различными потенциалами ионизации. Потенциалом ионизации называется количество энергии, которое необходимо затратить для полного удаления одного электрона из оболочки атома данного вещества. Потенциал ионизации атомов калия примерно в 3,4 раза, натрия в 2,8 раза и кальция в 2,4 раза ниже, чем потенциал ионизации атомов азота и кислорода. Этим объясняется благоприятное действие калия, натрия и кальция на устойчивость горения дуги.

Ионизация газа и возникновение в нем мощного дугового разряда являются сложными физическими процессами, зависящими от многих факторов и условий. Исследованиями электрической сварочной дуги установлено, что выбрасывание (эмиссия) катодом свободных электронов происходит в результате следующих процессов:

1. Термоэлектронной эмиссии, вызываемой высокой температурой катода, при которой электроны способны отрываться от его поверхности.

2. Автоэлектронной эмиссии, вызываемой действием силового электрического поля, отрывающего электроны от поверхности катода.

3. Эмиссии от ударов тяжелых положительных ионов о поверхность катода.

4. Фотоэлектронной эмиссии, вызываемой действием световых лучей дуги на поверхность катода.

Эмиссия электронов катодом и объемная ионизация газов являются основными источниками потоков заряженных частиц, обуславливающих устойчивое горение сварочной дуги.

§ 2. Горение дуги

Процесс возникновения дуги при сварке протекает следующим образом: при касании концом электрода свариваемого металла происходит короткое замыкание сварочной цепи (рис. 21, а). Проходя через отдельные выступы, ток, имеющий в точках соприкосновения электрода с металлом очень высокую плотность, мгновенно расплавляет их, вследствие чего между электродом и металлом образуется тонкая прослойка из жидкого металла (рис. 21, б). В следующий момент сварщик несколько отводит электрод, отчего в жидком металле образуется шейка (рис. 21, в), где плотность тока и температура металла возрастают. Затем благодаря испарению расплавленного металла шейка разрывается и в ионизированном промежут-

ке газов и паров между электродом и металлом образуется сварочная дуга (рис. 21, г).

Термо- и автоэлектронная эмиссия электронов катодом создает условия для дальнейшего устойчивого горения дуги при токе и напряжении сварочной цепи.

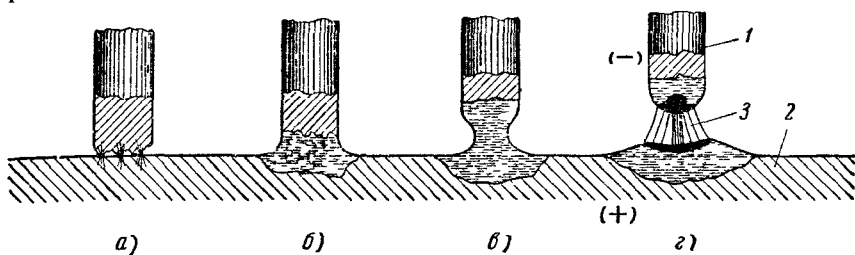


Рис. 21. Схема возникновения дуги между металлическим электродом и металлом:

а — короткое замыкание, б — образование прослойки из жидкого металла, в — образование шейки, г — возникновение дуги, 1 — электрод, 2 — металл, 3 — дуга

Напряжение дуги, т. е. напряжение между электродом и свариваемым металлом, зависит в основном от ее длины. Чем короче дуга, тем ниже напряжение, хотя ток в дуге может оставаться неизменным. Это обусловлено тем, что при длинной дуге сопротивление газового промежутка будет больше. Как известно из электротехники, чем выше сопротивление, тем выше должно быть напряжение для того, чтобы обеспечить прохождение того же тока в цепи. Общее падение напряжения в дуге (U_d) складывается из падения напряжения в катодной зоне (U_k), в столбе дуги ($U_{ст}$) и в анодной зоне (U_a), т. е.

$$U_d = U_k + U_{ст} + U_a.$$

Приблизительно напряжение устойчиво горящей дуги выражается следующей формулой:

$$U_d = a + b \cdot L,$$

где U_d — напряжение дуги, в;

a — постоянный коэффициент, выражающий сумму падений напряжения на катоде и аноде дуги, не зависящий от длины дуги;

b — среднее падение напряжения на единицу длины дуги;

L — длина дуги, мм.

Для стальных электродов можно в среднем принять $a = 10$ и $b = 2$ в/мм. Тогда напряжение дуги длиной $L = 4$ мм составит:

$$U_d = 10 + 2 \cdot 4 = 18 \text{ в.}$$

На абсолютную величину напряжения дуги могут также влиять состав электрода и свариваемого металла, состав и давление окру-

жающей дугу газовой среды (воздуха, аргона, гелия, углекислого газа) и другие факторы.

Дуга при сварке металлическим электродом горит устойчиво при напряжении 18—28 в, а при сварке угольным или графитовым — при напряжении 30—35 в. Для возбуждения дуги требуется более высокое напряжение, чем то, которое необходимо для поддержания ее нормального горения. Это объясняется тем, что в начальный момент воздушный промежуток еще недостаточно нагрет и необходимо придать электронам большую скорость для ионизации атомов газового промежутка, что можно достичь только при более высоком напряжении в момент зажигания дуги.

На рис. 22 показаны графики изменения напряжения и тока в дуге при ее зажигании и устойчивом горении. Кривая, показывающая зависимость между напряжением и током в дуге, называется

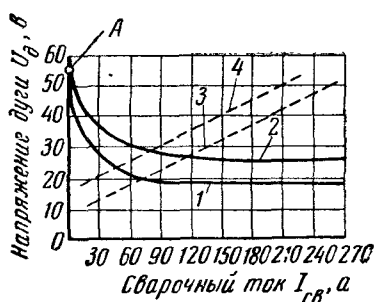


Рис. 22. Статические характеристики дуги:

1 — длина дуги 2 мм; 2 — длина дуги 5 мм; 3 и 4 — для дуг различной длины при высоких плотностях тока

статической (или вольт-амперной) характеристикой дуги и соответствует установившемуся (стационарному) горению дуги. Точка А отмечает момент зажигания дуги. Затем напряжение дуги быстро падает до нормальной величины, соответствующей устойчивому горению дуги. Дальнейшее увеличение тока повышает нагрев электрода и скорость его плавления, но не сказывается на устойчивости горения дуги.

Падающую статическую характеристику (кривые 1 и 2 на рис.

22) имеет дуга при относительно небольшой плотности тока, используемой при ручной дуговой сварке или при автоматической сварке под флюсом на средних режимах. При более высоких плотностях тока (сварка под флюсом на большом токе, сварка проволокой малого диаметра в среде защитного газа) статическая характеристика дуги будет возрастающей, как это условно изображено на рис. 22 пунктирными линиями 3 и 4.

Устойчивой называется дуга, горящая равномерно, без произвольных обрывов, требующих повторного зажигания. Если дуга горит неравномерно, часто обрывается и гаснет, то такая дуга называется **неустойчивой**. Устойчивость дуги зависит от многих причин, основными из которых являются род тока, состав покрытия электродов, полярность и длина дуги.

Длина дуги равняется расстоянию между торцом электрода и поверхностью расплавленного металла свариваемого изделия. Обычно нормальная длина дуги не должна превышать 3—4 мм для

стального электрода. Такая дуга называется *к о р о т к о й*. Короткая дуга горит устойчиво и обеспечивает нормальное протекание процесса сварки. Для электродов диаметром 4—5 мм с покрытием ОММ-5 нормальная длина дуги равна 5—6 мм. Дуга, у которой длина больше 6 мм, называется *д л и н н о й*. Процесс плавления металла электрода при такой дуге протекает неравномерно. Стекающие с конца электрода капли металла в этом случае в большей степени могут окисляться кислородом и обогащаться азотом воздуха. Наплавленный металл получается пористым, шов имеет неровную поверхность, а дуга горит неустойчиво. При длинной дуге понижается производительность, увеличивается разбрызгивание металла, чаще образуются места с непроваром и недостаточным сплавлением наплавленного металла с основным.

Сварочная дуга может питаться от источника постоянного или переменного тока. Дуга может питаться постоянным током прямой и обратной полярности. При прямой полярности минус источника тока подключают к электроду, а при обратной полярности — к свариваемому изделию. При сварке угольным электродом дуга легче возбуждается и устойчивее горит, если ток имеет прямую полярность. Ток обратной полярности применяют в тех случаях, когда нужно уменьшить выделение тепла на свариваемом изделии: при сварке тонкого или легкоплавкого металла, чувствительных к перегреву легированных, нержавеющих и высокоуглеродистых сталей и т. д., а также при использовании некоторыми видами электродов (например, с покрытием УОНИ-13).

Для определения полярности цепи постоянного тока в стакане воды растворяют половину чайной ложки поваренной соли, опускают в раствор оба провода цепи и включают сварочный ток. Тот провод, около которого происходит интенсивное выделение пузырьков газа (водорода), будет отрицательным, а второй — положительным. Концы проводов на длине 1—2 см должны быть очищены от изоляции. Для определения полярности тока применяют также специальные полюсозуказатели.

На рис. 23 показаны кривые изменения напряжения и тока в дуге переменного тока за один период. Так как в каждом полупериоде ток (i_d) и напряжение дуги (U_d) изменяются от нуля до максимальных значений, то за этот же промежуток времени уменьшается температура столба дуги и степень ионизации дугового промежутка. Вследствие этого для возбуждения дуги после прохождения тока через нулевое значение необходимо повышенное напряжение

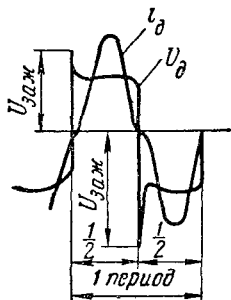


Рис. 23. Изменение тока и напряжения в дуге переменного тока:

i_d — ток дуги, U_d — напряжение горения дуги, $U_{зж}$ — напряжение зажигания дуги

ние, равное $U_{\text{зж}}$, которое больше нормального напряжения дуги $U_{\text{д}}$.

Для повышения устойчивости горения дуги переменного тока в покрытия электродов и в сварочные флюсы вводят элементы с низким потенциалом ионизации: калий, натрий и кальций, которые облегчают возбуждение дуги после того, как ток уменьшается до нуля, и одновременно изменяет свое направление на противоположное.

Вокруг дуги и в свариваемом металле возникают магнитные поля. Если эти поля расположены относительно оси дуги несимметрично, то они могут отклонять дугу, являющуюся гибким проводником тока, что затрудняет сварку. Отклоняющее действие магнитных полей на сварочную дугу носит название магнитного дутья.

Сила магнитного поля пропорциональна квадрату тока, поэтому магнитное дутье особенно заметно при сварке постоянным током значительной величины (свыше 300—400 а). При сварке переменным током толстопокрытыми электродами и сварке под флюсом явление магнитного дутья сказывается значительно слабее, чем при постоянном токе и при применении голых или тонкопокрытых электродов.

На величину магнитного дутья оказывает также влияние расположение железных (ферромагнитных) масс вблизи места сварки, место подвода тока к изделию, форма изделия, тип сварного соединения, наличие зазоров и другие причины. Для уменьшения отклоняющего действия магнитных полей на дугу следует вести сварку возможно более короткой дугой, подводить сварочный ток к изделию в точке, расположенной как можно ближе к месту сварки, а также изменять угол наклона электрода так, чтобы нижний конец электрода был обращен в сторону действия магнитного дутья.

На рис. 24 показано, как сказывается влияние места подвода тока к изделию на отклонение дуги.

Для уменьшения влияния больших ферромагнитных масс на свариваемое изделие укладывают массивную стальную плиту со стороны, противоположной направлению отклонения дуги.

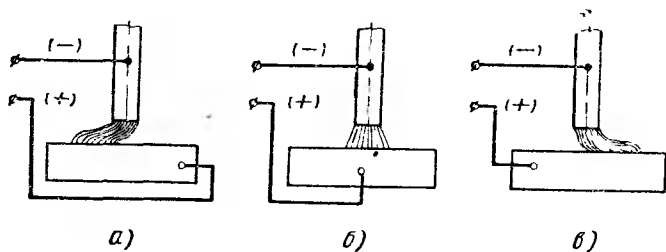


Рис 24. Влияние места подвода тока к изделию на отклонение дуги магнитным дутьем:

а — отклонение влево, б — нормальное положение дуги, в — отклонение вправо

Один провод от источника присоединяют к стальной плите, которую укладывают на расстоянии 200—250 мм от места сварки, постепенно перемещая ее вдоль шва по мере продвижения дуги.

§ 3. Плавление и перенос металла в дуге

Электрическая дуга дает яркий свет и выделяет значительное количество тепла, которое образуется вследствие превращения энергии движения частиц в тепловую энергию при столкновении их с анодом, катодом и друг с другом. Тепло, выделяясь на аноде и катоде, расплавляет свариваемый металл и конец электрода. В катодной и анодной зоне выделяется основное количество тепла дуги. В самой дуге выделяется меньшая часть тепла, расходуемого на испарение материала электрода и частично теряемого в окружающую среду.

Выделяя большое количество тепла и имея высокую температуру, электрическая дуга вместе с тем обеспечивает очень сосредоточенный нагрев металла. Поэтому металл во время сварки остается сравнительно мало нагретым уже на расстоянии нескольких сантиметров от сварочной дуги.

Под действием дуги металл расплавляется на некоторую глубину, обозначенную на рис. 19, а буквой *h* и называемую г л у б и н о й проплавления или проваром.

При сварке на постоянном токе угольным электродом количество выделяющегося на аноде тепла составляет около 42%, на катоде около 38% от общего количества тепла дуги. Остальные 20% тепла выделяются в столбе дуги. Наибольшее количество заряженных частиц выбрасывается катодом, поэтому анод подвергается более сильной бомбардировке частицами, благодаря чему на нем всегда выделяется большее количество тепла.

Температура дуги также различна и составляет при использовании угольных электродов для катода около 3200°, для анода около 3900°, при использовании стальных электродов—для катода около 2400°, для анода около 2600°. Полная тепловая мощность дуги q_0 подсчитывается по формуле

$$q_0 = 0,24I \cdot U_d \text{ кал/сек},$$

где I — сварочный ток, а;

U_d — напряжение дуги, в;

0,24 — коэффициент перевода электрических единиц в тепловые, кал/вт · сек.

Количество тепла, вводимое дугой в свариваемый металл в единицу времени, называется э ф ф е к т и в н о й т е п л о в о й м о щ н о с т ь ю д у г и. Она меньше полной тепловой мощности дуги и складывается из следующего: тепла, выделяющегося в пятне дуги на свариваемом металле; тепла, вводимого в металл за счет теплообмена со столбом дуги и ее пятном на свариваемом металле; тепла, вносимого в свариваемый металл с каплями расплавленно-

го металла электрода, электродного покрытия и флюса. Эффективную тепловую мощность дуги q можно подсчитать по формуле

$$q = 0,24 \cdot U_d \cdot I \cdot \eta \text{ кал/сек.}$$

Здесь буквой η обозначен эффективный коэффициент полезного действия нагрева металла дугой. Коэффициент η равен:

при сварке открытой дугой металлическим электродом:

с тонким покрытием	0,50—0,60
с толстым покрытием	0,70—0,85
при сварке под флюсом	0,80—0,92
при сварке угольным электродом . .	0,50—0,65
при сварке в среде аргона	0,50—0,60

Тепловой режим сварки характеризуется количеством тепла, вводимого в металл на единицу длины шва. Эта величина называется погонной энергией сварки и выражается отношением $\frac{q}{v}$ (кал/см), где v — скорость сварки, см/сек.

Величиной погонной энергии характеризуют режим, назначаемый при сварке данного металла.

Примерные балансы использования тепла сварочной дуги приведены в табл. 2.

Таблица 2

Примерные тепловые балансы сварочной дуги

Показатели	Затрата тепла в % от полной тепловой мощности дуги		
	угольной	открытой металлической	под флюсом
Эффективная тепловая мощность, в том числе:	60	75	81
а) перенос с каплями расплавленного металла	—	25	27
б) поглощение основным металлом	—	50	54
Потери в окружающую среду . .	20	20	—
Потери на нагревание электрода	20	—	—
Потери на разбрызгивание . . .	—	5	1
Потери на плавление флюса . . .	—	—	18
Полная тепловая мощность дуги, %	100	100	100

Из данных табл. 2 следует, что при автоматической сварке под флюсом наиболее полно используется тепловая мощность сварочной дуги.

Электродный металл стекает в сварочную ванну в виде капель; при ручной дуговой сварке таким образом переносится до 90 % элек-

тродного металла. Остальные 10% представляют собой брызги и пары, значительная часть которых теряется. Дуга расплавляет электрод с достаточно большой скоростью, так, например, электрод длиной 450 мм расплавляется за 1,5 — 2 мин.

Капля расплавленного металла собирается на конце электрода и принимает грушевидную форму. Затем у основания капли образуется тонкая шейка, в которой плотность тока резко увеличивается, металл разогревается, шейка делается тоньше, длиннее, и, наконец, капля касается сварочной ванны, на мгновение замыкая электрод и металл накоротко. Шейка рвется, а давлением паров и газов капля отбрасывается вперед, по направлению к кратеру. Вслед за этим дуга возникает вновь, и процесс образования капли повторяется.

В секунду с электрода на металл переносится от 20 до 50 капель примерно одинакового размера. Наряду с крупными каплями электродный металл переносится на изделие также в виде потока мелких капель (струйный процесс переноса металла). Чем больше сварочный ток и чем толще слой покрытия на электроде, тем большая часть металла переносится в виде потока мелких капель. В электродах с тонким покрытием и при сварке на малых токах процесс переноса в основном крупнокапельный. Давлением газов дуги жидкий металл отбрасывается со дна ванночки на ее боковую поверхность, что вызывает образование углубленного кратера. Это происходит периодически, поэтому жидкий металл откладывается отдельными порциями, вследствие чего поверхность шва получается чешуйчатой. Чем толще покрытие электрода, тем больше будет слой шлака над расплавленным металлом шва и тем чешуйки будут тоньше, а поверхность шва — более ровной и чистой. Особенно чистая поверхность шва получается при автоматической сварке под флюсом.

Количество электродного металла, расплавленного за определенное время, можно определить по формуле

$$G_p = K_p \cdot I \cdot t,$$

где G_p — количество расплавленного металла электрода, г;

K_p — коэффициент расплавления, г/а · час;

I — величина сварочного тока, а;

t — время горения дуги, час.

Из формулы следует, что количество расплавленного электродного металла определяется током и продолжительностью горения дуги. Чем больше ток и чем длительнее горит дуга, тем большее количество металла будет расплавлено.

Коэффициентом расплавления K_p называется количество расплавленного электродного металла в граммах в течение одного часа, приходящееся на один ампер сварочного тока. Коэффициент расплавления зависит от материала электродного стержня, состава покрытия, а также от рода и полярности тока. Для

стальных электродов коэффициент расплавления колеблется в пределах от 8 до 14 г/а · час.

При сварке вследствие частичного окисления кислородом воздуха, испарения и разбрызгивания наблюдаются потери электродного жидкого металла. Поэтому в наплавленный металл шва переходит только часть электродного металла. Для подсчета количества наплавленного металла нужно в приведенной выше формуле коэффициент расплавления K_p заменить меньшей величиной K_n , называемой коэффициентом наплавки. Коэффициент наплавки K_n меньше коэффициента расплавления K_p на величину потерь электродного металла при сварке, составляющих от 1 до 3 г/а · час. При сварке на переменном токе электродами с тонким меловым покрытием коэффициент наплавки, $K_n = 6 \div 7$ г/а · час, а при сварке электродами с толстыми покрытиями $K_n = 6,5 \div 12,5$ г/а · час.

Пример: сварка производится толстопокрытыми электродами, током 300 а. Величина $K_n = 11$ г/а · час. За 1 час горения дуги сварщик может наплавить металла:

$$11 \cdot 300 = 3300 \text{ г, или } 3,3 \text{ кг.}$$

Знать величину коэффициента наплавки очень важно для нормирования сварочных работ. Обозначим через v — скорость сварки, см/час; F — площадь поперечного сечения шва, см². Тогда скорость сварки можно подсчитать по формуле

$$v = \frac{K_n \cdot I}{7,85 \cdot F},$$

где число 7,85 обозначает вес 1 см³ наплавленного металла (стали) в г.

Следовательно, скорость сварки будет тем выше, чем выше коэффициент наплавки K_n и чем больше ток I .

Пример: $K_n = 11$ г/а · час; $I = 300$ а; $F = 1,1$ см². Скорость сварки составит

$$v = \frac{11 \cdot 300}{7,85 \cdot 1,1} = 382 \text{ см/час, или } 3,82 \text{ м/час.}$$

ГЛАВА V

МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ СВАРКЕ

§ 1. Особенности металлургических процессов при сварке

Процессы расплавления и затвердевания металла, сопровождающиеся изменением его химического состава и кристаллического строения, называются металлургическими.

Сварка также является металлургическим процессом, но отличается от других подобных процессов следующими особенностями: а) происходит при высокой температуре нагрева; б) протекает с большой скоростью; в) характеризуется очень малыми объемами нагретого и расплавленного металла; г) при сварке имеет место быстрый отвод тепла от расплавленного металла сварочной ванны в прилегающие к ней зоны твердого основного металла; д) на расплавленный металл в зоне сварки интенсивно воздействуют окружающие его газы и шлаки; е) в ряде случаев для образования металла шва используется присадочный металл, химический состав которого может значительно отличаться от состава основного металла.

Высокая температура нагрева при сварке значительно ускоряет процессы плавления электродного металла, основного металла, электродного покрытия и флюса. При этом имеет место значительное испарение, разбрызгивание и окисление веществ, участвующих в химических реакциях в зоне сварки.

Молекулы ряда элементов, таких, как кислород, азот, водород, при высоких температурах дуги частично распадаются на атомы (диссоциируют). В атомарном состоянии эти элементы обладают более высокой химической активностью, чем в молекулярном. Вследствие этого окисление элементов, насыщение металла азотом и поглощение водорода в процессе сварки протекает более интенсивно, чем при обычных металлургических процессах.

Малые объемы расплавленного металла в сварочной ванне и интенсивный отвод тепла в окружающий металл, обуславливают кратковременность протекающих химических реакций при

высоких температурах процесса, поэтому не всегда эти реакции могут полностью завершаться. С другой стороны, сильно ускоряются процессы затвердевания и кристаллизации металла шва, что существенно отражается на строении (структуре) твердого металла шва, получаемого после сварки, а также околосварочной зоны основного металла.

Химический состав, структура и плотность металла шва зависят от состава основного и присадочного металла, характера и состава газов, окружающих жидкий металл, режима сварки и прочих факторов.

Указанные особенности металлургических процессов при сварке затрудняют получение сварных швов высокого качества, особенно для металлов, чувствительных к быстрому нагреву и охлаждению, легко окисляющихся, склонных к образованию пористости, закалочных структур, трещин и других дефектов. Для сварки конструкций из таких металлов приходится применять специальную технологию и режимы, особые присадочные металлы, электроды, электродные покрытия, флюсы, в ряде случаев использовать предварительный и сопутствующий подогрев, а также последующую термическую обработку швов и в некоторых случаях — целых изделий.

§ 2. Основные реакции в зоне сварки

Рассмотрим основные реакции в зоне сварки, характерные для стали, как наиболее распространенного в промышленности металла. Особенности процессов, протекающих при сварке других металлов и сплавов, будут рассматриваться при описании технологии сварки этих сплавов.

При сварке стали одной из главных задач является получение расплавленного металла, по возможности свободного от примесей кислорода, азота, водорода и серы.

Кислород является наиболее вредной примесью, так как окисляет расплавленный металл, образуя химические соединения — окислы.

Если окислы растворимы в жидком металле, то они поглощаются последним, образуя с ним при затвердевании твердый раствор. Нерастворимые окислы выделяются из затвердевшего металла, переходя в шлак. Часть нерастворимых окислов остается в металле шва в виде включений шарообразной формы (так называемых глобул) или, располагаясь по границам зерен, нарушает сцепление их между собой.

С железом кислород образует три окисла:

закись железа по реакции $2\text{Fe} + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{FeO}$;

окись железа по реакции $3\text{Fe} + 2\text{O}_2 \rightleftharpoons \text{Fe}_3\text{O}_4$;

закись-окись железа по реакции $2\text{Fe} + 1,5\text{O}_2 \rightleftharpoons \text{Fe}_2\text{O}_3$.

При окислении сперва образуется закись железа, которая в дальнейшем при соответствующих условиях (температуре, соотношении кислорода и железа в сварочной ванне) может переходить в окись и закись-окись железа. При окислении железа в процессе сварки основную роль играет закись железа, так как только она способна растворяться в жидком металле.

Установлено, что в чистом расплавленном железе может растворяться до 0,22% кислорода в виде закиси железа, концентрация которой в расплавленном железе может достигать 0,5%. Содержание кислорода в стали (представляющей сплав железа с углеродом) будет меньше, так как растворимость закиси железа в сплаве уменьшается по мере повышения в нем содержания углерода. Когда содержание кислорода в стали достигнет 0,035%, избыточный кислород будет выделяться из раствора в виде закиси-окиси железа и располагаться между зернами металла.

Кислород легко соединяется также с углеродом, марганцем, кремнием и другими элементами, входящими в состав свариваемого металла, электродов, электродных покрытий и флюсов, образуя соответствующие окислы этих элементов.

Окисление элементов при сварке может происходить или в зоне сварочной дуги, где кислород находится в атомарном состоянии и отличается высокой химической активностью, или при взаимодействии их с закисью железа (FeO) в ванне расплавленного металла.

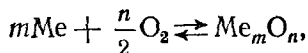
Вследствие окисления содержание некоторых элементов в металле шва может резко уменьшаться, что заметно ухудшает его свойства. Так, например, при сварке голыми электродами количество углерода может уменьшаться в металле шва на 50—60%, а марганца — на 40—50% по сравнению с их содержанием в электродной проволоке.

Присутствие кислорода в металле шва в виде твердого раствора или включений окислов, в первую очередь сказывается на ухудшении механических свойств наплавленного металла: понижаются пределы прочности и текучести, относительное удлинение, ударная вязкость. Кроме того, кислород вредно влияет и на другие свойства металла — снижает стойкость его против коррозии, повышает склонность к старению, делает металл хладноломким и красноломким.

Таким образом, главным условием получения наплавленного металла высокого качества является защита его от окисления кислородом окружающей среды. Это достигается, во-первых, созданием вокруг расплавленного металла защитной среды из газов и шлаков. Однако полностью защитить металл от окисления не удастся. Поэтому вторым средством для решения указанной задачи является удаление кислорода из наплавленного металла с помощью химических элементов, обладающих большим сродством к кислороду, чем железо, и образующих окислы, менее растворимые в жидком металле, чем FeO . Этот процесс называется р а с к и с-

лением и играет очень важную роль при сварке, так как обеспечивает получение чистого, высококачественного металла шва. Благодаря раскислению, а также надежной защите жидкого металла газами и шлаком, образуемыми при расплавлении покрытия электрода и флюса, содержание кислорода в металле шва очень невелико и практически составляет 0,005—0,057%. В электродной проволоке содержание кислорода не превышает 0,01%.

Реакции окисления и раскисления обусловлены одним и тем же химическим процессом, но протекающим лишь в противоположных направлениях. Этот процесс можно выразить следующей общей формулой:



где m — число молекул металла (Me) или другого элемента, участвующего в реакции с кислородом;

n — число молекул кислорода (O_2), пошедшего на окисление или содержавшегося в окисле.

Стрелками указано направление реакции: вправо — окисление, влево — раскисление (восстановление металла из окисла). При определенных соотношениях металла и кислорода вся система может находиться в состоянии химического равновесия при данной температуре и давлении, т. е. процессы окисления или восстановления протекать не будут. Тогда в данном объеме вещества будут находиться как чистый металл, так и его окисел. Такое состояние характеризуется некоторой величиной, называемой константой* равновесия K . Эта величина равна:

$$K = \frac{[\% \text{Me}]^m [\text{O}_2]^{-\frac{n}{2}}}{[\% \text{Me}_m\text{O}_n]}.$$

Берутся весовые проценты концентраций взаимодействующих веществ. Числитель представляет собой произведение концентраций веществ, вступающих в реакцию, а знаменатель — концентрацию продуктов реакции. Для каждого вещества значения K , соответствующие равновесному состоянию системы при различных давлениях и температурах, определены опытным путем и даются в виде таблиц или графиков. Чем больше действительная величина K отличается от равновесной, вычисленной для той же температуры и давления, тем больше будет скорость реакции. Если отношение концентраций веществ в правой части формулы больше равновесного значения K , то реакция пойдет вправо и произойдет окисление элемента Me. При обратном соотношении процесс идет влево и происходит раскисление (восстановление элемента Me из окисла). С повышением температуры скорость этих реакций возрастает.

* От латинского слова «констант» — постоянный.

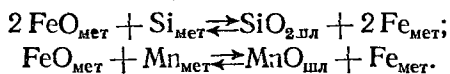
Если взаимодействовать с кислородом могут несколько элементов, как это имеет место в сварочной ванне, то в первую очередь окислению подвергаются те элементы, которые обладают наибольшим химическим сродством к кислороду. По мере окисления этих элементов концентрация их в зоне реакции уменьшается и скорость окисления замедляется; тогда начинают более интенсивно окисляться другие элементы, обладающие меньшим сродством к кислороду. Постепенно процесс окисления охватывает все новые и новые элементы и протекает до тех пор, пока концентрация всех элементов в жидком металле не будет соответствовать равновесной. То же имеет место и при обратном процессе—раскислении.

Если элементы, наиболее часто применяемые в качестве раскислителей при сварке, расположить по признаку уменьшения их химической активности к кислороду, то получим следующий ряд: алюминий (обладает наибольшим сродством к кислороду), титан, ванадий, кремний, углерод, марганец и хром.

Эти элементы поступают в сварочную ванну из присадочного металла, покрытия электрода или флюса и вступают в химическое взаимодействие с окислами металла. В качестве веществ, содержащих раскислители, применяют ферросплавы — ферромарганец, ферросилиций, ферротитан и др.

Ферросплавы вводятся в состав электродного покрытия или флюса и при их расплавлении почти полностью переходят в шлак. При этом входящие в них элементы окисляются, отнимая кислород у окислов железа. Вновь образовавшиеся окислы элементов — раскислителей в большей своей части остаются в шлаках, покрывающих металл шва, и после сварки удаляются вместе с ними.

Рассмотрим некоторые наиболее типичные реакции раскисления. Раскисление кремнием и марганцем происходит по реакциям:



Образующиеся при этом окись кремния и закись марганца плохо растворимы в жидком металле и переходят в шлак. Закиси железа и марганца по своим химическим свойствам являются основаниями и могут вступать в реакцию с кислотными окислами, образуя соединения типа $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$; $2\text{MnO} \cdot \text{SiO}_2$ (силикаты) и $2\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$ (титанаты). Эти соединения почти не растворимы в жидком металле и полностью остаются в слое шлака.

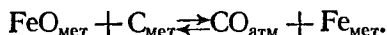
Окислы по своим химическим свойствам могут быть кислые и основные. К кислым окислам относятся окись кремния (SiO_2) и двуокись титана (TiO_2). К основным окислам относятся окись кальция (CaO), закись железа (FeO), закись марганца (MnO), окись натрия (Na_2O), окись калия (K_2O) и окись магния (MgO).

Если в шлаках, образующихся при сварке, преобладают кислые окислы, то такие шлаки, а также образующие их покрытия и флю-

сы называются к и с л ы м и. Преобладание в шлаке основных окислов, наоборот, придает ему химические свойства основания. Соответственно, электродные покрытия и флюсы, дающие основные шлаки, называются о с н о в н ы м и.

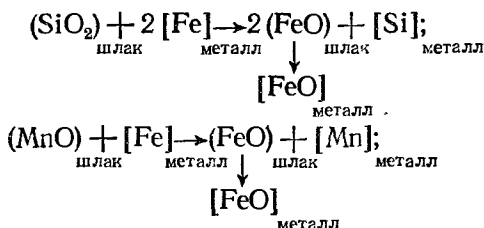
При сварке электродами с кислыми покрытиями процесс раскисления протекает также за счет углерода, содержащегося в металле сварочной ванны и ферросплавах, вводимых в покрытие обычно в виде ферромарганца.

Реакция раскисления углеродом протекает так:



Образовавшаяся газообразная окись углерода (CO) не растворяется в жидком металле и выделяется из него в атмосферу, что вызывает сильное кипение сварочной ванны. Поэтому кислые покрытия иногда называют кипящими.

При высоких температурах сварочной ванны, содержащиеся в шлаках окись кремния SiO_2 и закись марганца MnO вступают в реакцию с железом сварочной ванны. Эти реакции протекают на границе раздела жидкого шлака и жидкого металла по следующей схеме:



С повышением температуры сварочной ванны скорость и полнота протекания этих реакций увеличиваются. Как видно из схемы, образующаяся закись железа FeO растворяется в жидком металле. При последующем остывании металла шва находящаяся в нем закись железа вступает в реакцию с другими элементами, содержащимися в расплавленном металле, такими, как Si, Cr, Mn, образуя чистое железо и окислы этих элементов, которые могут оставаться в металле шва. Поэтому при сварке сталей, содержащих повышенное количество кремния, хрома и марганца, не рекомендуется пользоваться покрытиями или флюсами с высоким содержанием окислов кремния и марганца, так как при этом увеличивается содержание кислорода в металле шва, снижающего его ударную вязкость. Основные электродные покрытия и флюсы дают и основные шлаки, содержащие преимущественно окись кальция (CaO), которая не отнимает кислород от окислов металлов. Поэтому в покрытия основного типа для раскисления наплавленного металла вводятся ферросплавы: ферросилиций или ферротитан. В электродных покрытиях этого типа основными реакциями раскисления будут:

раскисление кремнием $2 \text{FeO} + \text{Si} \rightleftharpoons \text{SiO}_2 + 2 \text{Fe}$;
 раскисление титаном $2 \text{FeO} + \text{Ti} \rightleftharpoons \text{TiO}_2 + 2 \text{Fe}$.

Эти реакции протекают без газообразования и сварочная ванна остается спокойной. Поэтому покрытия основного характера называют также спокойными. Основные электродные покрытия дают наплавленный металл с высокими механическими свойствами.

В результате происходящих в сварочной ванне реакций раскисления содержание кремния и марганца в металле шва несколько увеличивается, например кремния до 0,1—0,3%, марганца до 0,7—1% и более.

Выше указывалось, что алюминий обладает большим сродством к кислороду. Однако окись алюминия (Al_2O_3) не растворима в жидком металле и медленно переходит в шлак. Кроме того, алюминий способствует окислению углерода, что вызывает пористость шва. По этим причинам алюминий как раскислитель при сварке стали почти не применяется.

Углерод в тех концентрациях, какие встречаются в сварных швах стали, является менее активным раскислителем, чем кремний. С кислородом окислов углерод взаимодействует, главным образом, в момент расплавления электрода и только в зоне наиболее высоких температур сварочной ванны. Раскисление же марганцем и кремнием происходит при более низких температурах и протекает вплоть до начала кристаллизации металла шва.

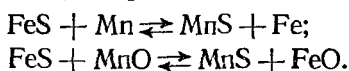
Если кремния в металле шва недостаточно, то раскисление может происходить преимущественно за счет углерода с образованием CO , избыточное количество которой не успевает выделиться из твердеющего металла и остается в нем, образуя газовые поры. Поэтому для получения плотного беспористого шва необходимо подавлять реакцию окисления углерода повышением содержания кремния в металле сварочной ванны до 0,2—0,3%. При понижении содержания кремния в металле шва до 0,12% и ниже неизбежно образование большого количества пор.

Азот поглощается расплавленным металлом из окружающего воздуха. Под действием высоких температур сварочной дуги азот частично переходит в атомарное состояние и растворяется в жидком металле. В процессе охлаждения азот выделяется из раствора и, взаимодействуя с металлом и его окислами, образует химические соединения, называемые нитридами — Fe_2N ; Fe_4N ; MnN ; SiN . Нитриды в стали повышают ее прочность и твердость, но сильно уменьшают пластичность. Поэтому азот является вредной примесью в наплавленном металле.

Наибольшее насыщение металла азотом дает дуговая сварка длинной дугой и голыми электродами, наименьшее — газовая. При сварке непокрытыми электродами содержание азота в металле шва может достигать 0,12—0,2%. С увеличением тока содержание азота в наплавленном металле уменьшается. Увеличение содержания

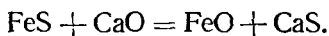
углерода и особенно марганца в присадочной проволоке или покрытии электрода значительно снижает содержание азота в наплавленном металле. При сварке электродами с качественными покрытиями содержание азота в металле незначительно и составляет всего 0,005—0,015%.

С е р а является вредной примесью в стали. Она образует сернистое железо (сульфид железа FeS), которое имеет температуру плавления 1193°, т. е. более низкую, чем сталь. Поэтому при кристаллизации стали сернистое железо остается еще в жидком виде в прослойках между кристаллами сплава и является одной из причин образования горячих трещин при сварке. Серу удаляют введением марганца, который образует с ней химическое соединение — сернистый марганец (MnS) по реакциям:

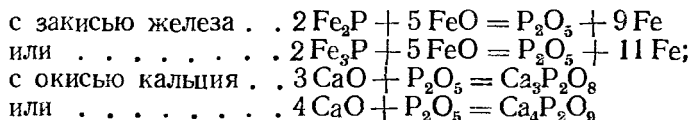


Сернистый марганец не растворяется в жидком металле и полностью переходит в шлак.

Удалению серы способствует также окись кальция, при этом происходит реакция



Присутствие ф о с ф о р а вызывает неоднородность металла шва, рост зерен и снижение пластичности, особенно при низких температурах (хладноломкость). Он присутствует в металле шва в виде фосфидов железа: Fe_3P и Fe_2P . Удаление фосфора происходит при реакциях:



Получаемые соединения фосфора переходят в шлак. Основные шлаки лучше удаляют фосфор из металла, чем кислые.

В о д о р о д является вредной примесью в стали. При температуре дуги водород диссоциирует на атомы и, находясь в атомарном состоянии, способен хорошо растворяться в наплавленном металле.

При остывании и затвердевании металла атомы водорода вновь соединяются в молекулы, которые собираются в отдельных местах шва, образуя газовые пузырьки. Водород не всегда успевает полностью выделиться из металла и вызывает появление в нем пористости и мелких трещин, так называемых флокенов. Сталь с флокенами является хрупкой, в изломе флокены имеют вид светлых пятен и не выявляются обычно применяемыми методами контроля качества швов без разрушения.

По мере увеличения температуры металла растворимость водо-

рода увеличивается, достигая наибольшей степени при 2400° . Насыщение металла водородом происходит в основном в момент переноса капель металла в дуге. В 100 г металла может раствориться до 43 см^3 водорода. При содержании водорода до $6,5 \text{ см}^3$ на 100 г металла шов получается плотным; при более высоком насыщении металла водородом появляются пористость, флокены, снижается пластичность, металл становится хрупким в холодном состоянии.

Источником насыщения металла водородом является влага, содержащаяся в электродном покрытии, флюсах и окружающем воздухе или находящаяся на поверхности свариваемого металла в виде воды, снега, инея. Кроме того, водород содержится в ржавчине, которая может быть на сварочной проволоке или кромках металла. Наименее металл насыщается водородом при сварке на постоянном токе обратной полярности, наиболее — при сварке на переменном токе. Это обусловлено тем, что при сварке на переменном токе в момент перехода тока через нулевое значение жидкий металл не защищен действием электрического поля дуги и доступен для растворения в нем атомов водорода, несущих отрицательный заряд электричества.

Чтобы предотвратить насыщение металла водородом при сварке стали необходимо следующее:

1. Обеспечить минимальное содержание влаги в покрытии и флюсах, в окружающей шов атмосфере и на кромках металла. С этой целью применяемые для сварки электроды следует тщательно просушивать путем прокалки. Для покрытий основного типа (УОНИ и др. см. § 2 гл. VI) прокалку ведут при 350° в течение 5 час. Хранить электроды следует в сухом месте, а при их увлажнении вновь подвергать прокалке перед выдачей сварщику. Желательно, чтобы сварщики при работе на открытом воздухе имели герметически закрывающиеся футляры для хранения электродов. При работе под дождем и снегом места сварки должны быть надежно защищены от попадания влаги палатками из брезента, фанеры и других материалов.

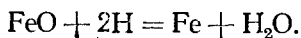
Перед сваркой необходимо тщательно протирать и просушивать кромки металла, не оставляя на них влаги.

При сварке труб концы их нужно закрывать деревянными пробками, чтобы не допустить циркуляции влажного воздуха внутри трубы и подсоса его из трубы в шов.

2. Использовать проволоку без ржавчины и удалять ее с крмок свариваемого металла.

3. Стараться не применять многопроходных швов при автоматической сварке под флюсом, так как при наложении последующих слоев водород насыщает нижележащие слои в момент их расплавления.

Атомарный водород может также раскислять металл, например, по реакции



3. Строение сварного шва

Наиболее широкое применение в сварных конструкциях имеет малоуглеродистая сталь. Рассмотрим поэтому вопрос о строении сварного шва на примере сварки малоуглеродистой стали.

Основой стали является железо, в котором размещены частицы углерода и других элементов, входящих в ее состав. Железо может находиться в стали в виде феррита и аустенита.

Ферритом называется чистое железо, очень мягкое, обладающее высокой пластичностью, прочностью и магнитными свойствами. В виде феррита железо может находиться при температуре до 910° . Атомы кристалла феррита расположены по схеме, показанной на рис. 25, а. При температуре 910° (называемой критической) и выше феррит переходит в аустенит, характеризующийся более уплотненным расположением атомов (рис. 25, б). Аустенит не магнитен и отличается большей твердостью и вязкостью. При охлаждении ниже 910° аустенит способен снова превращаться в феррит.

Углерод содержится в стали в виде химического соединения с железом — цементита (Fe_3C), отличающегося высокой твердостью и хрупкостью. Цементит в мягкой малоуглеродистой стали располагается в виде очень тонких пластинок, скопления которых распределены в основной массе феррита. Такое строение (структура) стали называется перлитом, представляющим собой механическую смесь феррита с цементитом. По мере увеличения содержания углерода в стали количество перлита в ней возрастает. Сталь, содержащая 0,83% углерода, состоит только из перлита. При дальнейшем повышении содержания углерода начинается выделение отдельных зерен цементита и структура стали будет состоять из перлита с распределенным в нем цементитом.

Углерод понижает критическую температуру. Как указывалось выше, для чистого железа она равна 910° , для стали, содержащей 0,9% углерода, она составляет всего 720° . Аустенит способен хорошо растворять углерод, вследствие чего при нагревании стали до температуры, незначительно (на $20-30^{\circ}$) превышающей критическую, включения цементита исчезают и сталь приобретает равномерную мелкозернистую структуру. Если затем сталь медленно охладить, то она сохранит мелкозернистое строение. Это свойство

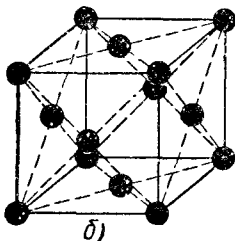
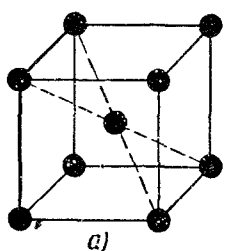


Рис. 25. Схема расположения атомов в кристалле железа:

а — феррита, б — аустенита

стали используется для придания ей мелкозернистой структуры отжигом.

Если нагревать сталь до температуры, значительно превышающей критическую, то получается крупнозернистая структура, которая понижает прочность стали и делает ее более хрупкой. Повторно нагревая перегретую сталь до температуры несколько выше критической и затем медленно охлаждая ее, можно вновь получить мелкозернистую структуру.

Описанные выше превращения происходят в стали не мгновенно, а требуют некоторого времени. Поэтому при быстром охлаждении стали, которое имеет место при сварке, эти превращения не успевают произойти полностью, вследствие чего получаются другие, промежуточные структуры. Так, например, в стали с повышенным содержанием углерода растворенный в аустените углерод при быстром охлаждении не всегда успевает полностью выделиться и остается в феррите. При этом образуется новая, твердая структура — м а р т е н с и т. Мартенситная сталь отличается высокой твердостью, но она более хрупкая. Нагрев и последующее быстрое охлаждение (закалка) придают стали повышенную твердость.

Чем больше углерода в стали, тем она более склонна к закалке при нагреве и быстром охлаждении. Изменяя скорость охлаждения, можно получить различную твердость стали. Закалке подвержены стали, содержащие свыше 0,3% углерода. Последующий нагрев и медленное охлаждение (отпуск) устраняют действие закали на сталь, способствуя частичному или полному выделению углерода из феррита и образованию перлитной структуры.

Степень отпуска (т. е. степень уменьшения твердости) может быть различной в зависимости от температуры нагрева и длительности выдержки стали при этой температуре. Это явление имеет место, например, при наложении многослойных швов. В процессе наложения вышележащих валиков отжигается металл нижележащих слоев шва.

На тщательно отшлифованной поверхности разреза сварного шва, протравленной специальным раствором, можно ясно видеть отдельные его части, имеющие различное строение зерен и называемые з о н а м и с в а р н о г о ш в а.

О с н о в н о й м е т а л л в процессе сварки нагревается и частично расплавляется, подвергаясь действию высокой температуры сварочной дуги или сварочного пламени. Чем выше температура нагрева, тем большие изменения будет претерпевать металл. В той зоне основного металла, где температура нагрева углеродистой стали не превышает 720°, металл сохраняет те же свойства, которыми он обладал до сварки.

Н а п л а в л е н н ы й м е т а л л получается за счет расплавления присадочного, или электродного металла и частичного смешивания его с основным металлом. При ручной дуговой сварке стали в наплавленный металл за счет расплавления свариваемых

кромки добавляется до 10% основного металла; при сварке под флюсом проволокой диаметром 4—5 мм эта добавка основного металла составляет до 50% и более.

Наплавленный металл по составу, строению и свойствам отличается как от присадочного (электродного), так и от основного металла.

Образование первых кристаллов начинается в жидком металле у поверхностей охлаждения и вокруг так называемых центров кристаллизации, образующихся в процессе затвердевания сварочной ванны. Из этих начальных центров образуются зерна металла за счет присоединения новых кристаллов. Чем быстрее охлаждение металла, тем больше образуется центров кристаллизации и тем мельче будут зерна. При медленном охлаждении в процессе затвердевания металл приобретает крупнозернистое строение (рис. 26, а).

Находящиеся в жидком металле примеси и загрязнения (окислы, шлаки и др.) имеют более низкую температуру затвердевания, чем металл, и при застывании располагаются по границам зерен металла, ухудшая их сцепление между собой. Это снижает прочность и пластичность наплавленного металла. Чем чище наплавленный металл, тем выше его механические свойства.

При автоматической сварке под флюсом получается более глубокое проплавление кромок основного металла, чем при ручной сварке, и он имеет зерна разветвленной формы (рис. 26, б), напоминающие ветвь дерева. Зерна такой формы называются *дендритами* (от греческого слова дендрон — дерево) или *столбчатыми* и характерны для образовавшегося при застывании жидкого литого металла.

Таким образом, зерна наплавленного металла по своей форме и расположению будут иными, чем зерна основного металла, которые всегда вытянуты в направлении прокатки. Если жидкий наплавленный металл или соседний с ним участок основного металла был

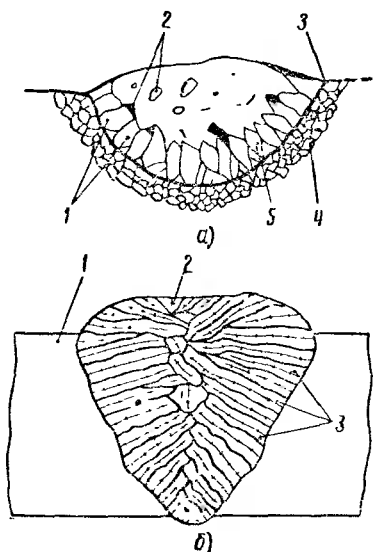


Рис. 26. Схема строения металла сварного шва:

а — схема кристаллизации металла в сварочной ванне при ручной сварке покрытыми электродами: 1 — кристаллы, обладающие большой скоростью роста, 2 — неметаллические включения (шлаки), 3 — линия расплавления, 4 — кристаллы основного нерасплавленного металла, 5 — кристаллы, обладавшие малой скоростью роста; б — схема столбчатой (дендритной) структуры металла сварного шва при автоматической сварке под флюсом: 1 — основной металл, 2 — металл шва, 3 — зерна металла шва (дендриты)

очень сильно перегрет, то при охлаждении его зерна принимают игольчатую форму и пересекаются друг с другом в разных направлениях, образуя так называемую видманштеттовую структуру. Перегретый металл обладает меньшей прочностью и является более хрупким.

Зона сплавления расположена между основным и наплавленным металлом. В этой зоне основной металл расплавляется и смешивается с наплавленным металлом электрода. Если зерна основного и наплавленного металла хорошо срослись и как бы проникают друг в друга, то такие швы обладают наибольшей прочностью. Зона сплавления имеет ничтожные размеры и даже при рассмотрении под микроскопом часто сливается с границей шва. Однако это бывает не всегда. В некоторых случаях можно довольно ясно различить границу между зернами основного и наплавленного металла. Иногда на границе между основным и наплавленным металлом образуется цепочка из пленок окислов. В таком месте шов всегда будет обладать пониженной прочностью из-за недостаточного сцепления частиц наплавленного металла с основным.

За зоной сплавления в основном металле имеется участок, где металл не изменяет своего химического состава. Но так как он довольно сильно нагревается, то строение и размеры его зерен изменяются. Эта часть основного металла носит название зоны термического (теплового) влияния или просто зоны влияния.

Зона влияния имеет особое значение при сварке тех сортов сталей, которые чувствительны к закалке (высокоуглеродистых, хромистых). При нагреве и последующем быстром охлаждении таких сталей в зоне влияния резко повышается твердость и хрупкость, часто сопровождающиеся даже появлением трещин в металле шва и прилегающей к нему зоне основного металла. Для таких сталей приходится применять специальные режимы сварки, а также предварительный подогрев и последующую термическую обработку сварных швов.

Строение зоны влияния при ручной дуговой сварке малоуглеродистой стали схематически показано на рис. 27. Рядом с наплавленным металлом расположена зона сплавления, с которой граничит участок перегрева. Здесь основной металл уже не нагревается до температуры плавления, хотя температура нагрева его достаточно высока и лежит в пределах $1100-1500^{\circ}$, что вызывает значительный рост зерен металла на данном участке, и почти всегда сопровождается образованием зерен игольчатой (видманштеттовой) структуры. Эта часть шва обычно является наиболее слабым местом и здесь металл будет обладать наибольшей хрупкостью, хотя и не будет влиять существенно на прочность сварного соединения в целом, за исключением тех случаев, когда перегрев значителен.

По мере удаления от оси шва температура нагрева снижается. В пределах температур $900-1100^{\circ}$ находится участок нормализа-

ции, характеризующийся наиболее мелкозернистым строением, так как здесь температура нагрева лишь незначительно превышает критическую температуру. Следующий участок, лежащий в пределах температур $720-900^{\circ}$, подвержен лишь частичному изменению структуры основного металла и потому называется участком неполной перекристаллизации. В нем имеются наряду с отдельными довольно крупными зернами скопления мелких зерен. В этой части металла подведенного количества тепла уже недостаточно для измельчения всех зерен.

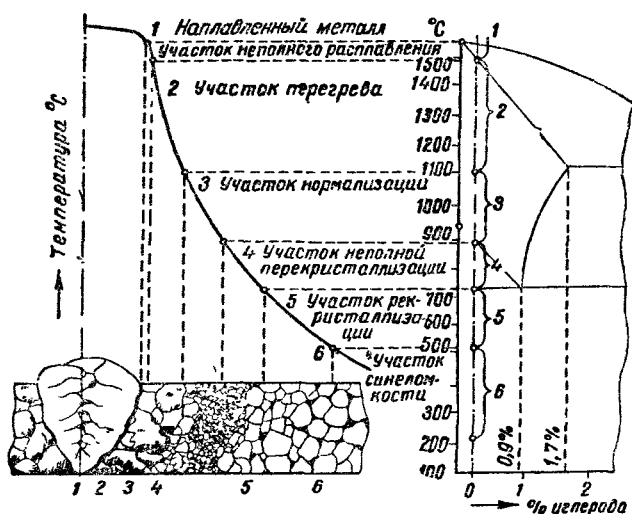


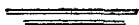
Рис. 27. Схема строения зоны влияния при ручной дуговой сварке малоуглеродистой стали. Цифрами 1, 2, 3, 4, 5 и 6 обозначены одни и те же участки на разрезе металла шва, кривой и шкале температуры на диаграмме

Участок, соответствующий нагреву от 500 до 720° , называется участком рекристаллизации; в нем структура стали не изменяется, а происходит лишь восстановление прежней формы и размеров зерен, разрушенных и деформированных при прокатке металла. При дальнейшем понижении температуры от 500° и ниже уже нельзя заметить признаков теплового воздействия на основной металл.

Наибольшей прочностью и пластичностью металл сварного соединения будет обладать на участке нормализации.

Наименьшую величину зона термического влияния имеет при дуговой сварке тонкопокрытыми электродами и при сварке под слоем флюса. При ручной дуговой сварке электродами с толстым покрытием зона влияния несколько больше и достигает $5-6$ мм.

Ширина зоны влияния главным образом зависит от сварочного тока, скорости сварки и условий отвода тепла от места сварки. Так, например, при автоматической сварке стали со скоростью 10—12 м/час током 2000—2500 а ширина зоны влияния достигает 8—10 мм при толщине стали 40 мм; при автоматической сварке стали толщиной 2 мм током 1200—1400 а при скорости 360 м/час зона влияния имеет ширину всего 0,5—0,7 мм.



...

ГЛАВА VI

ЭЛЕКТРОДЫ ДЛЯ ДУГОВОЙ СВАРКИ

Наплавленный металл должен удовлетворять различным требованиям, зависящим от условий эксплуатации данной сварной конструкции. Обычно от напавленного металла требуется в первую очередь механическая прочность, вязкость, плотность. Кроме того, наплавленный металл должен быть устойчив против старения и усталости, т. е. он не должен становиться хрупким с течением вре-

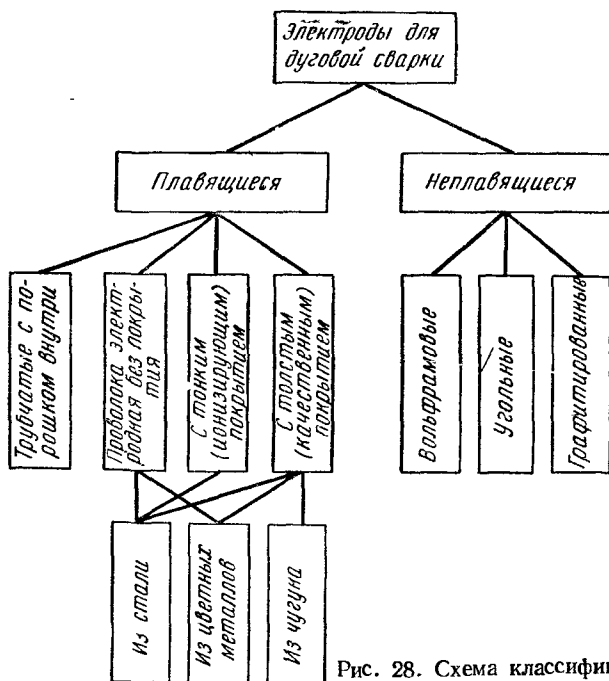


Рис. 28. Схема классификации электродов для дуговой сварки

мени и после длительной работы под нагрузками как постоянными, так и переменными; он не должен быть хладноломким при обыкновенных температурах. Для некоторых конструкций требуется наплавленный металл, обладающий жаропрочностью и жаростойкостью. Наконец, для ряда конструкций требуется наплавленный металл повышенной твердости, износостойкости, стойкости против коррозии и т. д.

Все эти свойства зависят главным образом от правильного выбора металла электродного стержня и состава электродного покрытия. Кроме того, необходимо соблюдение установленных для данного случая режимов сварки и последующей обработки сварного соединения. В настоящей главе рассмотрены свойства электродов и их покрытий. Особенности режимов сварки различных сталей и типы применяемых при этом электродов освещаются в соответствующих главах, посвященных технологии сварки различных металлов.

В зависимости от способа дуговой сварки применяются электроды различных типов: стальные, вольфрамовые, чугунные, из цветных металлов и сплавов, угольные и графитизированные. Схема классификации электродов для дуговой сварки дана на рис. 28. Широкое применение имеют стальные электроды, поскольку сталь в наибольших масштабах используется как материал для изготовления сварных конструкций. В настоящей главе будут рассмотрены в основном электроды для сварки стали.

§ 1. Электродная проволока

Из электродной проволоки изготавливаются стержни плавящихся электродов с покрытием. Однако в таких процессах, как сварка под флюсом и сварка в среде защитных газов, электродная проволока используется в качестве плавящегося электрода без специальных покрытий.

Для стальных электродов, применяемых для сварки и наплавки, используется холодноотянутая проволока круглого сечения. Состав электродной проволоки должен быть подобран так, чтобы наплавленный металл соответствовал составу основного металла и удовлетворял требованиям, предъявляемым к данному сварному соединению.

Согласно ГОСТ 2246—60 стальная проволока для электродов выпускается диаметром 0,3; 0,5; 0,8; 1; 1,2; 1,6; 2; 2,5; 3,0; 4; 5; 6; 8; 10 и 12 мм. Наиболее распространена проволока диаметром от 3 до 6 мм. Проволока поставляется в мотках (бухтах), из которых после правки могут нарезать стержни требуемой длины.

ГОСТ 2246—60 предусматривает 56 марок стали для проволоки, различных по химическому составу. Все марки стали для проволок по химическому составу можно разделить на три основные группы:

а) углеродистые, содержащие до 0,12% углерода и предназначенные для сварки мало- и среднеуглеродистых, а также некоторых

Химический состав сварочной проволоки некоторых марок по ГОСТ 2246—60

Марка стали	Содержание элементов, ‰								Примерное назначение
	Углерод	Марганец	Кремний	Хром	Никель	Молибден	Сера	Фосфор	
							не более		
Углеродистая Св-08	Не более 0,10	0,35—0,60	Не более 0,03	Не более 0,15	Не более 0,30	—	0,04	0,04	Общее, для получения швов повышенной пластичности и вязкости
Углеродистая Св-08А	Не более 0,10	0,35—0,60	Не более 0,03	Не более 0,10	Не более 0,25	—	0,03	0,03	То же, для особо ответственных конструкций
Углеродистая Св-08ГА	Не более 0,10	0,80—1,10	Не более 0,03	Не более 0,10	Не более 0,25	—	0,03	0,03	Общее, для получения швов повышенной прочности при сохранении высоких пластических свойств
Углеродистая Св-10Г2	Не более 0,12	1,5—1,9	Не более 0,03	Не более 0,20	Не более 0,30	—	0,04	0,04	Для автоматической сварки под безмарганцовистыми флюсами
Легированная Св-08ГС	Не более 0,10	1,4—1,7	0,60—0,85	Не более 0,20	Не более 0,25	—	0,03	0,03	Для сварки малоуглеродистой стали в среде углекислого газа
Легированная Св-08Г2С	Не более 0,11	1,8—2,1	0,70—0,95	Не более 0,20	Не более 0,25	—	0,03	0,03	Для сварки ответственных конструкций из малоуглеродистых и низколегированных сталей в среде углекислого газа

Легированная Св-12ГС	Не более 0,14	0,80—1,10	0,60—0,90	Не более 0,20	Не более 0,30	—	0,03	0,03	Для сварки швов повышенной прочности и сварки в среде углекислого газа
Легированная Св-18ХГСА	0,15—0,22	0,8—1,1	0,9—1,2	0,8—1,1	Не более 0,30	—	0,025	0,03	Для сварки низколегированных сталей в среде углекислого газа
Легированная Св-10ХМ	Не более 0,12	0,40—0,70	0,12—0,35	0,80—1,10	Не более 0,30	0,40—0,60	0,03	0,03	Для сварки хромо-молибденовой теплоустойчивой стали
Высоколегированная Св-02Х19Н9	Не более 0,04	1,0—2,0	0,50—1,0	18,0—20,0	8,0—10,0	—	0,018	0,025	Для сварки хромоникелевой аустенитной стали
Высоколегированная Св-06Х19Н9Т	Не более 0,08	1,0—2,0	0,4—1,0	18,0—20,0	8,0—10,0	титана 0,5—1,0	0,018	0,03	То же
Высоколегированная Св-08Х19Н10Б	0,05—0,1	1,2—1,7	Не более 0,7	18,5—20,5	9,0—10,5	ниобия 1,2—1,5	0,018	0,025	»

низколегированных сталей; к ним относятся пять марок: Св-08, Св-08А, Св-08ГА, Св-10ГА, Св-10Г2;

б) легированные марганцем, кремнием, хромом, никелем, молибденом, титаном и применяемые для сварки низколегированных сталей соответствующих марок; к ним относятся проволоки марок: Св-08ГС, Св-08Г2С, Св-12ГС и др., всего 23 марки;

в) высоколегированные для сварки специальных сталей и для наплавки — это проволоки марок Св-06Х14, Св-10Х13, Св-02Х19Н9 и др., всего 27 марок.

Составы проволок некоторых марок (ГОСТ 2246—60) приведены в табл. 3.

Проволока, легированная марганцем, имеет в обозначении марки букву Г, кремнием — С, молибденом — М, хромом — Х, никелем — Н, ниобием — Б, ванадием — Ф, вольфрамом — В, титаном — Т. Буква А в марке означает, что проволока изготовлена из стали с пониженным содержанием примесей и в первую очередь серы и фосфора. Цифры перед буквенным обозначением марки — 0,2 0,8; 10; 15; 12 — указывают среднее содержание углерода в сотых долях процента. Цифра после букв Х, Г, Н, Б и др. указывает среднее содержание в проволоке хрома, марганца, никеля, ниобия и т. д. в процентах. Например, проволока Св-02Х19Н9 содержит: углерода не более 0,04%, хрома 18—20% и никеля 8—10%. Отсутствие цифр после буквенных обозначений какого-либо элемента означает, что данного элемента содержится в проволоке меньше 1% (в среднем).

Поверхность проволоки должна быть чистой от ржавчины.

§ 2. Электродные покрытия

Электродные покрытия можно разделить на две основные группы: стабилизирующие (стабилизировать — делать более устойчивым), или тонкие;

качественные, или толстые.

Стабилизирующие (тонкие) покрытия имеют в своем составе вещества, молекулы и атомы которых легко ионизируются, т. е. обладают низким потенциалом ионизации, поддерживая этим горение дуги и облегчая ее возбуждение при непрерывном изменении полярности переменного тока. Такие покрытия называют также ионизирующими. Они наносятся на проволоку слоем толщиной в 0,1—0,3 мм и составляют 1—2% от веса электродной проволоки. Исследования акад. К. К. Хренова показали, что наиболее легко ионизируются и обеспечивают устойчивость горения дуги пары калия, встречающегося в виде природных минералов (гранита, полевого шпата) и химических веществ (хромат и бихромат калия, поташ, калиевая селитра), а также кальция, который входит в состав мрамора и мела в виде углекислого кальция — CaCO_3 .

Из тонких покрытий наиболее распространено меловое покрытие, состоящее из чистого мела, разведенного на жидком стекле. На 80—85 весовых частей мела берется 15—20 частей жидкого стекла. Хорошие результаты дает тонкое покрытие А-1 следующего состава: 81% титановой руды (концентрат), 10% марганцевой руды, 9% селитры калиевой, 15% жидкого стекла к весу сухой части покрытия. Покрытие А-1 разработано Институтом электросварки им. Е. О. Патона.

Жидкое стекло представляет собой склеивающее вещество, применяемое для приготовления всех видов покрытий для электродов. По своему составу жидкое стекло является силикатом — солью кремниевой кислоты щелочных металлов (натрия или калия). Применяется в основном натровое жидкое стекло — силикат натрия, химическая формула которого $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$. Отношение количества двуокиси кремния к щелочи в жидком стекле, т. е.

$m = \frac{\text{SiO}_2}{\text{Na}_2\text{O}}$, называется модулем жидкого стекла. Чем выше модуль, тем большей клейкостью обладает жидкое стекло. Для электродных покрытий применяется обычно натровое жидкое стекло с модулем от 2,2 до 3. Калиевое жидкое стекло вводится в некоторые покрытия для повышения устойчивости горения дуги.

Тонкие покрытия не могут защитить наплавляемый металл от кислорода и азота атмосферного воздуха. Поэтому окисление и азотирование металла шва и выгорание его элементов при сварке тонкопокрытыми электродами будут лишь немногим меньше, чем при сварке голыми электродами. Вследствие этого электроды с тонкими покрытиями дают сравнительно хрупкий, неплотный наплавленный металл, загрязненный посторонними включениями, и могут применяться только при сварке неответственных конструкций.

Тонкие покрытия в основном использовали в начальный период промышленного внедрения дуговой сварки на переменном токе, когда теория металлургических процессов при сварке еще только разрабатывалась, а размеры производства электродов с толстыми качественными покрытиями и их номенклатура были крайне ограничены.

Назначение качественного покрытия электродов заключается в следующем: а) повышении устойчивости горения дуги; б) создании вокруг дуги защитной оболочки из газов и шлаков для предохранения жидкого металла от окисления кислородом и азотирования азотом окружающего воздуха; в) образовании защитного слоя шлака на поверхности сварочной ванны для раскисления и замедления остывания металла шва; г) введении в металл шва дополнительных легирующих элементов для улучшения его механических свойств.

Качественные покрытия позволяют получать плотный, прочный и вязкий наплавленный металл без пор, раковин и шлаковых включений, не уступающий по механическим свойствам основному

металлу. Они наносятся на проволоку слоем толщиной от 0,7 до 2,5 мм. Вес качественного покрытия составляет от 30 до 75% веса металлического стержня электрода. Один конец электрода (контактный) остается непокрытым на длине около 50 мм; этим концом электрод вставляется в электрододержатель.

В безогарковых электродах покрытие наносится по всей длине электрода, который с обоих концов зачищается на конус. В этом случае длина электрода диаметром 4; 5 и 6 мм делается несколько меньшей и обычно равна 350 мм.

Качественные покрытия должны удовлетворять следующим требованиям:

1. При плавлении покрытие должно образовывать жидкий защитный шлак и газы.

2. Температура плавления покрытия должна быть близка к температуре плавления металла электрода и лежать в пределах 1100—1200°.

3. Обеспечивать устойчивое горение дуги при сварке на переменном токе (этому требованию отвечают не все покрытия).

4. Прочно держаться на электроде, покрывая его плотным и равномерным слоем без отслаивания или растрескивания.

5. Быть возможно более водоупорным и не портиться от воздействия влажного воздуха.

6. Шлак должен получаться не слишком вязким и легко растекаться по наплавленному металлу, покрывая его равномерным слоем. Правильно подобранная вязкость шлака имеет важнейшее значение для создания наиболее благоприятных условий протекания металлургических процессов при сварке.

7. Шлак должен обладать раскисляющими (восстановительными) свойствами по отношению к окислам металла.

8. Застывший шлак должен иметь большую усадку, чем металл шва, и поэтому легко отделяться от поверхности шва.

9. В электродах для вертикальной и потолочной сварки шлак должен быстро затвердевать и удерживать капли металла от стекания вниз.

10. Покрытия не должны содержать примесей, вредно влияющих на качество шва (серы, фосфора, влаги и др.).

Советскими учеными разработана теория металлургических процессов, позволяющая точно рассчитывать составы электродных покрытий в соответствии с предъявляемыми требованиями к свойствам наплавленного и основного металла.

Применяемые для приготовления электродных покрытий вещества условно могут быть классифицированы на следующие группы:

Шлакообразующие — минеральные вещества, содержащие окислы металлов (руды): титановую руду (ильменит), обогащенную титановую руду (титановый концентрат), природную двуокись титана (рутил), марганцевую

руды (пирролизит), полевой шпат, плавиковый шпат, мел, фарфоровую глину (каолин), кварц, гранит, мрамор*.

Титановая и марганцевая руды увеличивают скорость затвердевания шлака, что особенно важно при сварке вертикальных и потолочных швов. Титановая руда также увеличивает скорость плавления электрода, что повышает производительность сварки. Полевой шпат увеличивает устойчивость горения дуги, но при этом повышает жидкотекучесть шлаков. Полевой шпат иногда заменяют гранитом. Плавиковый шпат и двуокись титана понижают вязкость и температуру плавления шлака, придают ему нужную скорость затвердевания, однако плавиковый шпат в то же время снижает устойчивость горения дуги, так как входящий в его состав фтор способен образовывать отрицательные ионы, наличие которых снижает величину заряда околосварочного пятна, вследствие чего для повторного зажигания дуги переменного тока требуется более высокое напряжение.

Г а з о о б р а з у ю щ и е — крахмал, древесная мука, хлопчатобумажная пряжа, целлюлоза, древесный уголь, пищевая мука.

Р а с к и с л и т е л и — ферромарганец, ферросилиций, ферротитан, ферромолибден, алюминий.

Л е г и р у ю щ и е — ферромарганец, ферросилиций, феррохром, ферротитан и реже окислы металлов (окись меди, окись хрома, углекислый никель и др.). Основным легирующим веществом в большинстве покрытий является ферромарганец, который служит одновременно раскислителем. Марганцевая руда также используется как легирующее вещество в покрытии, увеличивая содержание марганца в металле шва. Для легирования углеродом в покрытие вводят графит.

С в я з у ю щ и е — придают покрытию вид пасты и после затвердевания прочно удерживают его на стержне. Для этой цели применяют жидкое стекло, реже — декстрин.

С т а б и л и з и р у ю щ и е — поташ (K_2CO_3), калиевое жидкое стекло.

Ввиду большого разнообразия применяемых составов покрытий качественные электроды делятся на типы не по составу покрытий, а по назначению электродов и механическим свойствам (прочности и пластичности) металла шва и сварного соединения, получаемых при сварке электродами данного типа**. В зависимости от назначения действующими ГОСТ предусматриваются, например электроды для сварки конструкционных сталей; электроды для сварки легированных теплоустойчивых сталей;

* В покрытиях основного типа, например УОНИ-13, мрамор является также газообразующим (выделяет CO_2), а плавиковый шпат — флюсующим веществом.

** Тип электрода по ГОСТ (например, Э42, Э50 и др.) не следует смешивать с промышленной маркой, принятой для данного покрытия электродов (например, электроды с покрытием ОММ-5, УОНИ-13/55 и др.).

электроды для наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами и др.

В обозначение типа электрода, например по ГОСТ 9467—60, входит буква Э (означает электрод) и цифры, указывающие предел прочности металла шва в кгс/мм^2 (в электродах для сварки конструкционных сталей). Например, марка Э42 показывает, что электрод предназначен для сварки конструкционных сталей и обеспечивает временное сопротивление разрыву металла шва 42 кгс/мм^2 . Буква А, стоящая в обозначении электрода после цифр, указывает на использование в них проволоки (ГОСТ 2246—60) с наименьшим содержанием серы и фосфора, что позволяет получать наплавленный металл повышенной пластичности и вязкости; такие электроды применяются для сварки наиболее ответственных конструкций.

Электроды, используемые при сварке теплоустойчивых молибденовых сталей, обозначаются Э-М, хромомолибденовых — Э-ХМ, хромомолибденованадиевых — Э-ХМФ, хромомолибденованадиево-

Таблица 4

Электроды для дуговой сварки конструкционных сталей
по ГОСТ 9467—60

Типы электродов	Механические свойства металла шва или наплавленного металла при применении электродов диаметром более 2,5 мм			Механические свойства сварного соединения при применении электродов диаметром 2,5 мм и менее		Содержание в металле шва или наплавленном металле, %		Основное назначение
	Временное сопротивление разрыву, кгс/мм^2	Относительное удлинение, %	Ударная вязкость, кгс·м/см^2	Временное сопротивление разрыву, кгс/мм^2	Угол загиба, град	Сера	Фосфор	
Э34	34	—	—	34	30	0,05	0,05	Для сварки малоуглеродистых и низколегированных сталей
Э42	42	18	8	42	120	0,05	0,05	
Э42А	42	22	14	42	180	0,04	0,04	
Э46	46	18	8	46	120	0,05	0,05	
Э46А	46	22	14	46	150	0,04	0,04	
Э50	50	16	6	50	90	0,05	0,05	Для сварки среднеуглеродистых и низколегированных сталей
Э50А	50	20	13	50	150	0,04	0,04	
Э55	55	20	12	55	140	0,04	0,04	
Э60	60	16	6	—	—	0,04	0,04	Для сварки легированных сталей повышенной прочности
Э60А	60	18	10	—	—			
Э70	70	12	6	—	—			
Э85	85	12	5	—	—			
Э100	100	10	5	—	—			
Э125	125	6	4	—	—			
Э145	145	5	4	—	—			

ниобиевых теплоустойчивых сталей Э-ХМФБ. Обозначение Э-Х2МФБ показывает, что электрод предназначен для сварки теплоустойчивой хромомолибденованадиево ниобиевой стали и металл шва содержит не менее 2% хрома; обозначение Э-Х5МФ — то же, но содержание хрома в шве должно быть не менее 5%. Для электродов, применяемых при сварке теплоустойчивых легированных сталей, нормы механических свойств соответствуют свойствам металла шва, прошедшего термическую обработку, указанную в паспорте электрода. ГОСТ 9467—60 на электроды для сварки конструкционных сталей регламентирует также максимально допустимое содержание серы и фосфора в металле шва или наплавки, а на электроды для сварки теплоустойчивых сталей — также и химический состав металла шва или наплавленного металла. Размеры и общие технические требования к электродам для дуговой сварки сталей и наплавки регламентируется ГОСТ 9466—60.

В табл. 4 и 5 приведены типы электродов по ГОСТ 9467—60 для дуговой сварки конструкционных и теплоустойчивых сталей.

К типу Э34 относятся электроды с меловым покрытием и покрытием А-1. К типу Э42 — с покрытиями МЭЗ-04, ОММ-5, ЦМ-7, ЦМ-7С и др.; к типу Э42А — с покрытием УОНИ-13/45; к типу Э50А — с покрытием УОНИ-13/55 и др.

Для сварки малоуглеродистых сталей наиболее широко применяются электроды с толстыми покрытиями ОММ-5, ЦМ-7, ЦМ-7С и МЭЗ-04, относящимися к группе кислых покрытий. Составы шихты для этих покрытий (в% по весу) следующие:

	ОММ-5	ЦМ-7	МЭЗ-04
Марганцевая руда (пирролизит)	21	—	24,5
Ферромарганец	20	30	21,5
Титановый концентрат	37	—	—
Крахмал	9	5	4
Полевой шпат	13	—	—
Железная руда-гематит (красный железняк)	—	33	—
Гранит	—	32	—
Титаномагнетитовая руда, содержащая более 13% окиси титана и 64—70% окиси железа	—	—	30
Каолин	—	—	5
Маршаллит (пылевидный кварц, содержащий 90—98% окиси кремния)	—	—	15
Жидкое стекло, к весу сухой части покрытия	30—35	30	30
Коэффициент наплавки, г/а·час	6,5—7,2	11	8,4—9

Электроды для дуговой сварки теплоустойчивых сталей по ГОСТ 9467—60

Типы электро- дов	Свойства металла шва или наплавленного металла											
	Механические свой- ства при 20° С			Химический состав, %								
				Углерод	Кремний	Марганец	Хром	Молибден	Ванадий	Ниобий	Сера	Фос- фор
	Времени- ное со- протива- ление разрыву кгс/мм ²	Отно- ситель- ное уд- лине- ние, %	Удар- ная вяз- кость, кгс·м/см ²									
Э-М	50	18	8	0,06—0,12	Не более 0,35	0,4—0,8	—	0,40—0,70	—	—	0,05	0,05
Э-МХ	50	18	8	0,06—0,12	Не более 0,35	0,4—0,8	0,3—0,6	0,40—0,70	—	—	0,04	0,04
Э-ХМ	50	16	8	0,06—0,12	0,15—0,45	0,5—0,9	0,7—1,0	0,40—0,70	—	—	0,04	0,04
Э-ХМФ	50	16	8	0,08—0,13	0,15—0,45	0,5—0,9	0,8—1,2	0,40—0,70	0,10—0,35	—	0,04	0,04
Э-ХМФБ	55	14	6	0,08—0,13	0,15—0,45	0,5—0,9	1,0—1,4	0,70—1,00	0,15—0,40	0,10—0,25	0,04	0,04
Э-Х2МФБ	55	14	6	0,08—0,13	0,15—0,45	0,5—0,9	2,4—3,0	0,70—1,00	0,25—0,50	0,35—0,65	0,04	0,04
Э-Х5МФ	55	14	6	0,08—0,13	0,15—0,45	0,5—0,9	4,5—5,0	0,40—0,70	0,10—0,35	—	0,04	0,04

Покрытие ОММ-5 разработано бывш. Оргаметаллом, покрытие ЦМ-7—отделом сварки ЦНИИТМАШ, покрытие МЭЗ-04 — Московским электродным заводом.

Перечисленные покрытия могут применяться для электродов при сварке швов на переменном и постоянном токе, в любом пространственном положении. При сварке электродами с проволокой Св-08 с покрытием ОММ-5 наплавленный металл имеет следующий состав: около 0,1% углерода, 0,8—0,9% марганца, около 0,1% кремния, 0,04—0,05% кислорода. Средние механические свойства сварного соединения из малоуглеродистой стали при этом получают следующие: предел прочности 46—50 кгс/мм², относительное удлинение 25%, ударная вязкость 10—12 кгс·м/см², угол загиба 180°. Недостатком покрытия ОММ-5 является склонность к поглощению влаги и в связи с этим необходимость хранения в сухом помещении, что обусловлено присутствием в его составе крахмала. Отсыревшее покрытие перед сваркой необходимо просушивать в течение нескольких часов при 180—200° во избежание получения пористого металла шва.

К группе электродных покрытий основного типа относятся широко распространенные покрытия УОНИ-13, состоящие из соединений кальция, плавикового шпата и ферросплавов.

Покрытия УОНИ-13 применяются нескольких марок: УОНИ-13/45, УОНИ-13/55, УОНИ-13/65, УОНИ-13/85, УОНИ-13/нж. Цифра в знаменателе указывает предел прочности наплавленного металла в кгс/мм², обеспечиваемый электродом с данной маркой покрытия. Составы покрытий УОНИ-13 следующие (в % по весу):

	УОНИ- 13,45	УОНИ- 13/55	УОНИ- 13 65	УОНИ- 13/85	УОНИ 13 нж
Мрамор (CaCO ₃) . . .	53	54	51	54	57,5
Плавиковый шпат (CaF ₂)	18	15	15,5	15	33,5
Кварц	9	9	8	—	—
Ферромарганец . . .	2	5	7	7	2,5
Ферросилиций	3	5	3	10	4
Ферротитан	15	12	15,5	9	2,5
Ферромолибден . . .	—	—	—	5	—
Жидкое стекло (вод- ный раствор) . . .	30	30	30	30	30

30 весовых частей на 100 частей сухой смеси

В электродах с покрытием УОНИ-13, предназначенных для сварки углеродистых и низколегированных сталей, в качестве стержня используется углеродистая проволока Св-08, Св-08А и др. по ГОСТ 2246—60, в электродах с покрытием УОНИ-13/нж, предназначенных для сварки нержавеющей сталей, — высоколегированная проволока из хромоникелевой аустенитной стали по ГОСТ 2246—60 с соответствующим содержанием углерода. Вес покрытия УОНИ-13 составляет 30—40% к весу стержня при толщине слоя покрытия 0,25—0,3 диаметра стержня.

Основной частью покрытия УОНИ-13 является углекислый кальций (CaCO_3), вводимый в виде мрамора. При нагревании и плавлении CaCO_3 разлагается на окись кальция CaO , дающую основную массу шлака, и углекислый газ CO_2 , образующий защитную газовую оболочку вокруг расплавляемого электродного металла.

Плавленый шпат в основном состоит из фтористого кальция и вводится в покрытие для понижения температуры плавления и уменьшения вязкости шлака. Кварц служит для разжижения шлака и уменьшает выгорание кремния в наплавляемом металле.

Ферромарганец и ферросилиций вводятся для легирования металла марганцем и кремнием. Ферротитан служит раскислителем.

При сварке малоуглеродистой стали электродами с покрытием УОНИ-13/55 наплавленный металл содержит около 0,1% углерода, около 1% марганца, 0,2—0,3% кремния и только около 0,02% кислорода. Таким образом, электроды с покрытием УОНИ-13 дают хорошо раскисленный плотный наплавленный металл, содержащий несколько повышенные количества марганца и кремния и обладающий высокими механическими свойствами. Металл, наплавленный электродами с покрытием УОНИ-13, обладает высокой пластичностью, значительной ударной вязкостью, достигающей 25—30 $\text{кгс} \cdot \text{м/см}^2$ для УОНИ-13/45 и УОНИ-13/55. Как правило, в металле, наплавленном электродами с покрытием УОНИ-13, не образуется трещин. Поэтому электроды с покрытием УОНИ-13 считаются лучшими по качеству и применяются для сварки особо ответственных конструкций, которые испытывают ударные нагрузки и вибрации, а также подвергаются действию повышенных или пониженных температур.

Коэффициент наплавки для УОНИ-13/45 и УОНИ-13/85 $K_n = 9,8 \text{ г/а} \cdot \text{час}$; для УОНИ-13/55 и УОНИ-13/65 $K_n = 8 \text{ г/а} \cdot \text{час}$.

Поскольку покрытия УОНИ-13 не содержат органических соединений (например, крахмала), они выдерживают длительное прокаливание (до 350—400°), что облегчает их просушку и делает менее восприимчивыми к влаге по сравнению с покрытием ОММ-5.

Покрытие УОНИ-13 требует применения для сварки постоянного тока обратной полярности. При сварке на переменном токе необходимо включать в сварочную цепь осциллятор для обеспечения устойчивого горения дуги. Для сварки на переменном токе без осциллятора в состав покрытия УОНИ-13 вводят стабилизирующие горение дуги ионизирующие добавки: заменяют, например, кварц полевым шпатом и добавляют в покрытие около 4% поташа (например, в покрытиях К-51, К-52). Для получения хорошего шва при использовании электродов с покрытием УОНИ-13 необходимо вести сварку возможно более короткой дугой. Покрытия УОНИ-13

более чувствительны к ржавчине на поверхности свариваемых кромок, чем, например, покрытие ЦМ-7. Покрытия К-51, К-52 и УОНИ-13/3* не содержат также дорогостоящего ферротитана.

За последние годы разработано много новых видов покрытий для электродов, в том числе для сварки сталей с особыми свойствами. Из новых покрытий следует упомянуть покрытие ВСП-50 основного типа, аналогичное УОНИ-13, но содержащее двуокись титана в виде рутила. Состав этого покрытия следующий: 5% гранита, 22% двуокиси титана (рутила), 33% мрамора или мела, 25%, плавикового шпата, 6% ферромарганца, 8% ферросилиция 45%-ного, 1% ферротитана, 15% жидкого стекла. Отношение веса покрытия к весу стержня 33—42, коэффициент наплавки $9,5 \text{ г/а} \cdot \text{час}$.

Покрытие ВСП-50 разработано Всесоюзным научно-исследовательским институтом строительства трубопроводов (ВНИИСТ). Оно имеет несколько пониженную температуру плавления и не образует на конце электрода одностороннего козырька; особенно пригодно для сварки труб. В том же институте сотрудниками А. Г. Мазель, Е. М. Роговой и Л. И. Сорокиных разработаны и испытаны новые электроды с пластмассовым покрытием, в котором в качестве связующего (взамен жидкого стекла) и газозащитного компонента использованы органические лаки и смолы. Покрытие этих электродов совершенно нечувствительно к увлажнению. Новые электроды, которым авторами присвоена марка ВСП-16 и ВСП-16м, пригодны для сварки малоуглеродистых и легированных сталей на постоянном и переменном токе. По механическим свойствам наплавленного металла они соответствуют электродам Э42 и Э50.

Как указывалось выше, покрытие УОНИ-13 требует применения для сварки только постоянного тока. Аналогичные же покрытия основного типа марок VII-1/45, VII-2/45 и СМ-11 допускают сварку как на постоянном, так и на переменном токе. Состав покрытия СМ-11 следующий: 3,5% двуокиси титана, 28,2% мрамора или мела, 20,3% шпата плавикового, 1,3% поташа, 3,5% ферромарганца, 8% ферросилиция 45%-ного, 32,8% железного порошка, 1,9% оксицеллюлозы, 11—12% жидкого стекла. Отношение веса покрытия к весу стержня 30—40, коэффициент наплавки $9,5—10 \text{ г/а} \cdot \text{час}$. Электроды с покрытием СМ-11 получили распространение на строительстве, так как их свойства отвечают условиям сварки в этой отрасли. Входящий в покрытие железный порошок уменьшает скорость охлаждения наплавленного металла, что благоприятно сказывается при сварке в условиях пониженных окружающих температур. Электроды с покрытием СМ-11 позволяют сваривать швы в любом пространственном положении и обеспечивают получение наплавленного металла без трещин, с высокой пластичностью, ударная вязкость наплавленного металла при сварке этими электродами достигает $14—18 \text{ кгс} \cdot \text{м/см}^2$.

* Буква «З» означает — «заменитель».

Применение в покрытиях СМ-11 железного порошка придает им новые важные технологические свойства. Дело в том, что большинство покрытий, не содержащих железный порошок, плавится медленнее металлического стержня, вследствие чего на конце электрода при сварке образуется козырек. При значительной высоте этого козырька дуга между металлом и стержнем электрода прерывается и гаснет. Для возбуждения дуги сварщику приходится удалять часть козырька, на что требуется дополнительное время. Присутствие в покрытии около 30% железного порошка делает его электропроводным, вследствие чего повторное возбуждение дуги происходит легко при прикосновении козырька на конце электрода к металлу. Это повышает производительность процесса сварки и исключает возможность затухания дуги, что является существенным преимуществом покрытий с железным порошком.

Для сварки высокопрочных сталей с пределом прочности свыше 100 кгс/мм^2 разработана серия покрытий марок НИ-3, НИ-3М, НИ-5 и др. на основе мрамора, плавикового шпата, ферромарганца, ферротитана, ферросилиция, феррохрома и ферромolibдена. Существует также большая номенклатура покрытий для сварки высоколегированных жаропрочных, кислотостойких и нержавеющей сталей, а также для наплавки сталей и получения наплавляемого металла требуемой прочности, пластичности, твердости и износостойкости.

Поскольку электроды с некоторыми другими покрытиями имеют специализированное назначение, данные о их составах и свойствах будут приводиться в последующих главах, при рассмотрении технологии сварки и наплавки сталей различных специальных марок.

§ 3. Способы нанесения покрытий на электроды

Электроды с толстыми покрытиями изготавливают промышленным способом на специализированных электродных заводах или в электродных мастерских, имеющих соответствующее оборудование. Современные станки для нанесения покрытия на проволоку полностью автоматизированы и обладают высокой производительностью.

С помощью специальных станков проволока для электродов предварительно правится, рубится на стержни требуемой длины и тщательно очищается от окалины, ржавчины, масла и других загрязнений.

Чтобы входящие в состав покрытия вещества за короткий промежуток времени образования капли расплавленного металла успели расплавиться и вступить в химическую реакцию с жидким металлом, твердые составные части покрытия предварительно высушиваются и дробятся, а затем тщательно размалываются и просеиваются. Для просеивания применяются сита с определенным размером отверстий:

	Число отверстий на см ²
Для окалины	3600—4500
Для полевого шпата, мрамора, кварца, плавикового шпата, марганцевой руды, титанового концентрата	2500—3600
Для ферросплавов	900—1600
Для гранита	1600—2500
Для органических веществ	900
Для мела и каолина	450—600

Титановый концентрат перед дроблением обжигают при 800—1000° для удаления из него серы. Ферросплавы для более легкого измельчения в шаровых мельницах предварительно подвергают закалке нагревом до 950—1000° с последующим быстрым охлаждением в проточной воде.

Подготовленные составные части покрытия отвешиваются в нужной пропорции и перемешиваются в смесителе, после чего сухие части покрытия замешивают на растворе жидкого стекла и воды до нужной густоты. Затем покрытие наносят на проволоку. Ферросплавы (малоуглеродистый ферромарганец и ферросилиций) могут при замесе вступать с жидким стеклом в химическую реакцию. При этом выделяется большое количество тепла и газов, а приготовленный замес покрытия превращается в твердый кусок. Для предупреждения этого явления размолотые ферросплавы перед замесом их с жидким стеклом должны прокаливаться в течение 1—1,5 час. Ферромарганец прокаливают при 300—350°, ферросилиций — при 700—800°. Этот процесс называется п а с с и в и р о в а н и е м ферросплавов.* Пассивирование может осуществляться также замачиванием измельченного сплава водой в течение 24 час или в 0,25—0,50%-ном растворе марганцевокислого калия или 0,5—1%-ом растворе азотной кислоты в течение 1—1,5 час.

Покрyтия на стержень можно наносить и ручным способом (окунанием). При ручном способе покрытие разводится примерно до густоты сметаны, электродные стержни собираются в рамку по 25—30 шт. и погружаются в ванну с покрытием. Скорость извлечения стержней из жидкого покрытия берется такой, чтобы слой покрытия равномерно распределялся по стержню и имел требуемую толщину. Иногда для получения необходимой толщины покрытия после подсушки на воздухе электроды вторично окунают в раствор.

Необходимо особенно следить за равномерностью толщины слоя покрытия на электродах, так как это имеет большое значение для их качества. Ручной способ нанесения покрытия малопроизводителен и не всегда дает ровный и плотный слой. Поэтому на современных заводах покрытие на проволоку наносится под давлением

* При пассивировании на крупинках ферросплавов образуется защитная (пассивная) окисная пленка.

750—1000 ат на специальных обмачочных прессах-автоматах. При этом покрытие ложится очень ровным и плотным слоем.

При прессовом способе покрытие замешивают до густоты влажной земли и при сжатии рукой оно должно слипаться в комок. Прессы-автоматы для нанесения покрытия на электроды выполняют все операции последовательно: наносят опрессовкой покрытие, зачищают один конец электрода от покрытия и укладывают их на приемный стол. Производительность таких прессов-автоматов достигает 10—12 т электродов в смену.

Электродные стержни пропускаются через цилиндр пресса, в котором находится покрытие под давлением. По выходе из цилиндра стержень проходит мундштук с калиброванными входным и выходным отверстиями. Ось стержня должна точно совпадать с осью отверстия мундштука. Меняя мундштуки, можно наносить покрытие на проволоки различных диаметров и слоем различной толщины.

После нанесения покрытия электроды сушат до тех пор, пока влажность покрытия будет не более 4—5%. Сушка производится сначала на воздухе при температуре 25—30° в течение 12—25 час, а затем в сушильных электрических шкафах при температуре 150—300° в течение 1—2 час. Электроды, содержащие органические элементы, прокаливаются при температуре не выше 150—200° во избежание выгорания органических частей.

Хранить готовые электроды следует в сухих помещениях с нормальной влажностью воздуха. Электроды с отсыревшим покрытием перед сваркой нужно в течение часа прокалить при температуре 180—200°. Качество готовых электродов проверяется наплавкой и сваркой контрольных образцов с последующим испытанием их на прочность и пластичность. Упаковываются электроды в водонепроницаемую бумагу и деревянные ящики партиями весом по 25—40 кг.

§ 4. Порошковая проволока

В настоящее время вместо дорогой легированной проволоки в ряде случаев применяется порошковая электродная проволока, состоящая из тонкой стальной ленты, свернутой в трубку диаметром от 2,5 до 5 мм и заполненной внутри порошком требуемого состава.

При расплавлении проволоки оболочка и порошок образуют однородный жидкий сплав, химический состав которого может быть точно рассчитан при приготовлении проволоки для получения металла шва наплавки с требуемыми свойствами.

Технология производства порошковой проволоки разработана Институтом электросварки им. Е. О. Патона и состоит в следующем. На специальном станке лента из мягкой малоуглеродистой стали холодного проката толщиной 0,7—0,8 мм и шириной 15 мм сворачивается в трубку, которая одновременно заполняется тонкораз-

молотым порошком. Трубка с порошком протягивается через калибровочное отверстие (фильер), изготовленный из твердого сплава. Полученная проволока наматывается на барабан, сворачиваясь при этом в бухту, и в таком виде используется при полуавтоматической или автоматической наплавке.

Обычно волочильный стан имеет четыре барабана и соответствующее количество фильеров. В первом проволока сворачивается в трубку после заполнения ее порошком, а в последующих выполняется дополнительная протяжка трубки с порошком для калибровки проволоки и запрессовки в ней порошка. Производительность станка составляет 250 кг проволоки за смену. Порошковая проволока значительно дешевле легированной и производство ее несложно.

Для заполнения проволоки применяется порошкообразная смесь из железного порошка и ферросплавов — ферромарганца, феррохрома, феррованадия, ферровольфрама, с небольшой добавкой графита. Соотношение составных частей в проволоке, например для наплавки стали марки 3Х2В8, следующее: 65% стальной ленты, 15% железного порошка, 4% феррохрома, 13% ферровольфрама, 1% феррованадия, 2% ферромарганца и графита. Этому соответствует следующий состав шихты: 43% железного порошка, 12% феррохрома, 37% ферровольфрама, 3,3% феррованадия, 4,5% ферромарганца, остальное графит.

Наплавку порошковой проволокой производят под слоем флюса или в среде углекислого газа. Порошковая проволока внедряется также для сварки в нижнем положении в условиях сварочно-монтажных работ. Применение порошковой проволоки повышает производительность процесса сварки.

Для сварки стали МСт. 3 порошок имеет следующий химический состав: 0,18—0,2% углерода, 1,9—2,5% марганца, 0,9—1,0% кремния, остальное железо; для сварки теплоустойчивой стали 15ХМ берется порошок следующего состава: 0,12—0,14% углерода, 2—2,2% марганца, 0,9—1,1% кремния, 0,8—1% хрома, 0,45—0,5% молибдена, серы и фосфора не более 0,03% каждого, остальное железо.

§ 5. Угольные и графитированные электроды

Электроды этого типа готовятся из прессованного угля или кокса специального состава. Диаметр электродов от 5 до 30 мм, длина 200—300 мм, сечение круглое. Конец электрода затачивается на конус с углом 60—70°. Угольные электроды должны иметь правильную форму, гладкую поверхность и быть без трещин. Хорошо обожженный угольный электрод дает при ударе чистый металлический звук и не оставляет на бумаге черты. Во время сварки он не должен растрескиваться.

Для улучшения свойств угольные электроды подвергают графитированию путем термической обработки при температуре около 2600°.

Графитированные электроды чище по своему химическому составу, более мягки, имеют серый с металлическим блеском цвет, оставляют на бумаге черную черту. Они лучше угольных электродов, так как более электропроводны, меньше сгорают (окисляются) на воздухе при высоких температурах и поэтому допускают сварку при большей плотности тока.

Сварку угольным электродом выполняют на постоянном токе прямой полярности (минус на электроде). При этом длина дуги составляет от 6 до 15 мм, дуга легко зажигается и обладает большой устойчивостью. При обратной полярности дуга делается крайне неустойчивой, электрод обгорает и испаряется, а свариваемый металл науглероживается.

По характеру сгорания угольного электрода, пользуясь вышеуказанными признаками, можно также определять полярность сварочной цепи.



ГЛАВА VII

ТЕХНИКА РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ

§ 1. Выбор сварочного тока

Сварочный ток зависит от диаметра электрода, который выбирается в соответствии с толщиной свариваемого металла и вида сварного соединения. Кроме того, на величину тока влияет тип применяемого покрытия и положение сварного шва в пространстве.

От величины сварочного тока зависит количество наплавленного металла в единицу времени (например, за 1 час), т. е. производительность сварки, а также глубина проплавления (провар).

Если ток мал, то в сварочную ванну будет поступать недостаточное количество тепла и возможно несплавление основного и наплавленного металла (непровар), резко понижающее прочность сварного соединения. При слишком большом токе весь электрод спустя некоторое время после начала сварки сильно разогревается, его металл начинает быстрее плавиться и стекать в шов. Это создает излишек наплавленного металла в шве, а также связано с опасностью образования непровара в случае попадания жидкого электродного металла на еще не расплавленный основной металл.

Таблица 6

Примерные значения сварочного тока в зависимости от диаметра электрода и вида покрытия

Тип электрода или марка покрытия	Диаметр электрода, мм					
	2	3	4	5	6	7
	Ток, а					
С тонким покрытием	—	90—130	140—180	200—250	260—350	—
ОММ-5	—	90—140	120—200	225—280	290—365	450—570
УОНИ-13/45	30—45	90—130	120—170	180—230	—	—
ЦМ-7	—	—	160—200	225—280	—	450—570
ЦМ-7С	—	—	—	230—310	315—420	500—680

При выборе величины тока для сварки в нижнем положении малоуглеродистой стали можно руководствоваться следующей простой формулой:

$$I = (40 \div 60) d,$$

где I — ток, а;

d — диаметр металлического стержня электрода, мм.

Примерные значения сварочного тока, применяемого при сварке электродами с различными видами покрытий, даны в табл. 6.

Диаметр проволоки электрода при сварке стыковых швов выбирают в зависимости от толщины свариваемого металла, исходя из следующих данных:

Толщина свариваемой стали, мм	1,5—2	3	4—5	6—8	9—12	13—15	16—20
Диаметр проволоки электрода, мм	2—3	3—4	3—4	4—5	4—5	4—5—6	4—5—6

§ 2. Возбуждение дуги и поддержание ее горения

Для возбуждения дуги сварщик концом электрода прикасается к металлу, а затем быстро отводит его на 2—4 мм. В этот момент образуется дуга, постоянную длину которой поддерживают во время сварки путем постепенного опускания электрода по мере его расплавления. До момента образования дуги сварщик должен закрыть лицо щитком или шлемом.

Второй способ заключается в следующем: сварщик проводит (чиркает) по поверхности свариваемого металла концом электрода и затем быстро отводит его на небольшое расстояние, возбуждая дугу. Дугу необходимо поддерживать возможно более короткой.

Длинная дуга не обеспечивает достаточной глубины проплавления основного металла, а электродный металл при плавлении сильно разбрызгивается, в результате получается неровный шов с большим количеством включений окислов. При короткой дуге около шва образуется лишь небольшое количество мелких капель металла, электрод плавится спокойно, давая равномерный пучок искр, глубина проплавления свариваемого металла получается больше. О длине дуги можно судить по звуку, издаваемому ею при горении. Дуга нормальной длины издает равномерный звук одного тона. Слишком длинная дуга дает более резкий и громкий звук, часто прерывающийся и сопровождающийся хлопками.

В случае обрыва дугу возбуждают вновь несколько впереди места обрыва, на еще не сваренном металле, после чего следует вернуться к месту, где произошел обрыв дуги, тщательно проварить кратер и продолжать сварку.

§ 3. Наплавка валика

При подаче электрода только в направлении его оси и перемещении электрода вдоль шва прямолинейно, без колебательных движений получается узкий (ниточный) валик. При наложении валика электрод следует держать наклонно к поверхности металла под некоторым углом к вертикальной линии. Наклон электроду придают для того, чтобы капли металла, перемещающиеся при расплавлении конца электрода в направлении его оси, попадали на расплавленный металл ванны. Электрод может быть также наклонен и в сторону, противоположную направлению сварки. В этом случае глубина проплавления основного металла будет больше.

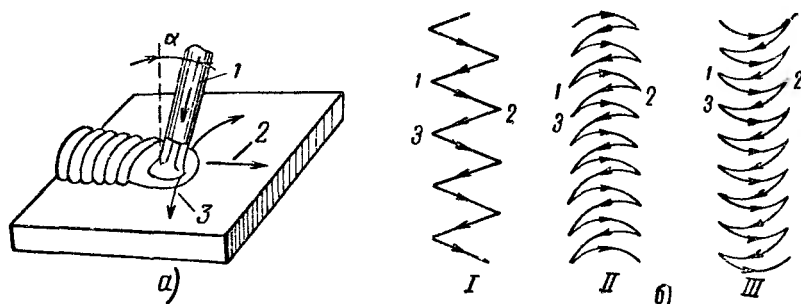


Рис. 29. Схема основных движений электрода:

a — перемещение электрода в трех направлениях, *б* — движение концом электрода при наплавке уширенных валиков: *I* — прямолинейные перемещения, *II* — криволинейные, выпуклостью в сторону сваренного участка шва, *III* — то же, выпуклостью в сторону несваренного участка шва

Изменяя угол наклона электрода к поверхности свариваемого металла, сварщик может регулировать глубину расплавления основного металла, способствовать лучшему формированию валика шва и влиять на скорость охлаждения ванны.

Узкий валик накладывают при проваре корня шва, сварке тонких листов и в других случаях. Чем медленнее сварщик перемещает электрод вдоль шва, тем шире получается валик. Обычно при сварке тонкопокрытыми электродами ширина узкого валика колеблется в пределах 0,8—1,5 диаметра стержня электрода. При узком, но высоком валике объем наплавленного металла невелик, он застывает быстрее и растворенные в металле не выделившиеся газы делают шов пористым. Поэтому чаще применяют уширенные валики. Для получения их сварщик должен сообщать электроду колебательные движения поперек шва. При сварке таких швов конец электрода должен совершать три движения (рис. 29, *a*): *1* — поступательное вдоль оси электрода сверху вниз, *2* — поступательное вдоль линии шва и *3* — колебательное поперек шва перпенди-

кулярно его оси. Поперечные колебательные движения электрода способствуют прогреву свариваемых кромок и замедляют остывание ванны наплавленного металла.

Схемы колебательных движений конца электрода при наплавке уширенных валиков показаны на рис. 29, б. В точках 1, 2 и 3 скорость перемещения электрода уменьшается, что способствует прогреванию кромок свариваемых листов.

Лучшее качество сварки получается при ширине валика, равной 2,5—3 диаметра электрода. В этом случае все кратеры расплавлен-

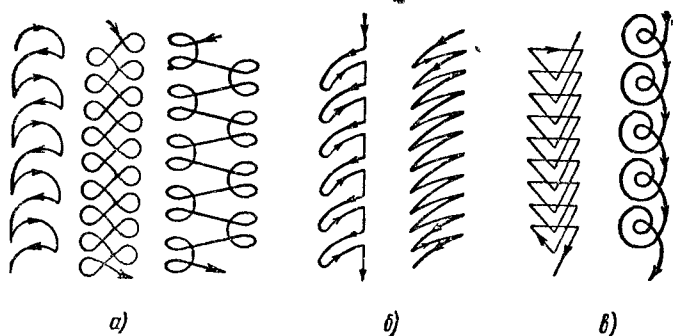


Рис. 30. Особые случаи движения концом электрода:

а — при усиленном прогревании обеих свариваемых кромок, *б* — при большем прогревании одной свариваемой кромки, *в* — при прогревании середины шва

ного металла 1, 2, 3 сливаются в одну общую ванну. При этом обеспечивается наилучшее сплавление основного и наплавленного металла, и шов получается наиболее прочным.

При слишком большой ширине валика металл в точке 1 уже застывает в тот момент, когда дуга возвратится в точку 3, и в этом месте может образоваться непровар. Кроме того, при слишком широком валике производительность сварки будет меньше. На рис. 30, *а* показаны особые случаи движений концом электрода, необходимых для усиленного прогревания обеих кромок, на рис. 30, *б* — при прогревании только одной кромки (например, при сварке листов разной толщины). Для прогревания середины шва электрод перемещают по схеме, изображенной на рис. 30, *в*. Наплавляя валик, сварщик может находиться сбоку от шва, перемещая электрод слева направо или на оси шва, ведя электрод на себя.

После окончания наплавки валика остающийся в конце его кратер должен быть тщательно заварен. Если этого не сделать, то в данном месте может возникнуть трещина.

При сварке электродами с толстыми покрытиями необходимо обеспечить полное и равномерное закрытие жидкого металла слоем расплавленного шлака. Шлак должен располагаться сзади дуги, не

смешиваться с расплавленным металлом и не затекать перед дугой, т. е. не попадать на поверхность еще не расплавленного металла. Металл при этом должен поддерживаться более длительное время в жидком состоянии для того, чтобы частицы шлака всплыли на поверхность ванны, и шлак успел бы раскислить металл. Ширина поперечных колебаний конца электрода при сварке толстопокрытыми электродами должна быть меньше, чем при сварке тонкопокрытыми электродами. Сварку угловых швов в нижнем положении лучше производить в лодочку, а изделие наклонять так, чтобы шлак не затекал на металл перед дугой. Угол наклона α толстопокрытого электрода к вертикальной плоскости должен быть $15-20^\circ$. Валик, наплавленный толстопокрытым электродом, имеет более плоскую форму, так как наплавленный металл под слоем шлака застывает медленнее.

Одним из элементов процесса сварки является *прихватка*, которая служит для предварительного скрепления свариваемых листов при сборке. Прихватка производится узким валиком длиной несколько сантиметров. Прихватка выполняется теми же электродами, что и сварка. Поверхность валиков-прихваток тщательно очищается. Во время сварки места прихваток должны полностью расплавляться до основного металла, так как иначе в месте наложения прихватки может образоваться непровар, пористость, включение шлака или другой дефект.

§ 4. Сварка стыковых швов

Примерные режимы ручной дуговой сварки стыковых швов приведены в табл. 7.

Таблица 7

Примерные режимы ручной дуговой сварки стыковых швов

Толщина металла, мм	Форма соединения <i>l</i>	Число проходов (валиков)	Диаметр электрода, мм		Ток, а		Производительность сварки, м/час
			первый проход	последующие проходы	первый проход	последующие проходы	
3	Без скоса	1	4	—	180	—	12
6	V-образное	1	4	—	200	—	7
10	То же	2	4	5	200	250	4
16	„ »	6	4	6	200	320	2
20	X-образное	8	4	6	200	320	1,6

Провар металла на всю толщину шва при сварке листов без скоса кромок толщиной до 6—8 мм зависит от правильного выбора тока и диаметра электрода. При соответствующих диаметрах электрода и токе обеспечивается полный провар и высокая производи-

тельность сварки без скоса кромок при толщине листов даже до 10 мм. Рекомендуется подбирать ток опытным путем, сваривая пробные планки. Для предупреждения непровара нижней части шва (корня) выполняют, если это позволяет конструкция изделия, предварительную подварку шва с обратной стороны. Иногда с обратной стороны шва ставят подкладку из стали толщиной 2—3 мм. Тогда сварщик может повысить сварочный ток на 20—30 % по сравнению с нормальной величиной, не боясь сквозного проплавления металла. Стальная подкладка при наложении валика шва приваривается к нему с обратной стороны и ее оставляют, если конструкция и назначение изделия это позволяют.

§ 5. Сварка угловых швов

При сварке угловых швов жидкий металл стремится стекать на нижнюю плоскость. Поэтому эти швы лучше варить в нижнем положении в лодочку (рис. 31, а). Однако это не всегда возможно,

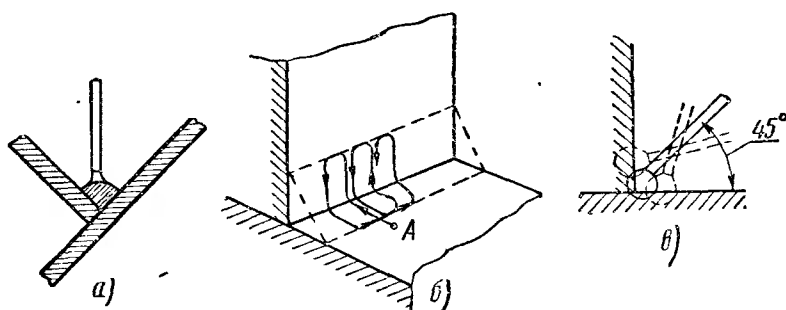


Рис. 31. Сварка угловых швов

так как деталь иногда трудно устанавливать в нужном положении.

При сварке углового шва, нижняя плоскость которого расположена горизонтально, возможен непровар вершины угла (корня шва) или одной из кромок. Непровар может образоваться на нижнем листе, если начинать сварку с вертикального листа; в этом случае расплавленный металл стечет на недостаточно нагретую поверхность нижней кромки. Поэтому сварку этих швов всегда следует начинать, зажигая дугу на нижней плоскости в точке возбуждения дуги А, и вести электрод так, как показано на рис. 31, б.

Электрод нужно держать под углом 45° к поверхности листов, слегка наклоняя его в процессе сварки то к одной, то к другой плоскости (рис. 31, в).

Угловые швы выполняют однослойными при катете шва до 8 мм или многослойными при катете шва свыше 8 мм.

При сварке многослойного углового шва сначала накладывают узкий ниточный валик электродом диаметром 3—4 мм, чем обеспечивается лучший провар корня. При определении числа проходов исходят из объема площади поперечного сечения металла шва, наплавляемого за один проход. Для одного слоя эта величина должна составлять 30—40 мм².

Примерные режимы ручной дуговой сварки угловых швов без скоса кромок даны в табл. 8.

Таблица 8

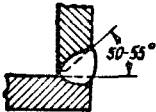
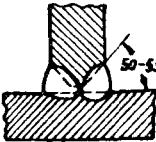
Примерные режимы ручной дуговой сварки угловых швов без скоса кромок

Катет шва, мм	Число проходов (валиков)	Диаметр электрода, мм		Ток, а		Производительность сварки, м/час
		первый проход	последующие проходы	первый проход	последующие проходы	
3	1	4	—	180	—	14
6	2	5	—	230	—	12
10	3	5	5	240	260	5
16	4	5	6	270	360	2,5

При сварке угловых швов с односторонним и двухсторонним скосом кромок режимы сварки выбираются по данным, приведенным в табл. 9.

Таблица 9

Примерные режимы ручной дуговой сварки угловых швов со скосом кромок

Вид шва	Толщина металла, мм	Число проходов	Диаметр электрода, мм	Ток, а
	4	1	3—4	120—160
	8	1—2	4—5	160—220
	12	3—4	4—6	160—300
	20	6—8	4—6	160—320
	10	2—4	4—6	160—320
	20	4—8	4—6	160—360
	40	8—16	4—6	160—360
	60	16—30	5—6	220—360
	80	30—40	5—6	230—360

§ 6. Сварка вертикальных, горизонтальных и потолочных швов

При сварке вертикальных швов капли расплавленного металла стремятся стекать вниз (рис. 32, а). Поэтому сварку вертикальных швов ведут более короткой дугой, при которой капли расплавленного металла легче переходят с электрода в кратер шва. Конец электрода при этом отводят вверх или в сторону от капли, давая

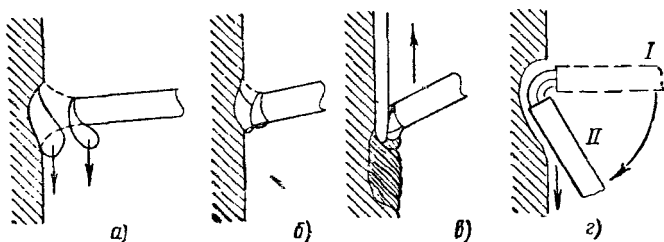


Рис. 32. Сварка вертикальных швов

ей возможность затвердеть (рис. 32, б). Вертикальные швы лучше сваривать в направлении снизу вверх, тогда нижележащий кратер будет удерживать капли металла, стремящиеся стечь с конца электрода (рис. 32, в).

Электрод может иметь наклон или вверх или вниз. При наклоне электрода вниз сварщик может лучше наблюдать за распределением капель расплавляемого электродного металла в разделке шва. Если необходимо вести вертикальную сварку сверху вниз, электрод ставится сначала в положение I (рис. 32, г), а после образования капли опускается ниже, в положение II, получается следующий кратер и капля металла удерживается возможно более короткой дугой от стекания вниз. Вертикальные швы легче сваривать электродом диаметром не более 4 мм на несколько пониженном токе (порядка 160 а). При этом получается не слишком большой объем жидкого металла в кратере шва.

При выполнении горизонтальных швов (рис. 33, а) для уменьшения стекания наплавленного металла делают скос кромок только у верхнего листа. Дугу возбуждают на нижней кромке (положение I), а затем переводят ее на кромку верхнего листа (положение II), поднимая вверх стекающую каплю металла. Схема движений конца электрода при сварке однослойного горизонтального шва показана на рис. 33, а справа. Можно также сваривать горизонтальные швы продольными валиками, накладывая первый валик электродом диаметром 4 мм, а последующие — электродом диаметром 5 мм.

Наиболее трудными для сварки являются потолочные швы. Они выполняются самой короткой дугой. Для облегчения сварки в потолочном положении толстые покрытия делают несколько более тугоплавкими, чем металл электрода. Расплавляясь медленнее электродного металла, покрытие образует на его конце чехольчик, сдерживающий капли расплавленного металла (рис. 33, б). При этом конец электрода то удаляют, то приближают к ванне. При удалении электрода дуга гаснет и капли металла шва затвердевают. При потолочной сварке, так же как и при вертикальной или горизонтальной, выбирают электрод меньшего диаметра, а ток уменьшают на 10—15% по сравнению со сваркой металла такой

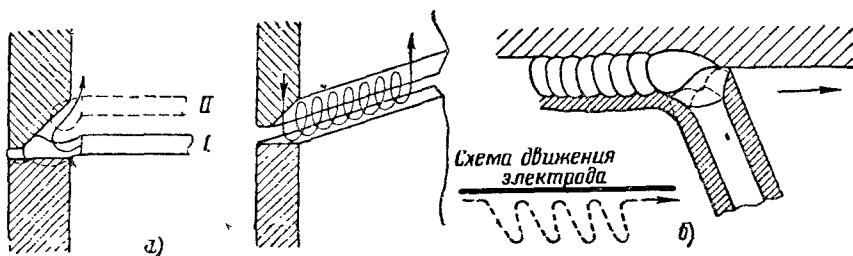


Рис. 33. Сварка однослойных швов:

а — горизонтальных, б — потолочных

же толщины в нижнем положении. Для сварки в любом пространственном положении из толстопокрывых электродов пригодны, например, электроды с покрытием ОММ-5, МЭЗ-04, ЦМ-7; УОНИ-13 и др.

§ 7. Сварка многослойных швов

При сварке многослойного шва сначала проваривают его корень ниточным валиком электродом диаметром 3—4 мм. Тщательность наложения первого валика имеет важное значение для получения прочного соединения при многослойной сварке. Затем производят наплавку последующих слоев, предварительно очистив поверхность ранее наплавленных валиков от шлака. При V-образной подготовке шва корень последнего подваривают также и с обратной стороны.

При многослойной сварке стыковых Х-образных швов сначала проваривают корень шва с одной стороны электродами диаметром 3—4 мм, очищают шов от шлака и наносят второй слой электродами большего диаметра. Затем изделие поворачивают, проваривают корень шва с другой стороны также электродами диаметром 3—4 мм и накладывают второй слой в том же порядке. Предварительно шов очищают проволочной щеткой и, если нужно, прорубают зубилом

канавку. После этого наносят попеременно то с одной, то с другой стороны разделки последующие слои электродами диаметром 5—6 мм. Этим обеспечивается меньшее коробление изделия при сварке. Чтобы при наплавке вышележащих слоев обеспечивался достаточный прогрев и отжиг ранее наплавленного слоя, толщина каждого слоя не должна быть более 4—5 мм.

Практически для многослойных швов установлены следующие соотношения между площадью поперечного сечения металла, наплавленного за один проход, и диаметром электрода: для первого прохода (провар корня шва) $F_1 = (6 \div 8)d_{эл}$;

для последующих проходов $F_{II} = (8 \div 12)d_{эл}$,

где F_1 — площадь сечения шва для первого прохода, мм²;

F_{II} — площадь сечения шва для последующих проходов, мм²;

$d_{эл}$ — диаметр проволоки электрода, мм.

§ 8. Сварка тонколистовой стали

Основным затруднением при дуговой сварке стали толщиной менее 2—2,5 мм является возможность сквозного проплавления металла в отдельных местах шва и образование отверстий, которые трудно поддаются заправке. Чтобы избежать этого явления, нужно правильно выбирать диаметр электрода и сварочный ток.

Если к сварному изделию не предъявляется особых требований в отношении внешнего вида и формы шва (например, при сварке из листов малонапорных, неответственных трубопроводов, бочек и других изделий), то листовую сталь толщиной 1,5—2,5 мм можно сваривать постоянным током прямой полярности, используя в качестве источников питания стандартные сварочные преобразователи ПС-300, электроды диаметром 3—4 мм и максимальный ток 140—180 а.

Для сварки более тонкой стали, а также для изделий, к которым предъявляются высокие требования в отношении внешнего вида и размеров сечения швов (например, стыковые швы труб, узлы трубчатых конструкций, испытывающих вибрационные и ударные нагрузки, и другие подобные изделия), применяются меньшие сварочные токи:

Толщина металла, мм	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
Диаметр электрода, мм	1	1,6—2	2	2,5	2,5—3
Ток, а	10—20	30—35	35—45	50—65	65—100

Для швов в нахлестку ток берется на 10—15%, а для тавровых — на 15—20% больше указанных значений.

Для сварки на таких режимах необходимо применять специальные покрытия, обеспечивающие устойчивость горения и легкое возбуждение дуги при малых токах; замедленное плавление элект-

рода, соответствующее скорости прогрева и плавления основного металла (во избежание получения швов с большим утолщением); получение жидкотекучего расплавленного металла, дающего удовлетворительный внешний вид шва.

Этим требованиям отвечает, например, покрытие марки МТ-2 для сварки тонколистовой стали, разработанное Киевским политехническим институтом. Состав покрытия МТ-2 следующий: 50% титановой руды (концентрат), 20% полевого шпата, 20% ферромарганца, 2% хромовокислого калия, 8% декстрина. Покрытие разводится на водном растворе декстрина.

Сварку электродами с покрытием МТ-2 лучше вести на постоянном токе прямой полярности. При толщине листов более 1 мм можно применять переменный ток. Необходимо иметь амперметр для точного измерения тока.

Применяется также покрытие ОМА-2 следующего состава: 36,5% титанового концентрата, 3,5% марганцевой руды, 2% калиевой селитры, 6% ферромарганца, 5,2% ферросилиция, 46,8% муки, 15—18% жидкого стекла. Покрытие МТ-2 используют для сварки как углеродистой, так и низколегированной стали (типа хромансиль). Покрытие ОМА-2 применяют только при сварке углеродистой стали.

Сварку лучше вести на толстых теплоотводящих подкладках из меди без зазора между кромками и без поперечных колебательных движений электрода. Возможно также применение остающихся стальных подкладок. Вместо подкладок в шов между кромками можно зажимать стальную полосу и вести сварку по ней, расплавляя кромки листов за счет косвенного действия тепла дуги.

Тонколистовую сталь толщиной 0,5—1 мм можно также сваривать в нахлестку с проплавлением металлическим или угольным электродом через верхний лист (рис. 34), что облегчает сварку и устраняет возможность сквозного прожога.

При сварке металла малой толщины следует применять легкий электрододержатель и тонкий гибкий провод сечением 6—10 мм².

При сварке тонколистовой стали на пониженных режимах применяют преобразователи ПС-100-1 или трансформаторы СТАН-0 и ТС-120, позволяющие плавно регулировать сварочный ток при малых его значениях и имеющие повышенное напряжение холостого хода.

Тонкий металл можно также сваривать без присадочного материала неплавящимся угольным или графитированным электродом

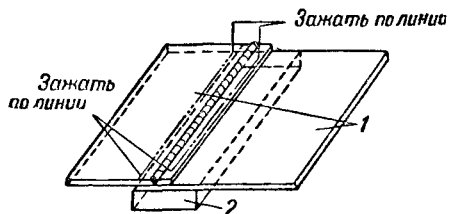


Рис. 34. Способ сварки тонких листов стали в нахлестку с проплавлением:

1 — свариваемая деталь, 2 — стальная подкладка

на постоянном токе, но с отбортовкой кромок (рис. 35, а). Электрод берут диаметром 6—10 мм, ток — от 120 до 160 а. Отбортованные кромки листов расплавляются и образуют сварной шов. Производительность при сварке тонкого металла угольной дугой очень высока и достигает 50—70 м/час.

Для более толстого металла при сварке угольным электродом в шов закладывается проволока или полоска, расплавление кото-

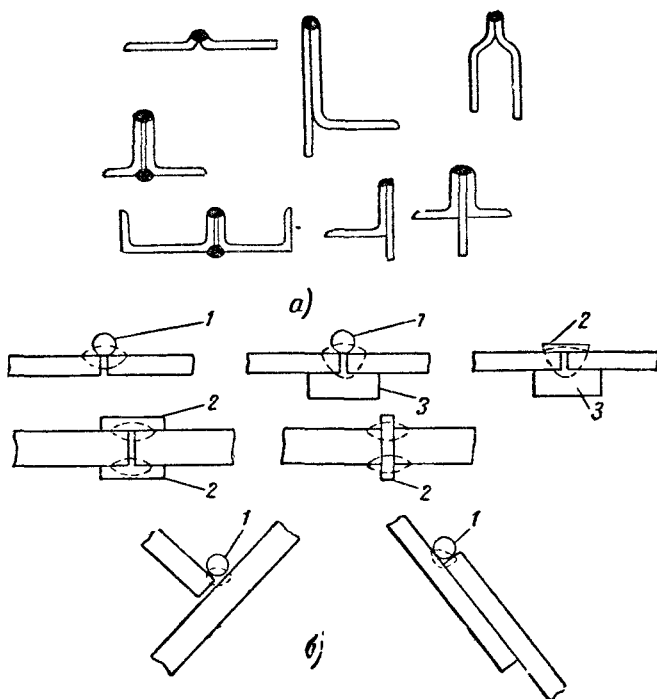


Рис. 35. Некоторые виды сварных соединений при сварке угольным электродом:

а — при сварке тонкого металла, б — при сварке более толстого металла: 1 — присадочная проволока, 2 — присадочная полоска, 3 — подкладка под шов

рой дает добавочный объем присадочного металла, необходимый для образования металла шва (рис. 35, б).

Дуговая сварка тонколистовой стали связана с большими технологическими затруднениями, чем, например, газовая, и поэтому газовая сварка все еще широко используется при изготовлении конструкций из тонкого металла. Хорошие результаты достигаются при использовании дуговой сварки тонкой стали в атмосфере углекислого газа.

Для стали толщиной 1—2 мм целесообразно применять также полуавтоматическую и автоматическую шланговую сварку под флюсом проволокой малых диаметров со скоростью до 100—120 м/час.

Однако наиболее экономичным способом сварки изделий из тонкого листового металла является электрическая контактная сварка (точечная, роликовая), которая дает шов высокого качества и вызывает наименьшие деформации.

Окончательный выбор того или иного способа сварки тонколистовой стали определяется конструкцией сварного изделия и условиями производства.

§ 9. Сварка с глубоким проплавлением

Одним из способов повышения производительности ручной дуговой сварки является уменьшение объема наплавленного металла на единицу длины шва. Этот способ положен в основу процесса сварки с глубоким проплавлением. Необходимая прочность сварного соединения обеспечивается более значительной глубиной проплавления кромок свариваемых деталей, чем это имеет место при обычном способе сварки. Для иллюстрации рассмотрим сечения двух угловых швов таврового соединения, выполненных обычным способом (рис. 36, А) и с глубоким проплавлением (рис. 36, Б). Опасным сечением в первом случае является биссектриса прямого угла между стенками свариваемых листов, показанная пунктиром и проведенная из точки O_1 . Поскольку сечение шва имеет форму равнобедренного прямоугольного треугольника, биссектриса равна высоте h_1 данного треугольника, имеющего катет a_1 . Высота равна:

$$h_1 = a_1 \cdot \cos 45^\circ = 0,7a_1.$$

В этом случае величина расчетного усилия, допускаемого для данного шва, будет:

$$P_1 = h_1 \cdot R'_s \cdot l = 0,7a_1 \cdot R'_s \cdot l,$$

где R'_s — допускаемое напряжение среза.

При сварке с глубоким проплавлением опасное сечение шва совпадает с перпендикуляром, опущенным из точки O_2 на гипотенузу треугольника, имеющего катет a_2 . Расчетная высота h_2 этого шва определяется по формуле

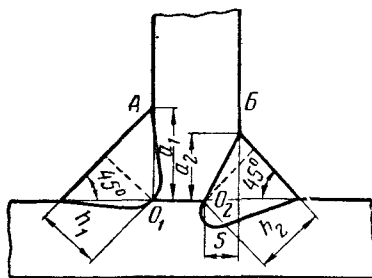


Рис. 36. Сечения швов равной прочности:

А — с обычным проплавлением, Б — с глубоким проплавлением

$$h_2 = (a_2 + s) \cdot \cos 45^\circ,$$

где s — глубина провара по плоскости касания свариваемых листов, обычно равная $s = 0,5 \cdot a_2$. Следовательно,

$$h_2 = (a_2 + 0,5a_2) \cdot \cos 45^\circ = 1,5a_2 \cdot 0,7 = 1,1a_2.$$

Принимаем (с запасом для прочности) $h_2 = a_2$. Тогда расчетное допускаемое усилие для шва (рис. 36, Б) будет равно:

$$P_2 = h_2 \cdot R'_s \cdot l = a_2 \cdot R'_s \cdot l.$$

Сравнивая величины P_1 и P_2 , видим, что при $a_1 = a_2$, т. е. при одном и том же катете шва, величина $P_2 \cong 1,5 P_1$. Следовательно, в этих условиях шов с глубоким проплавлением будет в 1,5 раза прочнее обычного валикового шва.

Объем наплавленного металла у шва с глубоким проплавлением меньше, чем у обычного шва, так как всегда $a_2 < a_1$, что значительно повышает производительность сварки. На такой шов расходуется меньше электроэнергии и электродов, так как он образуется за счет большей доли расплавленного основного металла.

Способ сварки с глубоким проплавлением разработан инженерами А. Д. Бондаренко и А. С. Чесноковым в Государственном проектно-институте «Проектстальконструкция» и нашел широкое применение в практике сварки, особенно при изготовлении строительных конструкций, тонкостенных резервуаров, корпусов судов и других подобных изделий из листовой стали толщиной 4—12 мм.

Глубина проплавления увеличивается с увеличением тока. Повышение тока на 50 а увеличивает глубину провара в среднем на 1 мм. При электродах с обмазкой ЦМ-7С, диаметре стержня 6,7 мм и толщине слоя обмазки 2,15 мм на сторону глубина проплавления составляет:

ток, а	350	400	450	500	550	600
глубина проплавления, мм .	4	5	6	7,25	8,5	9,5

При сварке с глубоким проплавлением электрод опирается кромкой покрытия на свариваемый металл (рис. 37, а). После воз-

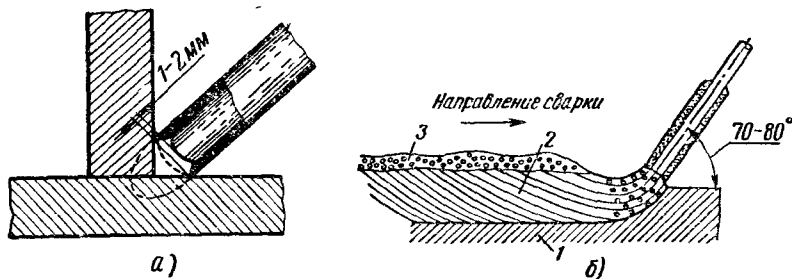


Рис. 37. Положение электрода при сварке с глубоким проплавлением: а — поперечный разрез, б — продольный разрез: 1 — основной металл, 2 — металл шва, 3 — шлак

буждения дуги на конце электрода образуется чехольчик из не-расплавленного покрытия, внутри которого горит дуга. Чехольчик предохраняет электрод от короткого замыкания.

Сварщик нажимает электрододержателем в сторону направления сварки и по мере расплавления свариваемого металла и покрытия электрода равномерно перемещает его без поперечных колебаний. Для правильного протекания процесса сварки электрод должен быть наклонен к линии шва под углом $70-80^\circ$ (рис. 37, б). При перемещении электрода жидкий металл давлением газов вытесняется в сторону, противоположную направлению сварки, образуя валик шва. При этом обнажается основной металл, который подвергается непосредственному воздействию дуги.

Сварка может выполняться электродами с покрытиями ОММ-5, МЭЗ-04 и ЦМ-7С. Толщина слоя покрытия должна быть увеличена. Наилучшие результаты дает покрытие ЦМ-7С. Количество покрытия ЦМ-7С по отношению к весу металлического стержня электрода составляет:

	%
для сварки тавровых соединений	45—50
для сварки стыковых соединений в один проход	65—75
для сварки стыковых соединений в несколько проходов:	
нижних слоев	45—50
верхнего слоя	65—70

Тавровые соединения можно сваривать в нижнем положении (рис. 38, а) и в лодочку (рис. 38, б). Сварка в лодочку обеспечивает лучшее и более равномерное заполнение шва жидким металлом и максимальную скорость.

Скорость сварки зависит от величины тока. Если уменьшить скорость сварки, оставив ток неизменным, то размеры сечения шва будут увеличиваться. Для получения тех же размеров шва при пониженной скорости сварки ток необходимо уменьшать.

Приемы сварки стыковых соединений остаются такими же, как и при сварке соединений в тавр.

Благодаря лучшему использованию тепла сварочной дуги одностороннюю сварку в стык металла толщиной до 10 мм можно производить без скоса кромок, двухстороннюю — до 18 мм. При сварке стыковых соединений для обеспечения надлежащего формирования шва применяют электроды с

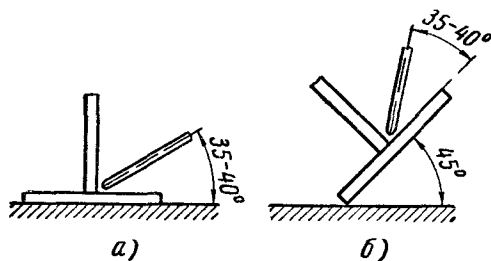


Рис. 38. Сварка тавровых соединений.

более толстым слоем покрытия, чем при сварке тавровых соединений. При односторонней сварке стыковых соединений без скоса кромок электродами с покрытием ОММ-5 применяются режимы, приведенные в табл. 10.

Таблица 10

Режимы односторонней сварки стыковых швов электродами с покрытием ОММ-5

Толщина металла, мм	Диаметр электрода, мм	Ток, а	Величина зазора между кромками, мм	Скорость сварки, м/час
4—5	5	200	1,0	24
6	6	250	1,5	24
8	6	350	2,0	24
10—12	6	425	2,5	24

Сварка металла толщиной 6 мм и выше может производиться с двух сторон; зазор в стыке оставляют в этом случае равным 0,5—1 мм. Для сварки стыковых соединений толщиной выше 6 мм со скосом кромок используются электроды с проволокой диаметром 6 и 8 мм. Стыковые швы толстого металла следует сваривать со скоростью не ниже 20 м/час в несколько проходов.

При повышенной скорости сварки получается шов меньшей ширины, требующий меньшего расхода электродов, электроэнергии и времени на сварку. Кроме того, при многослойной сварке качество металла шва получается более высоким вследствие происходящего отжига металла шва при наложении последующих слоев.

§ 10. Сварка погруженной дугой

Способ сварки погруженной дугой (рис. 39) предложен Я. А. Ларионовым. Применяется этот способ при односторонней сварке

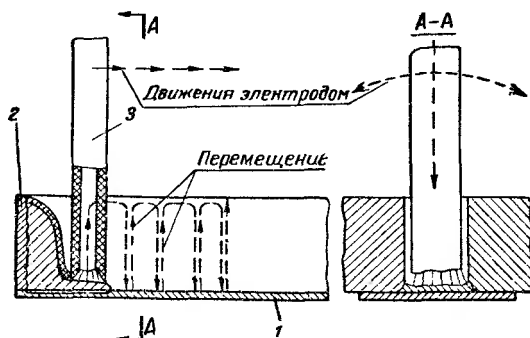


Рис. 39. Схема способа сварки погруженной дугой

в стык листов толщиной до 20 мм без скоса кромок и дает экономию электродов, времени и снижение затрат труда на подготовку кромок. Свариваемые листы помещают на стальную подкладку 1. На концах шва ставятся ограничительные планки 2. Зазор между кромками должен на 1—1,5 мм превышать диаметр электрода 3. Для устранения влияния сближения кромок от усадки наплавленного металла листы раздвигают под углом один к другому на 10—20 мм на каждый метр длины шва. Для сварки применяются электроды с обмазками ОММ-5, ЦМ-7С, УОНИ-13 и др., образующими при плавлении чехольчик.

Дуга возбуждается на стальной подкладке и по мере образования ванны электрод 3 поднимают вверх, наклоняя то к одной, то к другой кромке листов для их оплавления и сплавления с жидким металлом ванны. Заполнив один вертикальный слой шва, сварщик вновь опускает электрод на соседний участок и повторяет эти же движения в процессе сварки по всей длине шва.

После сварки с поверхности шва удаляют шлак и накладывают общий декоративный слой, заполняющий все неровности основного шва.

Для сварки погруженной дугой используются электроды диаметром 4, 5 и 6 мм. Ток применяется максимально допустимый для электрода данного диаметра.

§ 11. Сварка наклонным и лежащим электродами

В ряде случаев на практике можно повысить производительность процесса наплавки и сварки, применяя относительно несложные приспособления и простые технологические приемы. К таким способам относится, например, сварка наклонным и лежащим электродами.

Эти способы можно применять для повышения производительности ручной сварки коротких прямолинейных швов.

Способ сварки наклонным электродом предложен А. А. Силиным и состоит в том, что электрод 1 ставят наклонно, как показано на рис. 40, а; один конец его зажимается в обойме 2, которая может свободно опускаться по штанге 3. По мере плавления конца электрода последний опускается вниз параллельно самому себе, а обойма при этом скользит по стойке. Угол наклона электрода к металлу сохраняется постоянным. Ток к электроду подводится через обойму 2. Дуга возбуждается замыканием электрода на металл с помощью второго вспомогательного электрода, например угольного. При горении дуги электрод опирается на металл козырьком, образуемым на покрытии, что обеспечивает постоянную длину дуги, и последняя горит устойчиво. Чем больше угол наклона α электрода по отношению к свариваемому изделию, тем больше сечение наплавленного валика.

Для электрода диаметром от 6 до 10 мм угол наклона должен быть равен 25° — 30° . При угле менее 20° наблюдается сильное разбрызгивание металла и качество шва ухудшается. Ток берется из расчета 40 а на 1 мм диаметра электродной проволоки. Длина электрода должна быть не более 1200 мм. Описанный способ дает хорошее качество наплавленного металла и пригоден для сварки коротких швов. Он допускает также обслуживание одним сварщиком нескольких постов и может рассматриваться как один из простейших способов полуавтоматической сварки.

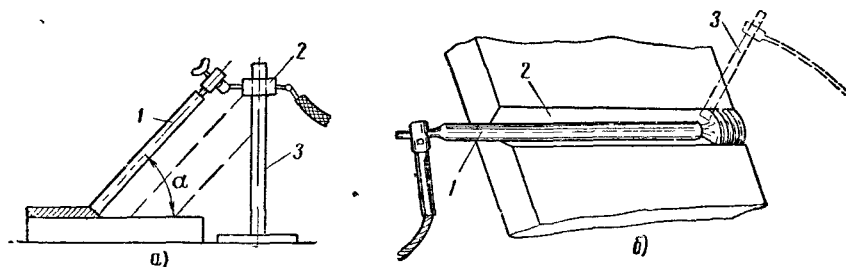


Рис. 40. Способы сварки:

а — наклонным электродом, б — лежащим электродом

Чтобы получить уширенный валик наплавленного металла при постоянном угле наклона, можно вместо одного электрода применять гребенку из 3—5 электродов. Ток в этом случае берется на 50—70% выше, чем при обычной ручной сварке.

Схема сварки лежащим электродом дана на рис. 40, б. Толстопокрый электрод 1 кладется в разделку шва 2. С помощью вспомогательного угольного или металлического электрода 3 возбуждается дуга между свариваемым металлом и концом лежачего электрода. Дуга горит под слоем электродного покрытия и перемещается по длине электрода по мере его плавления.

Для ускорения процессов можно вторым электродом вести сварку обычным способом, плавя его позади дуги лежачего электрода. Длина лежачего электрода во избежание сильного перегрева его должна быть не больше 1200 мм. Покрытия наносятся на электрод более толстым слоем, чем обычно, — толщиной от 1,5 до 3 мм в зависимости от диаметра электрода. Схема включения лежачего электрода в сварочную цепь показана на рис. 41. При многослойной сварке в шов можно закладывать одновременно несколько электродов, как показано на рис. 42. Каждый из электродов, уложенных в шов, питается от отдельного сварочного трансформатора.

Более усовершенствованным способом сварки лежачим электродом является сварка под слоем флюса. Этот способ предложен Д. А. Дульчевским и в дальнейшем разработан В. И. Кузнецовым и М. И. Кунис. Он отличается простотой, не требует специального оборудования и обеспечивает высокое качество наплавленного металла.

Длина электрода при этом способе ограничивается только прямолинейностью стержня, способом подвода тока, а также возможностью получения равномерного зазора между стержнем и свариваемым металлом.

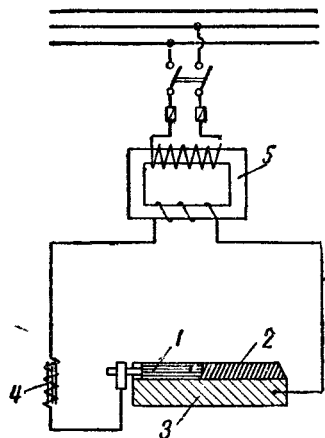


Рис. 41. Схема включения лежачего электрода в цепь:

1 — электрод, 2 — наплавленный металл, 3 — свариваемый металл, 4 — дроссель, 5 — трансформатор

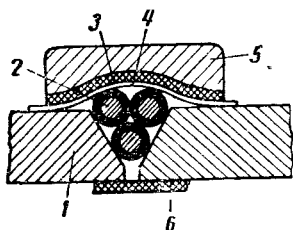
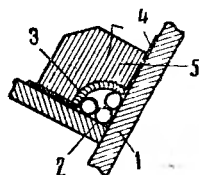


Рис. 42. Укладка нескольких лежачих электродов при многослойной сварке:

1 — свариваемый металл, 2 — электроды, 3 — медная накладка, 4 — бумага для предохранения медной и стальной накладок от подгорания, 5 — стальная накладка, 6 — нижняя подкладка

ваемым металлом. Дуга возбуждается замыканием конца электрода и металла посредством кусочка графита или тонкой проволоки. Этим способом могут свариваться не только прямолинейные швы, но и круговые или фигурные. Но только для швов разных очертаний нужно изготовить соответствующую раму для крепления прижимных контактов. Пример применения этого способа для сварки двутавровых балок показан на рис. 43.

При включении тока возникает электрическая дуга между концом электрода и свариваемым металлом, горящая под слоем флюса. По мере плавления электрода дуга перемещается от одного

контакта к другому, а расплавляемый ею металл образует валик сварного шва. Дуга под слоем флюса горит устойчиво и равномерно. Ток применяется следующий:

при диаметре электрода 4 мм 220—260 а
при диаметре электрода 10 мм 580—620 а

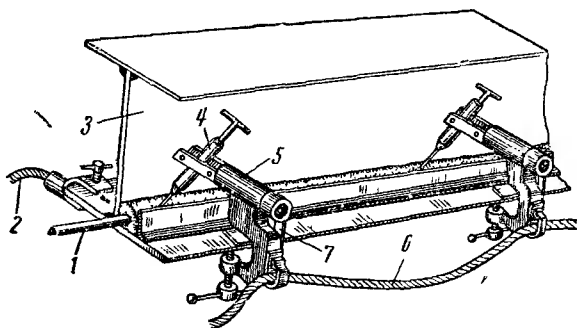


Рис. 43 Сварка швов двутавровой балки лежащим электродом под флюсом:

1 — электрод, 2 и 6 — сварочные провода, 3 — балка, 4 — прижимный контакт, 5 — струбцина, 7 — пружина контактов

§ 12. Сварка несколькими электродами

Сдвоенный электрод представляет собой два стержня из электродной проволоки длиной 450 мм, сложенных вместе и имеющих общий слой покрытия. Вес покрытия должен составлять около 25% от веса металлических стержней.

Таблица 11

Режимы сварки сдвоенным электродом

Толщина свариваемого металла, мм	Диаметр электрода, мм	Ток, а
2—4	3+3	100—180
4—8	4+4	180—300
8—12	5+5	250—350
12—20	6+6	300—400

Сварка сдвоенным электродом ведется такими же приемами, как и одним электродом. Сдвоенный электрод располагают так, чтобы оси его стержней лежали в плоскости оси шва. Электрододержатель должен обеспечивать контакт с двумя стержнями электрода. При сварке шов располагается наклонно под углом 5—10°. Сварка ведется на себя, причем сварщик держит электрод под углом 60—70° к

плоскости металла. Сварку можно вести как на переменном, так и на постоянном токе. Режимы сварки, применяемые для сварки, приводятся в табл. 11.

Сварка сдвоенными электродами имеет следующие преимущества перед сваркой одним электродом:

1. Сварка может выполняться на повышенном токе, что увеличивает количество наплавляемого металла и повышает производительность на 50—80%.

2. Увеличивается время полезного горения сварочной дуги, так как сварщик как бы работает электродом длиной $2 \times 450 = 900$ мм и тратит вдвое меньше времени на смену электродов.

3. Улучшаются условия труда сварщика, так как дуга горит более устойчиво, электрод не перегревается и образуется меньше брызг.

4. Уменьшаются потери металла на угар и разбрызгивание до 8—10% вместо 20—25%.

Применение сдвоенных электродов позволяет сваривать за один проход металл толщиной до 12 мм.

При сварке пучком электродов берется несколько покрытых электродов, которые соединяются наложением прихватки в месте контакта их с электрододержателем; вследствие этого ток одновременно подводится ко всем электродам. Этот способ повышает производительность сварки в 1,5—2 раза и снижает удельный расход энергии на 20—30% по сравнению со сваркой одним электродом, имеющим диаметр, равный диаметру отдельных электродов, входящих в пучок. Режимы сварки пучком электродов приводятся в табл. 12.

Корень шва для обеспечения надлежащего провара предварительно сваривается одним электродом диаметром 4—5 мм.

Способы сварки сдвоенными электродами и пучком электродов разработаны инж. В. С. Володиным.

Таблица 12

Режимы сварки пучком электродов

Количество электродов в пучке	Диаметр электродов, мм	Ток, а
3	3+3+3	250—300
4	3+3+3+3	250—300
3	4+4+4	250—320
3	5+5+5	300—400

§ 13. Сварка ванным способом

Ванный способ применяется при сварке круглых стальных арматурных стержней большого диаметра (20—100 мм), а также стыков многорядной арматуры железобетонных сооружений. Особенно широкое распространение этот способ получил на строительстве гидростанций.

Для сварки ванным способом горизонтальных стержней применяется стальная форма 1 (рис. 44). При сварке трехфазной дугой добавляются боковые ограничительные пластинки 2. Форма приваривается к металлу стыка и остается на стержне. Перед сваркой торцы и боковые поверхности концов стержней зачищаются стальной щеткой. Зазор между стержнями должен быть равен 1,5 диаметра электрода (с покрытием). Несовпадение осей стержней не должно превышать 5% диаметра стержней. Применяются также медные формы, удаляемые после сварки.

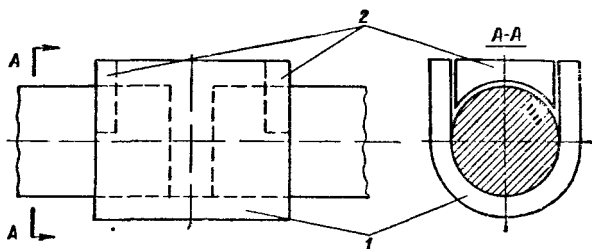


Рис. 44. Ванный способ сварки стыков горизонтальных стержней

Горизонтальные стержни свариваются однофазной дугой электродами диаметром 5—8 мм с покрытием УОНИ-13/45 или УОНИ-13/55 (см. табл. 13).

Таблица 13
Режимы сварки однофазной дугой электродами с покрытием УОНИ-13/45 или УОНИ-13/55

Диаметр свариваемого стержня, мм	Диаметр электрода, мм	Ток, а
20	5	240
30	5	275
40	5; 6	275; 300
60	5; 6; 8	300; 400; 450

Металл ванны должен все время находиться в жидком состоянии, чтобы расплавленные торцы стержней могли сплавляться с металлом ванны. После сварки первой половины сечения стыка дугу следует направлять преимущественно на среднюю часть ванны, уменьшая нагрев торцов стержней. По окончании сварки для предупреждения образования в стыке усадочных

раковин ему придают утолщение высотой 2 — 3 мм.

Для увеличения коэффициента наплавки, понижения температуры ванны и снижения относительного количества шлака при сварке в дугу вводятся дополнительно стальные присадочные прутки. В начале сварки расплавляют нижнюю стенку формы и сваривают ее с кромками стержней без добавления присадочных прутков. Постепенно, производя колебательные движения электродом перпендикулярно осям стержней, заправляют все сечения стыка. Излишек шлака удаляется из ванны специальным черпаком. Слой

шлака над поверхностью ванны не должен превышать 5—8 мм. Режимы сварки стыков трехфазной дугой следующие:

Диаметр стержней, мм . .	50	100
Диаметр электродов, мм . .	6 ÷ 6	8 ÷ 8
Ток, а	280 ÷ 400	450 ÷ 600
Время сварки одного сты-		
ка, мин	2,5 ÷ 3,2	6,25 ÷ 7

Стыки вертикальных стержней сваривают с применением штампованной формы из листовой стали (рис. 45, а). Концы верхнего стержня скашивают с двух сторон под углом 35°, оставляя на торце площадку шириной 4—6 мм. Зазор между торцами стыков дол-

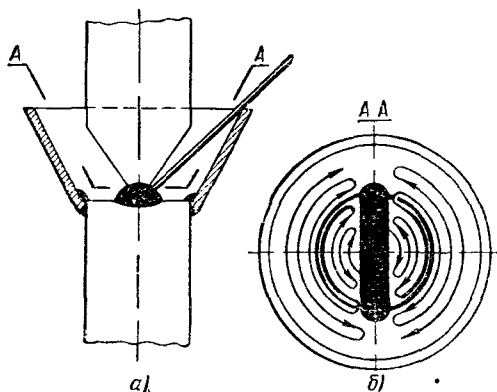


Рис. 45. Ванный способ сварки стыков вертикальных стержней

жен быть 2—3 мм. Форму предварительно приваривают по окружности к нижнему стержню. После этого конец верхнего стержня приваривают к нижнему и продолжают заполнение формы жидким металлом, перемещая конец электрода попеременно полукругами то с одной, то с другой стороны (рис. 45, б). Одновременно расплавляют поверхности торцов стержней и сплавляют их с металлом ванны. Избыток шлака выпускается через отверстия в стенке формы, специально прожигаемые электродом. Режимы сварки стыков вертикальных стержней однофазной дугой приведены в табл. 14.

Вертикальные стержни можно сваривать также трехфазной дугой

Таблица 14
Режимы сварки стыков вертикальных стержней однофазной дугой

Диаметр свариваемых стержней, мм	Диаметр электрода, мм	Ток, а
20	4	170—190
30	5	275—290
40	6	300—330
60	6	330—350

на тех же режимах, которые применяются при сварке стыков горизонтальных стержней.

При ванном способе сварки стержней может происходить зашлаковка их торцов, особенно в нижней части стыка, что снижает прочность соединения. Причиной зашлаковки является слишком быстрый отвод тепла от торцов свариваемых стержней. Для уменьшения зашлаковки приходится предварительно подогревать торцы. Можно также усиливать охлаждение наружных участков шва путем искусственного охлаждения формы, а также использования форм из более теплопроводного металла, чем сталь, например из меди. В этом случае шлаки будут собираться вблизи поверхности стыка, где происходит наиболее интенсивный отвод тепла.

Стыки стержней диаметром 30—80 мм выполняются многоэлектродной сваркой. В электрододержателе устанавливаются параллельно 3—5 электродов, приваренных к пластине. Электроды плавятся одновременно, заполняя стык жидким металлом. Собранный стык предварительно закрепляется прихватками. Для сварки используются электроды УОНИ-13/55 или УП-2/55. При таком способе сварки используют также медную форму вместо стальной подкладки.

В настоящее время арматурные стержни большого диаметра свариваются полуавтоматическим способом под флюсом с использованием керамической формы, которая после сварки разбивается и удаляется, а также автоматическим электрошлаковым способом в медной форме.

§ 14: Сварка трехфазной дугой

Этот способ разработан Г. П. Михайловым и впервые был введен на Уральском заводе тяжелого машиностроения (УЗТМ). Он особенно пригоден для сварки швов с большим объемом наплавленного металла: при изготовлении конструкций из низколегированных и легированных сталей средней и большой толщины, при наплавке твердыми сплавами и при заварке дефектов стального литья.

Сущность способа (рис. 46) состоит в том, что к двум электродам 3 и 4 и свариваемому металлу 1 переменный ток подводится одновременно от трех фаз источника тока. Вследствие этого возникают три одновременно горящие сварочные дуги: по одной между каждым из электродов и металлом (дуги 2 и 6) и дуга 5 — между электродами. При этом выделяется большое количество тепла, вследствие чего возрастает скорость плавления электродов, а производительность сварки увеличивается в 2—3 раза по сравнению с обычной сваркой однофазной дугой.

При непрерывном горении трехфазной дуги в течение часа можно наплавить до 8 кг металла при диаметре электрода 6 мм. Благодаря лучшему использованию тепла расход энергии на 1 кг наплавленного металла в среднем составляет 2,75 квт·ч вместо обычных 3,5—4 квт·ч при сварке на переменном токе, т. е. экономия энергии достигает 20—30%.

Электроды (рис. 47) для сварки трехфазной дугой состоят из двух параллельно расположенных стержней 1, имеющих общее покрытие 2. С одной стороны электрод 3 зачищен для присоединения к электрододержателю специальной конструкции, позволяющей подводить ток отдельно к каждому из электродов.

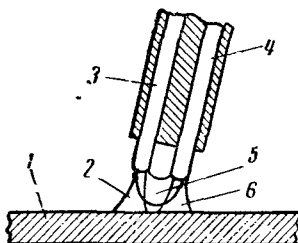


Рис. 46. Схема горения трех сварочных дуг при ручной сварке трехфазной дугой

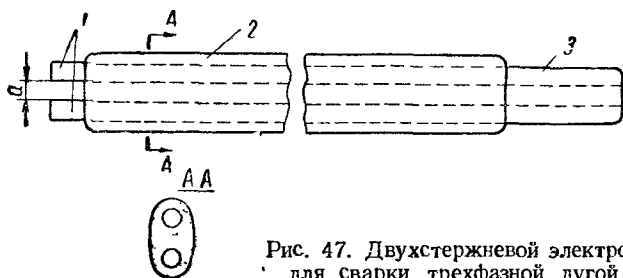


Рис. 47. Двухстержневой электрод для сварки трехфазной дугой

При сварке две фазы присоединяются к электрододержателю, а третья — к свариваемому металлу. Расстояние a между электродами зависит от диаметра стержня и равно:

Диаметр металлического стержня, мм . . .	5	6	8
Расстояние a , мм	1,75	2	2,5

В качестве покрытий могут применяться ОММ-5, ЦМ-7 и К-5. Состав покрытия К-5 для спаренных электродов следующий: 5% мрамора, 26% плавикового шпата, 7% ферромарганца, 10% ферросилиция, 6% кварца. К общему весу полученной смеси добавляют 1% бентонита, 4% поташа и 30% жидкого стекла.

Питается сварочная дуга от специальных трансформаторов ти-

па ЗСТ конструкции проф. Н. С. Сиунова или от двух обычных однофазных сварочных трансформаторов, включаемых по схеме, показанной на рис. 48.

При соприкосновении правого электрода с деталью замыкается цепь вторичной обмотки вспомогательного трансформатора 5 и

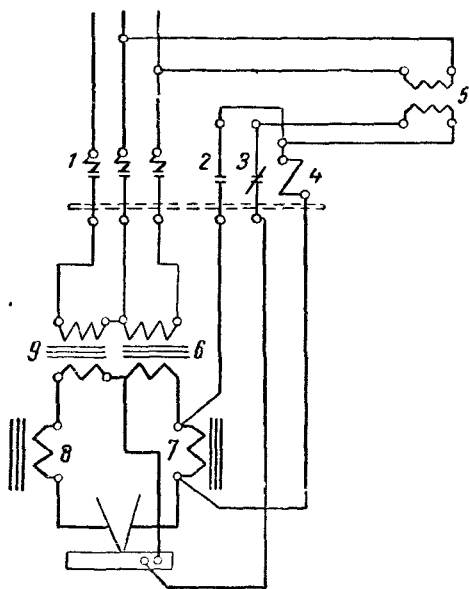


Рис 48 Схема включения двух однофазных трансформаторов при сварке трехфазной дугой:

1 — пускатель, 2 — блок-контакт нормально открытый, 3 — блок-контакт нормально закрытый, 4 — включающая катушка, 5 — понижительный трансформатор, 6 и 9 — однофазные сварочные трансформаторы, 7 и 8 — дроссели

включается катушка пускателя 1, вследствие чего возникает ток во вторичных обмотках трансформаторов 6 и 9 и образуются сварочные дуги между электродами и свариваемым металлом. Блок-контакт 2 пускателя подключает катушку 4 параллельно обмотке дросселя 7. При обрыве дуги напряжение на дросселе падает до нуля и пускатель 1 отключается, прерывая цепь питания сварочных трансформаторов.

Трехфазной дугой можно сваривать стыковые и тавровые соединения в нижнем и наклонном (под углом до 45° к горизонтали) положениях. Тавровые соединения лучше сваривать в лодочку, так как при сварке в нижнем положении обычным способом горизонтальный катет шва получается на 12—15% больше вертикального вследствие

повышенной жидкотекучести наплавленного металла. Конеч электрода при сварке должен касаться основного металла кромкой козырька покрытия, образующегося при его плавлении. Это увеличивает глубину провара и уменьшает возможность образования пористого металла шва. Данным способом можно сваривать листы в стык без скоса кромок или с увеличенным размером притупленной части.

При сварке в стык электродами диаметром 5 мм толщина притупления кромок листов может составлять до 4 мм, а при диаметре 6 мм — до 5 мм (табл. 15).

В процессе сварки тавровых соединений в нижнем положении ток берется равным при диаметре электродов 5 мм 200—220 а, при диаметре 6 мм 280—320 а.

Таблица 15

Режимы сварки трехфазной дугой
соединений в стык

Толщина листа, мм	Диаметр электрода, мм	Ток на каждый электрод, а
10	5+5	180—200
14	5+5	200—250
25—30	6+6	300—350
30 и выше	8+8	380—400

При сварке в лодочку ток несколько повышается и может быть такой же, как и при сварке стыковых соединений.

Сварка малоуглеродистой стали трехфазной дугой дает наплавленный металл с высокими механическими свойствами. Применяя многопроходные швы, трехфазной дугой можно сваривать металл толщиной до 200 мм.

ГЛАВА VIII

ДЕФОРМАЦИИ, НАПРЯЖЕНИЯ И ТЕРМООБРАБОТКА ПРИ СВАРКЕ

§ 1. Основные понятия. Связь между напряжениями и деформациями. Виды напряжений

Изменение формы и размеров твердого тела под действием силы называется деформацией. Если форма тела восстанавливается после прекращения действия силы, мы имеем дело с упругой деформацией. Если тело не принимает первоначальной формы, то говорят, что оно получило остаточную или пластическую деформацию. Остаточные деформации обычно бывают у тел малоупругих (пластичных) или при приложении к данному телу очень большого усилия.

Размеры деформации определяются величиной действующего усилия. Чем больше усилие, тем больше вызываемая им деформация. О величине усилия судят также по напряжению, которое данное усилие вызывает в теле. Между напряжением и вызываемой им деформацией существует неразрывная связь.

Обозначим величину фактического удлинения стержня при растяжении Δl . Отношение Δl к первоначальной длине стержня l называется относительным удлинением и обозначается буквой ϵ ;

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l} \cdot 100 \%$$

Как видно из этой формулы, относительное удлинение выражается в % к первоначальной длине стержня.

Зависимость между напряжением и деформацией в пределах области упругих деформаций выражается следующей формулой

$$\sigma = \epsilon \cdot E,$$

где σ — напряжение, кгс/мм².

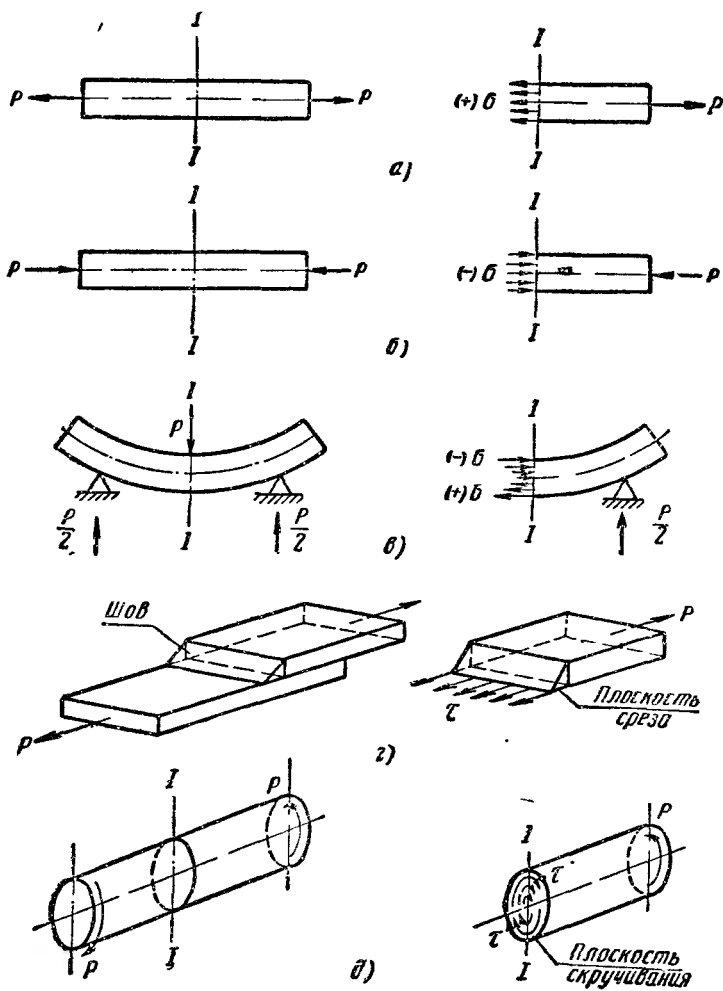


Рис. 49. Основные виды напряжений:
а — растяжения, б — сжатия, в — изгиба, г — среза, д — кручения

Величина E называется модулем упругости данного материала и измеряется в $\text{кгс}/\text{мм}^2$. Так, например, для стали $E = 20000\text{—}21500 \text{ кгс}/\text{мм}^2$, для алюминия $E = 7100 \text{ кгс}/\text{мм}^2$.

В зависимости от направления действующих усилий по отношению к рассматриваемому сечению металла и вызываемых ими деформаций в нем могут возникать следующие напряжения: растяжения, сжатия, изгиба, среза и кручения (рис. 49). Для того чтобы определить, какие напряжения возникают в сечении $I—I$ тела, следует мысленно разрезать его в этом месте и приложить к плоскости разреза ряд сил, уравнивающих действующее усилие, как это показано на рис. 49 справа. Стрелки, условно изображающие уравнивающие силы, покажут характер и направление возникающих в сечении напряжений. Рассмотрим подробнее основные виды напряжений.

1. Растяжение. Возникает под действием растягивающих сил, приложенных по оси стержня, и направлены перпендикулярно плоскости сечения образца. Величина напряжения растяжения равна:

$$\sigma = \frac{P}{F_0},$$

где σ — напряжение, $\text{кгс}/\text{мм}^2$;

P — сила, кгс ;

F_0 — площадь поперечного сечения, мм^2 .

Откладывая по вертикальной оси (рис. 50) величину напряже-

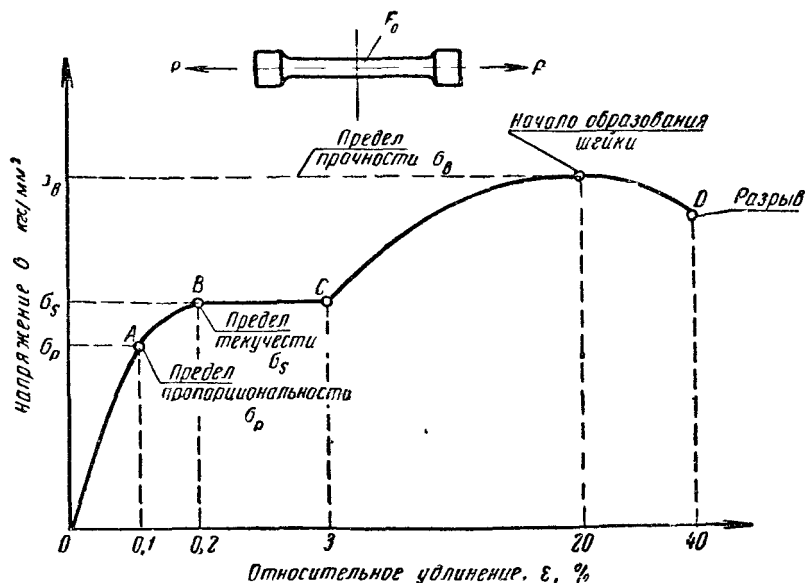


Рис. 50. Схема диаграммы растяжения металла

ния, а по горизонтальной — относительное удлинение, получим диаграмму изменения напряжений в образце из малоуглеродистой стали при испытаниях на растяжение. На участке OA при возрастании нагрузки (напряжения) удлинение образца возрастает пропорционально напряжению, т. е. при увеличении напряжения, например, в два раза относительное удлинение увеличивается также вдвое. Этот участок диаграммы имеет вид прямой линии.

В точке A напряжение σ_p соответствует пределу пропорциональности. Ниже этого предела деформации полностью исчезают при снятии напряжения. Иногда величину σ_p также называют пределом упругости, поскольку ниже этого предела металл дает только упругие деформации.

При дальнейшем повышении нагрузки линейная зависимость между напряжением и деформацией нарушается и металл получает некоторые остаточные деформации, а прямая OA переходит в кривую AB .

При напряжении σ_s металл образца получает способность течь, т. е. длина образца увеличивается при постоянной нагрузке, соответствующей напряжению σ_s . На диаграмме это соответствует горизонтальному участку BC . Напряжение σ_s , равное

$$\sigma_s = \frac{P_s}{F_0},$$

называется пределом текучести. При этом напряжении удлинение образца возрастает, в то время как действующая сила остается постоянной или незначительно изменяет свою величину. Иногда за предел текучести условно принимают то напряжение, при котором относительное остаточное удлинение равно 0,2%.

Дальнейшее возрастание нагрузки за пределом текучести вызывает в образце напряжения и соответствующие им относительные удлинения, выражаемые кривой линией, заканчивающейся при напряжении σ_b , при котором происходит разрыв образца. Это напряжение называется пределом прочности и равно:

$$\sigma_b = \frac{P_b}{F_0},$$

где P_b — наибольшая нагрузка на образец, кгс;

F_0 — первоначальная площадь поперечного сечения образца, мм².

Для некоторых металлов разрыв образца происходит не при пределе прочности, а при меньшем напряжении, в точке D . Независимо от этого, предел прочности определяется не по напряжению в момент разрыва, а по величине максимального усилия, приложенного к образцу во время испытания.

Чем пластичнее металл, тем больше на диаграмме будет участок, соответствующий пределу текучести. Для мало- и средне-

углеродистых сталей предел текучести $\sigma_s = 25\text{—}30 \text{ кгс/мм}^2$, предел прочности $\sigma_b = 42\text{—}45 \text{ кгс/мм}^2$.

2. Сжатие. Возникает, когда металл подвергается действию сжимающих усилий, направленных перпендикулярно сечению элемента, в котором определяются напряжения. Если в случае возникновения растягивающих усилий стержень в работающем поперечном сечении стремится утоньшаться, то при сжатии он, наоборот, в этом сечении утолщается. Величина напряжений сжатия определяется по той же формуле, что и величина напряжений растяжения.

Поскольку напряжения при сжатии действуют в сторону, противоположную напряжениям при растяжении, то сжимающие напряжения иногда отмечаются знаком (—) и считаются отрицательными, а растягивающие — знаком (+) и рассматриваются, как положительные.

3. Изгиб. Типичным примером в данном случае является изгиб балки, свободно лежащей на двух опорах и нагруженной сверху силой P . Возникающие в сечении $I—I$ балки напряжения от изгиба представляют собой напряжения растяжения и сжатия, направленные перпендикулярно поперечному сечению балки. Верхняя половина балки испытывает деформацию сжатия и в ней возникают напряжения сжатия, а в нижней — растяжения. Через центр тяжести поперечного сечения балки проходит нейтральная плоскость, волокна которой не подвергаются никакой деформации; в этой плоскости напряжения равны нулю.

4. Срез. Когда два элемента конструкции стремятся под действием приложенных извне сил сдвинуться относительно друг друга, то в плоскости их соприкосновения возникают напряжения среза (сдвига). Эти напряжения расположены в одной плоскости и обозначаются греческой буквой τ . Условно их можно принимать равными для всех точек плоскости среза. Величина напряжений среза определяется по формуле

$$\tau = \frac{P}{F},$$

где τ — напряжение, кгс/мм^2 ;

P — срезающая (сдвигающая) сила, кгс ;

F — площадь среза, мм^2 .

5. Кручение. Если стержень под действием внешних нагрузок стремится скручиваться вокруг продольной оси, то в сечении, перпендикулярном оси, возникают напряжения кручения. В центре поперечного сечения стержня волокна не испытывают деформаций скручивания и поэтому напряжения здесь равны нулю. Наибольшая деформация и наибольшие напряжения скручивания возникают на поверхности стержня. Как и при срезе, напряжения кручения расположены в плоскости скручивания, перпендикулярной продольной оси стержня.

В сварных швах и соединениях при работе конструкции могут возникать все описанные выше виды напряжений. Наиболее часто появляются напряжения растяжения и среза, которые и приходится учитывать в первую очередь при расчете сварных швов на прочность.

§ 2. Расчет швов на прочность

В сварных соединениях некоторые швы являются рабочими, а некоторые — связующими (рис. 51, 52). Рабочими называются такие швы, которые воспринимают всю нагрузку от внешних усилий. При разрушении рабочего шва все сварное соедине-

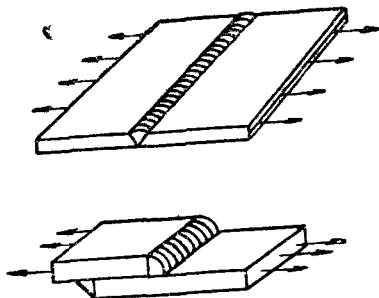


Рис. 51. Швы рабочие

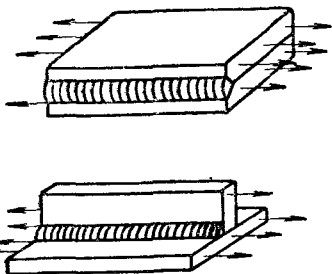


Рис. 52. Швы связующие

ние должно также разрушиться. Связующими называются швы, которые служат для соединения двух или нескольких элементов конструкции (например, полос), несущих основную нагрузку. Наплавленный металл связующих швов деформируется вместе с основным металлом элементов соединения, связанным данным швом. Если связующий шов разрушится, то соединение может продолжать работать, так как нагрузка продолжает восприниматься работающими элементами из основного металла. На прочность рассчитываются только рабочие швы.

Прочность сварного соединения характеризуется величиной напряжений, возникающих в нем под влиянием действующих усилий. Чтобы соединение было прочным, фактические напряжения в нем при работе должны быть в несколько раз ниже тех, при которых металл шва разрушается. Принимаемые при расчете напряжения называются допустимыми и обозначаются буквой R .

Величина допускаемых напряжений регламентируется соответствующими нормами, принятыми для тех или иных конструкций, в зависимости от их назначения, применяемого металла, условий работы и пр.

Допускаемое напряжение всегда ниже предела упругости данного материала. Отношение предела прочности σ_b к допускаемому напряжению R называется **запасом прочности**, т. е. $\frac{\sigma_b}{R}$.

Для строительных сварных конструкций из мало- и среднеуглеродистых сталей запас прочности принимается обычно трех-четыре-кратным.

При расчете на прочность стыковых швов пользуются формулой

$$N = R \cdot S \cdot l,$$

где N — действующее усилие, *кгс*;

R — допускаемое напряжение на растяжение в шве, *кгс/см²*;

S — толщина металла в расчетном сечении, *см*;

l — длина шва, *см*.

Например, имеем: $R = 1300$ *кгс/см²*; $S = 1$ *см*; $l = 20$ *см*; такой шов может безопасно работать при наибольшем усилии на него, равном:

$$N = 1300 \cdot 1 \cdot 20 = 26\,000 \text{ кг, или } 26 \text{ т.}$$

Прочность лобовых валиковых швов можно рассчитать по формуле

$$N = 0,7 \cdot h \cdot R_1 \cdot l,$$

где h — высота катета шва, *см*;

R_1 — допускаемое напряжение на срезывание в шве, *кгс/см²*;

l — длина шва, *см*.

Прочность фланговых валиковых швов рассчитывается по формуле

$$N = 2 \cdot 0,7 \cdot h \cdot R_1 \cdot l.$$

Т а б л и ц а 16

Механические свойства наплавленного металла

Механические свойства	Показатели механических свойств при сварке		
	газовой	дуговой электродами с толстыми качественными покрытиями	автоматической дуговой под флюсом
Предел прочности, <i>кгс/мм²</i> . . .	34—42	47—50	47—50
Относительное удлинение, % . . .	9—18	16—24	18—32
Ударная вязкость, <i>кгс·м/см²</i> . . .	2—6	8—12*	9—11
Угол загиба, <i>град</i>	60—140	140—180	140—180

* До 25—30 *кгс·м/см²* для покрытия УОНИ-13/55.

На рис. 53 показаны схемы обозначений швов при расчете их на прочность по приведенным выше формулам.

Пример. Рассчитать валиковый фланговый шов. Действующее усилие $N = 10000$ кгс; катет шва $h = 0,8$ см; принимая допускаемое напряжение на срезывание для стали $R = 1100$ кгс/см², определяем по формуле необходимую длину шва, равную:

$$l = \frac{N}{2 \cdot 0,7 \cdot h \cdot R_1} = \frac{10000}{2 \cdot 0,7 \cdot 0,8 \cdot 1100} = 8,1 \text{ см, или } 81 \text{ мм.}$$

В табл. 16 приводятся значения механических свойств наплавленного металла, получаемых при различных способах сварки малоуглеродистой стали.

В табл. 17 даны допускаемые напряжения в стальных сварных строительных конструкциях.

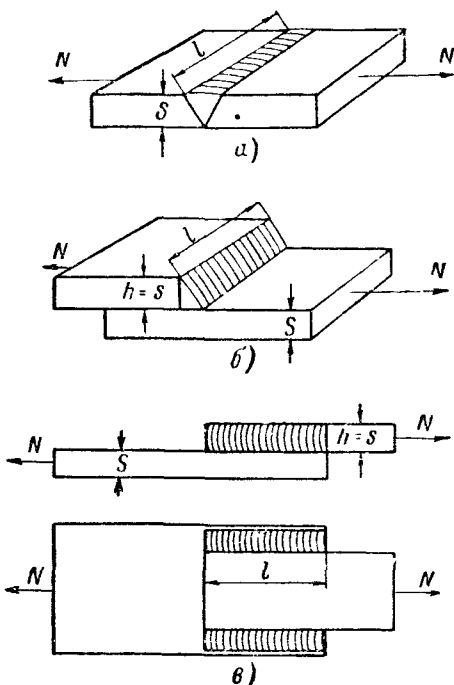


Рис. 53. Схемы обозначений при расчете швов на прочность:

а — стыкового, б — валикового флангового, в — валикового флангового

Таблица 17

Допускаемые напряжения в стальных сварных строительных конструкциях

Виды напряжения	Величина допускаемых напряжений, кгс/см ²					
	при ручной дуговой сварке электродами Э-34		при ручной сварке электродами Э-42 и автоматической под флюсом			
			в конструкциях из стали Ст. 0 и Ст. 2		в конструкциях из стали Ст. 3	
	I	II	I	II	I	II
Растяжение	1000	1000	1100	1250	1300	1450
Сжатие	1000	1250	1250	1450	1450	1600
Срез	800	1000	1000	1100	1100	1250

Примечание. I — при учете только основных нагрузок, II — при учете как основных, так и дополнительных нагрузок (например от ветра).

§ 3. Тепловые (термические) деформации и напряжения

Деформации и напряжения, возникающие от неравномерного нагревания и охлаждения изделия, называются **тепловыми** или **термическими**. Как известно, при нагревании все металлы расширяются, а при охлаждении—сжимаются. Незакрепленный кусок металла, будучи нагрет и затем охлажден до первоначальной температуры, примет те же размеры, которые он имел до нагревания.

Величина расширения металла зависит от температуры его нагрева и коэффициента линейного расширения. **Коэффициентом линейного расширения** называется величина в миллиметрах, на которую удлинится металлический стержень длиной в 1 м при нагревании его на 1°. Коэффициенты линейного расширения различных металлов следующие:

Малоуглеродистой стали	0,0115
Чугуна серого литейного	0,011
Меди	0,0162
Латуни	0,01
Бронзы	0,017
Нержавеющей стали	0,0185
Алюминия	0,0238

Чем больше коэффициент линейного расширения и выше температура нагрева, тем большую деформацию будет испытывать металл при нагревании и охлаждении.

Зная коэффициент линейного расширения и температуру нагрева, можно определить изменение длины стержня при нагревании по формуле

$$l_t = l_0 (1 + \alpha t),$$

где l_t — длина стержня при температуре t , м;

l_0 — длина стержня при начальной температуре, м;

α — коэффициент линейного расширения, мм/м · град;

t — температура нагрева, град.

Если закрепить концы стержня так, что он не сможет свободно изменять свою длину, то термические деформации стержня вызовут в нем термические напряжения, соответствующие по величине этим деформациям. Допустим, что стержень 1, длина которого равна заштрихованной части (рис. 54), закреплен в абсолютно жесткой рамке 2. Нагревание стержня вызвало бы его удлинение на длину AB , если бы стержень мог свободно расширяться в рамке. Так как стержень не может свободно удлиняться, то он начнет оказывать на рамку давление изнутри. Рамка в свою очередь как бы сжимает стержень с концов, вызывая в нем напряжения сжатия. Нагретый стержень, длина которого должна остаться без изменения, получит пластическую деформацию.

В сечениях $I-I$ и $II-II$ рамки возникнут напряжения растяжения, которые будут тем больше, чем больше стремится удлиниться стержень, т. е. чем выше температура его нагрева. Если взять очень толстый стержень и слабую рамку, то последняя может разорваться по сечениям $I-I$ и $II-II$. Если рамка будет жестче и прочнее стержня, то последний изогнется и примет положение, показанное на рис. 54 пунктиром.

При последующем охлаждении нагретый стержень, подвергающийся пластической деформации, стремится сократить свою длину на величину AB' . В этом случае сопротивление рамки вызовет появление в стержне напряжений растяжения и он может или разорваться или изогнуть рамку 2. Это же произойдет, если будем нагревать рамку 2 в сечениях $I-I$ и $II-II$, оставляя стержень холодным.

На величину деформаций при сварке влияет теплопроводность свариваемого металла: чем выше его теплопроводность, тем равномернее распределяется по сечению тепловой поток и тем меньше будет деформация.

Поэтому при сварке нержавеющей сталей, обладающих меньшей теплопроводностью и большим коэффициентом линейного расширения, чем малоуглеродистая сталь, деформации получаются большими, чем при сварке малоуглеродистой стали. Наоборот, алюминий, хотя и обладающий более высоким коэффициентом линейного расширения, но значительно лучше проводящий тепло, чем малоуглеродистая сталь, дает при сварке меньшие деформации по сравнению с малоуглеродистой сталью. Термические напряжения от местного неравномерного нагрева при сварке возникают в металле без воздействия внешних усилий. Такие напряжения называются *внутренними* или *собственными*. Из собственных термических напряжений наибольшее значение имеют те, которые возникают во время охлаждения изделия. Если эти напряжения действуют только вдоль шва, то они не влияют на прочность сварного соединения. Более опасны напряжения, действующие перпендикулярно оси шва (поперечные), так как они могут вызвать появление трещин в шве и околошовной зоне. Если деформации и напряжения появляются в изделии только в процессе сварки и исчезают при его остывании после сварки, то они называются *временными*. Те деформации и напряжения, которые сохраняются в изделии после сварки, при полном охлаждении швов, называются *остаточными*. Остаточные

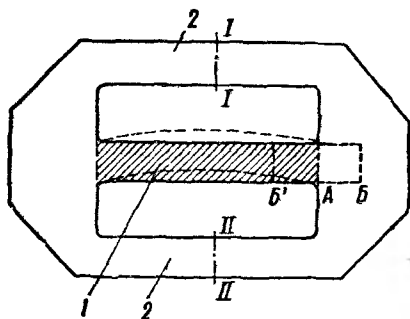


Рис. 54. Деформации закрепленного в жесткой рамке стержня при нагревании и охлаждении

напряжения и деформации имеют наибольшее практическое значение, так как могут отражаться на работе сварной конструкции.

Деформации возрастают при увеличении неравномерности нагрева, поэтому подогрев изделия при сварке существенно уменьшает деформации и напряжения от них.

§ 4. Причины возникновения напряжений и деформаций при сварке

Неравномерное нагревание металла. Внутренние напряжения возникают в том случае, если свободному расширению и сокращению детали что-либо препятствует. Таким препятствием являются соседние участки металла, оставшиеся более холодными вследствие неравномерного нагрева и потому менее расширившиеся.

Наличие сосредоточенного источника тепла (сварочное пламя, электрическая дуга), перемещающегося вдоль шва с какой-то скоростью и вызывающего неравномерное нагревание металла при сварке, является основной причиной возникновения внутренних напряжений и деформаций в сварных изделиях.

Усадка наплавленного металла. Усадкой называется уменьшение объема металла при его переходе из жидкого состояния в твердое. Явление усадки объясняется тем, что при затвердевании металл становится более плотным, вследствие чего объем его сокращается. В результате усадки возникают растягивающие напряжения в соседних частях детали, которые вызывают соответствующие им напряжения и деформации. Различные металлы имеют разную усадку, обычно измеряемую в процентах от первоначального линейного размера. Так, например, линейная усадка равна:

	%
Для алюминия	1,7—1,8
» бронзы	1,45—1,6
» латуни	2,06
» меди	2,1
» стали малоуглеродистой литой . . .	2,0
» чугуна серого литейного	0,7—0,8

Напряжения, вызванные усадкой, возрастают до момента перехода упругих деформаций в пластические. Если металл недостаточно пластичен, деталь может дать трещину в наиболее слабом месте. Таким местом часто бывает околошовная зона термического влияния. Вследствие усадки и сокращения объема металла при охлаждении иногда образуются трещины в процессе сварки, называемые горячими.

При сварке происходит продольная и поперечная усадка. Вызываемые усадкой деформации показаны на рис.

55 и 56. Продольная усадка вызывает сокращение длины листов при сварке продольных швов (рис. 55, а). Если центр тяжести поперечного сечения шва не совпадает с центром тяжести сечения свариваемого элемента, то в результате продольной усадки неиз-

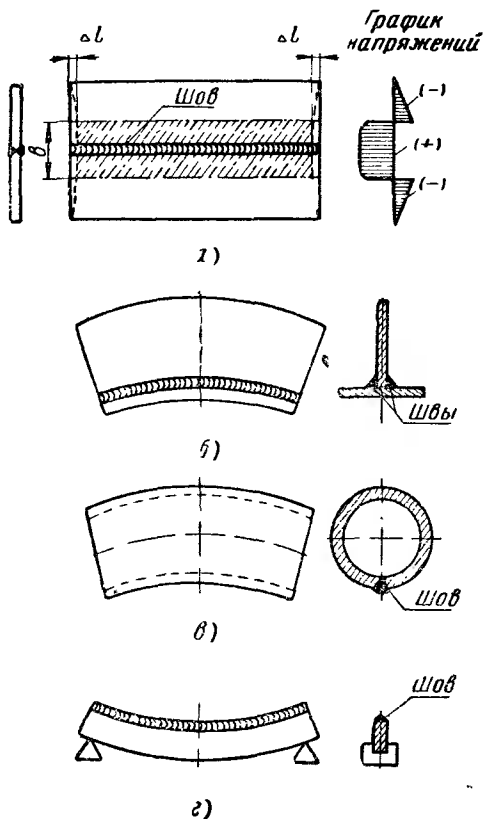


Рис. 55. Продольная усадка и вызываемые ею деформации:

а — при симметричном, б, в и г — при несимметричном расположении швов относительно центра тяжести сечения элемента; Δl — деформация от продольной усадки, в — ширина зоны разогрева, (-) — напряжения сжатия, (+) — напряжения растяжения

График напряжений

До сварки После сварки

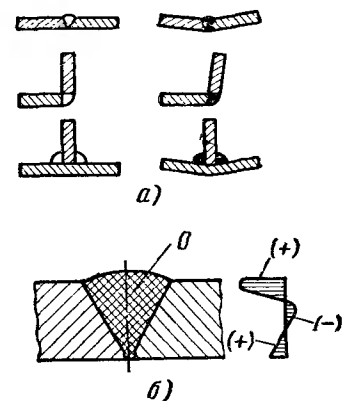


Рис. 56. Деформация от поперечной усадки наплавленного металла:

а — деформация, б — график распределения напряжений: (-) — напряжения сжатия, (+) — напряжения растяжения, О — центр тяжести поперечного сечения шва

бежно возникает коробление этих элементов в продольном направлении (рис. 55, б, в, г). Поперечная усадка всегда дает коробление листов (рис. 56) в сторону большего объема наплавленного металла. Поэтому при поперечной усадке листы будут коробиться вверх, в сторону утолщения шва. Если деталь закрепить, создав препятствие против деформации от усадки, то в закрепленном участке изделия появятся напряжения.

Величина деформации и связанных с ней напряжений зависит от величины зоны нагрева при сварке. Чем больший объем металла нагревается, тем сильнее будут деформации. Поэтому различные способы сварки дают различную величину деформаций. Боль-

шую величину нагрева и деформации дает газовая сварка кислородно-ацетиленовым пламенем, меньшую — дуговая сварка металлическим электродом, особенно тонкообмазанным.

Размеры и положение швов также влияют на величину деформаций при сварке. Наибольшие деформации вызывают длинные швы, швы с большим сечением, а также швы, расположенные несимметрично относительно главных осей сечения свариваемого профиля (рис. 55). Чем сложнее форма детали, чем больше в ней различных швов, тем скорее можно ожидать появления деформаций и напряжений при сварке. При односторонней наплавке плоских деталей уменьшение глубины и площади проплавления основного металла резко уменьшает коробление изделия.

Искусственное охлаждение детали в процессе сварки уменьшает величину деформации.

Структурные изменения наплавленного металла. При изменении структуры металла происходит изменение размеров и взаимного расположения его зерен (кристаллов). Этот процесс сопровождается изменением объема металла, что вызывает возникновение внутренних напряжений. Напряжения, возникающие вследствие изменения структуры металла, могут иметь практическое значение только при сварке легированных и высокоуглеродистых сталей, склонных к закалке. При сварке обычной малоуглеродистой стали, которая не закаливается, возникающие от изменения структуры металла напряжения незначительны и не принимаются в расчет при изготовлении сварных конструкций.

§ 5. Основные мероприятия по уменьшению напряжений и деформаций при сварке

Величину собственных напряжений и связанных с ними деформаций, возникающих при сварке изделия, можно значительно уменьшить, но для этого необходимо выполнять следующие требования:

1. Правильно выбирать конструкцию сварного изделия.
2. Рационально располагать сварные швы на изделии.
3. Применять соответствующие методы сборки и сварки изделий и использовать приспособления.
4. Правильно выбирать тепловой режим сварки.
5. В правильной последовательности выполнять сварные швы.
6. Использовать предварительный и сопутствующий подогрев при сварке.
7. Подвергать механической или термической правке изделия.
8. Подвергать термической обработке изделия после сварки.

Выполнение перечисленных требований позволит или полностью уничтожить в изделии собственные напряжения и деформации, или уменьшить их настолько, что они станут уже неопасными для прочности конструкции в целом.

С целью уменьшения деформаций и напряжений при сварке можно руководствоваться следующими общими рекомендациями:

1. Применять для сварных конструкций такие марки основного металла и электродов, которые не склонны к закалке при остывании на воздухе и дают достаточно пластичный (нехрупкий) металл шва.

2. Не создавать в конструкции, особенно работающей при ударах и вибрациях, скоплений большого количества сварных швов и их пересечений друг с другом, а также избегать применения коротких швов замкнутого контура, так как в подобных местах неизбежно происходит концентрация собственных напряжений.

3. Использовать, если это возможно, симметричное расположение ребер жесткости в конструкциях.

4. Ограничивать применение накладок и косынок.

5. Применять по возможности стыковые швы, так как они дают наименьшую концентрацию напряжений.

6. Внедрять секционное изготовление конструкций с последующей сваркой готовых узлов, а также использовать штампованные и литые детали для узлов сложной конфигурации. В этом случае уменьшается неблагоприятное влияние жестких связей между отдельными деталями, образуемых сварными швами.

7. Преимущественно применять швы с глубоким проплавлением, а также методы полуавтоматической и автоматической сварки под флюсом, дающие большую скорость сварки, требующие малых зазоров между листами и обуславливающие более равномерное остывание шва.

При полуавтоматической и автоматической сварке величина напряжений и деформаций меньше, чем при ручной.

8. Пользоваться сборочно-сварочными приспособлениями и кондукторами, способствующими осуществлению заданной точности сборки, получению швов равномерного сечения и соблюдению нужной последовательности сварки. Если зажимы кондукторов допускают перемещение деталей от усадки при сварке, то это снижает напряжения. При жестком закреплении свариваемых деталей остаточные напряжения после сварки и снятия детали с кондуктора снижаются вследствие того, что в процессе сварки металл шва получает необходимую пластическую деформацию при остывании.

9. Правильно выбирать тепловой режим нагрева основного металла при сварке. Если при сварке допускается свободное перемещение детали или основной металл склонен к закалке, то следует применять более мощный тепловой режим. Этим увеличивается объем разогреваемого металла и замедляется остывание.

Чтобы уменьшить скорость охлаждения после сварки и разность температур между нагретыми и холодными частями изделий, при сварке закаливающихся сталей или металла больших толщин, а также сварке при низких окружающих температурах следует

применять предварительный или сопутствующий подогрев изделия в целом или околошовной зоны его.

Температура подогрева определяется свойствами металла и составляет: для стали 500—600°, чугуна 700—800°, алюминия 250—270°, бронзы 300—400°. Низкотемпературный подогрев до 100—200° применяется в случае сварки стали при низких окружающих температурах.

При сварке в стык жестко закрепленных деталей нужно использовать менее мощные тепловые режимы и применять электроды, дающие пластичный наплавленный металл.

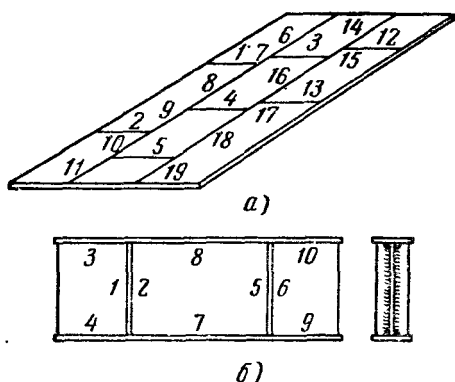


Рис. 57. Правильная последовательность наложения швов при сварке листов: а—настила, б—двутаковой балки

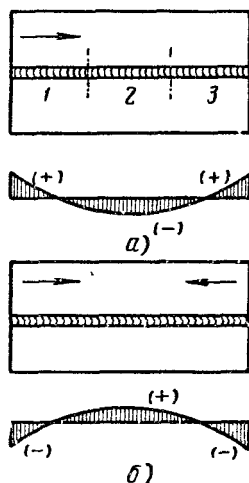


Рис. 58. Напряжения от поперечной усадки в продольном сечении шва:

а — при сварке на проход, б — при сварке от краев шва к середине: (-) — напряжения сжатия, (+) — напряжения растяжения

10. В правильной последовательности накладывать швы. Последовательность наложения швов должна быть такой, чтобы в свариваемых элементах, например листах, допускалась свободная деформация. Так, например, при сварке нескольких листов продольными и поперечными швами сначала накладывают все поперечные швы, соединяющие отдельные листы в полосы. После этого можно сваривать продольные швы, соединяющие эти полосы между собой. В этом случае свариваемые части листов не будут жестко закреплены между собой и смогут свободно деформироваться при сварке. На рис. 57 цифрами показана правильная

последовательность наложения швов при сварке листов настила (рис. 57, а) и двутавровой балки (рис. 57, б).

Сварку швов нужно производить на проход или от середины шва к его концам. В этом случае в середине шва будут возникать поперечные напряжения сжатия (рис. 58, а). Если же вести сварку шва от его концов к середине, то в середине появятся поперечные напряжения растяжения (рис. 58, б), отчего в шве или околошовной зоне может образоваться трещина.

11. Применять многослойную дуговую сварку швов больших толщин (свыше 20—25 мм). В этих случаях швы накладывают гор-

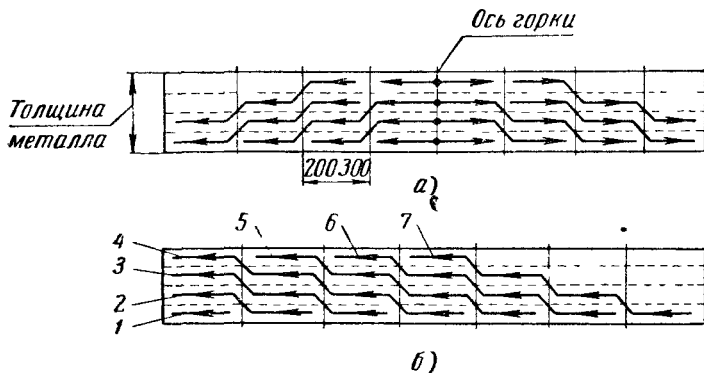


Рис. 59. Последовательность наложения швов при многослойной сварке:

а — горкой, б — каскадом

кой (рис. 59, а) или каскадом (рис. 59, б). При сварке горкой первый слой шва имеет небольшую длину порядка 200—300 мм. Вторым слоем перекрывает первый и имеет длину в два раза большую. Третий слой длиннее второго на 200—300 мм и т. д.

Заполнив горку, сварку ведут в обе стороны от нее короткими валиками тем же способом. При этом зона сварки все время поддерживается в нагретом состоянии, что обеспечивает более равномерное распределение тепла в металле и уменьшает напряжения.

12. Производить в случае необходимости легкую проковку каждого слоя многослойного шва ударами пневмозубила. Последний слой проковке не подвергается. Однако способ этот весьма трудоемкий, требует наличия пневмоинструмента, создает шум в цехе и поэтому может быть рекомендован только в отдельных случаях, когда нельзя пользоваться другим методом.

13. С целью уменьшения коробления свариваемых деталей накладывать швы в обратно-ступенчатом порядке. Чем короче шов, тем меньше деформируется изделие. Длинные швы делят на участки длиной 150—200 мм с таким расчетом, чтобы каждый участок

мог быть сварен одним электродом или целым числом электродов. Сварку ведут в порядке, указанном на рис. 60, начиная от начала шва или его середины. Каждый последующий слой накладывают в обратном направлении по отношению к предыдущему. В этом случае деформации, возникающие при наложении двух соседних коротких участков шва, будут иметь противоположное направление. Стыки участков разных слоев должны располагаться вразбежку, а не совпадать друг с другом. Уменьшение деформаций при обратном-ступенчатом способе наложения шва объясняется тем, что



Рис. 60. Обратно-ступенчатый порядок наложения швов

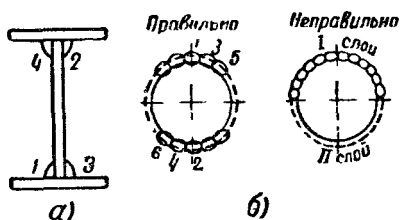


Рис. 61. Уравновешивание деформаций

в этом случае нагрев металла распределяется более равномерно. Весь шов получает равномерные деформации, как это схематически показано на рис. 60 (внизу).

14. Уравновешивать деформации, для чего порядок наложения швов выбирается такой, чтобы последующий шов вызывал деформации, обратные тем, которые возникли при наложении предыдущего шва. На рис. 61, а показан порядок наложения швов при сварке балки двутаврового сечения. Деформации шва 2 действуют в направлении, противоположном деформациям шва 1, выпрямляя балку, покоробившуюся при сварке шва 1. То же имеет место при наложении швов 3 и 4. Можно также сваривать швы балки без искривления, в таком порядке: 1, 4, 3 и 2. На рис. 61, б цифрами показан порядок наложения валиков при продольной наплавке круглого стержня. Валики следует накладывать с разных сторон стержня на небольшой его ширине. Не следует наплавлять сначала одну половину стержня, а затем вторую, так как в этом случае первоначальные деформации могут полностью не уничтожиться.

15. Использовать обратные деформации. В детали искусственно перед сваркой вызывают деформацию, обратную тем, которые она должна получить при сварке. На рис. 62 показаны примеры применения обратных деформаций. Обратные деформации обычно ис-

пользуются в конструкциях, у которых сварные швы расположены только с одной стороны от оси изделия или на разных расстояниях от нее.

16. Применять искусственное охлаждение детали в процессе сварки, что уменьшает зону нагрева металла и деформацию изделия. Для охлаждения изделие погружают в воду, оставляя на поверхности только место сварки, или кладут под шов толстую подкладку из красной меди, которая вследствие своей высокой теплопроводности хорошо отводит тепло. Использование медных подкладок дает хороший результат при сварке тонколистового

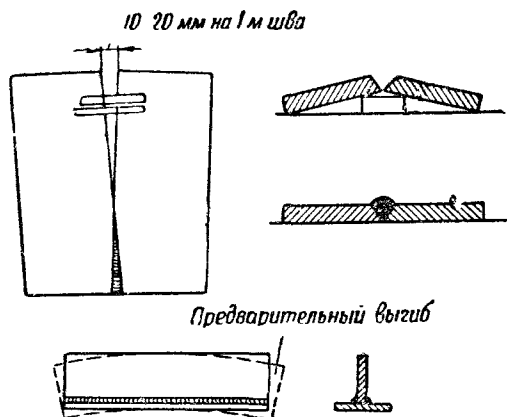


Рис. 62. Примеры использования обратных деформаций

материала, нержавеющей стали, когда необходимо обеспечить хороший отвод тепла, во избежание сильного перегрева и коробления изделия. Иногда медные подкладки дополнительно охлаждают водой, пропуская ее по каналам, сделанным в подкладке.

17. Применять отжиг или нормализацию изделия после сварки. Отжиг или нормализация полностью устраняют внутренние напряжения в изделии, возникающие при сварке.

18. Применять метод холодной или горячей правки изделий после сварки. Холодная правка производится домкратами, прессом, ударами молота или кувалды со стороны наибольшего выгиба изделия, которое стремится деформировать в обратном направлении. Этот способ довольно дорогой, трудоемкий и может привести к появлению трещин и разрывов в швах и основном металле.

При горячей правке осуществляется местный нагрев сварочными горелками до температуры пластического состояния участка металла на выпуклой стороне изделия. При остывании на этом уча-

стке возникают напряжения растяжения, выпрямляющие изделие. Этот метод прост и эффективен. Для устранения остаточных напряжений после холодной или горячей правки, если это требуется по условиям работы конструкции, производят термообработку сварного изделия.

§ 6. Термическая обработка сварных изделий

После сварки изделия иногда подвергают термической обработке.

Полный отжиг выполняется путем нагревания стального изделия до $820\text{--}930^\circ$, выдержки при этой температуре и последующим медленным охлаждением.

Полный отжиг обеспечивает:

1) получение мелкозернистого строения металла шва, что повышает пластичность наплавленного металла и металла переходной зоны. При этом благодаря улучшению сцепления зерен между собой повышается вязкость металла;

2) понижение твердости металла шва, что облегчает последующую обработку его резанием или давлением;

3) уничтожение внутренних напряжений в сварном изделии.

Время выдержки при температуре отжига составляет от 0,75 до 1 мин на каждый миллиметр толщины изделия; общее время выдержки должно быть не менее 30 мин. Затем изделие медленно охлаждают вместе с печью со скоростью от 50 до 75° в час до температуры 300° , после чего его можно вынимать из печи и охлаждать на воздухе.

Слишком длительная выдержка при максимальной температуре отжига вредна, так как способствует росту зерен. Особенно это сказывается на мягкой малоуглеродистой стали при температуре выше 1000° . Ниже этой температуры рост зерна будет незначителен даже при выдержке до 7—8 час. На рис. 63 показана схема изменения структуры стали при полном отжиге. До отжига металл

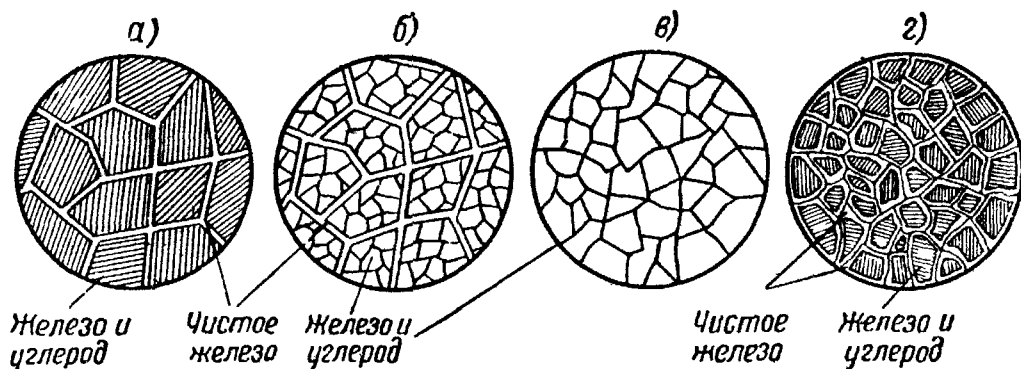


Рис 63. Схематическое изображение постепенного изменения структуры стали при полном отжиге

имеет крупнозернистое строение (рис. 63, а). При достижении определенной температуры внутри этих крупных зерен образуются более мелкие зерна металла (рис. 63, б). К концу нагревания этот процесс заканчивается и металл приобретает равномерное и однородное строение (рис. 63, в). Если теперь сталь начать медленно охлаждать, то ее мелкозернистое строение сохранится, а по границам зерен выделится мягкое, пластичное чистое железо (рис. 63, г), обеспечивающее хорошую связь между зернами стали и делающее весь металл вязким и пластичным. Такая структура остается и после отжига.

Если при отжиге нагревать сталь до 1200° , т. е. до начала оплавления в среде, содержащей кислород, то происходит не только перегрев, но и пережог (окисление) металла. Пережженная сталь имеет окисленные с поверхности зерна, обладает большой хрупкостью и малой прочностью. Если перегретую сталь можно исправить повторным отжигом, то пережженный металл исправить нельзя.

Н о р м а л и з а ц и я отличается от полного отжига большей скоростью охлаждения. Повышенная скорость охлаждения в первые моменты после нагрева позволяет получить мелкозернистое строение металла. С этой целью сварное изделие после нагрева до температуры на $20\text{--}30^{\circ}$ выше критической и выдержки вынимают из печи и охлаждают на воздухе.

Металл шва при нормализации получается несколько более прочным, но менее пластичным, чем при отжиге. Чем мягче сталь, тем понижение ее пластичности при нормализации будет менее заметно; оно тем больше, чем больше углерода и марганца содержит сталь. Для мягкой малоуглеродистой стали, содержащей углерода меньше $0,2\%$, рекомендуется применять, как правило, нормализацию вместо отжига. Для улучшения качества сварных конструкций нормализация является наилучшим видом термической обработки.

О т ж и г д л я с н я т и я н а п р я ж е н и й (низкотемпературный отжиг или высокий отпуск) операция довольно сложная. При полном отжиге и нормализации внутренние напряжения уничтожаются, так как для этого достаточно нагреть изделие до температуры $600\text{--}650^{\circ}$, т. е. ниже температуры нагрева при полном отжиге и нормализации, и медленно охлаждать. Для устранения напряжений изделие подвергают нагреву только до $600\text{--}650^{\circ}$ и после выдержки (из расчета $2\text{--}2,5$ мин на 1 мм толщины металла, но не менее 30 мин) — последующему медленному охлаждению вместе с печью до нормальной температуры. Поскольку при этом металл нагревается до температуры, лежащей ниже критической, никаких изменений его структуры не происходит.

При отпуске можно нагревать изделие и до более низкой температуры, но тогда собственные сварочные напряжения частично останутся в изделии, хотя «пики» их значительно снизятся. Так,

например, при нагреве стального изделия до $400\text{--}500^\circ$ снимается до 50%, а при $200\text{--}300^\circ$ — до 10—20% остаточных напряжений, возникающих в процессе сварки.

Для отжига и нормализации всей сварной конструкции требуются соответствующие печи. Одна из конструкций таких отжигательных печей с выдвижным подом показана на рис. 64.

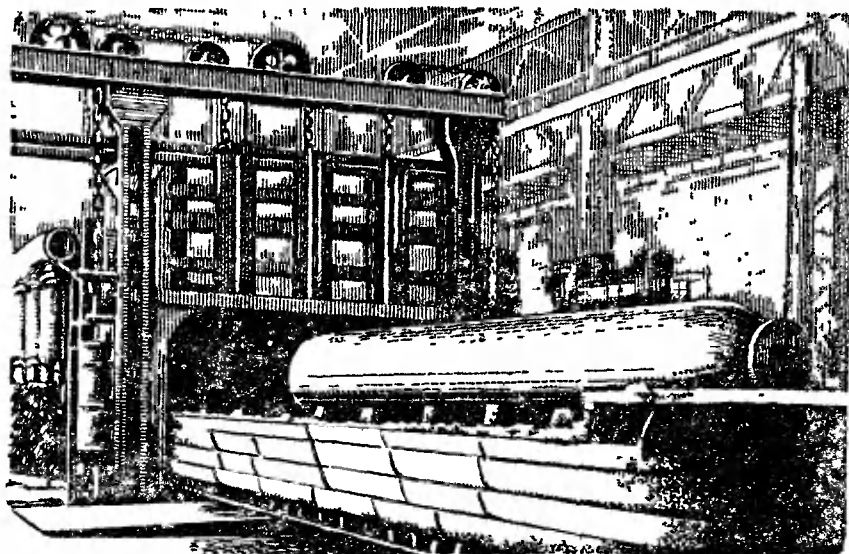


Рис 64. Печь с выдвижным подом для отжига и нормализации сварных барабанов котлов высокого давления

§ 7. Влияние низких и высоких температур на свойства сварных соединений

Влияние низких температур на основной металл. При понижении температуры ниже известного предела обычные углеродистые стали и наплавленный из них металл становятся хрупкими и их ударная вязкость резко понижается, хотя предел прочности стали при этом даже несколько возрастает. Если при температуре $+20^\circ$ ударная вязкость малоуглеродистой стали Ст. 3 равна около $13 \text{ кгс}\cdot\text{м}/\text{см}^2$, то при температуре -40° она составит всего только $0,5\text{--}1 \text{ кгс}\cdot\text{м}/\text{см}^2$. Поэтому сварные соединения из стали при температуре ниже -40° могут давать трещины при ударных нагрузках или в местах концентрации напряжений. Отжиг после сварки устраняет внутренние напряжения и поэтому повышает надежность эксплуатации конструкции в условиях пониженной температуры.

Малоуглеродистые легированные стали, содержащие свыше 3% никеля, например нержавеющие хромоникелевые стали, а также цветные металлы (медь, латунь, алюминий), не уменьшают своей ударной вязкости даже при очень низких температурах (до -270°) и не становятся при этом хрупкими. Поэтому их широко исполь-

зуют в изделиях, работающих при очень низких температурах, например аппаратах и сосудах для получения и хранения жидкого воздуха, жидкого кислорода, жидкого водорода, жидкого гелия и пр.

Сварка при низких окружающих температурах. Низкая окружающая температура при выполнении сварки (сварка на холоде) также оказывает влияние на механические свойства наплавленного металла малоуглеродистой стали. При окружающей температуре ниже -20° у стали Ст. 3 несколько понижается ударная вязкость и заметно уменьшается угол загиба. Это свидетельствует о повышении хрупкости металла сварного шва, и поэтому в нем могут образоваться трещины уже в процессе сварки на холоде. Наибольшие трудности возникают при сварке на холоде сталей с содержанием углерода свыше 0,25%, а также легированных марганцем, хромом, молибденом, склонных к закалке. В этом случае могут возникнуть трещины вследствие быстрого охлаждения участков, прилегающих к сварному шву, которые при этом частично закаляются и становятся более твердыми и хрупкими. Для предупреждения образования трещин такие стали на холоде следует сваривать с предварительным подогревом места сварки и медленным охлаждением шва после сварки.

Сварка на холоде хромоникелевых нержавеющей сталей и цветных металлов не влияет на свойства наплавленного металла, и поэтому вполне допустима.

Для подогрева изделий при сварке на холоде применяют индукционные нагревательные устройства, схемы которых изображены на рис. 65. Индукционное нагревательное устройство состоит из стального магнитопровода и обмотки, по которой пропускается электрический ток. На рис. 65, а изображен нагреватель (индуктор) с незамкнутым сердечником и обмоткой. Сердечником 1 нагреватель устанавливается на нагреваемый лист 3, а обмотка 2 подключается к вторичной обмотке 4 сварочного трансформатора 5.

Свободные концы обмотки нагревателя и вторичной обмотки трансформатора замыкаются на нагреваемое изделие. При прохождении по обмотке индуктора переменного тока в магнитопроводе и воздушном пространстве около полюсов сердечника возникает сильное переменное магнитное поле, которое индуцирует электродвижущую силу в нагреваемом изделии. Под действием этих электродвижущих сил в изделии возникают вихревые токи, нагревающие металл.

Для нагрева труб, колонн, стержней и резервуаров небольшого диаметра можно использовать нагреватели без специального сердечника (рис. 65, б), так как сердечником в данном случае служит сама нагревательная труба 1; вокруг трубы навивается обмотка 2, включаемая последовательно во вторичную обмотку сварочного трансформатора.

Переносные индукторы для подогрева имеют мощность порядка

9—10 ква и вес около 30 кг. Скорость нагрева составляет 70—80° в минуту. Переменное магнитное поле индуктора оказывает влияние на сварочную дугу, вызывая «магнитное дутье», которое распространяется на расстояние около 100 мм от индуктора.

Температура нагрева металла определяется путем нанесения на него полосок термокраски красного цвета, которая при нагревании

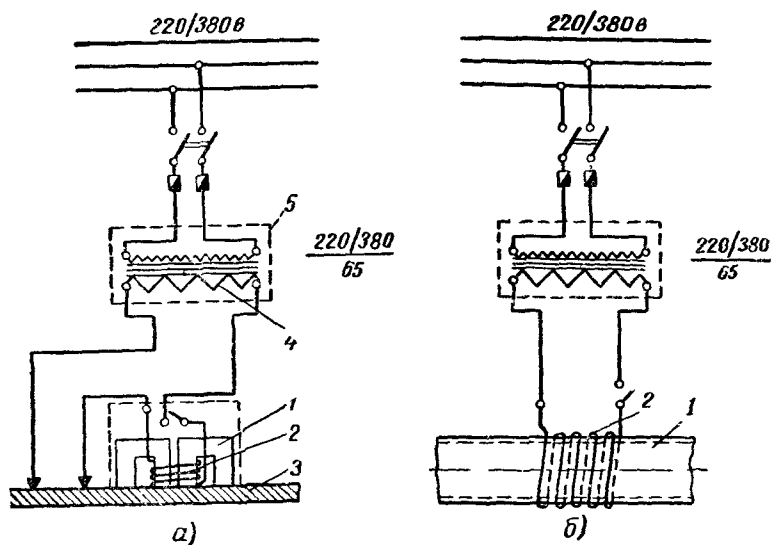


Рис 65. Схемы индукторов для подогрева:

а — с сердечником, б — без сердечника

металла до 150—200° темнеет. При охлаждении металла термокраска принимает свой первоначальный цвет. Нагревание ведется участками длиной до 800 мм вдоль оси шва и шириной до 200 мм, для чего индуктор на данной длине участка устанавливается дважды.

В многослойных швах подогрев индуктором производится только при наложении первого валика. Последующие слои стараются наплавлять на металл, еще неполностью остывший после наплавки предыдущего слоя.

Влияние повышенной температуры. При повышении температуры до 300° предел прочности малоуглеродистой стали несколько возрастает. При повышении температуры свыше 300° прочность стали резко падает. Снижение прочности при высоких температурах наблюдается у сталей всех марок. Легирование хромом и молибденом повышает устойчивость стали против неблагоприятного влияния повышенных температур.

ГЛАВА IX

ТЕХНОЛОГИЯ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ СТАЛИ

§ 1. Понятие о свариваемости стали

Под свариваемостью стали понимается способность ее давать при сварке тем или иным способом высококачественное сварное соединение без трещин, пор и прочих дефектов.

По признаку свариваемости все сорта сталей можно условно разделить на четыре группы:

1. Хорошо сваривающиеся: к ним относятся стали, не дающие трещин при сварке обычным способом.

2. Удовлетворительно сваривающиеся: к ним относятся стали, допускающие сварку без появления трещин только в нормальных производственных условиях, т. е. при окружающей температуре выше 0° , отсутствии ветра и пр.

3. Ограниченно сваривающиеся: эти стали склонны к образованию трещин при сварке в обычных условиях. При сварке таких сталей необходимо принимать специальные меры для предупреждения образования трещин, например предварительный или сопутствующий подогрев, термообработку до или после сварки, специальную подготовку кромок, особые способы или порядок сварки и др.

4. Плохо сваривающиеся: к таким относятся стали, склонные к образованию трещин при сварке. Обычно их можно сваривать только специальными приемами, разработанными и применяемыми для данного сорта стали.

Для определения свариваемости стали выполняют пробную наплавку на образцах, вырезанных из стали данной марки. Существует несколько способов определения свариваемости. С помощью этих способов устанавливают, не появляется ли при сварке данной стали хрупких структур в шве или в околошовной зоне, способствующих образованию трещин в период охлаждения стали после сварки.

Свариваемость тонкой стали можно, например, определять

следующим способом: из испытываемой стали делают пластинку размером 75×75 мм и наплавляют на нее валик, начиная от кромки (рис. 66, а). Если при этом на обратной стороне пластинки появляются трещины, то сталь относится к группе плохо сваривающихся и требует специальной технологии сварки.

При проверке более толстой стали (проба на свариваемость по способу Кировского завода) из нее изготавливают квадратный образец размером 130×130 мм (рис. 66, б). В середине образца делается выточка диаметром 80 мм. Толщина оставшейся части образца a равняется 2, 4, 6 мм. Затем в выточку наплавляют один или

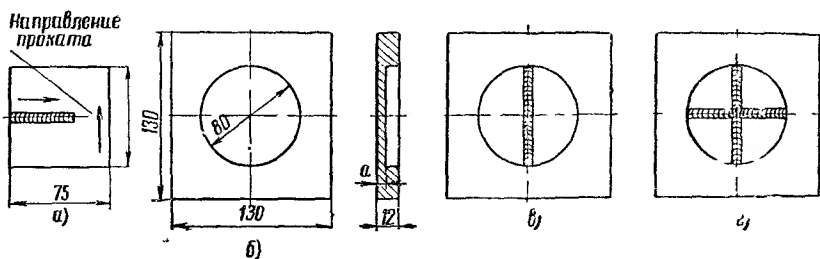


Рис. 66. Образцы для испытания стали на свариваемость

два валика крестообразно (рис. 66, в и г), охлаждая при этом доннышко выточки снаружи воздухом или водой. Если образец при наплавке валика и охлаждении водой не дает трещин, сталь считается хорошо сваривающейся. Если трещины появляются при охлаждении образца водой, но отсутствуют при охлаждении его на воздухе — сталь считается сваривающейся удовлетворительно. Сталь считается ограниченно сваривающейся, если образец дает трещины и при охлаждении на воздухе. Такую сталь нужно сваривать с предварительным подогревом до $100\text{—}150^\circ$.

Плохо сваривающейся является сталь, образец которой дает трещины даже при предварительном подогреве до $100\text{—}150^\circ$. Такая сталь при сварке требует предварительного подогрева до 300° и выше.

§ 2. Влияние химического состава на свариваемость стали

Свариваемость стали зависит от ее химического состава и в первую очередь от содержания в ней углерода.

По содержанию углерода стали разделяют на следующие группы: малоуглеродистые, содержащие от 0,05 до 0,25% углерода; среднеуглеродистые, содержащие от 0,25 до 0,6% углерода; высокоуглеродистые, содержащие свыше 0,6% углерода.

Малоуглеродистые, а также среднеуглеродистые стали с содер-

жанием углерода не более 0,35% свариваются очень хорошо. Чем выше содержание углерода, тем хуже сваривается сталь обычным методом. При содержании углерода свыше 0,35% сталь склонна давать трещины при сварке и требует применения подогрева и специальных приемов сварки.

М а р г а н е ц увеличивает прочность и твердость стали, а также ее склонность к закалке. Содержание марганца в малоуглеродистой стали обычно колеблется в пределах от 0,35 до 0,8%. Если марганца содержится более 1%, то при сварке образуются тугоплавкие шлаки, которые в виде включений иногда остаются в наплавленном металле.

В некоторых специальных сталях содержание марганца повышают до 1,8—2,5%; при таком содержании марганец увеличивает закаливаемость стали и может вызывать образование трещин при сварке. Высокомарганцовистые стали содержат 11—16% марганца.

К р е м н и й содержится в мало- и среднеуглеродистой стали в пределах от 0,03 до 0,04% и вводится в нее как раскислитель. Он способствует равномерному распределению отдельных химических элементов в металле шва. При содержании кремния более 0,5% образуются тугоплавкие шлаки, затрудняющие сварку. При содержании кремния от 0,8 до 1,5% сталь становится более упругой, однако при увеличении содержания кремния свыше 1,6% пластичность стали уменьшается, повышается ее твердость и хрупкость.

С е р а является крайне вредной примесью в стали и оказывает резко отрицательное влияние на ее свариваемость, вызывая образование горячих трещин. Содержание серы в стали не должно превышать 0,04—0,05%.

Ф о с ф о р также является вредной примесью в стали, так как образует фосфористое железо, более хрупкое, чем сталь. Содержание в стали фосфора в пределах 0,1—0,2% делает ее хрупкой при обычной температуре (хладноломкой), поэтому содержание фосфора не должно превышать 0,04—0,05%. Чем выше содержание углерода в стали, тем заметнее вредное влияние фосфора.

Хром, молибден, никель, ванадий, вольфрам, титан и ниобий являются примесями, вводимыми в состав легированных сталей для придания им специальных свойств.

§ 3. Сварка низколегированных конструкционных сталей

Низколегированными называются стали, в которых количество легирующих примесей не превышает в сумме 2,5%. Легирующие добавки применяют для повышения прочности стали, но они не придают ей особых свойств (жаростойкости, сопротивления коррозии и т. д.). Чем меньше углерода содержит низколегированная сталь, тем лучше она сваривается.

Поскольку низколегированные стали обладают более высокой

прочностью по сравнению с обычными углеродистыми конструкционными сталями, то применение низколегированных сталей вместо углеродистых снижает вес конструкций и дает значительную экономию металла. Так, например, замена углеродистых сталей низколегированными при сооружении сварных кожухов, воздухонагревателей и пылеуловителей для крупнейшей в мире по объему доменной печи, пущенной у нас в стране в конце 1960 г. на Криворожском металлургическом заводе, снизила вес этих конструкций на 22% и позволила сэкономить сотни тонн стали.

Вследствие указанных свойств низколегированные стали находят широкое применение в строительном деле, судостроении, вагоностроении и других отраслях производства. В табл. 18 приведены данные о свариваемости сталей в зависимости от содержания в них углерода и суммы легирующих примесей.

Таблица 18

Свариваемость сталей

Сумма легирующих примесей, %	Свариваемость при содержании углерода, %			
	хорошая	удовлетворительная	ограниченная	плохая
До 1	До 0,25	0,25—0,30	0,30—0,45	Свыше 0,45
1—3	» 0,20	0,20—0,30	0,30—0,40	» 0,40
Свыше 3	» 0,18	0,18—0,28	0,28—0,38	» 0,38

В промышленности и строительстве применяется конструкционная низколегированная хромокремненикелемедистая сталь 15ХСНД (СХЛ-1, НЛ-2) по ГОСТ 5058—57. Эта сталь содержит 0,12—0,18% углерода, 0,4—0,7% марганца, 0,4—0,7% кремния, 0,2—0,4% меди, 0,6—0,9% хрома, 0,3—0,6% никеля, до 0,04% фосфора и серы (каждого). Сталь 15ХСНД имеет временное сопротивление разрыву 52 кгс/мм^2 , относительное удлинение 18% и ударную вязкость $8 \text{ кгс} \cdot \text{м/см}^2$. Применяются также низколегированные стали следующих марок: хромокремненикелемедистая 10ХСНД, хромомарганцекремненикелемедистая 10ХГСНД. Широко используются также марганцевые 10Г2 и 15Г2, марганцекремнистые 10ГС, 15ГС, хромомарганцекремнистые 14ХГС и другие стали. Все эти стали обладают повышенной прочностью, упругостью, вязкостью.

При сварке низколегированных конструкционных сталей с содержанием углерода свыше 0,2% возможно образование закаленных зон с повышенной хрупкостью и появление трещин от усадочных напряжений, так как эти стали склонны к росту зерна при нагреве. Выгорание углерода при сварке вызывает появление газовых пор в наплавленном металле. Предварительный подогрев и последующий отпуск при сварке низколегированной стали необходимы, если твердость в зоне влияния после сварки составляет 250

единиц Бринелля и выше. Для низколегированной конструкционной стали толщиной более 15 мм рекомендуется применять многослойную сварку с последующим отпуском при температуре 550—650°.

Для сварки стали 15ХСНД применяют электроды с покрытием УОНИ-13 соответствующих марок, а также электроды ДСК-50 Днепропетровского электродного завода. Покрытие электродов ДСК-50 имеет следующий состав: 26,4% мрамора, 19,2% плавикового шпата, 3,8% силиката натрия, 9% ферросилиция, 3,3% ферромарганца, 31% железного порошка, 1% алюминиевого порошка, 3,3% двуокиси титана, 1,8% целлюлозы, 1,2% поташа, 22—24% жидкого стекла с удельным весом 1,4—1,44 (в том числе 75% калиевого, 25% натриевого) к весу сухой шихты. Коэффициент наплавки этими электродами 11 г/а·час. Ток в амперах должен быть равным:

Диаметр электрода, мм	4	5	6
Сварка в нижнем положении . . .	200—220	300—350	350—380
» » вертикальном » . . .	180—200	—	—
» » потолочном » . . .	160—180	—	—

Электроды ДСК-50 пригодны для сварки на переменном и постоянном токе обратной полярности.

При сварке низколегированных конструкционных сталей лучше применять электроды типа Э42А. При сварке низколегированных сталей электродами из углеродистой проволоки металл шва получает дополнительное легирование за счет элементов расплавленного основного металла и временное сопротивление его повышается до 50 кгс/мм², при этом металл шва сохраняет высокую пластичность. Сварка таких сталей электродами типа Э50А дает более прочный, но менее пластичный металл шва вследствие более высокого содержания в нем углерода. Режимы сварки следует применять умеренные. Швы в жестком замкнутом контуре (кольцевые) следует сваривать короткими участками, а при многослойной сварке рекомендуется использовать каскадный метод.

При строительстве сварных железнодорожных мостов и других ответственных сооружений применяется низколегированная конструкционная сталь 10Г2СД по ГОСТ 5058—57. Данная сталь хорошо сваривается и имеет состав: 0,12% углерода, 1,3—1,65% марганца, 0,8—1,1% кремния, 0,04% фосфора и серы (каждого), 0,30% хрома и никеля (каждого), 0,15—0,30% меди. Эта сталь имеет временное сопротивление разрыву 48—50 кгс/мм² и относительное удлинение 18%.

Способы ручной дуговой сварки данной стали такие же, как и низколегированных сталей указанных выше марок.

При автоматической сварке этой стали применяются проволока Св-08ГА и флюсы ОСЦ-45, АН-348 и АН-10. Лучшие результаты

дает сварка проволокой Св-08ГА под флюсами АН-348 и АН-10. Для стали толщиной 20—25 мм применяются сварочные режимы с погонной энергией порядка 10 200 ккал/см.

§ 4. Сварка низколегированных молибденовых и хромомолибденовых теплоустойчивых сталей

Низколегированные молибденовые (марок 12М, 15М, 20М) и хромомолибденовые (марок 12ХМ, 20ХМ, 30ХМ) теплоустойчивые стали содержат 0,12—0,35% углерода, 0,8—1,1% хрома и 0,15—0,65% молибдена. Например, сталь 12ХМ содержит до 0,16% углерода, 0,4—0,7% марганца, 0,17—0,37% кремния, 0,4—0,6% молибдена, 0,8—1,1% хрома, не более 0,3% никеля, не более 0,04% серы и 0,04% фосфора. Присутствие в составах этих сталей молибдена или молибдена и хрома придает им способность сохранять свои свойства в условиях воздействия на них температуры 400—500° в течение длительного времени.

Из таких сталей изготавливаются детали паровых котлов и турбин, газовых турбин, аппаратов нефтеперегонных и химических производств, арматуры. Эти стали свариваются удовлетворительно, но склонны к образованию мелких трещин около шва в переходной зоне и требуют точной подгонки кромок под сварку. Зазор в корне шва должен быть всюду одинаков и составлять:

При толщине металла, мм	до 5	—	0,5 мм
» » » »	5—15	—	1,5 мм
» » » »	более 15	—	от 4 до 6 мм

При сварке необходимо особенно тщательно проваривать корни шва. С этой целью иногда при сварке стыковых швов используют вставные кольца, обеспечивающие полный провар всей толщины шва трубы*. В монтажных условиях используют разрезные кольца из малоуглеродистой стали толщиной 3—4 мм, шириной 25—40 мм, привариваемые к одной из труб с внутренней стороны. Для лучшего провара корня шва первый слой сваривают электродами диаметром 3 мм, а последующие — диаметром 4 мм. Применяется электродная проволока той же марки, что и свариваемая сталь, и электроды с покрытиями ЦУ-2М, ЦУ-2ХМ, ЦЛ-6 и ЦЛ-14, разработанные ЦНИИТМАШ.

Для примера приведем состав покрытия ЦЛ-14: 26% ферромарганца малоуглеродистого, 3,5% ферромolibдена, 3,5% ферротита-

* В настоящее время ВНИИСТ (Всесоюзный научно-исследовательский институт по строительству магистральных трубопроводов) разработал способ сварки стыков трубопроводов с полным проваром стенки без применения вставных колец, поскольку эти кольца уменьшают сечение трубы и затрудняют ее очистку изнутри перед сдачей в эксплуатацию. При новом способе корень шва проваривается голый проволокой в защитной среде углекислого газа. Последующие слои могут свариваться с применением покрытых электродов или под флюсом.

на, 3% феррохрома, 30% плавикового шпата, 29% мрамора или гранита, 5% крахмала, 18—20% жидкого стекла (к весу сухого покрытия). Коэффициент наплавки покрытия $K_n = 10,6 \text{ г/а} \cdot \text{час}$.

Хромомолибденовые стали рекомендуется сваривать электродами из малоуглеродистой проволоки с покрытием УОНИ-13 45 или УОНИ-13/55, в обмазку которых дополнительно вводится 5% феррохрома и 0,5% ферромolibдена (к весу сухой части покрытия). В этом случае наплавленный металл получает дополнительное легирование хромом до 0,65% и молибденом до 0,5%.

Стали толщиной до 6 мм свариваются в один слой, а при большей толщине — в несколько слоев. Во время сварки температура стыка не должна понижаться ниже 250°. Если сварку приходится прервать, то необходимо обеспечить медленное остывание шва. При возобновлении сварки шов следует вновь подогреть до 250°.

Сварку и прихватку молибденовой и хромомолибденовой стали толщиной свыше 10 мм следует вести с предварительным подогревом до 250—400°. Подогрев осуществляется паяльной лампой, горелкой или электрическим током.

Прекращать сварку после наложения первого слоя нельзя, так как быстрое его остывание может вызвать трещины. По той же причине вести сварку этих сталей при окружающей температуре ниже —10° можно только с подогревом стыка до 250—400°. При многослойной сварке применяют каскадный метод, причем сварку ведут короткими участками.

Конструкции из молибденовой и хромомолибденовой стали с толщиной стенки свыше 10 мм должны после сварки подвергаться нормализации с нагревом до 900—930°, выдержкой при этой температуре в течение 0,75 мин/мм толщины металла и последующим охлаждением на спокойном воздухе.

При содержании в стали углерода менее 0,2% можно ограничиться отжигом с нагревом до 650—680°, выдержкой при этой температуре в течение 2,5—3 мин/мм толщины металла и последующим охлаждением со скоростью 50—75° в час до 300° и затем на воздухе.

Сварные стыки труб из молибденовой и хромомолибденовой стали подвергаются термообработке и при толщине стенки менее 10 мм. Стыки труб из молибденовой стали, сваренные дуговой сваркой, могут и не подвергаться термообработке, если результаты механических и металлографических испытаний образцов, вырезанных из контрольных стыков, не подвергавшихся термообработке, будут удовлетворительными.

§ 5. Сварка хромокремнемарганцевых сталей (хромансиль)

Из низколегированных хромокремнемарганцевых сталей 20ХГС, 25ХГС, 30ХГС и 35ХГС прокатываются тонкостенные трубы. Из этих труб изготавливаются с помощью сварки различные узлы прочных и легких конструкций. Стали этих марок обладают по-

вышенной прочностью и упругостью. Так, например, хромокремне-марганцевая сталь 25ХГС содержит 0,22—0,30% углерода, 0,9—1,2% кремния, 0,8—1,1% марганца и 0,8—1,1% хрома, серы и фосфора не более 0,03% для каждого. В термически обработанном состоянии она имеет следующие механические свойства: временное сопротивление разрыву 80 кгс/мм^2 , относительное удлинение 10%, ударную вязкость 6 кгс·м/см^2 . Основное затруднение при сварке сталей хромансиль состоит в том, что они склонны к закалке и трещинообразованию.

Стали этих марок, содержащие до 0,2% углерода, хорошо свариваются дуговой сваркой. Хуже свариваются стали 30ХГС и 35ХГС. При сварке применяют соединения в стык, в нахлестку, в тавр и угловые. Соотношение толщин свариваемого металла не должно превышать: при стыковых соединениях 1 : 2, а при соединениях в нахлестку и в тавр 1 : 6.

Для сварки может применяться электродная углеродистая проволока Св-08 и Св-08А по ГОСТ 2246—60, а для ответственных сварных узлов — из стали Св-18ХГСА. Сварка труб из стали 20ХГСА с толщиной стенки менее 3 мм производится электродами с покрытием следующего состава: 46% двуокиси титана, 30% углекислого бария, 16% мела, 8% двуокиси марганца и жидкого стекла 1200 см^3 на 1 кг сухой смеси. Толщина слоя покрытия в зависимости от диаметра электрода должна быть равной: для 2 мм — $0,05 \div 0,1 \text{ мм}$; 2,5 — $0,08 \div 0,1 \text{ мм}$; 3 мм — $0,1 \div 0,15 \text{ мм}$; 4 мм — $0,15 \div 0,2 \text{ мм}$. Это покрытие используется и для сварки хромомолибденовой стали 20ХМА. Для стали хромансиль пригодно также покрытие МТ-2 (см. § 8 гл. VII).

Для более толстого металла применяют покрытие следующего состава: 50% мрамора, 11,5% плавикового шпата, 11% ферросилиция 75%-ного, 11% ферротитана, 9% феррохрома, 7% ферромарганца, 0,5% поташа и жидкого стекла 500 г на 1 кг сухой смеси. Ток и диаметр электродов подбираются по данным табл. 19.

Таблица 19

**Режимы сварки хромокремнемарганцевой стали
(хромансиль)**

Толщина материала, мм	Режимы сварки соединений					
	в стык		в нахлестку		в тавр	
	диаметр электрода, мм	ток, а	диаметр электрода, мм	ток, а	диаметр электрода, мм	ток, а
1	2	25—35	2	30—50	2	30—50
1,5	2	35—50	2,5	47—75	2,5	40—70
2	2,5	45—70	2,5—3	55—85	2,5—3	50—80
2,5	2,5—3	60—90	3	75—110	3	70—105
3	3	70—100	3—4	85—135	3—4	80—120
5	4	115—160	4—5	125—190	4—5	150—180
6	4—5	145—200	5—6	155—200	4—5	160—225

При двухслойной сварке второй шов сваривают током на 10—15% больше указанного в табл. 19. Если свариваются детали различной толщины, то ток и диаметр электрода выбираются по более толстому элементу, но принимается меньшее значение тока из табл. 19, причем дуга направляется на более толстый элемент.

Сварку нужно вести по возможности непрерывно. Дугу можно обрывать только после заполнения кратера. В случае непроизвольного обрыва дуги ее зажигание вновь следует производить на

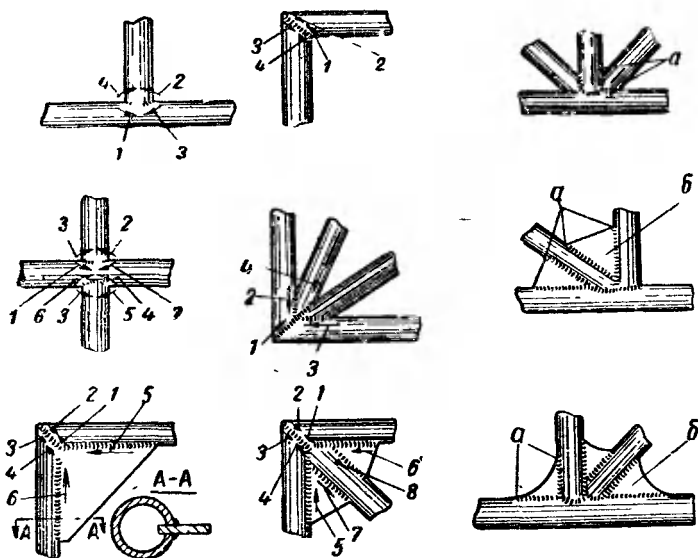


Рис. 67. Типовые узлы трубчатых конструкций из хромокремне-марганцевой стали (цифры показывают порядок наложения швов, стрелки — направление сварки)

наплавленном металле рядом с кратером. Не следует допускать обрыва дуги в местах поворота швов. Очень важно, чтобы при сварке длина дуги поддерживалась наименьшей. Электрод должен быть наклонен к плоскости шва под углом 70—80°. Деталь должна располагаться так, чтобы сварка велась по возможности в нижнем положении. Вертикальной и потолочной сварки следует избегать. Рекомендуется швы сваривать в лодочку. На рис. 67 показаны типовые соединения, применяемые при сварке трубчатых конструкций из хромокремнемарганцевых сталей.

Места, отмеченные на рис. 67 буквой *a*, при окончательной заделке шва завариваются газовой сваркой или опиляются во избежание концентрации напряжений. Для увеличения длины шва и жесткости сварного узла применяют косынки *b* из листовой стали.

При дуговой сварке хромокремнемарганцевой стали, особенно небольшой толщины, происходит частичная закалка металла в околосшовной зоне и твердость металла здесь повышается. Для устранения этого явления деталь нагревают до 650—680° и затем охлаждают в горячей воде или на воздухе. Окончательная термическая обработка, если она требуется по техническим условиям, производится путем закалки и последующего отпуска.

При закалке деталь нагревают до 880°, а затем охлаждают в масле с температурой 20—50°. Время выдержки при температуре 880° зависит от толщины металла. Для металла толщиной менее 1 мм выдержка равна 5 мин, для 3—5 мм — 10 мин, для 9—12 мм — 15 мин, свыше 20 мм выдержка берется 1 мин на 1 мм толщины металла. При отпуске деталь нагревают до 400—570°, а затем охлаждают в горячей воде при 60°. Чем ниже температура отпуска, тем выше прочность стали после него. Стали 30ХГС и 35ХГС сваривают с предварительным подогревом до 150—350° и, как правило, после сварки подвергают термической обработке.

Для сложных и ответственных стальных отливок в тяжелом машиностроении применяется хромокремнемарганцевая сталь ХГСЛ, содержащая 0,28—0,38% углерода, 0,9—1,2% марганца, 0,5—0,75% кремния, 0,5—0,8% хрома, не более 0,04% серы и не более 0,045% фосфора. Механические свойства стали ХГСЛ следующие: временное сопротивление разрыву 70 кгс/мм², относительное удлинение 14%, ударная вязкость 4—5 кгс·м/см², твердость не менее 200 единиц Бринелля.

При отливке деталей из этой стали иногда получают литейные пороки: поры, раковины, усадочные трещины и др., которые можно исправлять заваркой с предварительной вырубкой дефектного места. Для заварки применяют электроды из проволоки Св-18ХГСА по ГОСТ 2246—60, соответствующей по составу стали 20ХГСА, с покрытием ЦНИИТМАШ марки ЦЛ-18 и ЦЛ-18М (М — означает молибден).

Для заварки дефектов в отливках из стали ХГСЛ некоторые заводы применяют также электроды из углеродистой проволоки Св-08 и Св-08А с легирующим покрытием из феррохрома, ферросилиция, ферромарганца, шлакообразующих веществ и графита, дающих при сварке наплавленный металл, близкий по химическому составу и механическим свойствам к стали ХГСЛ.

§ 6. Сварка марганцовистых сталей

Высоколегированная марганцовистая сталь содержит 1—1,3% углерода и от 11 до 14% марганца. Эта сталь обладает твердостью, устойчива против истирания. При нагреве до 1050° и последующей закалке в воде она приобретает высокую прочность (временное сопротивление разрыву 100—120 кгс/мм²) и пластичность (относительное удлинение 40%). Из этой стали изготавливают стрелки и

крестовины железнодорожных путей, зубья ковшей экскаваторов и др.

При медленном охлаждении механические свойства марганцовистой стали резко ухудшаются, так как в ней выделяются карбиды — соединения углерода с марганцем и железом, делающие сталь хрупкой. При нагреве свыше 1200° пластичность и прочность стали также снижаются и возможно образование трещин. Указанные явления создают основные затруднения для сварки марганцовистых сталей этого класса. Данные стали лучше соединяются дуговой сваркой, обеспечивающей меньшую зону нагрева и более быстрое охлаждение шва, чем газовая сварка.

Для сварки высокомарганцовистых сталей применяют электроды из углеродистой проволоки Св-08, Св-10ГА и Св-10Г2 или высоколегированной хромоникелевой марок Св-04Х19Н9 и Св-07Х25Н13 по ГОСТ 2246—60. Покрытие электродов из углеродистой проволоки содержит: 60% феррохрома, 22% мела, 16% плавикового шпата, 2% графита и 30% жидкого стекла от веса сухой массы. Электроды из хромоникелевой стали имеют покрытие ЦЛ-2 следующего состава: 5% ферромарганца малоуглеродистого, 51% плавикового шпата, 44% мела, 18—22% жидкого стекла к весу сухой части покрытия. Вес покрытия составляет 35% к весу стержня. В качестве стержня используется проволока Св-04Х19Н9 по ГОСТ 2246—60 Коэффициент наплавки ЦЛ-2 $K_n = 11,5 - 12,5 \text{ г/а} \cdot \text{час}$.

Хорошие результаты сварки дает применение легированной проволоки Св-04Х19Н9 и покрытия УОНИ-13/нж. Сварку электродами с этим покрытием ведут на постоянном токе обратной полярности. При этом марганец и углерод выгорают в меньшей степени. При сварке марганцовистых сталей образуется довольно большое количество газов. Чтобы облегчить выход газов из расплавленного металла, наплавку следует выполнять уширенными валиками, иначе шов получится пористым.

Наплавка ведется короткими участками. Для повышения твердости наплавки и придания ей большей прочности, вязкости и износоустойчивости нужно после наложения каждого валика, пока он еще нагрет до красного каления, производить закалку с помощью холодной воды. Уплотнять шов можно легкой проковкой в горячем состоянии непосредственно после наплавки.

§ 7. Сварка хромистых сталей

Для изготовления химической аппаратуры, нефтеаппаратуры и других изделий широко используются хромистые стали, являющиеся нержавеющими и кислотостойкими и более дешевыми по сравнению с другими марками легированных сталей, обладающих этими же свойствами.

При содержании хрома от 4 до 14% сталь относится к среднелегированным, а при содержании хрома более 14% — к высоко-

легированным. Среднелегированные хромистые стали содержат до 0,15% углерода и применяются в конструкциях, где не требуется высокая прочность, но необходима устойчивость против коррозии.

Высоколегированные хромистые стали могут содержать до 0,35% углерода; они обладают повышенной прочностью, хорошо сопротивляются коррозии и действию кислот. Для повышения устойчивости против образования окалина (газовой коррозии) при температурах до 1100° в состав хромистых сталей вводится 1—2% кремния или 0,2—0,6% алюминия. Повышение жаропрочности достигается введением в состав хромистой стали до 0,6% молибдена. Для улучшения свариваемости хромистой стали в ее состав вводят титан.

При нагревании стали до температур 400—900° хром вступает в химическое соединение с углеродом, образуя карбиды хрома, выделяющиеся по границам зерен и лишаящие данную сталь ее основного свойства — сопротивляемости коррозии. При наличии в структуре стали карбидов хрома коррозия возникает не только на поверхности, но и в толще металла, в местах расположения карбидов хрома. Такая коррозия называется *межкристаллитной* и является очень опасной, так как понижает прочность и придает металлу хрупкость. Чем выше содержание углерода в хромистой стали, тем легче выделяются карбиды хрома в металле сварного шва и околошовной зоны, подвергающихся при сварке нагреву до указанных выше температур.

Это свойство хромистых сталей создает основное затруднение при их сварке. Кроме того, хром придает стали способность к самозакаливанию, отчего сварной шов и соседние с ним участки становятся твердыми и хрупкими при охлаждении на воздухе после сварки. Закалка вызывает внутренние напряжения, которые способствуют образованию трещин в металле. Наряду с этим хромистые стали в 1,5—2 раза хуже проводят тепло, чем обычная малоуглеродистая сталь, и поэтому обладают повышенной склонностью к короблению при сварке. Хром легко окисляется, образуя тугоплавкие шлаки, что также затрудняет сварку. Вследствие указанных причин хромистые стали относятся к группе ограниченно сваривающихся и требуют особых приемов сварки.

Сварку хромистых сталей производят проволокой из хромоникелевой стали Св-02Х19Н9 и Св-Х25Н13 по ГОСТ 2246—60 с покрытием ЦЛ-2 или УОНИ-13/нж. Эти покрытия дают жидкий шлак, хорошо защищающий ванну, растворяющий окислы хрома и раскисляющий металл шва.

Вследствие повышенного электрического сопротивления проволоки из хромоникелевой стали электроды из нее при большом токе могут быстро нагреваться и усиленно плавиться. Расплавленный металл будет стекать на недостаточно нагретый основной ме-

талл, что приведет к образованию непроваренных мест и ослаблению прочности сварного соединения.

Для предупреждения указанного явления электроды берут длиной не более 250—300 мм, т. е. короче обычных. Из этих же соображений при сварке хромистых сталей применяют пониженный ток и следующие режимы сварки:

Толщина листов, мм .	3	4—5	6—8	10—11	13—16
Диаметр электрода, мм	2	3	4	5	6
Ток, а	50—70	90—100	120—150	100—180	225—260

Сварку ведут на постоянном токе обратной полярности. Для лучшего отвода тепла под шов кладут толстые медные подкладки, охлаждаемые водой. Для восстановления первоначальных свойств основного металла изделие после сварки подвергают термической обработке по одному из режимов, указанных в табл. 20.

Таблица 20

Режимы термообработки сталей после сварки

Содержание хрома в стали, %	Температура нагрева, град	Выдержка, мин/1 мм толщины (но не менее 1 часа)	Условия охлаждения
4—6	900	5	Два варианта: 1) охлаждение с печью до 600° со скоростью 25 град/час, затем на воздухе; 2) охлаждение с печью до 730° с выдержкой при этой температуре не менее 5 мин на 1 мм толщины, затем на воздухе
7—10	720—750	5	Охлаждение на воздухе
10—14	720—750	10	То же
15—16	790	4	Два варианта: 1) охлаждение на воздухе; 2) охлаждение до 600° с печью со скоростью 25 град/час, затем на воздухе
18—30	870—900	10	Охлаждение в холодной воде, затем отпуск с нагревом до 600—700° и медленным охлаждением

Хромистые стали с содержанием 18—30% хрома и до 0,35% углерода во избежание образования трещин подогревают до 200—350°. Нужно особенно следить за тем, чтобы не перегревать металл шва и околошовной зоны, ведя сварку на пониженных токах с наибольшей скоростью. Особенно это опасно при сварке многослойных швов валиками малых сечений, выполняемых с охлаждением до 200° перед наложением каждого последующего слоя. Для получения менее хрупкого металла шва сварку сталей с 18—30% хрома осуществляют электродами из хромоникелевой стали Св-Х25Н13 с покрытием УОНИ-13/нж.

Если от металла шва после сварки требуется твердость, то охлаждение производят быстро в воде; при медленном охлаждении на воздухе металл шва получается менее твердым, но более вязким.

Металл толщиной свыше 8—10 мм следует сваривать в несколько слоев и, если возможно, с предварительной подваркой корня V-образного шва с обратной стороны.

§ 8. Сварка хромоникелевых аустенитных сталей

Высоколегированные хромоникелевые аустенитные стали обладают большой вязкостью, хорошо противостоят коррозии, действию кислот, окалинообразованию, действию высоких и низких температур, хорошо свариваются и поэтому широко применяются при изготовлении различных аппаратов для химических производств и изделий, работающих как при высоких, так и очень низких температурах и подвергающихся действию агрессивных жидкостей, паров и газов.

Наиболее распространенные марки этих сталей содержат 0,08—0,2% углерода, 18—20% хрома и 8—10% никеля и имеют обозначение, например 0X18H9, 1X18H9 и т. д. Цифра 0 в обозначении марки указывает, что сталь содержит менее 0,07% углерода, цифра 1 — до 0,14%; цифра 2 — 0,15—0,25% углерода; обозначение X18—хрома 17—20%; H9 — никеля 8—11%.

Для предупреждения выпадения в стали карбидов хрома к ней добавляют до 0,8% титана или до 1,5% ниобия, которые связывают углерод и тем предупреждают выделение в структуре карбидов хрома. В этом случае в обозначение марки стали добавляется буква Т (титан) или Б (ниобий). Соответственно сталь обозначается 1X18H9Т или 1X18H11Б.

Для сварки хромоникелевых нержавеющей сталей применяют электроды с обмазками ЦЛ-2, ЦЛ-3, ЦЛ-4, ЦЛ-11, ЦЛ-22, УОНИ-13/нж и многие другие. Покрытие ЦЛ-11 имеет состав: 38% мрамора, 44% плавикового шпата, 4% ферромарганца, 3% ферротитана, 2% ферросилиция, 4,5% двуокиси титана, 4,5% феррониобия, жидкого стекла — 520—540 см³ на 1 кг сухой смеси.

Основное затруднение при сварке хромоникелевых сталей, не содержащих титана или ниобия, состоит в том, что при нагревании до 500—700° они теряют свои антикоррозийные свойства и становятся хрупкими вследствие выделения карбидов хрома по границам зерен. Свойства стали можно снова восстановить нагреванием до температуры 850° (при которой карбиды хрома вновь растворяются в сплаве) и последующим быстрым охлаждением в воде, а для малых толщин — на воздухе. Такой вид термообработки называется стабилизацией.

Хромоникелевые стали обладают низкой теплопроводностью и чувствительны к перегреву так же, как и хромистые стали. По-

этому их необходимо сваривать на постоянном токе обратной полярности и применять те же режимы, что и при сварке хромистых сталей. Электроду придают только поступательное движение, без поперечных колебаний. Для отвода тепла от места сварки используют медные подкладки. Кромки металла перед сваркой должны быть тщательно зачищены. Хромоникелевые стали с повышенным содержанием углерода свариваются с предварительным подогревом до 300—500°.

После сварки изделие рекомендуется подвергнуть термообработке — нагреву до 850° с последующим охлаждением в воде. Сталь толщиной 1—2 мм можно охлаждать на воздухе. Хромоникелевые стали, содержащие титан или ниобий, термообработке после сварки можно не подвергать.

Тонколистовую нержавеющую сталь 1X18H9T толщиной 1—1,5 мм сваривают проволокой из хромоникелевой нержавеющей стали Св-02X19H9 или Св-04X19H9C2 по ГОСТ 2246—60. Проволока Св-04X19H9C2 содержит повышенное количество кремния (от 2 до 2,75%), который способствует образованию феррита в структуре наплавленного металла. В качестве покрытия используют ЦЛ-2 или ЦЛ-11. Сварку ведут на постоянном токе обратной полярности. Ток берется для электродов диаметром 2 мм 40 а, диаметром 2,5 мм 40—60 а. Покрытие ЦЛ-2 дает более плотный наплавленный металл, но внешний вид шва получается хуже.

При сварке стали 1X18H9T может происходить науглероживание металла шва, вызывающее снижение его стойкости против межкристаллитной коррозии. Как показали исследования, основным источником науглероживания является мрамор, входящий в состав покрытия электрода и содержащий до 12% углерода, а при автоматической сварке — флюс. Поэтому лучшие результаты дает сварка нержавеющей сталей в среде защитных инертных газов — аргона и гелия.

Для сварки жаропрочных аустенитных сталей (например, марки 1X18H12M3T) применяют специальные электроды, обеспечивающие содержание в структуре наплавленного металла от 2 до 5% ферритной фазы. За последние годы разработан ряд новых марок таких аустенитно-ферритных электродов а именно: КТИ-5, ЦТ-15, ЦТ-7, ЦТ-16, ЗИО-3, ЗИО-7 и других, хорошо зарекомендовавших себя в различных отраслях промышленности. Электроды КТИ-5 и ЦТ-7 содержат дополнительные легирующие примеси — молибден и ванадий; электроды ЦТ-15 и ЗИО — ниобий. Кроме того, различные марки этих электродов отличаются содержанием углерода, марганца и никеля. Изменением содержания хрома регулируется количество ферритной фазы, получаемой в наплавленном металле.

Окалиностойкие стали Х23Н13, Х23Н18 и др. содержат больше хрома (от 22 до 25%), никеля (от 12 до 20%). Они склонны давать при температуре 850—950° горячие трещины. Их сваривают

Составы и свойства жаропрочных

Марка сплава	Химический состав, %							
	углерод	хром	никель	железо	вольфрам	титан	алюминий	другие элементы
ЭИ696А	До 0,1	10—12,5	18—21	Основа	—	2,3—2,8	До 0,5	Бор 0,008—0,02
ЭИ868 (ВЖ98)	До 0,1	23,5—26,5	Основа	До 4	13—16	0,3—0,7	До 0,5	—

электродами, содержащими в проволоке титан, ниобий, молибден, способствующие образованию мелкозернистой структуры металла шва. При сварке этих сталей рекомендуется производить послойную проковку швов. После сварки изделие подвергается термообработке со скоростью нагрева 100—130 град/час до 950—1100° и последующим быстрым охлаждением. Сварку ведут на постоянном токе обратной полярности — 35—40 а на 1 мм диаметра электрода. Используют покрытия ЦЛ-8, ЦТ-1, ЦТ7А, ЦТ12А НИИ-48.

Покрyтие ЦЛ-8 применяют для проволоки Св-13Х25Н18. Покрyтие ЦЛ-8 имеет следующий состав: 38,5% мрамора; 44% плавленого шпата, 4,5% двуокиси титана, 8% ферромарганца, 2% ферросилиция, 3% ферротитана. Коэффициент наплавки $K_n = 11 \text{ г/а} \cdot \text{час}$.

§ 9. Сварка жаропрочных сплавов

В машиностроении широко применяются жаропрочные сплавы для деталей, работающих при высоких температурах и нагрузках. Из таких сплавов изготавливаются, например, рабочие лопатки, диски колес, камеры сгорания и другие детали газовых турбин, работающие при температурах от 500 до 1100°.

Основными элементами для получения жаропрочных сплавов являются хром, никель и железо. Хром образует с кислородом прочную окисную пленку, плавящуюся при температуре только около 2275°. Эта пленка хорошо защищает металл от дальнейшего окисления кислородом при высоких температурах, обуславливая жаростойкость сплава. Высокое содержание никеля дает возможность получать сплавы с аустенитной структурой, обладающие высокой пластичностью

Область применения	Способ сварки	Марка присадочной проволоки	Прочность сварного соединения, кгс/мм ² при температуре, град		
			20	650	1200
Высоконагруженные детали, работающие при температуре 500—750° (детали корпуса газовых турбин, соединительные кольца)	Дуговая	ЭИ696 с покрытием НЖ-2	80	58	—
	Аргоно- дуговая	ЭИ696	93	67	—
Детали камер сгорания, форсажные камеры, обложки охлаждаемых лопаток и другие детали газовых турбин, работающие при температурах до 1100°	Дуговая	ВЖ98 с покрытием НЖ-2	94	—	4,5
	Аргоно- дуговая	ВЖ98	83	—	4,7

Для придания сплаву необходимой прочности при высоких температурах, а также других необходимых свойств применяются многие другие легирующие элементы: углерод, титан, алюминий, молибден, вольфрам, ванадий, бор, селен и др.

Все существующие жаропрочные сплавы можно разделить на две основные группы: сплавы на никелевой основе и сплавы на железной основе; последние являются более дешевыми, но менее жаростойкими.

Для изготовления сварных конструкций наиболее широкое применение получили жаропрочные сплавы следующих марок: ЭИ652, ЭИ602, ЭИ703, ЭИ696, ЭИ696А, ЭИ868 (ВЖ98), ВЖ85, ЭИ835, Х24Н25Т (ЭИ813), ЭИ894.

В таблице 21 приведены в качестве примера составы и свойства двух жаропрочных сплавов: ЭИ696А на железной основе и ЭИ868 (ВЖ98) на никелевой основе.

При сварке жаропрочных сплавов основным затруднением для получения высококачественного сварного соединения является пленка тугоплавкой окиси хрома, ухудшающей взаимное сплавление зерен металла.

Все жаропрочные сплавы обладают примерно в два раза меньшей теплопроводностью и в полтора раза большим коэффициентом линейного расширения по сравнению с конструкционными углеродистыми сталями. Поэтому при сварке жаропрочных сплавов возникают дополнительные трудности — возможность перегрева металла, появления прожогов, сильного коробления изделий, образования трещин.

Жарспрочные сплавы указанных выше марок достаточно хорошо подвергаются дуговой и аргоно-дуговой сварке плавящимся электродом, а также контактной точечной и роликовой сварке. Электрическая сварка этих сплавов более целесообразна, чем газовая, вызывающая повышенное образование тугоплавкой окиси хрома, препятствующей сплавлению преимущественно на нижней стороне кромок шва. Газовая сварка поэтому используется значительно реже и только при изготовлении неотчетственных конструкций.

Сварка сплавов большинства марок производится без последующей термической обработки. Заготовки сложной формы, подвергавшиеся глубокой штамповке, гибке, выколотке и пр., перед сваркой необходимо отжигать для снятия остаточных напряжений. Детали, могущие подвергнуться после сварки коррозии, перед сваркой закаливают на аустенит — нагревом до 1050—1150° и быстрым охлаждением в воде или на воздухе (тонкий металл).

Сплавы марок ЭИ696, ЭИ696А и ЭИ894 относятся к группе дисперсионно твердеющих, т. е. они способны после старения (нагрев до 700° и выдержка при этой температуре в течение 5—8 час) примерно в два раза повышать свою прочность, сохраняя еще достаточную пластичность. Это обусловлено образованием у них в процессе старения особой высокопрочной структуры внутри зерен и по их границам. Если изделия из сплавов ЭИ696 и ЭИ696А после сварки подвергались термообработке (закалке или старению), то в случае необходимости вторичной подварки они должны пройти двухчасовой отпуск при 850° для предупреждения образования трещин.

При всех способах сварки жаропрочных сплавов особое значение имеет хорошее качество подготовки и взаимной подгонки кромок. Как правило, кромки должны предварительно обрабатываться на токарных, фрезерных или строгальных станках.

Свариваемые элементы должны закрепляться в приспособлениях, предупреждающих их взаимное перемещение. Прихватки по возможности следует применять только в тех случаях, когда без них нельзя обойтись, так как в местах прихваток возможно при повторном нагреве образование трещин.

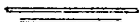
Дуговую сварку жаропрочных сплавов производят на постоянном токе обратной полярности. Режимы сварки применяют такие же, как и при сварке аустенитных хромоникелевых сталей. Покрытие берется основного типа, образующее легкоплавкий, плотный и легкоудаляемый шлак низкой кислотности. Электроды должны позволять вести сварку металла толщиной от 1,2 мм и выше, давать устойчивую дугу и обладать малой прожигающей способностью. Вес покрытия должен составлять 25—30% от веса металлического стержня. Наилучшими являются электроды с покрытиями марок ВИАМ-нж/1 и нж/2, НИАТ-1, ЦЛ-МЗ.

При сварке стыковых швов обратная сторона свариваемых ли-

стов покрывается флюсом того же состава, что и электродное покрытие.

В месте окончания шва не должно оставаться глубокого кратера, иначе в нем могут образоваться мелкие трещины. Для заделки кратера дугу на нем несколько раз зажигают и быстро гасят.

При аргоно-дуговой сварке жаропрочных сплавов применяют медные или стальные подкладки, защищающие обратную сторону шва от окисления. Между подкладкой и обратной стороной свариваемой детали должен быть зазор. Вместо подкладок можно к обратной стороне свариваемых кромок подводить защитную струю аргона или покрывать их флюсом. Аргон не должен содержать влаги, а также более 0,05% кислорода и более 0,24% азота. Необходимо, чтобы длина дуги не превышала 2 мм, а угол наклона электрода к вертикали составлял 10—15°.



ГЛАВА X

ОСОБЕННОСТИ СВАРКИ НЕКОТОРЫХ КОНСТРУКЦИЙ

§ 1. Сварка резервуаров и сосудов

Резервуары и сосуды, работающие без давления. К этой группе относятся резервуары и сосуды для хранения жидкостей, газгольдеры для газа низкого давления (менее 0,7 *ати*). Близкими к этим конструкциям по технологическим приемам сварки являются газопроводы большого диаметра, кожухи различного рода химической аппаратуры, корпуса судов, их переборки, палубы, обшивка и пр. Изделия данного типа собирают из листов толщиной до 10—12 мм, свариваемых друг с другом в стык или в нахлестку. При монтаже таких конструкций швы приходится сваривать в разнообразных положениях: нижнем, вертикальном, горизонтальном и потолочном. От швов в этих конструкциях требуется не только прочность, но и плотность.

Типичными для данной группы конструкций являются резервуары для нефтепродуктов, состоящие из плоского днища, цилиндрической части и крыши. Такие резервуары строятся обычно емкостью до 10 000 м³. Цилиндрическая часть резервуара изготовляется из поясов, высота которых определяется шириной листов и равна 1400—1500 мм. Вертикальные швы свариваются в стык, горизонтальные — в стык или в нахлестку. Ширина нахлестки должна равняться четырехкратной толщине листа, но не менее 20 мм. Листы крыши укладываются на решетчатые фермы и балки, располагаемые по радиусам и скрепляемые поперечными прогонами.

В настоящее время при изготовлении резервуаров широко используются наиболее передовые способы сварки — автоматическая и полуавтоматическая под слоем флюса и в среде углекислого газа. Ручная сварка применяется при сборочно-монтажных работах. Используются также новые методы организации работ по строительству резервуаров. Так, например, получил распространение новый рулонный метод изготовления крупных резервуаров,

разработанный сотрудниками Института электросварки им. Е. О. Патона. По этому способу стенка, днище и кровля резервуара изготавливаются заблаговременно на заводе из отдельных листов с применением автоматической сварки. Готовые полотнища сворачиваются в рулон и в таком виде транспортируются на место установки резервуара. Корпус резервуара емкостью 5000 м³, диаметром 23 м и высотой 12 м сворачивается в восьмислойный рулон диаметром 2,8 м, весом 40 т.

С помощью кранов рулоны устанавливают на днище (рис. 68), с помощью лебедок и тракторов их разворачивают, после чего резер-

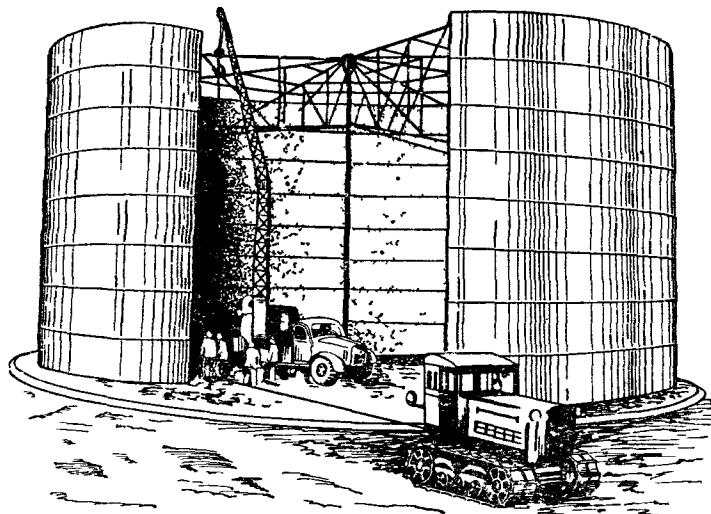


Рис. 68. Разворачивание рулона корпуса и монтаж ферм кровли при изготовлении нефтерезервуара

вуар окончательно сваривают. Фермы кровли монтируются в процессе разворачивания рулона. Новый способ значительно сокращает стоимость и сроки сборки и сварки резервуаров и позволяет механизировать основные операции по их сооружению, а также улучшает качество резервуаров.

Сосуды, работающие под давлением. К этой категории относятся сосуды, в которых рабочее давление превышает атмосферное более чем на 0,7 атм, например резервуары для сжатых газов, химическая аппаратура, паровые котлы, цистерны для сжиженных газов и др. Качество сварных швов в таких сосудах должно быть высоким и регламентируется правилами Госгортехнадзора СССР. К сварке этих сосудов допускаются лица, сдавшие специальные испытания в соответствии с правилами Госгортехнадзора и полу-

чившие удостоверения (диплом) на право сварки сосудов, работающих под давлением.

Сосуды емкостью не свыше 25 л, у которых производство емкости в литрах на рабочее давление в атмосферах составляет не более 200, не подлежат действию указанных выше правил независимо от величины рабочего давления в них.

Наплавленный металл швов в сосудах для работы под высоким давлением должен обладать механическими свойствами, указанными в табл. 22.

Таблица 22

Механические свойства наплавленного металла швов сосудов, работающих под давлением

Механические свойства наплавленного металла	Низколегированные стали		Углеродистые стали	
	дуговая сварка	газовая сварка	дуговая сварка	газовая сварка
Предел прочности, кгс/мм ²	Не ниже нижнего предела прочности основного металла по ГОСТ или ТУ для соответствующей марки сталей			
Относительное удлинение, % (не менее)	16	12	18	16
Ударная вязкость, кгс·м/см ² (не менее)	5	4	8	4

Применяемые при сварке таких резервуаров электроды и металл должны иметь сертификаты*, удостоверяющие их качество. Сосуды, изготовленные из углеродистых сталей, подлежат обязательной термообработке в следующих случаях:

а) если толщина стенки цилиндрической части или днища сосуда в месте сварного стыка более 35 мм;

б) если толщина стенки цилиндрической части сосуда, изготовленной из листовой стали вальцовкой, превышает величину, численную по формуле $\frac{D_v + 127}{120}$, где D_v — внутренний диаметр сосуда, см;

в) при изготовлении днищ сосуда (независимо от толщины их стенки) холодной или горячей штамповкой при температуре окончания штамповки ниже 700°. Днища могут подвергаться термообработке до приварки их к обечайке, и в этом случае термообработка сосуда может не производиться, если она не требуется согласно пп. а и б.

Допускается термообработка сосуда по частям с последующей окончательной местной термообработкой соединительного шва в кольцевой печи или специальными нагревательными устройствами.

* Сертификат — паспорт, свидетельство о качестве.

Проверка механических свойств сварных соединений сосудов, работающих под давлением, производится путем испытания образцов, вырезанных из пробных пластин, сваренных одновременно с основным изделием. Механические свойства сварных соединений должны удовлетворять приведенным выше требованиям правил Госгортехнадзора СССР.

После сварки все изделия подвергаются испытанию на прочность и плотность гидравлическим давлением. Для сосудов, у которых рабочее давление менее 5 *ати*, величина пробного гидравлического давления берется на 50% больше величины рабочего давления, но не ниже 2 *ати*. При рабочем давлении свыше 5 *ати* пробное гидравлическое давление должно на 25% (но не менее чем на 3 *ати*) превышать рабочее давление. Элементы сосудов, работающие при температуре стенки свыше 450° и независимо от температуры стенки — при давлении свыше 50 *ати*, а также сосуды, изготовленные из легированной стали, воспринимающей закалку на воздухе или склонной к образованию межкристаллитных трещин, подвергаются еще металлографическим исследованиям сварных образцов, вырезанных из контрольных пластин или стыков, если эти испытания предусмотрены ТУ на изготовление.

Кроме вышеуказанных испытаний, стыковые сварные швы исследуются путем просвечивания рентгеновскими или гамма-лучами*. В сосудах, работающих при давлении свыше 50 *ати* и температуре стенки свыше +400 и ниже —70°, просвечивается 25% общей длины стыковых швов; в сосудах, испытывающих давление до 50 *ати* и работающих при температуре стенки от +200 до +400 и от —40 до —70°, —15% длины стыковых швов; в сосудах с давлением до 16 *ати* и температурой стенки от +200 до —40° —10% длины стыковых швов.

Все выполненные швы сварщик обязан клеймить присвоенным ему номером или шифром.

Готовые сосуды снабжаются паспортом, в котором указываются: наименование и заводской номер сосуда, наименование и адрес завода-изготовителя, дата выпуска, рабочее давление и температура стенки, емкость, характер рабочей среды, результаты испытаний и другие сведения, требуемые правилами.

В сосудах, работающих под давлением, следует применять стыковые швы по возможности с двухсторонней сваркой или с подваркой обратной стороны. Сварка должна вестись преимущественно в нижнем положении. Сборочные отверстия в свариваемых листах не допускаются.

Днища сосудов, работающих под давлением, делают обычно выпуклыми и приваривают к обечайке стыковым швом. Продоль-

* Рентгеновскими и гамма-лучами называются невидимые лучи, обладающие способностью проникать через толщу металла и, действуя на фотографическую пленку, отмечать на ней скрытые пороки шва: трещины, непровар, поры, шлаковые включения и др. (см. гл. XXIV).

ные и поперечные швы обечаек должны быть только стыковыми. Допускаются соединения в тавр для приварки плоских днищ, грубных решеток, фланцев, штуцеров и других подобных элементов, а также двухсторонняя приварка выпуклых днищ в нахлестку к цилиндрической обечайке при толщине отбортыванной части днища не свыше 16 мм.

В настоящее время большинство сосудов, работающих под давлением, выполняют с помощью автоматической сварки под флюсом, а толстостенные сосуды — автоматической электрошлаковой сварки. Эти современные способы сварки обеспечивают большую производительность и высокое качество сварных швов. Ручной дуговой сваркой выполняются только короткие швы в местах прихваток, приварки патрубков, опор, люков и др., а также иногда производится предварительная подварка корня швов, свариваемых автоматической сваркой, если эта подварка предусмотрена по технологии.

§ 2. Сварка трубопроводов

Сооружаемые с применением сварки трубопроводы можно условно разбить на две следующие группы:

- а) трубопроводы, свариваемые из листовой стали,
- б) трубопроводы, свариваемые из готовых труб.

Сварка трубопроводов первой группы имеет много общего со сваркой резервуарных конструкций из листового металла. Эти трубопроводы сваривают продольными и поперечными швами из обечаек, которые предварительно вальцуют из листов. Обычно такие трубопроводы работают под невысоким давлением, которое не превышает 0,7 *ати*. Поэтому они не подлежат действию правил инспекции Госгортехнадзора. Очень часто для увеличения жесткости газопровода с его наружной стороны привариваются ребра жесткости из углового, таврового или швеллерного железа. Если давление в трубопроводе превышает 0,7 *ати*, то они должны свариваться в соответствии с требованиями соответствующих правил Госгортехнадзора.

Трубопроводы второй группы, свариваемые из готовых стандартных труб, применяют для пара, газа, воды и различных жидкостей. Они работают под повышенным давлением. В трубопроводах котельных установок рабочее давление достигает 50—100 *ати* и более. В этих трубопроводах приходится сваривать только поперечные швы в стык.

В настоящее время в трубной промышленности внедрены новые способы изготовления труб из стальной ленты с применением автоматической сварки под флюсом продольного шва. Изготавливаются также тонкостенные трубы со спиральным швом. Схема процесса сварки спирального шва трубы изображена на рис. 69. Стальная лента из рулона непрерывно свертывается с помощью специального

стана в трубу и соединяется по спирали автоматической сваркой под флюсом.

Все трубопроводы для пара и горячей воды (температура свыше 120°), работающие под давлением свыше 1 атм, должны сваривать-

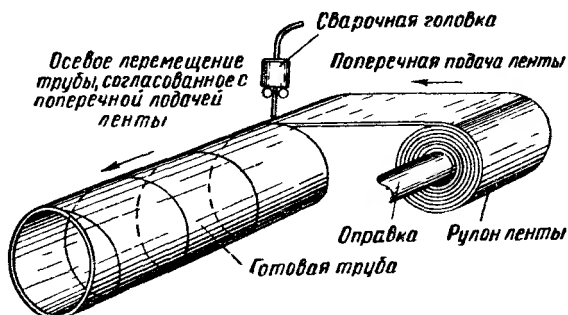


Рис. 69. Схема процесса сварки из ленты труб со спиральным швом

ся с соблюдением требований правил Госгортехнадзора. Согласно этим правилам сварка трубопроводов может производиться при температуре наружного воздуха не ниже -20° , а труб из легированной стали — не ниже -10° . При дожде, ветре и снеге место сварки должно ограждаться фанерными щитами и кровлей. К сварке трубопроводов, работающих под давлением, допускаются сварщики, прошедшие установленные испытания и имеющие соответствующие удостоверения.

Допускаемое смещение стенок концов труб при сборке под сварку не должно превышать:

Толщина стенки, мм . .	6	8	9 и 10	12 и более
Смещение не более, мм .	1,0	1,5	2,0	2,5

Тонкостенные (со стенкой менее 5 мм) трубы свариваются без скоса кромки. При толщине стенки свыше 5 мм делается скос под углом $35-40^{\circ}$ с оставлением нескошеннй части кромки (затупления) в 2—3 мм.

При дуговой сварке труб применяются стыковые соединения, изображенные на рис. 70. Кольца и подкладки допустимо применять только в трубах диаметром свыше 100 мм, где сужение сечения трубы от внутреннего кольца не оказывает существенного влияния на величину свободного сечения трубы.

Трубы без внутренней кольцевой подкладки соединяются с помощью центрирующих приспособлений. Тонкостенные трубы из нержавеющей стали IX18H9T (размером $22 \times 1,5$, $21 \times 1,5$;

15 × 1,5 мм и т. п.) соединяют в стык с отбортовкой (рис. 71) аргоно-дуговой ручной или автоматической сваркой с применением вольфрамового неплавящегося электрода.

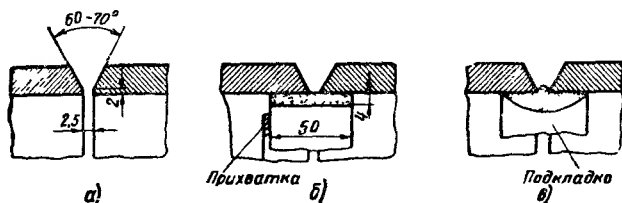


Рис. 70 Способы соединения концов труб.

а — без внутреннего кольца, б — с внутренним центрирующим гладким кольцом, в — с внутренней кольцевой подкладкой с буртиком

Стальные электроды для дуговой сварки труб, подлежащие действию правил Госгортехнадзора, должны обеспечивать получение наплавленного металла с пределом прочности не менее нижнего предела прочности основного металла трубы. Относительное удлинение наплавленного металла для труб из легированных сталей должно быть не ниже 16%, а для труб из углеродистой стали — не ниже 18%. Ударная вязкость наплавленного металла должна составлять: для труб из легированных сталей не ниже 6 кгс·м/см², для труб из углеродистой стали не ниже 8 кгс·м/см².

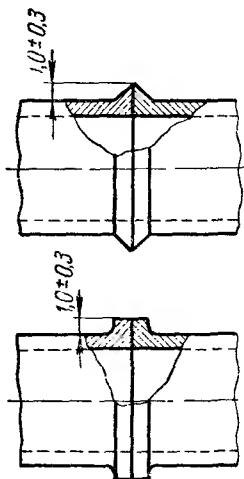


Рис. 71. Способы подготовки кромок тонкостенных труб из стали 1Х18Н9Т для аргоно-дуговой сварки вольфрамовым электродом

При газовой сварке труб допускается более низкое относительное удлинение наплавленного металла, равное 12% для труб из легированных и 16% из углеродистых сталей. Ударная вязкость наплавленного металла при газовой сварке труб из всех сортов сталей должна быть не менее 4 кгс·м/см².

В процессе сварки труб из углеродистой и легированных сталей в ряде случаев применяют предварительный подогрев стыков с целью уменьшения возможности образования закалочных структур и внутренних напряжений в переходной зоне основного металла.

Для контроля качества сварных швов изготавливают в тех же условиях пробные стыки, из которых вырезают образцы для испытаний на прочность; на каждые 50 стыков трубопровода сваривают один пробный.

При испытании образцов на растяжение полученный предел прочности не должен быть менее нижнего предела прочности основного металла или предела прочности наплавленного металла. При испытании образца на изгиб угол загиба до появления первой трещины в шве должен быть: для углеродистой стали не менее 100° , для молибденовой при толщине стенки до 20 мм не менее 80° и при толщине стенки свыше 20 мм не менее 60° , для хромомолибденовой стали при толщине стенки до 20 мм не менее 50° , а при толщине свыше 20 мм не менее 40° , для углеродистой стали не ниже 70° . В монтажных условиях эти нормы могут быть снижены на 10%. Непровар в стыке допускается не более 15% толщины стенки.

Сваренные трубопроводы испытываются гидравлическим давлением, на 50% превышающим установленное рабочее давление. Дефектные места, давшие течь, вырубают и заваривают вновь.

Трубопровод должен укладываться на опоры так, чтобы сварные швы находились от опор на расстоянии от 0,5 до 1,5 м.

Порядок сварки труб диаметром свыше 200 мм с поворотом стыка показан на рис. 72.

Окружность стыка размечается на четыре части: А—В; В—Г; Г—А. Стык соединяется тремя прихватками 1 (рис. 72, а). Затем электродом диаметром 4 мм при токе 120—150 а проваривают участки стыка А—В и Г—В узким валиком в направлении снизу вверх (рис. 72, б), а затем, повернув трубу на 90° , — участки Г—А и В—Б (рис. 72, в). После этого электродом диаметром 5 мм при токе 200—250 а также накладывают второй и третий слои (рис. 72, г и д).

На рис. 73, а дана схема сварки неповоротных стыков труб диаметром 250—500 мм. Первый слой накладывают тремя участками: от П к А, от Б к А и от П к Б. Этот порядок облегчает работу сварщика и снижает усадочные напряжения. Второй слой накладывают от К к Т с левой и от К к Т с правой стороны стыка в направлении снизу вверх. Если сварка производится в три слоя, то третий слой накладывают в два приема так же, как и второй, но только сварку начинают в точке П и заканчивают в точке М. Первый слой и потолочные участки швов остальных слоев сва-

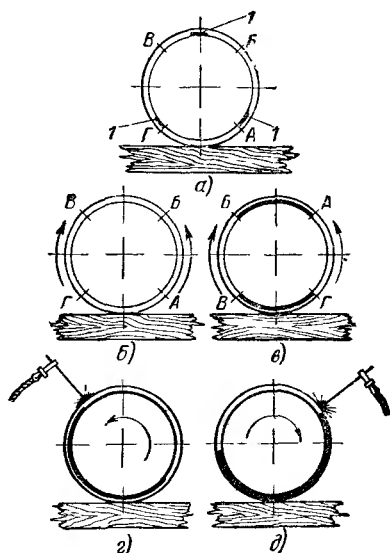


Рис. 72. Порядок сварки стыков труб с поворотом

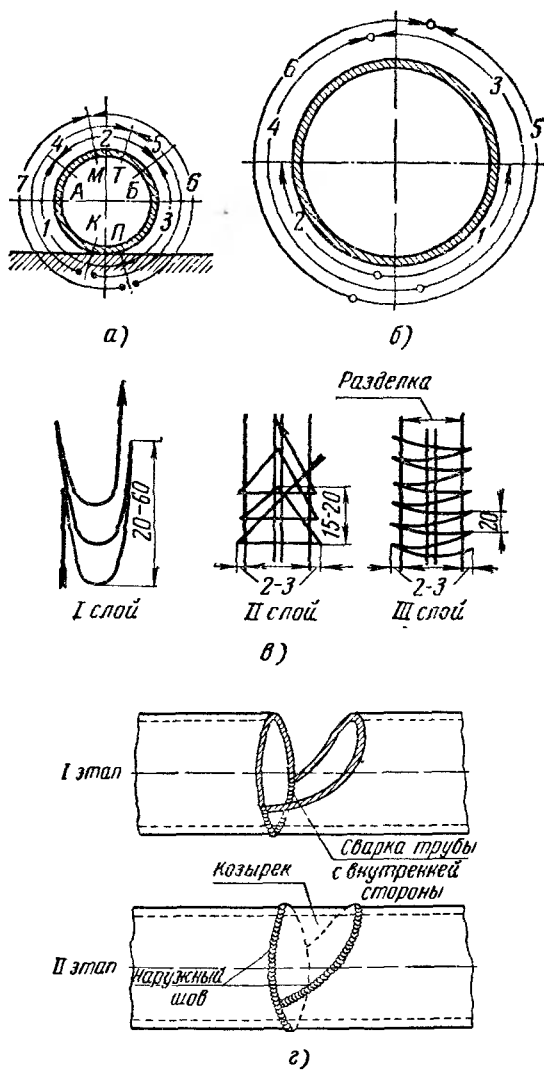


Рис. 73. Схема сварки неповоротного стыка трубы

ривают электродом диаметром 4 мм, остальные участки — электродами диаметрами 5 и 6 мм.

У труб диаметром более 500 мм шов делят на 6—8 участков и сначала сваривают снизу вверх боковые участки с обеих сторон стыка, затем нижние участки в потолочном положении и замыкают стык сваркой навстречу друг другу верхних участков.

На рис. 73, б показан способ сварки неповоротных стыков труб диаметром 720 мм. Такой способ применил сварщик-скорост-

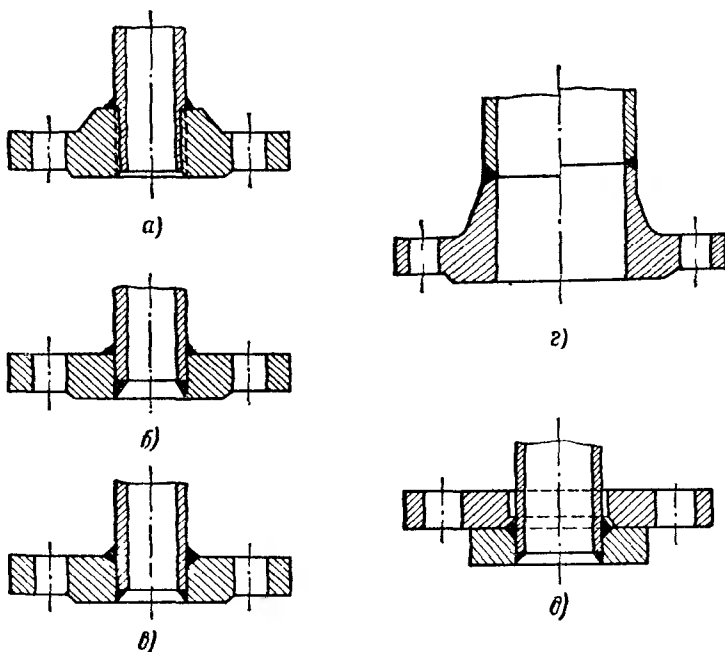


Рис. 74. Способы приварки фланцев к трубам:

а — с шейкой на резьбе, б и в — плоские приварные без скоса и со скосом кромок под сварку, г — приварные в стык, д — свободные на приварном кольце

ник т. Горшков при сварке газопроводов. Сварка ведется электродами УОНИ-13/55: первый слой — диаметром 3 мм, ток 165 а; второй слой — диаметром 4 мм, ток 220—240 а; третий слой — диаметром 4 мм, ток 160—180 а. На рис. 73, б показан порядок наложения слоев, а на рис. 73, в — схемы движения конца электрода при сварке по этому способу. Кружками отмечены точки начала и окончания шва, а стрелками — направление сварки.

Бывают случаи, когда при монтаже и ремонте труб нельзя сварить стык ни с поворотом, ни в потолочном положении. Тогда применяют способ сварки труб с «козырьком», как это показано

на рис. 73, г. Нижняя часть стыкового шва выполняется с внутренней, а верхняя — с наружной стороны.

Способы приварки фланцев различных типов к трубам показаны на рис. 74.

При сооружении магистральных трубопроводов большой протяженности, подающих газ или жидкость на многие сотни километров, малопроизводительная ручная сварка сейчас заменена современными механизированными способами: автоматической сваркой под флюсом, стыковой контактной сваркой, автоматической дуговой сваркой в среде углекислого газа.

§ 3. Сварка строительных и машиностроительных конструкций

Сварка строительных конструкций. Строительные конструкции бывают, как правило, двух типов: решетчатые из профильного проката и сплошные из листового металла. К первым относятся различные опоры, колонны, стропильные фермы, раскосы и т. д. Ко вторым — мостовые и крановые балки, подкрановые пути, башмаки опорных колонн и др.

Решетчатые конструкции состоят из элементов, расположенных в одной плоскости или пространстве. Элементы соединяются сваркой, образуя узлы конструкции. Элементы конструкции делают из уголков, швеллеров, двутавров. На рис. 75 показаны конструкции сварных узлов из профильного проката.

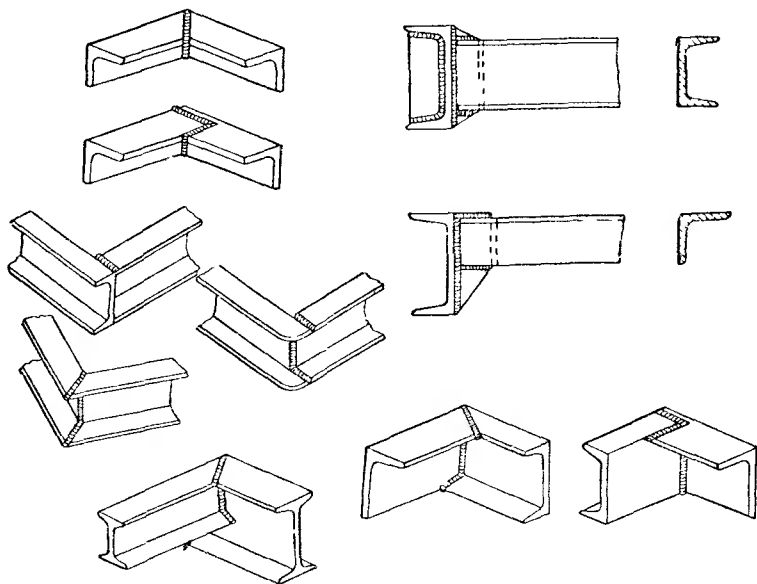


Рис. 75. Примеры сварки узлов из профильного проката

Сварные стыки элементов таврового профиля показаны на рис. 76, а, прокатанного уголка на рис. 76, б. Сварной тавр с косыми стыками вертикальной стенки и полки, уменьшающих напряжения от растяжения, изображен на рис. 76, в. На рис. 76, г, д показаны стыки с продольными и поперечными соединительными планками, вваренными в стык и увеличивающими длину соединительных швов в том случае, когда расчетные напряжения в них получаются слишком высокими.

Строительные конструкции со сплошным сечением элементов изготавливают из листового металла. Их применяют в тех случаях, когда требуется большая высота сечения элемента, например балки. Сплошные сварные балки делают коробчатого или двутаврового сечения. На рис. 77 показаны способы выполнения сварных стыков двутавровых балок из листового металла. Дополнительные накладки на стыке используют в том случае, когда стык расположен в наиболее нагруженной части балки.

Сварные балки и колонны со сплошными стенками изготавливают в сварочных цехах автоматической сваркой под флюсом. Балка сначала собирается без ребер жесткости. После сварки первого поясного шва (рис. 78) балку с помощью кантователя поворачивают на 90° вокруг горизонтальной оси. Затем, идя в обратном направлении, сваривают второй шов того же пояса, смежный с первым. После этого балку снова поворачивают на 180° и в том же порядке сваривают швы второго пояса. На рис. 78 цифрами 1, 2, 3 и 4 указан порядок наложения продольных швов при сварке балки. Приварка ребер жесткости производится ручной дуговой или полуавтоматической сваркой одновременно с двух сторон двумя сварщиками в направлении от середины к краям балки.

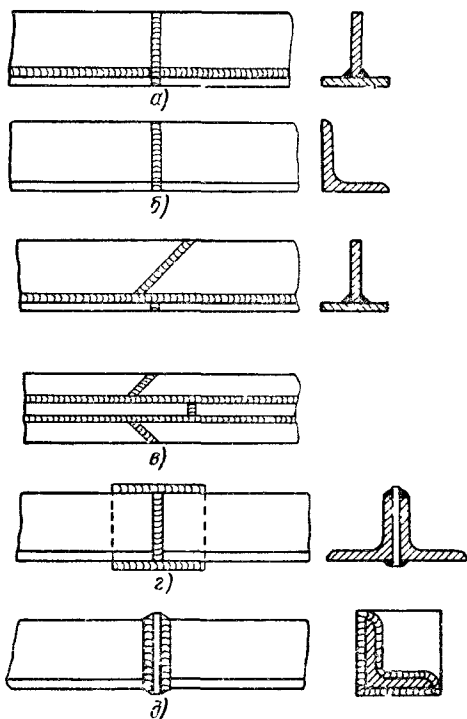


Рис. 76. Примеры сварки стыков элементов стропильных ферм

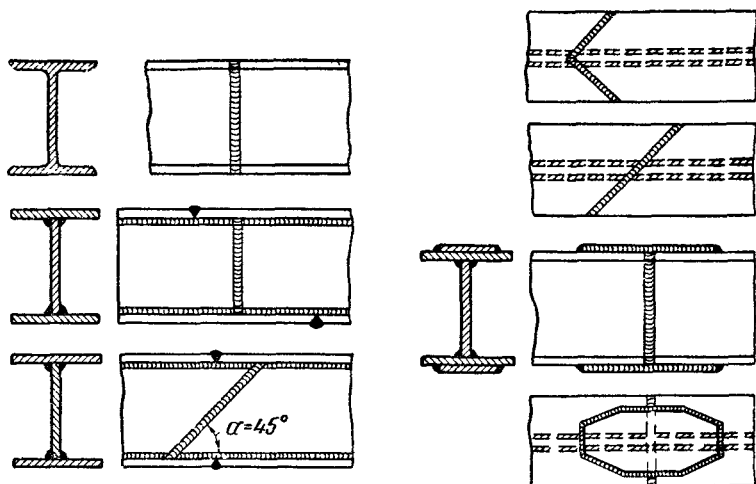


Рис. 77. Стыки сварных двутавровых балок

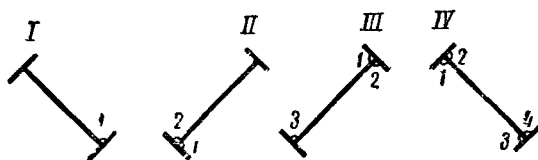


Рис 78 Схема последовательных положений (I, II, III и IV) балки при сварке поясных швов

При монтаже балок в первую очередь следует сваривать стыковые, а во вторую — валиковые швы. Порядок сварки монтажных стыков прокатанных балок показан на рис. 79, а. Сначала сваривают вертикальный шов 1, а затем швы поясов 2 и 3. При сварке монтируемых балок стыковые швы поясных листов могут быть совмещены (рис 79, б) или сдвинуты (рис. 79, в) относительно друг друга. Порядок сварки швов остается тот же, т. е. сначала сваривают стыки вертикальной стенки 1, а затем стыки поясов 2 и 3. Продольные швы сварных балок обычно не доводятся до концов балки на 400—500 мм и заканчиваются на месте монтажа швами 4, которые свариваются в последнюю очередь

Сварка машиностроительных конструкций. Машиностроительные конструкции, как правило, сваривают в приспособлениях, обеспечивающих требуемую точность сборки для получения заданной формы изделия и его размеров. Широко распространены пово-

ротные приспособления, придающие шву более удобное положение при сварке. В машиностроительных конструкциях обычно имеется большое количество коротких швов различного сечения, которые выполняются преимущественно ручной дуговой сваркой качественными электродами или полуавтоматической сваркой под флюсом, или в атмосфере защитных газов.

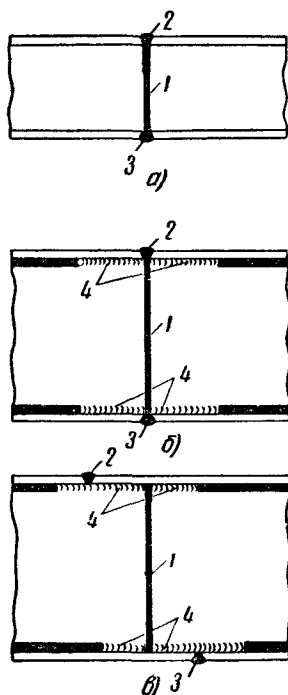


Рис. 79 Порядок сварки монтажных стыков балок

а — прокатанных, *б* и *в* — сварных

При массовом производстве однотипных изделий применяют автоматическую сварку под флюсом, газопрессовую и контактную сварку на специальных машинах или специальные способы сварки.

Основным затруднением при изготовлении сварных машиностроительных конструкций являются коробления и деформации, возникающие при сварке. Поэтому необходимо накладывать швы в такой последовательности, чтобы они давали наименьшее изменение формы изделия в целом, и использовать метод обратных деформаций.

ГЛАВА XI

АВТОМАТИЧЕСКАЯ И ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКАЯ СВАРКА ПОД ФЛЮСОМ

§ 1. Преимущества механизации и автоматизации дуговой сварки

Ручная дуговая сварка является весьма гибким процессом, не требует сложного и громоздкого оборудования и поэтому может широко применяться в самых разнообразных условиях производства для изготовления и ремонта металлоконструкций, но ее основным недостатком является относительно низкая производительность, особенно при сварке изделий из толстого металла. Поэтому основным направлением дальнейшего технического развития сварки должна быть механизация и автоматизация как самого сварочного процесса, так и вспомогательных операций по сборке и подготовке изделий под сварку.

Одним из новых и прогрессивных процессов в области технологии сварки является способ полуавтоматической и автоматической сварки под флюсом, разработанный в СССР и получивший за последние годы широкое применение в промышленности и строительстве.

Еще в 1892 г. Н. Г. Славянов впервые предложил использовать принцип сварки под слоем флюса. В 1927 г. Д. А. Дульчевский, развивая идеи Н. Г. Славянова, разработал способ дуговой сварки под слоем гранулированного флюса, а также создал первый автомат для дуговой сварки.

Широкое внедрение автоматической сварки под флюсом получает с 1940 г. на основе работ Института электросварки им. академика Е. О. Патона, а также отдела сварки ЦНИИТМАШ, ряда заводов и научно-исследовательских организаций.

Схема процесса автоматической сварки под флюсом дана на рис. 80. Электрическая дуга 1 образуется между электродом 6 (проволокой) и металлом 2. Горение дуги и расплавление электрода и свариваемого металла происходят под слоем флюса 3, в пузы-

ре расплавленного шлака, который сверху покрыт слоем нерасплавленного флюса. Подача проволоки из бухты 4 производится непрерывно специальной сварочной головкой 5. Ток к изделию и электроду подводится от сварочного трансформатора.

По мере расплавления проволока автоматически подается в дугу, одновременно перемещаясь вдоль свариваемых кромок и расплавляя новые участки свариваемого металла и флюса. Давлением паров и газов жидкий металл вытесняется в сторону, противоположную движению электрода (рис. 81, а). На рис. 81, б показаны поперечные сечения полуперечные сечения получаемого шва. Затвердевание металла шва (показано черным) начинается с сечения *II*. В сечении *III* находится уже затвердевший металл шва, покрытый корочкой сплавленного флюса.

Для нормального формирования шва необходимо над жидким металлом иметь слой флюса толщиной от 25 до 40 мм. Кончик электрода должен выступать из токоподводящего мунштука сварочной головки на 20—60 мм. Сварку под флюсом можно вести как на переменном, так и на постоянном токе. Наиболее часто используют переменный ток, так как источники питания дуги переменным током проще, дешевле и надежнее в эксплуатации, а расход энергии ниже, чем при сварке на постоянном токе.

При сварке током 600—1500 а дуга горит устойчиво при скорости сварки до 60—80 м/час. При дальнейшем повышении скорости устойчивость горения дуги уменьшается и для восстановления ее требуется повышать напряжение дуги.

Жидкий металл переносится дугой в виде капелек различного размера, от десятых долей до 3—4 мм. Расплавленный флюс полностью защищает жидкий металл от насыщения азотом окружающего воздуха. Содержание азота в наплавленном металле при сварке под флюсом составляет всего 0,002%.

При сварке под флюсом ванна расплавленного металла вследствие уменьшения потерь тепла в окружающую среду остается длительное время (10—60 сек) в жидком состоянии и металл застывает

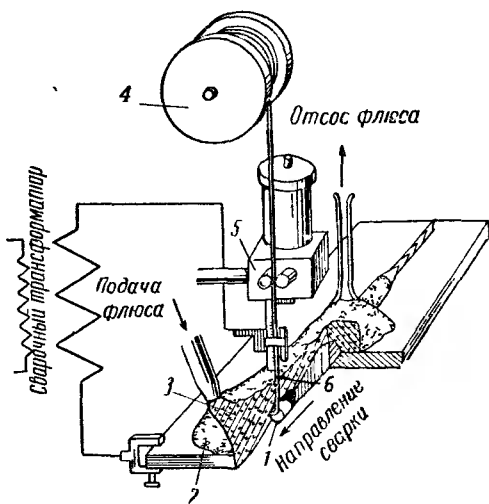


Рис. 80. Схема процесса автоматической сварки под флюсом

медленнее, чем при ручной сварке. Это способствует лучшему очищению жидкого металла от растворенных газов, частиц шлака и прочих загрязнений, и металл шва получается плотным, без пор и шлаковых включений. В результате благоприятных условий, со-

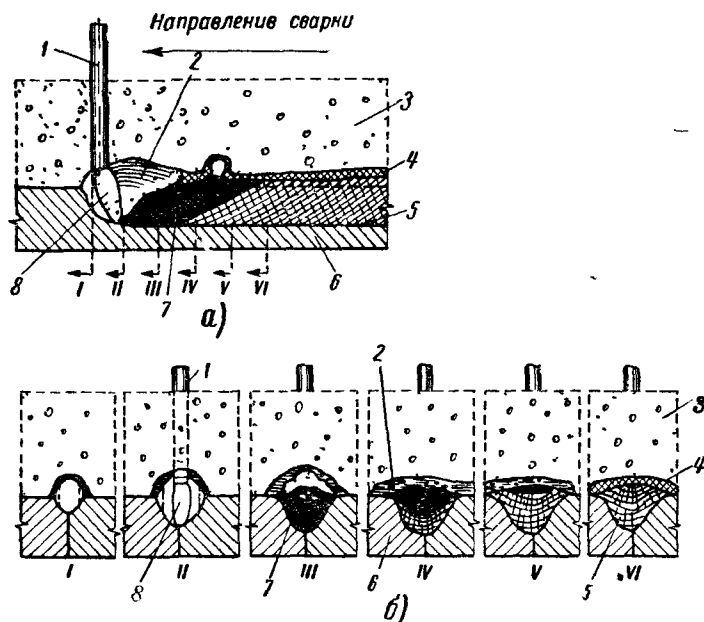


Рис. 81. Схема горения дуги и образование металла шва при сварке под флюсом:

а — продольный разрез шва, *б* — поперечные разрезы 1 — электрод, 2 — пузырь из жидкого флюса, 3 — флюс, оставшийся нерасплавленным, 4 — спекшийся флюс, 5 — затвердевший металл шва, 6 — свариваемый металл, 7 — жидкий расплавленный металл, 8 — электрическая дуга

путствующих процессу, металл шва, сваренного под слоем флюса, обладает высокой пластичностью и обеспечивает угол загиба 180° .

Автоматическая сварка под флюсом по сравнению с ручными способами дуговой сварки электродами с качественными обматками обеспечивает следующие преимущества:

1. Высокую производительность сварки за счет применения значительно больших токов при том же или меньшем диаметре проволоки. Так, например, для проволоки диаметром 5 мм при ручной сварке ток в среднем равен 250 а; при автоматической сварке под флюсом для проволоки диаметром 5 мм ток составляет 800 а и выше. Это обусловлено тем, что при сварке под флюсом ток подводит вблизи плавящегося конца электродной проволоки, а слой флюса предохраняет жидкий металл от разбрызгивания и выплескивания

из ванны. Благодаря этому можно применять высокую плотность тока без опасения преждевременного расплавления электрода и выплескивания металла, что позволяет увеличивать скорость подачи проволоки в дугу, соответственно повышая производительность сварки.

При толщине листов 10 мм автоматическая сварка под флюсом снижает трудоемкость сварочных работ в два раза, а при больших толщинах — в четыре и более раза.

2. Высокие механические свойства и плотность наплавленного металла шва благодаря полной защите расплавленного металла флюсом от окисления, замедленному охлаждению, улучшению структуры наплавленного металла, удалению из него растворенных газов, обеспечению надежного провара корня и кромок шва.

3. Экономия электродной проволоки вследствие отсутствия потерь на угар, разбрызгивание и огарки.

4 Экономия электроэнергии благодаря лучшему использованию тепла сварочной дуги.

5 Менее вредно влияет на зрение сварщика, так как дуга горит под слоем флюса. При сварке не требуется применять щитки или слесмы для защиты зрения.

6 Автоматизацию и механизацию процесса сварки.

7. Упрощение контроля сварочного процесса.

Благодаря этим преимуществам автоматическая сварка нашла широкое распространение в котлостроении, судостроении, при изготовлении строительных металлоконструкций, резервуаров, цистерн, нефтяном и химическом машиностроении, где автоматической и полуавтоматической сваркой выполняется свыше 60% всего объема сварочных работ.

Объем работ при постройке корпусов судов, выполняемых автоматической и полуавтоматической сваркой, достигает 78—80%.

§ 2. Электродная проволока для сварки под флюсом

Химический состав проволоки зависит от марки свариваемого металла и применяемого флюса. Для сварки малоуглеродистой стали наиболее широко применяются углеродистые проволоки Св-08 и Св-08А, а также марганцовистые проволоки Св-08ГА и Св-10Г2 по ГОСТ 2246—60.

Малоуглеродистую проволоку можно применять также при сварке низколегированных конструкционных сталей. Проволоки Св-08 и Св-08А можно использовать при сварке под высокомарганцовистым флюсом стали, содержащей серы не более 0,035%. При несоблюдении этих условий в шве могут возникнуть трещины. Если в основном металле содержится более 0,035% серы или применяются среднемарганцовистые флюсы, то во избежание появления трещин при сварке следует использовать марганцовистые

проволоки Св-08ГА и Св-10Г2, содержащие повышенные количества марганца.

Для сварки легированных сталей применяется электродная проволока из соответствующей легированной стали и соответствующий флюс.

§ 3. Флюсы для сварки

При сварке электродной проволокой заданной марки флюс должен обеспечивать требуемый химический состав и механические свойства (предел прочности, относительное удлинение, ударную вязкость) металла шва. Это зависит от химических реакций, протекающих между расплавленными флюсом и жидким металлом, а также условий кристаллизации металла шва.

Флюс должен также обеспечивать устойчивое горение сварочной дуги, образование плотного шва нужного размера и формы, без трещин, пор и шлаковых включений.

После застывания наплавленного металла флюс должен образовывать шлаковую корку, легко отделяемую от поверхности шва.

Отвечать этим требованиям может флюс, обладающий определенным химическим составом и физическими свойствами: температурой плавления, вязкостью, насыпным весом. Температура плавления флюса должна быть на 200—300° ниже температуры плавления свариваемого металла. Более вязкий флюс применяется при сварке кольцевых швов малого диаметра. Для сварки стыковых и угловых швов на больших скоростях требуется более жидкотекучий флюс.

От насыпного веса флюса зависит формирование шва. Чем меньше насыпной вес, т. е. чем легче флюс, тем больше будет растекаться металл шва, так как давление слоя флюса на него будет меньше. С увеличением насыпного веса флюса шов получается более выпуклым. В практике используют два сорта флюса: пемзовидный (флюс-пемза) с малым насыпным весом и стекловидный (флюс-стекло) с более высоким насыпным весом. Тот или другой сорт флюса применяют в зависимости от типа и расположения шва в пространстве и режима сварки.

Химический состав флюса выбирают в зависимости от состава свариваемого металла и электродной проволоки. Как и электродные покрытия, флюсы делятся на кислые и основные в зависимости от характера образуемых флюсом шлаков. Основными элементами, входящими в состав флюса, являются кремний и марганец. Кремний входит в виде окиси кремния и способствует получению плотных, беспористых швов.

При автоматической сварке появление пор вызывается реакцией окисления углерода, в результате которой образуется газообразная окись углерода. Окись углерода растворяется в металле

и вызывает появление мелких газовых пор при его застывании. Кремний легче вступает в соединение с кислородом, чем углерод, поэтому он окисляется раньше углерода, тем самым подавляя реакцию окисления углерода и обеспечивая получение беспористых швов. Причиной появления пор может быть также поглощение жидким металлом водорода, образующегося при наличии ржавчины и попадании во флюс влаги.

Марганец является ценным элементом, так как предупреждает появление при сварке горячих трещин. Марганец способствует раскислению наплавленного металла и удалению из него серы. Марганец в металл шва может вводиться через флюс или электродную проволоку. В соответствии с этим при сварке малоуглеродистой стали применяют флюсы: высокомарганцовистые, содержащие более 30% MnO ; среднемарганцовистые, содержащие от 15 до 30% MnO , и низкомарганцовистые, содержащие менее 15% MnO , или безмарганцовистые.

При сварке малоуглеродистой и низколегированной стали металл шва легируют марганцем путем введения его через высокомарганцовистый (кислый) флюс и используют малоуглеродистую электродную проволоку. Для сварки высоколегированных сталей легированной проволокой применяются безмарганцовистые (основные) флюсы типа ФЦЛ-1, ФЦЛ-2. Составы некоторых наиболее распространенных плавящихся флюсов приведены в табл. 23.

Для приготовления флюсов используются кварцевый песок, доломит, плавиковый шпат, кальций, марганцевая руда, кокс и др. Эти вещества дробятся, просеиваются и смешиваются в нужной пропорции. Затем шихта сплавляется при температуре 1400—1500° для получения однородной массы. Эту массу для образования зерен требуемого размера (от 0,5 до 3 мм) подвергают грануляции путем выливания жидкого флюса в проточную воду. Гранулированный флюс просеивается на ситах. Флюсы мелкие с размером зерен 1,6—0,25 мм имеют в своем обозначении букву М (например, АН-348АМ, ОСЦ-45М). Кислый марганцовистый флюс ОСЦ-45 получается стекловидным, зеленовато-бурого или темно-бурого цвета. Он пригоден для сварки со скоростью до 60—70 м/час. При большей скорости сварки дуга под этим флюсом горит неустойчиво.

Фтористый кальций вводится во флюсы в виде плавикового шпата с целью придания шлаку большей жидкотекучести и уменьшения температурного интервала затвердевания шлака. Такой шлак называется «коротким» в отличие от «длинного» шлака, характеризующегося более широким интервалом затвердевания. Однако присутствие во флюсе фтористого кальция обуславливает выделение при сварке вредных для дыхания газов, содержащих фтор (в виде фтористого кремния). Поэтому при автоматической сварке необходимо обеспечивать хорошее проветривание помещения, а при работах внутри сосудов — также и внутреннего объема сосуда.

Составы плавленных флюсов

Марка флюса	С о д е р ж а					
	кремнезем SiO_2	закись мар- ганца MnO	окись алюминия Al_2O_3	окись кальция CaO	фтористый кальций CaF_2 (пла- виковый шпат)	окись магния MgO
	Для сварки углеродистых сталей					
ОСЦ-45	43—45	38—43	До 2,5	До 5,0	6—8	До 1
АН-348	42,5—45,5	31,5—35,5	» 2,5	4,5—6,5	6—7,5	0,7—3,5
АН-348А	41—43,5	34,5—37,5	» 3,0	до 5,5	3,5—5,5	5,5—7,5
АН-51	31—33	5—6,5	21—23	12—15	7—8,5	14—17
АН-348Ш	42,5—45	31,5—35	до 2,5	12—14	5,7—6,5	—
ФЦ-9	37—43	36—41	9—13	5	1,5—3,5	2
ФЦ-10	44—37	—	19—21	до 3	2—3	28—30
ФЦ-4	45	38	До 0,4	5	3	3,5
ФЦ-6	44	45	4	1	3	—
ФЦ-7	46—48	24—26	До 3,0	до 3,0	5—6	16—18
АН-8	33—36	21—26	11—15	4—7	13—19	5—7
	Для сварки высоколегированных сталей					
ФЦЛ-1	27—28	—	10—14	28—38	—	16—18
ФЦЛ-2	35—36,5	—	6—7	32—34	6—7,5	15—18
АН-22	18—21	7—9	19—23	12—15	20—24	11,5—15

Таблица 23

для автоматической сварки

и не, %				Назначение
двуокись титана TiO_2	сера и фосфор S и P	загрязнения (FeO и др.)	грануляция, мм	
— — —	— — —	До 0,5 » 0,8 » 0,5	0,5—3 0,4—2,5 0,4—2,5	Сварка всех типов соединений малоуглеродистых сталей от Ст. 1 до Ст. 4 (за исключением кольцевых швов малого диаметра) малоуглеродистой проволокой
1,5—2,5	Серы до 0,15, фосфора до 0,05	Закаись железа 1,5, прочие примеси до 0,5	—	Сварка малоуглеродистой стали марганцовистой проволокой
— 1,5 —	— 0,1 0,1	До 0,8 — До 1,5	0,25—1,5 0,25—1,5 0,25—1,5	То же, для шланговой полуавтоматической сварки То же То же, марганцовистой проволокой
—	—	До 0,5	—	Сварка продольных многопроходных швов стали большой толщины током 1400—2600 а, малоуглеродистой проволокой
—	—	До 0,3	1,0—2,5	То же, для кольцевых швов, ток 950—1050 а
—	—	До 0,5	—	Многопроходная сварка трехфазной дугой малоуглеродистой проволокой. Электрошлаковая сварка
—	—	До 0,3	0,5—2,5	Электрошлаковая сварка
9,7—10,2 —	— —	До 1,2 » 1,2	— —	Сварка высоколегированных сталей
Щелочи 1,3—1,7	0,05 каждого	До 1,0	—	Для сварки низколегированных сталей электрошлаковой сваркой

ЦНИИТМАШ разработал новые флюсы марок: ФЦ-3 и ФЦ-4, в которых содержание фтористого кальция снижено, благодаря чему уменьшилось выделение вредных газов при сварке. Для повышения устойчивости горения дуги во флюсы вводятся щелочи (соединения натрия и кальция), а для улучшения формирования шва — двуокись титана.

Кислый марганцовистый флюс АН-348А несколько более чувствителен к наличию серы и ржавчины в свариваемом металле и проволоке, чем флюс ОСЦ-45. С флюсом АН-348А можно сваривать малоуглеродистой электродной проволокой низколегированную сталь НЛ-2. Флюс АН-348А может быть двух видов: стекловидный и пемзовидный. Стекловидный флюс темно-бурого цвета имеет насыпной вес $1,4\text{--}1,6\text{ г/см}^3$ и используется для сварки стыковых и угловых швов со скоростью не более 60 м/час . Пемзовидный флюс светло-бурого цвета имеет насыпной вес $0,7\text{--}0,9\text{ г/см}^3$ и предназначен для сварки со скоростью до $150\text{--}200\text{ м/час}$ и более.

Влажность флюса не должна превышать $0,1\%$. Влажный флюс не пригоден для сварки, так как вызывает пористость шва. Отсыревший флюс перед сваркой должен быть просушен в течение $2\text{--}2,5\text{ час}$ при температуре $250\text{--}300^\circ$.

Для сварки малоуглеродистой стали марганцовистой проволокой применяют также среднемарганцовистый флюс АН-51, разработанный Институтом электросварки им. Е. О. Патона. Состав его дан в табл. 23. При сварке под этим флюсом с использованием марганцовистой проволоки выделяется значительно меньше вредных паров и газов.

Инж. И. А. Давыденко разработаны флюсы на основе двуокиси титана, не содержащие фтористых соединений и не выделяющие при сварке фторосодержащих вредных газов. В качестве примера приведем состав одного из флюсов этого типа марки Д-2П: 41% окиси кремния; 46% закиси марганца; $3,5\%$ двуокиси титана; до 3% окиси алюминия; до 5% окиси кальция и окиси магния в сумме; до $1,5\%$ закиси железа. Флюсы с двуокисью титана обеспечивают высокую устойчивость дуги при сварке.

Плавленные флюсы позволяют легировать наплавленный металл шва только в ограниченных пределах за счет элементов, выделяющихся из содержащихся во флюсах окислов (закиси марганца, окиси кремния). Поэтому при сварке легированных сталей и наплавке приходится применять специальную легированную проволоку.

Для устранения этого недостатка акад. К. К. Хренов предложил применять неплавленные флюсы, названные им к е р а м и ч е - с к и м и. В состав керамического флюса вводятся обычно мрамор, плавленый шпат, графит и ферросплавы — ферросилиций, ферротитан, ферромарганец, феррохром. Мрамор и плавленый шпат составляют минерально-шлаковую основу флюса и опреде-

ляют его физические свойства: жидкотекучесть, интервал температур затвердевания и др. Ферросилиций, ферротитан и графит служат раскислителями и частично легирующими примесями. Ферромарганец и феррохром являются легирующими примесями. Введение во флюс окиси магния (магнезии) улучшает его физические и технологические свойства, снижая вязкость и температуру плавления флюса, а также уменьшает выделение вредных газов при сварке.

К таким флюсам на известково-магнезиальной основе относится, например, керамический флюс КС-2, для приготовления которого используется шихта, содержащая: 48,1% мрамора, 13% плавикового шпата, 20% магнезитового кирпича, 5% кварцевого песка, 1,5% ферромарганца, 2,4% ферросилиция, 6% ферротитана, 4% ферроалюминия и 22% жидкого стекла (плотность 1,3; модуль 2,5) к весу сухой шихты. Составные части керамического флюса предварительно тонко размалываются, просеиваются и смешиваются в нужных соотношениях аналогично тому, как это делается при изготовлении покрытий для электродов. Затем в смесь добавляется водный раствор жидкого стекла, масса тщательно перемешивается, просушивается, гранулируется в виде крупки с зернами нужного размера, которая прокаливается при 250—350° для полного удаления влаги.

Керамический флюс позволяет получать легированный наплавленный металл при сварке обычной малоуглеродистой проволокой. Керамические флюсы не чувствительны к ржавчине, а также менее чувствительны к повышенному содержанию в металле серы, фосфора и углерода. Керамические флюсы находят применение также при наплавке штампов, режущего инструмента и выполнении других подобных работ. Недостатком керамических флюсов является меньшая, чем у плавящихся флюсов, механическая прочность зерен. Поэтому при многократном использовании в процессе сварки керамические флюсы истираются и дают много пыли.

Для сварки малоуглеродистых и низколегированных сталей применяют слаболегирующие флюсы, а для сварки высоколегированных сталей и наплавки — сильно легирующие.

Для автоматической и полуавтоматической сварки нержавеющей стали 1Х18Н9Т Д. М. Кушнеров и М. П. Гребельник разработали керамический флюс К-8, приготовляемый из шихты следующего состава: 59% мрамора, 10% магнезитового кирпича, 5% глинозема, 6% плавикового шпата, 15% двуокиси титана, 5% ферросилиция (75%-ного), 24% жидкого стекла плотностью 1,35 (от веса сухой смеси). Флюс пригоден для сварки на постоянном и переменном токе проволокой Св-1Х18Н9Т и 0Х18Н9Ф2С (ЭИ606). Флюс К-8Р отличается от К-8 тем, что в нем вместо двуокиси титана содержится более дешевый рутиловый концентрат в таком же соотношении по весу.

§ 4. Технология автоматической сварки под флюсом

Кромки под сварку могут подготавливаться машинной кислородной резкой или обработкой на станке. Ручная кислородная резка дает недостаточно чистый разрез. Перед сваркой кромки должны быть тщательно просушены и очищены от ржавчины, масла, краски, шлаков на ширину 50—60 мм в обе стороны от шва, а также от наплывов после кислородной резки.

Детали перед сваркой должны прихватываться электродами с толстым покрытием. Площадь сечения прихваточных швов должна быть не более половины площади сечения основного шва.

Сварка стыковых швов. В зависимости от конструкции изделия применяют двухстороннюю и одностороннюю сварку.

Двухсторонняя сварка обеспечивает полный провар шва даже при некоторых дефектах сборки: смещении кромок, наличии больших зазоров и т. п. Подготовка кромок производится согласно рис. 82, а, г. Зазор между кромками не должен превышать 1 мм, чтобы жидкий металл не протекал при сварке первого шва. Глубина проплавления при наложении первого шва должна составлять 60—70 % толщины металла. Первый шов сваривается на весу, без подкладок с обратной стороны.

Если трудно при двухсторонней сварке получить между кромками зазор менее 1 мм, для предупреждения протекания металла при наложении первого шва необходимо предпринять следующее:

1. Вести сварку на флюсовой подушке. Свариваемые листы собираются с зазором 2—4 мм и укладываются на слой флюса, который с помощью специального приспособления (рис. 83) плотно прижимается

к свариваемому металлу с обратной стороны и удерживает жидкий металл от вытекания. Свариваемые листы 1 укладываются на ролики 7, укрепленные на поворотных стойках 8. Кромки листов располагают вдоль двух швеллеров 3 и прижимают к ним с помощью электромагнитов 2 и 6. Между швеллерами уложен брезентовый желоб 5, в который насыпан флюс 4. Желоб опирается на стальную подкладку 9, под которой проложен резиновый шланг 10, в шланг подается сжатый воздух. Для равномерного

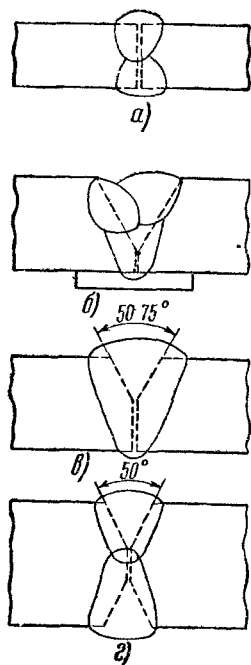


Рис. 82. Подготовка кромок при сварке под флюсом:

а — при двухсторонней сварке, б — при многослойной односторонней сварке, в — при односторонней сварке толстого металла, г — при двухсторонней сварке толстого металла

прилегания флюса к металлу давление воздуха должно быть: для листов 4—6 мм — 0,5—1 *ати*; для листов до 50 мм — 2—3 *ати*.

После наложения шва с одной стороны листы поворачивают, зазор между ними тщательно очищают от остатков флюса, если нужно, подрубают зубилом и затем сваривают второй шов с другой стороны стыка уже без флюсовой подушки. При сварке толстых листов без скоса кромок величина зазора должна быть: для листов толщиной 30 мм — 6—7 мм; 40 мм — 8—9 мм; 50 мм — 10—11 мм.

При сварке круговых швов цилиндрических сосудов применяют подвижные флюсовые подушки из транспортерной резиновой ленты.

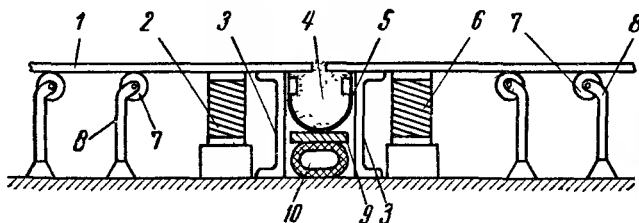


Рис. 83. Схема флюсовой подушки с пневматическим прижатием флюса

На рис. 84 изображена подвижная флюсовая подушка конструкции Т. А. Возыка. На швеллере 4 укреплены правые рычаги 6 и левые рычаги 3, несущие на себе ролики 2, вокруг которых движется прорезиненная транспортерная лента 7. Ролик 5 служит для устранения трения между внутренними поверхностями ленты при сварке сосудов малого диаметра.

Во избежание перекоса рычаги скрепляются стяжными болтами 9. Тележка 10 флюсовой подушки перемещается вдоль изделия по угольникам 50 × 50 мм. Прорезиненная лента имеет ширину 200 мм, толщину 10 мм и обшита асбестовым полотном с нашитыми по краям бортами из резины. Натяжение ленты осуществляется перемещением оси правого ролика по пазам в рычагах 6. Флюс на транспортерную ленту поступает из бункера 8. Лента прижимается к поверхности свариваемого сосуда весом правых рычагов и бункера и приводится в движение свариваемым сосудом, вращающимся на опорных роликах 1 в направлении, указанном стрелкой.

2. Вести сварку на временной стальной подкладке. Подкладка прихватывается дуговой сваркой с обратной стороны шва и засыпается флюсом. После сварки подкладка удаляется и шов сваривается с обратной стороны.

3. Выполнять сварку после предварительной подварки корня шва ручной сваркой. Способ этот менее производителен и его по возможности следует заменять автоматической сваркой шва с обеих сторон.

Односторонний способ сварки применяется в случаях, когда размеры или форма изделия не позволяют использовать сварку с двух сторон. При этом применяют:

1. Сварку на стальной остающейся подкладке. Подкладка плотно подгоняется к листам с обратной стороны шва, прихватывается ручной дуговой сваркой, а затем проваривается автоматической сваркой одновременно с основным металлом.

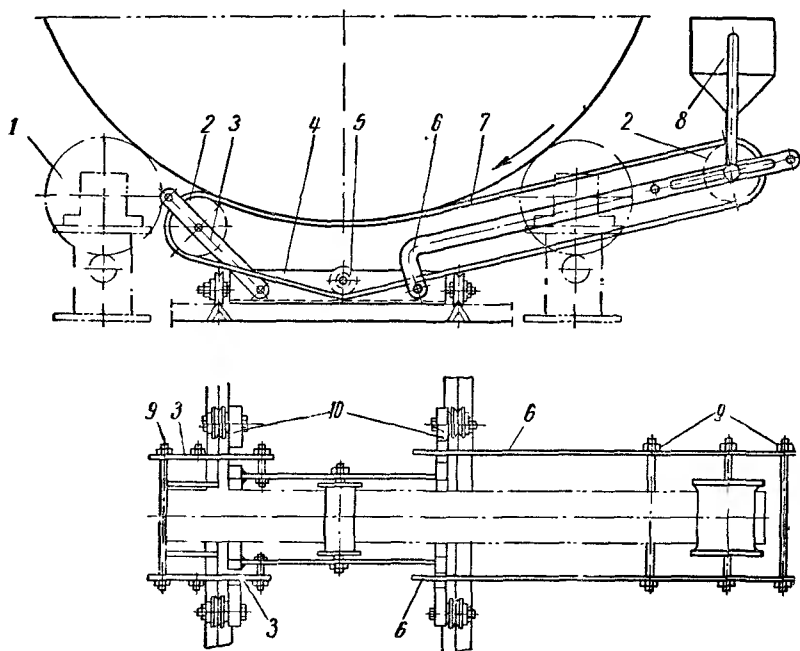


Рис. 84. Схема устройства подвижной флюсовой подушки для сварки кольцевых швов резервуаров

2. Сварку на флюсовой подушке с принудительным прижатием флюса (рис. 83 и 84).

3. Сварку на медной подкладке. Медная подкладка устанавливается с нижней стороны шва и плотно прижимается к свариваемым листам с помощью механических или пневматических нажимных приспособлений. Зазор между листами не должен превышать 0,5 мм. Медная подкладка после сварки легко отделяется от стальных листов, так как она к ним не приваривается. При сварке листов с зазором 2—3 мм в медной подкладке делается желобок, в который насыпается флюс. В этом случае с обратной стороны шва образуется валик. Толщина подкладки при тонких листах берется от 5 до 10 мм; при листах толщиной 20—30 мм — 10—15 мм. Ширина подкладки 40—80 мм.

Вместо подкладки применяют также медный башмак, охлаждаемый водой и скользящий по обратной стороне шва во время сварки. При сварке на скользящем медном башмаке листы собираются в стык с зазором 2—3 мм и через каждый 1,2—1,5 м скрепляются сборочными гребенками, прихватываемыми дуговой сваркой.

Сварочный трактор ТС-32 (рис. 85) имеет тонкий нож 3 толщиной 1—1,5 мм, проходящий через зазор в стыке и с помощью пружины, прижимающий тягу 5 к нижней стороне свариваемых листов. На тяге расположены ролики 4 и охлаждаемый водой медный башмак 1. Ведущие колеса 2 сварочного трактора перемещаются по листам, причем нож 3 обеспечивает направление электрода точно по зазору свариваемого шва. Дуга горит под флюсом над баш-

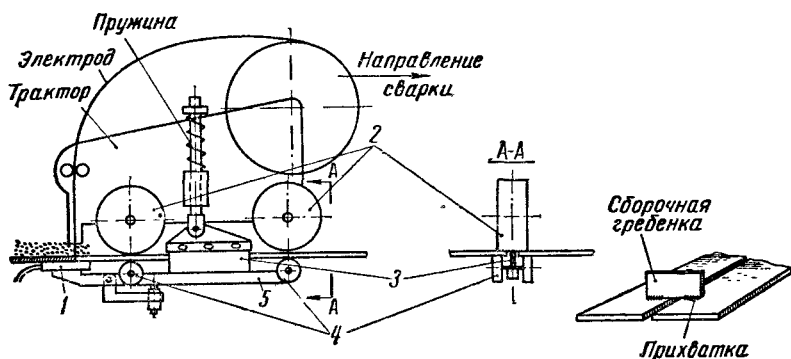


Рис. 85. Сварка листов в стык с зазором на медном скользящем башмаке трактором ТС-32

маком, удерживающим жидкий металл от протекания и формирующим обратную сторону шва. По мере продвижения автомата вдоль шва сборочные гребенки срубаются.

Этот способ разработан Институтом электросварки им. Е. О. Патона и применяется для сварки стыковых швов при толщине листового материала от 3 до 12 мм. Он не требует дорогих и сложных сборочно-сварочных приспособлений и может использоваться при сварке листов толщиной до 25 мм без разделки кромок (при повышенном зазоре между ними).

4. Одностороннюю сварку после предварительной ручной подварки. При толщине листов до 6 мм подварка выполняется без скоса кромок, при толщине 7—12 мм — со скосом кромок под углом 30° на глубину 4—5 мм, при толщине 12—50 мм — на глубину 5—9 мм. Глубина проплавления при автоматической сварке должна обеспечивать расплавление металла шва, наплавленного вручную. Ручная подварка связана с увеличением затрат труда и поэтому ее по возможности следует избегать.

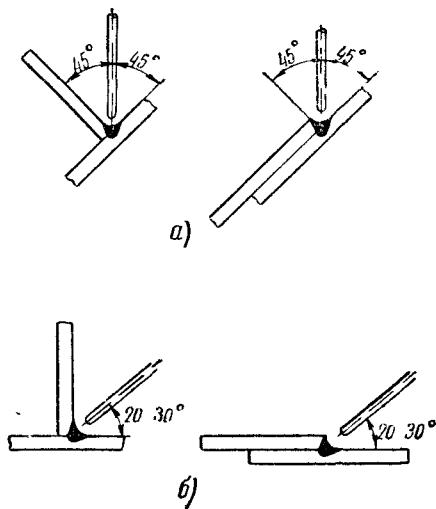


Рис. 86. Сварка под флюсом:
а — угловых швов в лодочку, б — наклонным электродом

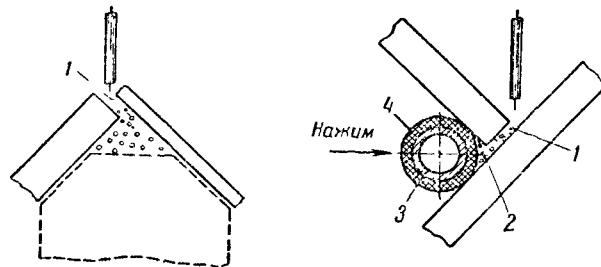


Рис. 87. Сварка угловых швов на флюсовой подушке:
1 — мелкий флюс, 2 — флюсовая подушка, 3 — стальная труба, 4 — асбестовая обмотка

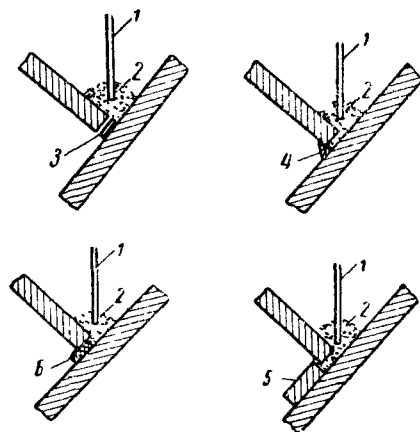


Рис. 88. Сварка угловых швов при увеличенном зазоре между листами:

1 — электродная проволока, 2 — флюс, 3 — стальная полоса, 4 — подварочный шов, 5 — медная съемная подкладка, 6 — асбестовая паста

Сварка угловых швов. Угловые швы тавровых соединений и соединений в нахлестку сваривают или вертикальным электродом при положении шва в лодочку (рис. 86, а) или наклонным электродом при горизонтальном положении одного из листов (рис. 86, б).

Сварка в лодочку производится на весу (без подкладки и флюсовой подушки), если зазоры между листами не превышают 1 мм. При больших зазорах сварку выполняют на флюсовой подушке (рис. 87). Сварка в лодочку требует приспособлений для кантования изделия — кантователей. Вместо флюсовой подушки можно применять стальную или медную прокладку, заделывать зазор асбестом или предварительно подваривать с обратной стороны (рис. 88).

Наклонным электродом сваривают угловые швы, расположенные на горизонтальной (см. рис. 86, б) или вертикальной плоскости (рис. 89, г). При таком положении свариваемых листов металл шва стремится стекать на горизонтальный лист, поэтому получить шов с катетом более 10 мм затруднительно. При швах большего размера приходится прибегать к многослойной сварке. Угол наклона электрода к горизонтальной плоскости может изменяться от 15 до 45°, составляя в среднем 20—30°.

Во избежание подрезов вертикальной стенки и наплывов металла на горизонтальный лист электрод должен передвигаться точно вдоль оси шва со смещением в сторону горизонтального листа на величину не более половины диаметра электрода.

Сварка швов в нахлестку с оплавлением кромки. Благодаря значительному сварочному току под флюсом можно сваривать в нахлестку листы толщиной до 8 мм путем оплавления кромки верхнего листа. В этом случае электрод располагается вертикально и направляется точно вдоль кромки верхнего листа (рис. 89, а). При слишком большом смещении вправо (рис. 89, б) увеличивается глубина провара в нижнем листе и ослабляется шов. При смещении электрода влево от кромки (рис. 89, в) провар нижнего листа уменьшается и на шве появляются наплывы. В ряде конструкций применяются также прорезные соединения в нахлестку (рис. 89, д).

Режим сварки. Под режимом автоматической сварки понимается сварочный ток, напряжение дуги и скорость сварки, которые определяют глубину провара и ширину сварного шва.

Глубина провара возрастает с увеличением тока и уменьшением скорости сварки. Возрастание скорости сварки при неизменном токе уменьшает, а уменьшение скорости — увеличивает ширину валика. На глубину провара непосредственно влияет плотность сварочного тока, т. е. число ампер, приходящихся на 1 мм² поперечного сечения электродной проволоки. Повышение плотности тока увеличивает глубину провара. Применяя проволоку малого диаметра и повышенную плотность тока, получают швы с глубоким проплавлением. На этом принципе основаны современные способы полуавтоматической и автоматической сварки под флюсом

проволокой малого диаметра. Напряжение дуги, горячей под флюсом, также оказывает влияние на глубину провара и размеры сечения шва. С увеличением напряжения дуги глубина провара уменьшается, а ширина шва увеличивается.

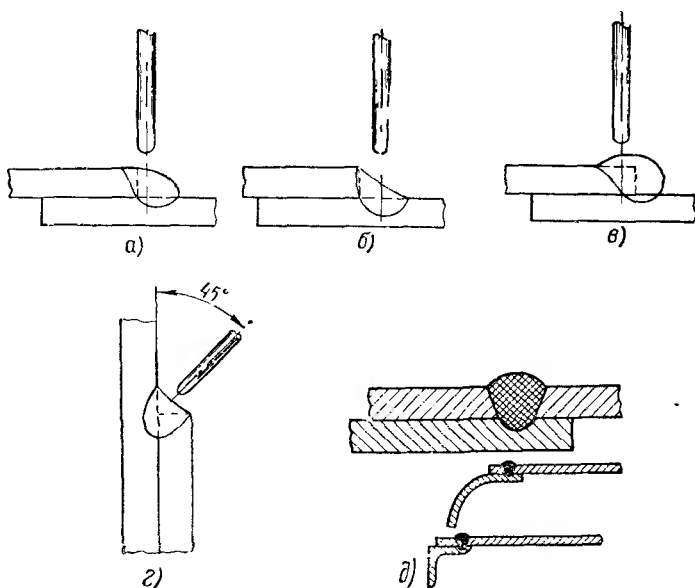


Рис. 89. Способы сварки под флюсом:

а, б и в — с оплавлением кромки, г — углового шва на вертикальной плоскости, д — проварных соединений в нахлестку

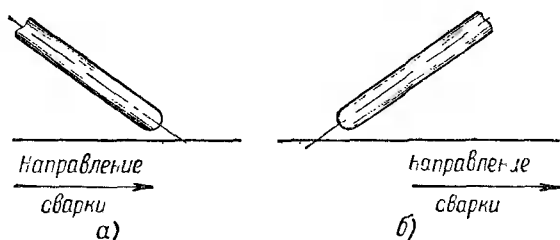


Рис. 90. Сварка с наклоном электрода:

а — углом вперед, б — углом назад

Глубина провара и ширина шва зависят также от угла наклона электрода к линии шва. Если электрод расположен углом вперед (рис. 90, а), то сварочная дуга будет направлена тоже вперед и жидкий металл будет вытесняться дугой из ванны в меньшей сте-

пени, чем при сварке вертикальным электродом. В этом случае глубина провара уменьшается, а ширина шва увеличивается по сравнению со швами, получаемыми при сварке вертикальным электродом. При наклоне электрода углом назад (рис. 90, б) жидкий металл из ванны вытесняется в большем объеме и глубина провара возрастает. Изменяя угол наклона электрода, можно изменить сечение шва в желаемую сторону.

При расчете режима автоматической сварки под флюсом ток ($I_{св}$) выбирают из расчета 100 а на 1 мм глубины проплавления. Скорость сварки ($v_{св}$) определяют по формуле

$$v_{св} = \frac{25\,000}{I_{св}} \text{ м/час.}$$

Полученную по этой формуле скорость сварки можно изменять в пределах ± 10 м/час. Напряжение дуги U_d для выбранного тока $I_{св}$ определяют по графику, показанному на рис. 91.

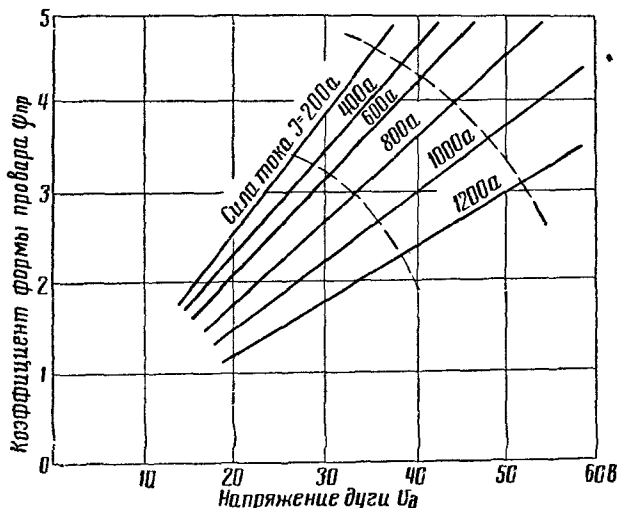


Рис. 91. График для определения напряжения дуги при сварке под флюсом

Пример. Определить режим сварки в стык листов малоуглеродистой стали толщиной 14 мм. Сварка ведется двухсторонним способом. Глубина проплавления принимается равной 60% толщины, т. е. $h = 0,6 \cdot 14 = 8,4$ мм, принимаем 8 мм

Следовательно, ток $I_{св} = 100 \cdot 8 = 800$ а. Скорость сварки $v_{св} = \frac{25\,000}{800} = 31,4$ м/час, принимаем 35 м/час. Напряжение дуги по графику (рис. 91) берем $U_d = 36$ в. Пунктирными линиями на рисунке отмечена область, обеспечивающая наиболее удовлетворительное формирование шва. Коэффициентом формы провара $\psi_{пр}$ называется отношение ширины валика (b) к глубине про-

Режимы автоматической сварки стыковых швов

Толщина листов, мм	Ток, а	Напряжение дуги, в	Диаметр электрода, мм	Скорость сварки, м/час	Подготовка кромок	Примечание
Швы двухсторонние без разделки кромок						
6	550—500	34—36	5	60	Без разделки	Обе стороны свариваются на одинаковом режиме. Первый слой сваривается на весу или на флюсовой подушке. Электродная проволока малоуглеродистая или среднемарганцовистая, флюс АН-348А стеклотекстолитовый
10	700—750	34—36	5	45	То же	
14	800—850	36—40	5	35	»	
16	850—900	36—40	5	30	»	
20	950—1000	38—42	5	25	»	
Швы двухсторонние с разделкой кромок						
20	800—1000	37—40	6	32—30	Двухсторонний скос, угол 60°, притупление 6 мм	Сварка на весу, зазор не более 1 мм
30	1000—1100	38—41	6	32—18	Двухсторонний скос, угол 60°, притупление 9 мм	
Швы двухсторонние с увеличенным зазором						
30	900—950	36—40	5	16	Без разделки, зазор 6—7 мм	Первый слой сваривается на флюсовой подушке
40	1100—1200	40—44	5	11,5	Без разделки, зазор 8—9 мм	
50	1200—1300	44—48	5	9,5	Без разделки, зазор 10—11 мм	
Форсированные режимы с наклоном электрода углом вперед под 45° вдоль шва						
8	2700	65—70	8	150	Без разделки	На скользящем медном башмаке Материал толщиной от 10 до 14 мм сваривается после ручной подварки корня шва
10—12	1300—1350	46—48	6	80	То же	

Толщина листов, мм	Ток, а	Напряжение дуги, в	Диаметр электрода, мм	Скорость сварки, м/час	Подготовка кромок	Примечание
14—16	1300—1350	46—48	6	70—60	Без разделки	Режимы даны для малоуглеродистой или среднемарганцовистой проволоки, флюс АН-348А, пемзовидный
18	1300—1350	46—48	6	50	То же	

плавления (h), т. е. $\psi_{\text{пр}} = \frac{b}{h}$. По графику (рис. 91) при 800 а и напряжении дуги 36 в имеем $\psi_{\text{пр}} = 3,1$, следовательно, ширина валика $b = \psi_{\text{пр}} \cdot h = 3,1 \cdot 8 = 24,8$ мм, т. е. 25 мм. При автоматической сварке под флюсом значения ψ могут быть в пределах от 1 до 5.

Рекомендуемые режимы автоматической сварки под флюсом малоуглеродистой стали приведены в табл. 24 и 25.

Таблица 25

**Режимы сварки угловых швов в лодочку
тавровых и нахлесточных соединений**

Катет шва, мм	Диаметр электрода, мм	Ток, а	Напряжение дуги, в	Скорость сварки, м/час
6	2	450—475	34—36	40
8	3	550—600	34—36	30
	4	575—625	34—36	30
	5	675—725	32—34	32
10	3	600—650	34—36	23
	4	650—700	34—36	23
	5	725—775	32—34	25
12	3	600—650	34—36	15
	4	725—775	36—38	20
	5	775—825	36—38	18

Для вывода начала и окончания шва за пределы изделия при сварке продольных швов резервуаров к кромкам привариваются выводные планки: одна в начале, а вторая в конце шва.

Для устранения появления трещин в местах перехода от планки к стыку необходимо планки приваривать к листам так, чтобы в месте прохождения основного шва был обеспечен полный провар на всю толщину планки.

§ 5. Автоматическая сварка под флюсом легированных сталей

Сварка высоколегированных хромоникелевых аустенитных сталей. Углерод, марганец и никель в этих сталях способствуют образованию аустенитной, а хром, кремний, титан и молибден — ферритной структуры наплавленного металла. Для того чтобы металл сварного шва сохранил присущие данной марке стали особые свойства (стойкость против коррозии и жаростойкость), а также для предупреждения появления горячих трещин, необходимо, чтобы в структуре металла шва содержалось от 2 до 5 % феррита, остальное — аустенит.

При указанном соотношении аустенита и феррита металл шва получает мелкозернистую аустенитную структуру, что придает ему высокие механические и технологические свойства. Это достигается соответствующим подбором состава сварочной проволоки, т. е. содержания в ней аустенито- и ферритообразующих элементов. Хромоникелевые аустенитные стали хорошо свариваются под флюсом.

В качестве электродной проволоки применяются проволока марок Св-02Х19Н9, Св-04Х19Н9 или Св-04Х19Н9С2 (содержащие 2—2,75 % кремния) по ГОСТ 2246—60, а также проволока из хромоникелекремневанадиевой стали. Проволока с присадкой до 1 % ниобия может вызывать образование горячих трещин, что обусловлено иногда неправильным подбором состава присадочной проволоки по аустенито-ферритообразующим элементам.

Для предупреждения этого явления содержание никеля в свариваемой стали и в проволоке с ниобием не должно превышать 8—9 %. Присадка кремния и ванадия уменьшает склонность стали давать горячие трещины. При сварке применяется безмарганцовистый флюс ФЦЛ-2, разработанный проф. К. В. Любавским (ЦНИИТМАШ). Состав флюса приведен в табл. 23. Флюс ФЦЛ-2 обеспечивает хорошее усвоение титана металлом шва и удаляет серу в шлак, что предупреждает образование горячих трещин.

Исследованиями Института электросварки им. Е. О. Патона и ЦНИИТМАШ установлено, что для автоматической сварки аустенитных сталей следует применять бескислородные основные флюсы, т. е. с небольшим (2—5 %) содержанием окиси кремния (SiO_2) и не содержащих закиси марганца и окиси алюминия (глинозема).

Высокое содержание окиси кремния и наличие закиси марганца и глинозема вызывает частичное окисление хрома, титана и других легирующих элементов стали при сварке, что уменьшает устойчивость металла сварного шва против коррозии.

Обогащение металла шва кислородом повышает его склонность к образованию горячих трещин, особенно в присутствии ниобия и серы. Установлено, что окислительный характер флюсов, применявшихся прежде при автоматической сварке нержавеющей

сталей, являлся основной причиной образования горячих трещин при сварке.

Институтом электросварки им. Е. О. Патона разработаны бескислородные флюсы АНФ-1 и АНФ-5 для автоматической сварки нержавеющей сталей. Состав этих флюсов (в %) следующий:

	АНФ-1	АНФ-5
Кремнезем	не более 5,0	не более 2,0
Фтористый кальций	не менее 92,0	75—80
Фтористый натрий	—	17—25
Сера	не более 0,1	не более 0,05
Фосфор	не более 0,015	не более 0,02

Эти флюсы при расплавлении дают шлаки, не содержащие кислорода; поэтому при сварке практически не происходит окисления хрома, ванадия, ниобия, вольфрама и марганца, а окисление титана значительно уменьшается; они обеспечивают возможность получения в наплавленном металле до 0,5% титана при содержании его в сварочной проволоке 0,7%. При сварке же другими флюсами вследствие окисления титана его содержание в наплавленном металле обычно не превышает 0,15—0,2%.

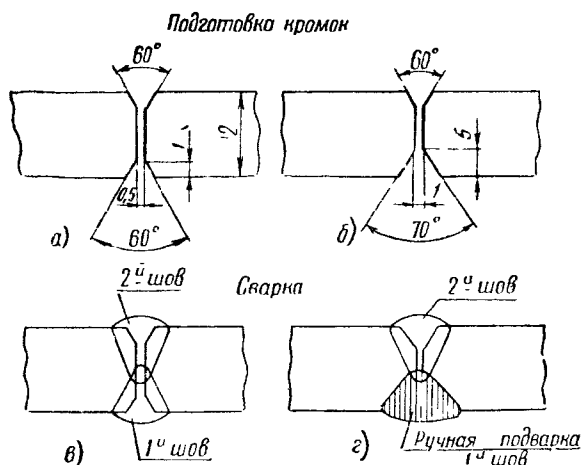


Рис. 92. Подготовка кромок и сварка под флюсом нержавеющей хромоникелевой стали

При сварке аустенитной стали под флюсом кромки подготавливаются так, как показано на рис. 92. На рис. 92, а показаны кромки, подготовленные для двухсторонней автоматической сварки, а на рис. 92, б — при предварительной ручной подварке. Формы получаемых сечений швов показаны на рис. 92, в, г.

Ручная подварка производится электродами, применяемыми для сварки аустенитной стали данной марки. Так как стали

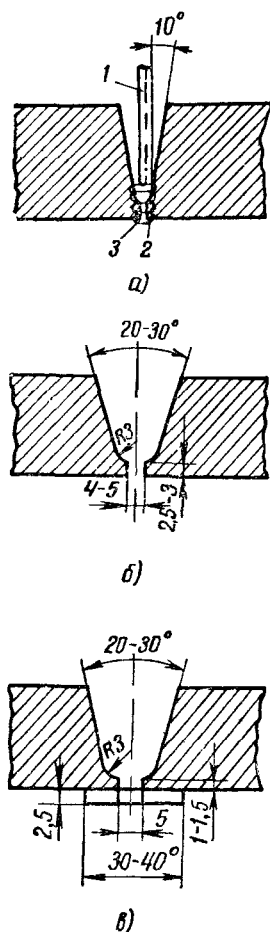


Рис 93. Сварка под флюсом толстых листов из молибденовой и хромомолибденовой стали и применяемая при этом подготовка кромок:

а — с V-образной разделкой кромок 1 — электродная проволока, 2 — наплавленный слой, 3 — подварочный шов, б — сварка с U-образной разделкой кромок без подкладного кольца; в — то же, но с подкладным кольцом

1X18H9T обладают меньшей теплопроводностью, чем малоуглеродистые, то при их сварке берется меньший ток.

Режимы сварки под флюсом хромоникелевой нержавеющей аустенитной стали толщиной 8—20 мм в стык без скоса кромок, проволокой диаметром 5 мм приведены в табл. 26.

Сварка молибденовых и хромомолибденовых теплоустойчивых сталей. В качестве электродной проволоки при сварке молибденовых сталей применяется хромомолибденовая проволока по ГОСТ 2246—60 марки Св-10МХ, имеющая следующий состав: 0,12% углерода, не более 0,4—0,7% марганца, 0,12—35% кремния, 0,45—0,65% хрома, 0,4—0,6% молибдена, до 0,03% серы, до 0,03% фосфора. Для хромомолибденовых сталей 30ХМА используется сварочная проволока Св-18ХМА по ГОСТ 2246—60.

Для сварки применяются флюсы ФЦ-4, ФЦ-6 (см. табл. 23) или АН-15. Обычно односторонняя автоматическая сварка толстых листов (50—75 мм и более) производится многослойными швами (рис. 93, а). При подготовке кромок делают U-образной формы (рис. 93, б и в). Порядок сварки следующий: 1) подогрев стыка до 200—300°; 2) сварка под флюсом на половину толщины металла; 3) промежуточный отпуск при 650° для снятия напряжений; 4) контрольное просвечивание стыка рентгеновскими или гамма-лучами; 5) вторичный подогрев стыка до 200°; 6) дальнейшая сварка под флюсом на всю толщину листов; 7) термическая обработка сваренного стыка для снятия напряжений; 8) просвечивание гамма-лучами с целью контроля качества сварки готового шва.

Подварочный шов с обратной стороны выполняют вручную электродами, применяемыми для сварки молибденовых или хромомолибденовых сталей. Этот шов накладывают или до автоматической сварки,

или после сварки основного шва.

Режимы сварки под флюсом аустенитной стали

Толщина металла, мм	Максимально допустимый зазор между кромками, мм	Ток, а	Напряжение дуги, в	Скорость сварки, м/час
8	1,5	500—600	32—34	46
10	1,5	600—650	34—36	42
12	1,5	650—700	36—38	36
16	2,0	750—800	38—40	31
20	3,0	850—900	40—42	25

При многослойной сварке молибденовой стали под флюсом применяют режимы, указанные в табл. 27.

Таблица 27

Режимы многослойной сварки молибденовой стали под флюсом

Номер слоя	Диаметр проволоки, мм	Ток, а	Напряжение дуги, в	Скорость сварки, м/час
1 и 2	6	850—900	38—40	28
3 и последующие	6	950—1000	40—42	30

§ 6. Шланговая сварка, полуавтоматическая и автоматическая

Способ шланговой сварки разработан Институтом электросварки им. Е. О. Патона и является дальнейшим развитием автоматизации процесса сварки. Сущность этого способа состоит в повышении плотности сварочного тока в электродной проволоке до 100—200 а/мм², поэтому в качестве электрода можно пользоваться тонкой и очень гибкой проволокой диаметром от 1,2 до 2 мм.

При повышении плотности тока возрастает температура столба дуги, увеличиваются коэффициент плавления и глубина провара. При сварке стыковых швов это позволяет уменьшать угол скоса кромок, а при сварке угловых швов—размер катета, что сокращает объем наплавленного металла на единицу длины шва. Вследствие этого повышается производительность сварки, а расход энергии сокращается на 30—40%.

Сварка проволокой малого диаметра, обеспечивающая достаточный провар при меньшем сварочном токе, позволяет применять автоматическую сварку под флюсом стыковых швов тонкого металла (от 1 мм и выше) и угловых швов мелкого калибра, повышает

качество швов, снижает расход электроэнергии, флюса и проволоки, а также значительно облегчает вес и упрощает конструкцию аппаратуры.

На постоянном токе обратной полярности проволокой диаметром 1—1,2 мм можно сваривать сталь толщиной 1 мм со скоростью 100—120 м/час, причем величина тока составляет всего 70—90 а.

Метод сварки тонкой проволокой при повышенной плотности тока положен в основу способа шланговой сварки под флюсом.

В зависимости от конструкции аппаратуры различают два вида шланговой сварки: полуавтоматическую и автоматическую.

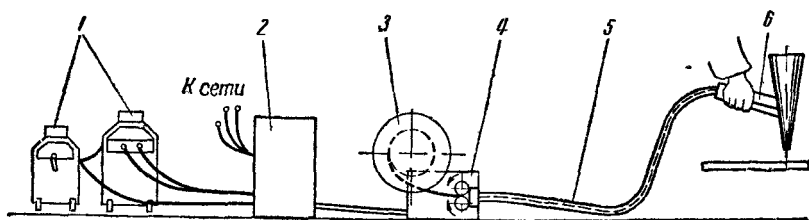


Рис. 94. Схема полуавтоматической сварки под флюсом

Схема полуавтоматической сварки под флюсом изображена на рис. 94. Тонкая электродная проволока диаметром от 1,2 до 2 мм из кассеты 3 с помощью подающего механизма 4 непрерывно проходит через полый гибкий шланг 5 и держатель 6 в зону сварочной дуги. Шланг имеет диаметр 27 мм, длину 3,5 м и обладает достаточной гибкостью. Держатель представляет собой трубчатый мунштук с ручкой и воронкой для флюса. После возбуждения дуги под слоем флюса сварщик вручную перемещает держатель вдоль шва, производя сварку. Защищающий дугу слой жидкого шлака образуется от плавления сыпучего флюса.

Сварочный ток проходит по проводу, расположенному в гибком шланге 5, внутри которого движется проволока. Скорость подачи проволоки можно изменять в пределах от 70 до 600 м/час. Для питания током используется сварочный трансформатор 1 с отдельно стоящим или встроенным дросселем и распределительная панель (аппаратный ящик) 2. Напряжение холостого хода трансформатора должно быть не ниже 60 в. Можно применять также постоянный ток от сварочного преобразователя.

Поскольку шланговая сварка характеризуется большой плотностью тока в электроде, то для нее используются специальные флюсы: АН-348-Ш, ОСЦ-45П, ФЦ-9 и ФЦ-10, так как обычные флюсы АН-348А и ОСЦ-45 не пригодны для шланговой сварки. Флюс АН-348-Ш применяют для шланговой сварки малоуглеродистой стали малоуглеродистой проволокой. Этот флюс при плавлении

нии выделяет меньше вредных газов: фтористого водорода и фтористого кремния. Кроме того, он содержит больше окиси кальция (мела), что повышает устойчивость горения дуги и имеет особенно большое значение при сварке на малых токах. С той же целью во флюсе указанной марки уменьшено содержание фтористого кальция. Флюс ФЦ-9 содержит фтористого кальция еще меньше и поэтому он безвреднее флюса АН-348-Ш. Флюс ФЦ-10 безмарганцовистый и применяется при шланговой сварке марган-

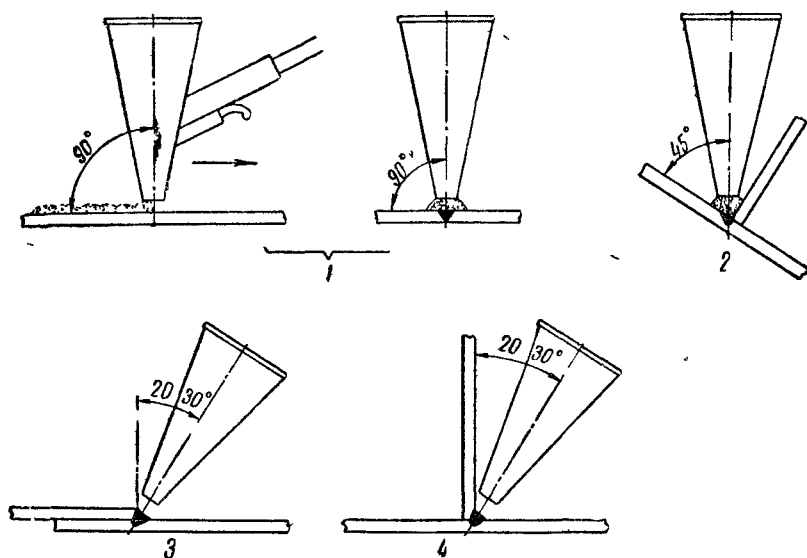


Рис. 95. Положение держателя во время шланговой сварки:

1 — стыковые швы, 2 — угловые швы в лодочку, 3 — угловые швы соединений в нахлестку, 4 — угловые швы тавровых соединений

цовистой проволокой. Составы флюсов АН-348-Ш, ФЦ-9 и ФЦ-10 даны в табл. 23.

Стекловидный флюс АН-348-Ш состоит из мелких прозрачных зерен размером до 1,5 мм. Вес 1 л составляет от 1,6 до 2 кг. Перед употреблением флюс рекомендуется подсушивать при 200°. Флюсы ФЦ-9 и ФЦ-10 должны иметь зерна, проходящие через сито с 36 *отв/см²*. Объемный вес флюса ФЦ-9 равен 1,3—1,6 *кг/л*, флюса ФЦ-10—1,2—1,4 *кг/л*.

Техника сварки шланговым полуавтоматом. Сварщик начинает перемещать держатель вдоль шва в направлении на себя одновременно с включением подачи проволоки и сварочного тока. Вследствие большой плотности тока дуга под флюсом возбуждается легко. Конец проволоки нужно вести возможно точнее по оси шва.

Небольшие колебания держателя по вертикали, а также вдоль или поперек шва допустимы и не нарушают процесса сварки. Вылет проволоки из токоподводящих губок держателя должен составлять 15—25 мм.

Для сохранения постоянного вылета держатель опирают на кромки свариваемых деталей. Перемещать держатель нужно с равномерной скоростью, заданной режимом сварки. Положение держателя зависит от типа шва и схематически показано на рис. 95.

Примерные режимы сварки швов шланговым полуавтоматом приведены в табл. 28. Окончательные режимы подбираются путем сварки пробных швов. Швы с увеличенными зазорами между кромками, швы на наклонной плоскости и наплавка выполняются с поперечными движениями электрододержателя. При этом шов получается более широким, а утолщение его и глубина провара уменьшаются. При сварке «углом вперед» глубина провара уменьшается и возрастает ширина валика.

Таблица 28

Режимы шланговой сварки
(электродной проволокой диаметром 2 мм под флюсом АН-348-Ш)

Толщина листов или катет шва, мм	Стыковые двухсторонние швы на флюсовой подушке				Угловые швы			
	Ток, а	Напряжение дуги, в	Скорость подачи проволоки, м/час	Скорость сварки, м/час	Ток, а	Напряжение дуги, в	Скорость подачи проволоки, м/час	Скорость сварки, м/час
4 + 4	220—240	30—32	101	18—24	260—300	30—32	126	35—40
5 + 5	275—300	32—34	156	18—24	275—300	32—34	156	24—30
8 + 8	450—470	34—36	306	20—30	375—400	34—38	260	18—24
12 + 12	500—550	36—40	378	20—30	—	—	—	—

Примечание При сварке листов с разделкой кромок сварочный ток должен быть немного меньше указанного в табл. 28

Таблица 29

Режимы точечной шланговой сварки

Толщина металла, мм	Диаметр проволоки, мм	Род тока	Ток, а	Напряжение дуги, в	Скорость подачи проволоки, м/час
2	1,6	Постоянный, обратноточечной полярности	160—170	24—26	100
3	1,6		200—210	24—26	125
4—5	1,6		230—250	28—30	155

Для сварки швов малого калибра и в трудно доступных местах применяют держатели специальных конструкций.

Угловые швы малого калибра сваривают на постоянном токе обратной полярности. Зазор между кромками таких швов не должен превышать 1 мм. Угловые соединения можно выполнять прерывистыми и точечными швами шланговой сваркой.

Точечная шланговая сварка применяется в случае приварки ребер жесткости в листовых конструкциях из металла толщиной от 2 мм и выше. При сварке точками угловых швов держатель устанавливают с наклоном поперек шва под углом 40—45°, опирая кромки держателя о полки соединения. Затем в держатель засыпают флюс и возбуждают дугу. Когда наплавится точка нужного размера, держатель быстро поднимают и, не выключая тока, переставляют на следующее, заранее намеченное место.

Сварку ведут со скоростью 25—30 точек в минуту. При сварке точками существенно уменьшается коробление конструкций. Сварка точками ведется на режимах, приведенных в табл. 29.

Автоматическая шланговая сварка отличается от ручной тем, что вместо держателя применяется легкая самоходная сварочная головка, имеющая электродвигатель для перемещения ее по свариваемому изделию. Включение и выключение сварочного тока осуществляется дистанционно с помощью кнопочного устройства.

Сварочный ток обычно применяется в пределах от 180 до 600 а. Головка к свариваемому изделию прижимается эксцентриковыми зажимами или магнитными присосами.

Флюс в зону дуги подается пневматически сжатым воздухом из бункера, смонтированного в кожухе механизма подачи проволоки или устанавливаемого отдельно. Флюс может подаваться либо по гибкому шлангу, по которому идет сварочная проволока, либо по отдельному шлангу.

Механизм подачи проволоки и бункер для флюса установлены на тележке, которая катится за самоходной головкой под действием натяжения гибкого шланга. На корпусе механизма подачи смонтированы амперметр, вольтметр и маховички для плавного регулирования скорости сварки и напряжения дуги. Гибкий шланг имеет диаметр 36 мм и длину 2,5—3,5 м.

Для питания шлангового автомата сварочным током используется сварочный трансформатор или сварочный преобразователь.

Самоходная головка весит 10—14 кг и позволяет вести сварку со скоростью от 10 до 65 м/час. Головки с магнитными присосами могут передвигаться по вертикальной плоскости. При автоматической шланговой сварке применяют те же флюс и режимы, что и при полуавтоматической сварке.

При сварке одной проволокой диаметром 2 мм повышение производительности за счет увеличения плотности тока свыше 130 а/мм² невозможно, так как при этом получаются узкие швы неудовлетворительной формы и процесс сварки становится неустойчивым. Поэтому институтом электросварки им. Е. О. Патона разработан способ многоэлектродной шланговой сварки. По специаль-

ному гибкому шлангу в дугу одновременно и с одинаковой скоростью подаются три электродные проволоки диаметром 1,6—2 мм. При такой сварке можно применять переменный ток до 800—900 а, вследствие чего производительность сварки возрастает в два раза по сравнению со сваркой одной проволокой. Используя проволоки разных марок, можно регулировать химический состав металла шва.

§ 7. Многодуговая сварка под флюсом

Сварка одновременно двумя дугами обеспечивает получение более глубокого провара при умеренной мощности каждой дуги и высокой скорости сварки. Это обусловлено тем, что общая мощность, требуемая для заданной глубины провара, распределяется между двумя дугами. Чтобы получить необходимую глубину проплавления основного металла при сварке одной дугой, особенно на повышенных скоростях, нужен слишком большой ток, для чего требуется более сложное оборудование сварочной установки.

При сварке двумя дугами один электрод обеспечивает необходимую глубину провара, а второй формирует верхнюю часть шва.

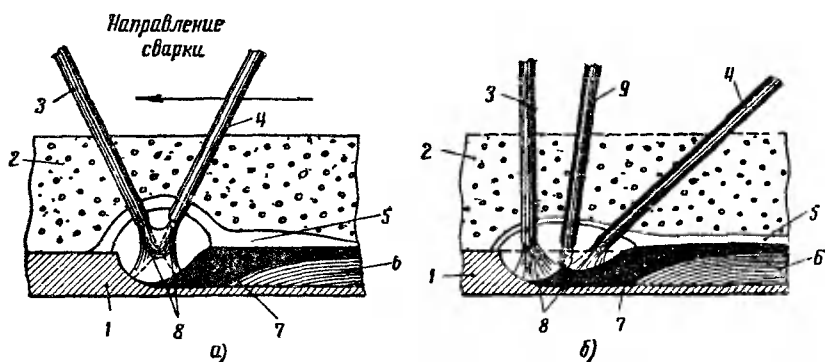


Рис. 96 Сварка двумя дугами

а — без присадочной проволоки, б — с присадочной проволокой, 1 — основной металл, 2 — флюс, 3 — передний электрод, 4 — задний (наклонный) электрод, 5 — шлак, 6 — наплавленный металл, 7 — жидкий металл сварочной ванны, 8 — сварочные дуги, 9 — присадочная проволока

Электродные проволоки располагаются так, чтобы расстояние между дугами составляло 40—50 мм. Для хорошего формирования шва точка подвода тока к изделию должна располагаться на оси шва. Сварка ведется по направлению к точке подвода тока. При несоблюдении этого условия дуга второго электрода будет «блуждать» вследствие магнитного дутья и шов получится неровным.

Объем жидкой ванны при двухдуговой сварке в 2—4 раза пре-

выпадает объем ванны при сварке одной дугой. Поэтому изделие должно находиться в строго горизонтальном положении, так как даже при небольшом наклоне жидкий металл может стекать вдоль шва и тем изменять уровень ванны. Это обстоятельство может быть использовано также для регулирования процесса образования шва в желаемом направлении.

При двухдуговой сварке (рис. 96) в зону плавления можно подавать дополнительную присадочную проволоку и таким образом увеличивать долю присадочного и уменьшать долю основного металла в шве, что особенно важно при сварке металла с повышенным содержанием ухудшающих свариваемость элементов — углерода, кремния, серы. Переходя из основного металла в металл шва, эти элементы вызывают появление трещин. Применение присадочной проволоки снижает также расход флюса, так как часть тепла сварочной зоны будет расходоваться на плавление проволоки, а не излишнего количества флюса.

Сварка двумя последовательно расположенными дугами может производиться в одну общую или в две отдельные ванны. Применяемые режимы двухдуговой сварки приводятся в табл. 30.

Таблица 30

Режимы двухдуговой сварки

Показатели	Режимы сварки	
	первой дугой	второй дугой
Диаметр электрода, мм	2	2
Ток, а	200	380
Напряжение, в	30—32	30—32
Скорость сварки, м/час	35	35

Для многодуговой сварки применяются специальные сварочные головки, одновременно подающие обычно три проволоки диаметром от 2 до 10 мм. Скорость сварки составляет от 20 до 300 м/час, в зависимости от толщины свариваемого металла. Ток на каждом электроде может достигать 1200 а. Конструкция многодуговых головок допускает изменение угла наклона каждой проволоки, а также их взаимное смещение в поперечном к шву направлении, благодаря чему регулируется процесс формирования шва

При многодуговой сварке можно регулировать химический состав металла шва применением электродных проволок различных марок. Многодуговая сварка требует более сложной конструкции автоматических головок.

§ 8. Автоматическая сварка под флюсом трехфазной дугой

Как и при многодуговой сварке, сварка трехфазной дугой под флюсом производится двумя электродами. Один из электродов может быть расположен вертикально, другой наклонно. Под слоем флюса горят три дуги: две между электродами и свариваемым металлом и одна между электродами (рис. 97, а). Вследствие лучшего использования тепла производительность сварки возрастает в 2,5—3 раза. На 1 кг наплавленного металла при сварке трехфазной дугой под флюсом расходуется 2,1 $\text{kвт} \cdot \text{ч}$ вместо 2,75—3 $\text{kвт} \cdot \text{ч}$, расходуемых при однодуговой сварке под слоем флюса на переменном токе.

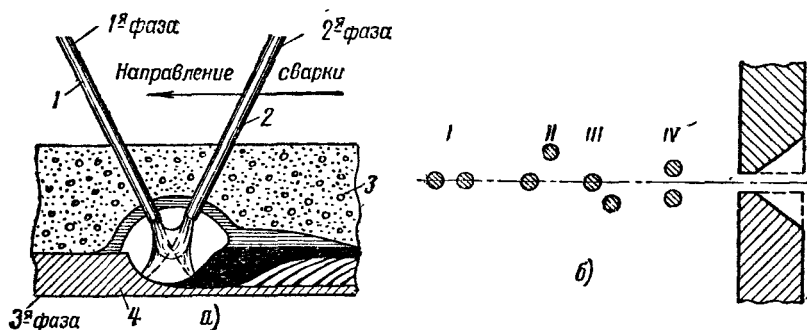


Рис. 97. Автоматическая сварка трехфазной дугой под флюсом:

а — схема сварки: 1 и 2 — электроды, 3 — флюс, 4 — свариваемый металл; б — расположение электродов при сварке трехфазной дугой

Угол между электродами равен около 30° , расстояние между концами электрода 12—16 мм, при длине выступающего из мундштука конца электрода 70—100 мм.

Электроды относительно оси шва могут располагаться различным образом, как это показано на рис. 97, б, что позволяет изменять форму шва. Электродами, находящимися в положении I, сваривают листы, имеющие одинаковую толщину, нормальный размер несошвенной части и нормальный зазор. Листы различной толщины сваривают электродами в положении II или III, когда один из электродов смещается в сторону более толстого листа. Тонкие листы с несошвенными кромками и увеличенным зазором сваривают электродами в положении IV. В последнем случае первый слой сваривают только одной дугой, выключив второй электрод для предупреждения прожога листов.

Трехфазной дугой производят двухстороннюю сварку листов толщиной до 30—35 мм без скоса или с уменьшенным скосом кромок. Режимы сварки трехфазной дугой приведены в табл. 31.

Режимы автоматической сварки
трехфазной дугой

Толщина металла, мм	Диаметр проволоки, мм	Подготовка кромок	Ток, а	Скорость сварки, м час
18	6	V-образная	700-900	15,9
30	5	V-образная	750-600	15,9
40	6	X-образная	750-500	15,9

§ 9. Автоматическая сварка электрозаклепками

Если от сварного соединения требуется только прочность, то вместо сплошных швов применяются прерывистые или сваренные с помощью электрозаклепок. Способ сварки электрозаклепками разработан инж. С. А. Егоровым. Сварка производится с помощью электрозаклепочника. Схема сварки показана на рис. 98.

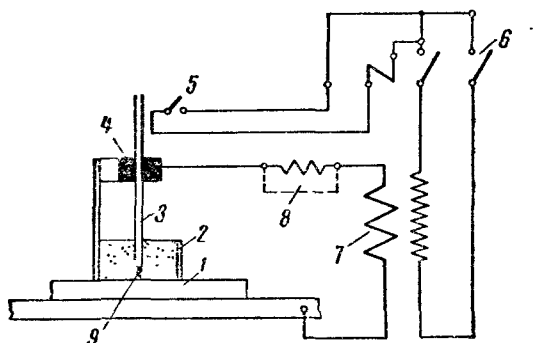


Рис. 98. Схема сварки электрозаклепками

В контакты 4 электрозаклепочника вставлен металлический электрод 3, который давлением руки прижимается к верхнему листу 1. Вокруг конца электрода располагается флюсоудерживающая коробочка 2, куда засыпается флюс слоем от 10 до 100 мм, в зависимости от применяемого тока и толщины свариваемого листа. Диаметр электрода может быть до 16 мм. С помощью кнопки 5 и контактора 6 замыкается цепь сварочного трансформатора 7, снабженного дросселем 8. Между электродом и металлом возникает дуга 9, которая горит под флюсом до момента ее обрыва. Электрод плавится, а металл проваривается на глубину, определяемую величиной сварочного тока. После сварки одной точки электрозаклепочник переносится на следующую точку шва и процесс повторяется.

С электрозаклепки удаляется излишек флюса и корка шлака. Если толщина верхнего листа более 2 мм, то для ускорения его проплавления в нем предварительно сверлятся отверстия на 2—6 мм больше диаметра электрода. Затем отверстия завариваются электрозаклепками.

Этим способом можно также заваривать отверстия в листах, при-

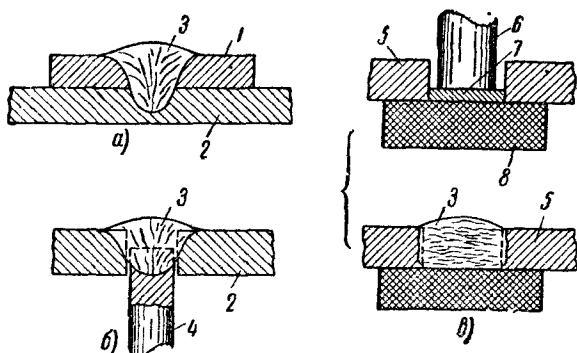


Рис. 99 Разные случаи сварки электрозаклепками:

а — сварка в нахлестку электрозаклепкой, б — приварка к листу круглого стержня с предварительным сверлением отверстия в листе, в — заварка отверстия с применением медной подкладки; 1 — верхний лист, 2 — нижний лист, 3 — электрозаклепка, 4 — круглый стержень, 5 — лист, в котором заваривается отверстие, 6 — электрод, 7 — расплавляемая стальная прокладка, 8 — медная подкладка

варивать к листам круглые стержни, шпильки, болты. По сравнению с обычной сваркой данный способ обеспечивает меньшее коробление изделия и высокую производительность и может применяться для сварки в нахлестку листов толщиной до 12 мм. Случаи различного применения этого способа сварки показаны на рис. 99. Режимы сварки электрозаклепками для соединения в нахлестку приведены в табл. 32.

Таблица 32

Режимы сварки электрозаклепками

Толщина верхнего листа, мм	Диаметр электрода, мм	Ток, а	Время сварки, сек
3	6—8	1300—1400	1—1,5
6	8—10	1800—1900	2—3
6	10—12	2500—2600	3—5
12	14—16	4500—5000	5—6

Институтом электросварки им. Е. О. Патона разработан способ многоточечной автоматической сварки под флюсом, схема которого изображена на рис. 100. Группа электродов 1 подключается к проводу 5 через общий контакт — щетку. Электроды предварительно замыкаются (закорачиваются) на изделие 4, для чего контакт опускается вниз до соприкосновения электродов с изделием и проскальзывания их в контактах 2. Затем все электроды поднимаются вверх или изделие опускается вниз до образования зазора в 1 мм.

Через зазор в 1 мм сварочный ток не проходит, но его может пробить ток высокой частоты, для получения которого служит осциллятор* 7. В момент пробоя зазора возникает сварочная

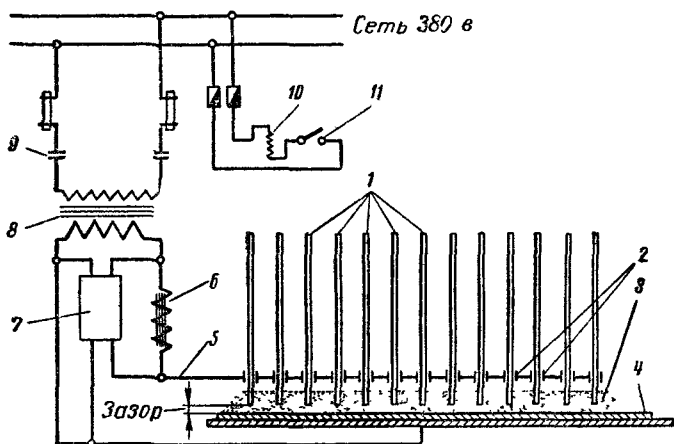


Рис. 100 Схема многоточечной автоматической сварки под флюсом

дуга между электродом и металлом. Все концы электродов одновременно засыпаются флюсом 3. При нажатии пусковой кнопки 11 с помощью катушки 10 включается контактор 9 сварочного трансформатора 8 с дросселем 6 и осциллятор 7. В дальнейшем сварка точек выполняется последовательно и автоматически, так как при окончании сварки в одной точке происходит обрыв дуги, который служит толчком для возбуждения дуги на следующем электроде. Скорость сварки составляет 40—50 электрозаклепок в минуту. Сварочная 60-точечная машина может дать 4500 точек в час, в то время как при ручной сварке электрозаклепочником производитель-

* Осциллятором называется аппарат для получения тока высокого напряжения и высокой частоты, обеспечивающего легкое зажигание и устойчивое горение дуги переменного тока (см. гл. XVIII).

ность не превышает 300 точек в час. Многоточечные электрозаклепочные машины могут применяться для массовой сварки однотипных узлов с большим количеством точек (в вагоностроении, судостроении, при производстве сельскохозяйственных машин и в других подобных производствах).

§ 10. Сварка с намагничивающимся флюсом

Данный способ предложен А. И. Ходжаевым; флюсы и технология сварки разработаны Центральной научно-исследовательской лабораторией стальных сооружений ГПИ Проектстальконструкция.

При шланговой сварке происходит рассыпание значительной части флюса, что увеличивает его расход. При сварке коротких швов трудно уложить флюс точно по намеченной линии без специальных направляющих. Этих недостатков не имеет способ шланговой сварки с намагничивающимся флюсом.

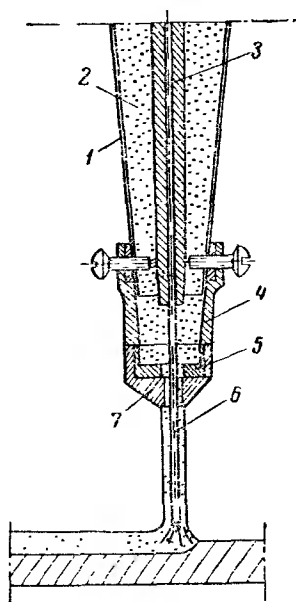


Рис. 101. Схема процесса сварки с намагничивающимся флюсом

Используемый для этого способа флюс содержит железный порошок, способный намагничиваться и притягиваться к постоянному магниту и проволоке при прохождении по ней тока. Во флюсе содержится мрамор, плавиковый шпат, кремнезем и ферросплавы. Приготавливается флюс так же, как и керамические флюсы для автоматической сварки.

Для сварки стали Ст. 3 постоянным током при обратной полярности применяются намагничивающиеся флюсы ФМК-1 и ФМК-2. Состав шихты флюса ФМК-1 следующий: 46% мрамора, 7% гранита, 10% плавикового шпата, 1% ферромарганца, 16% ферротитана, 20% железного порошка, 18% жидкого стекла к сухой ча-

сти флюса. При сварке с такими флюсами на переменном токе в них вводят составляющие, стабилизирующие горение дуги, а замешивают шихту на смеси из калиевого и натриевого жидкого стекла. Флюс пропускается через сито с ячейками 0,7—0,8 мм, сушится при температуре 150—200°, а затем прокаливается в течение 2—3 час при 300—400°.

При сварке с намагничивающимся флюсом к держателю полуавтомата присоединяется специальная надставка. Дуга горит от-

крыто, и сварщик может наблюдать весь процесс сварки. На рис. 101 показана схема сварки с намагничивающимся флюсом. Во флюсовой воронке 1, заполненной флюсом 2, находится токоподводящая трубка 3, через которую подается электродная проволока 6. Надставка 4 крепится шурупами к корпусу воронки. В медной втулке 7, которой заканчивается надставка, установлен постоянный магнит 5 с отверстием, через которое проходит проволока и подается флюс. Отверстие в медной втулке калибровано и его диаметр определяет толщину слоя флюса на поверхности проволоки. Магнит 5 препятствует просыпанию флюса при перерывах в сварке, так как флюс притягивается к магниту.

Когда сварка возобновляется, ток начинает идти по проволоке и образует сильное магнитное поле вокруг нее, притягивающее к проволоке флюс. Флюс свободно проходит через магнит и калибрующую втулку 7. Конец проволоки, расположенный ниже втулки 7 и подвергающийся при сварке расплавлению, оказывается покрытым слоем флюса. Толщина покрытия проволоки флюсом регулируется подбором диаметра отверстия калибрующей втулки. Надставка изготавливается из алюминия и силумина. Режимы сварки с намагничивающимся флюсом приведены в табл. 33.

Таблица 33

Режимы сварки с намагничивающимся флюсом

Показатели	Толщина металла или размер катета шва, мм	Ток, а	Напряжение дуги, в	Скорость сварки, м/час
Стыковое, с V-образной подготовкой кромок	12	300—320	28—30	20—22
Тавровое, сварка в лодочку	6	300—320	30—32	33—35
Тавровое, сварка в лодочку	8	340—360	36—40	24—26
Тавровое, сварка наклонным электродом . .	6	250—275	26—28	24—26
То же	8	300—320	28—30	19—20
»	10	300—320	28—30	11—12

При сварке с намагничивающимся флюсом током 225—300 а коэффициент наплавки составляет 17,7—20,7 г/а · час, производительность же повышается на 30—33% по сравнению с полуавтоматической сваркой под флюсом и на 50—55% по сравнению с ручной сваркой электродами ЦМ-7С. Увеличение коэффициента наплавки частично вызвано введением во флюс железного порошка. Проволокой диаметром 2 мм при токе 300 а и флюсе ФМК-2 сварщик может наплавить до 6,2 кг/час металла.

§ 11 Электрошлаковая сварка

Электрошлаковая сварка разработана Институтом электро-сварки им. Е. О. Патона и является высокопроизводительным способом автоматической сварки.

Схема электрошлаковой сварки показана на рис. 102. Свариваемые детали 1 располагаются вертикально со значительным зазором между кромками. С двух сторон зазор закрыт медными ползунами 2, охлаждаемыми водой, циркулирующей по трубкам 7. В зону сварки с помощью механизма специальной сварочной головки непрерывно и автоматически подаются сварочная проволока 4 и флюс 3. Дуга между проволокой и металлом горит только в начале процесса. В дальнейшем при образовании достаточно большого слоя жидкого шлака дуга гаснет и ток проходит только через расплавленный шлак 3.

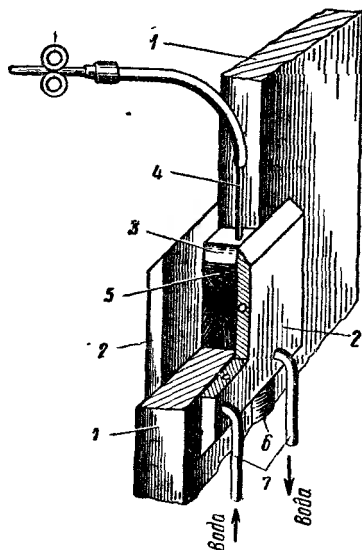


Рис. 102. Схема процесса электрошлаковой сварки

Тепло, выделяющееся при прохождении тока через жидкий шлак, обеспечивает расплавление флюса, проволоки и кромок свариваемого металла. Сварочная головка перемещается по свариваемым листам снизу вверх вместе с ползунами 2, которые формируют жидкий металл 5 шва 6. Сварочная зона расположена около верхней части ползунов. Количество тепла, выделяемое при прохождении тока через слой расплавленного шлака, определяется по формуле

$$Q = 0,24 \cdot UI,$$

где Q — количество тепла, ккал/сек;

U — падение напряжения в шлаковом пространстве, в;

I — ток, идущий от электрода к изделию через шлак, а.

Напряжение, необходимое для электрошлакового процесса, составляет 30—45 в, что несколько выше напряжения горения дуги между металлическими электродами.

Применяется также многоэлектродная сварка с подачей в зону сварки одновременно от 3 до 18 проволок или присадочных стержней, что повышает производительность процесса сварки. При

сварке толстых листов концу электродной проволоки придается колебательное движение параллельно свариваемым кромкам, что обеспечивает более равномерный их прогрев.

На рис. 103 показаны способы шлаковой сварки несколькими электродами. Многоэлектродным способом (рис. 103, б и в) сваривают металл толщиной до 2000 мм.

Электрошлаковой сваркой можно выполнять также кольцевые швы, используя для этой цели специальные сварочные головки и ползуны соответствующей формы.

Основные преимущества электрошлаковой сварки перед ручной сваркой и автоматической сваркой под флюсом следующие:

1. Сваривают детали очень большой толщины.
2. Значительно повышается производительность сварки; например, при сварке металла толщиной 100—110 мм производительность электрошлаковой сварки выше производительности автоматической сварки под флюсом в 5—6 раз; ручной в 19 раз.
3. Упрощается выполнение трудоемких операций по подготовке изделий под сварку: исключается необходимость скоса кромок и возможна замена строжки на кромкострогальных станках обрезкой кромок кислородом под прямым углом к поверхности листа. Исключаются операции по последующей подрубке и заварке корня шва.
4. Повышаются механические свойства наплавленного металла, ликвидируются такие внутренние дефекты, как шлаковые включения, непровары, трещины, газовые поры и пр. благодаря использованию способа принудительного формирования шва, надежной защите жидкого металла от окружающей среды и особенно благоприятным условиям кристаллизации металла сварочной ванны.
5. Возможна замена сварочной проволоки пластинами большого сечения, что повышает производительность процесса.
6. Сокращается удельный расход электроэнергии, флюса и присадочного металла.
7. Возможно легирование наплавленного металла посредством электродных проволок, керамических флюсов и легирующих добавок.
8. Возможна сварка закаливающихся сталей (хромоникельмолибденовой, хромокремнемарганцевой и др.) без образования трещин в околошовной зоне.

9. Удешевляется стоимость изготовления и обеспечивается экономия металла вследствие замены цельнолитых и цельнокованых изделий сварнолитыми, сварноковаными и сварнопрокатными конструкциями.

Применение способа электрошлаковой сварки на заводах тяжелого машиностроения, строительстве доменных печей и других объектах позволило увеличить выпуск и сократить сроки изготов-

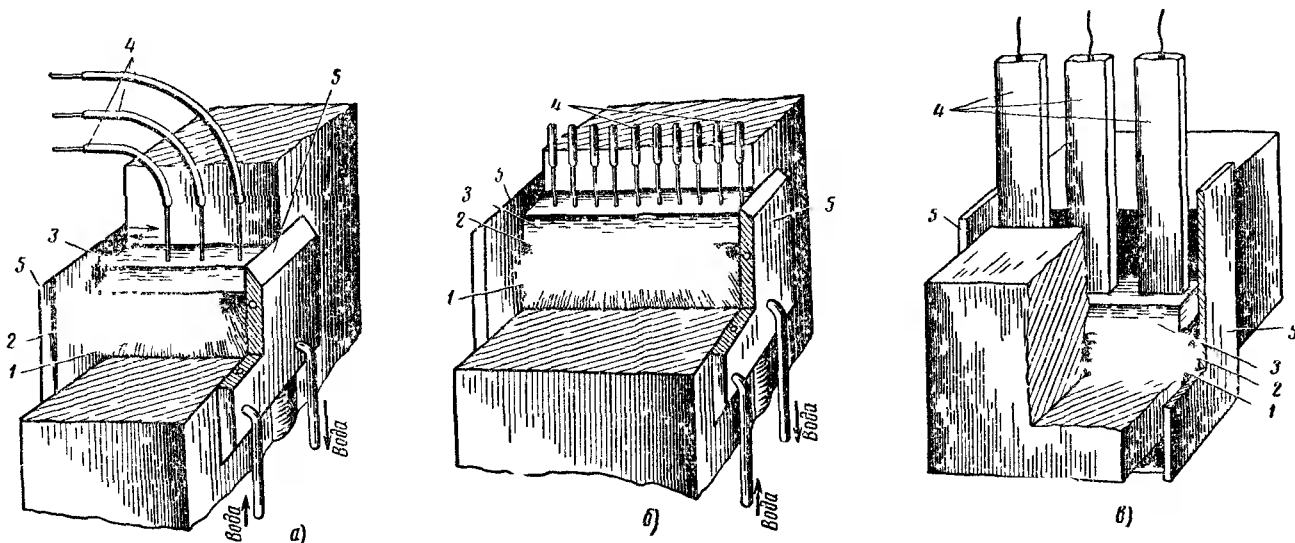


Рис 103. Способы многоэлектродной электрошлаковой сварки:

а — трехфазная сварка металла толщиной до 450 мм тремя электродами, с возвратно поступательным движением, *б* — многоэлектродная сварка металла неограниченной ширины, *в* — сварка с применением пластинчатых электродов, 1 — затвердевший металл шва, 2 — жидкий металл шва, 3 — жидкий шлак, 4 — электроды, 5 — формирующие шов передвижные башмаки

ления тяжелого прокатного кузнечно-прессового и энергетического оборудования, снизить расход энергии и сварочных материалов, повысить качество сварных изделий. Например, изготовление Ново-Краматорским заводом сварных ковочных прессов усилием 4000 и 6300 т со станинами из проката толщиной 80—160 мм взамен цельнолитых сократило цикл изготовления на два месяца, снизило вес станины со 115 до 92 т и высвободило значительные мощности литейного и механических цехов.

Методы электрошлаковой сварки все время совершенствуются и применение ее непрерывно расширяется. В ближайшие годы производство конструкций, выполненных электрошлаковой сваркой, должно возрасти не менее чем в два раза.

Флюс для электрошлаковой сварки должен образовывать при плавлении шлаки, обладающие требуемой вязкостью и электропроводностью. Слишком жидкие шлаки могут вытекать через зазоры между ползунами и металлом, а слишком вязкие и тугоплавкие могут отжимать ползуны и вызывать образование подрезов у поверхности шва. Газопроницаемость флюса должна быть минимальной, иначе шлак будет разбрызгиваться и нарушится процесс сварки. При излишне высокой электропроводности флюсов тепловыделение может быть недостаточным, что приводит к появлению неспаров. Слишком низкая электропроводность ухудшает устойчивость процесса сварки.

Для электрошлаковой сварки применяют специальные флюсы марок ФЦ-7, АН-8, АН-22 и др. (см. табл. 23). Для получения мелкозернистой структуры металла шва при электрошлаковой сварке в его состав вводят модификаторы — титан, алюминий, ванадий, а также применяют термическую обработку изделия после сварки (нормализацию или закалку с последующим огпуском).

Сварку ведут в вертикальном положении. Кромки листов обрезают перпендикулярно их поверхности без скоса. Листы собирают под сварку с зазором от 20 до 35 мм в зависимости от их толщины. Снизу приваривается временная начальная планка, а сверху — две конечные. При сварке швов значительной длины к листам привариваются также крепежные скобы. После сварки планки и скобы срубают.

Важное значение при электрошлаковой сварке имеет уровень расплавленного шлака, а следовательно, и глубина шлаковой ванны, от чего зависит устойчивость и характер процесса сварки, а также качество сварного шва.

Поэтому в установках для электрошлаковой сварки применяют специальные устройства, автоматически регулирующие уровень сварочной ванны. В ползуне на уровне расплавленного металла имеется охлаждаемый щуп. При удалении щупа от металла в шлак изменяется напряжение между щупом и металлом, что вызывает

соответствующее изменение скорости перемещения сварочного автомата по шву.

В табл. 34 приведены технологические режимы электрошлаковой сварки. С помощью электрошлаковой сварки можно сваривать стыковые, тавровые и угловые соединения, используя соответствующую форму башмаков, ограничивающих поверхности шва (рис. 104).

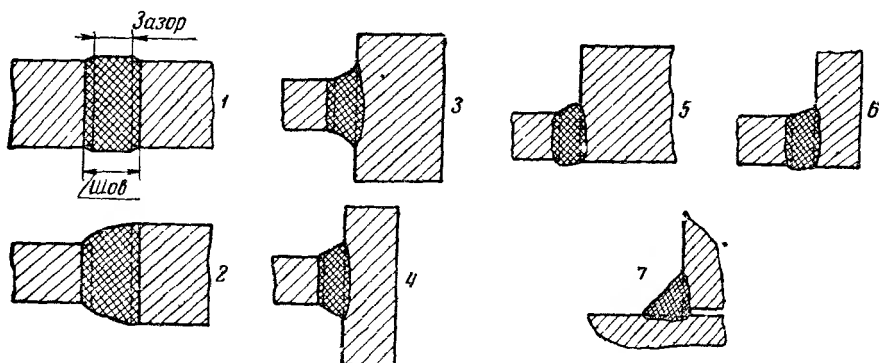


Рис 104. Виды соединений, выполняемых электрошлаковой сваркой:

1 и 2 — стыковые, 3 и 4 — тавровые, 5, 6 и 7 — угловые

Таблица 34

Режимы электрошлаковой сварки

Толщина свариваемого металла, мм	Диаметр электрода, мм	Число электродов	Поперечные колебания	Ток, а	Напряжение, в	Глубина ванны, мм	Ширина зазора между кромками, мм	Способ питания током
40—60	3	1	Отсутствуют	500—600	40—42	45—50	20—24	От однофазного трансформатора То же »
60—150	3	1	30—50 колебаний в час	600—620	42—46	50—60	24—27	
60—100	3	2	Отсутствуют	500—600	42—46	45—55	24—27	
80—100	3	3	То же	600—620	42—46	50—70	24—27	От трехфазного трансформатора ТШС-1000-3 с жесткой характеристикой
100—450	3	3	30—50 колебаний в час	600—700	42—48	60—80	26—28	

Наиболее часто электрошлаковым способом сваривают толсто-стенные барабаны паровых котлов высокого давления из теплоустой-

чивой низколегированной стали. Барабан сваривается из двух продольных половин, каждая из которых имеет в сечении форму полуокружности. Обе половины собираются вместе, соединяются

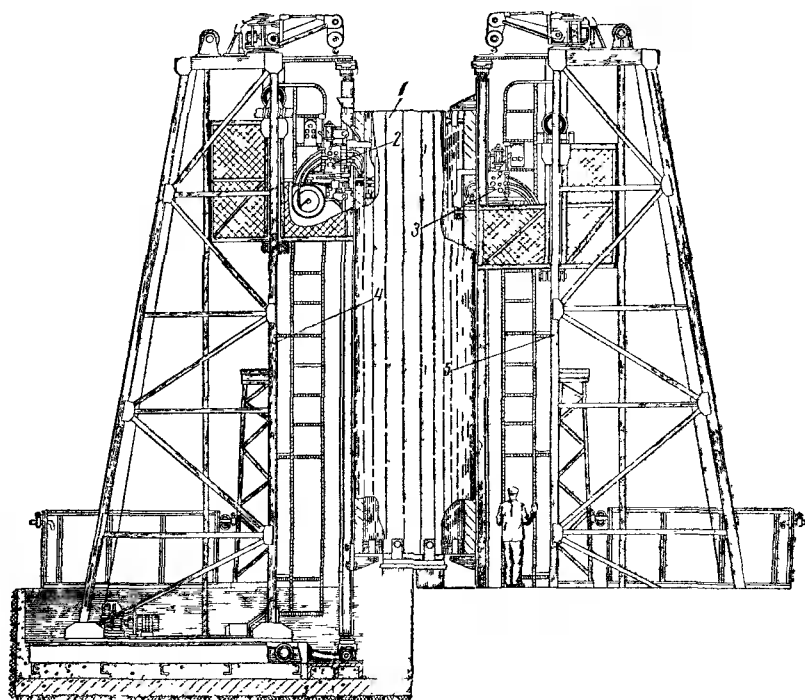


Рис. 105. Установка для электрошлаковой сварки продольных швов*

1 — котельный барабан, 2 и 3 — сварочные автоматы, 4 и 5 — металлические конструкции сварочного стенда

скобами и устанавливаются вертикально на специальный стенд (рис. 105). В этом положении оба продольных шва барабана соединяют электрошлаковой сваркой двумя автоматами, работающими одновременно.



ГЛАВА XII

СВАРКА В СРЕДЕ ИНЕРТНЫХ ЗАЩИТНЫХ ГАЗОВ

§ 1. Принцип, преимущества и области применения сварки в среде защитных газов

При сварке в среде защитных газов расплавленный металл надежно защищен от воздействия атмосферного кислорода и азота. Принцип сварки в защитных газах впервые был предложен Н. Н. Бенардосом еще в 1885 г., но настоящее развитие и практическое внедрение этот способ сварки получил за последние 10 лет, достигнув сейчас высокого технического совершенства.

Классификация современных способов сварки в среде защитных газов дана на рис. 106.

Основные преимущества сварки в среде защитных газов следующие:

1. Надежная защита расплавленного металла от воздействия кислорода и азота окружающего воздуха.
2. Отсутствие покрытий и флюсов, усложняющих аппаратуру и процесс сварки и образующих шлаки, могущие загрязнять шов.
3. Высокая производительность и устойчивость процесса сварки.
4. Возможность полной автоматизации и механизации процесса.
5. Возможность сварки разнородных металлов.
6. Высокие механические свойства и постоянство состава наплавленного металла.
7. Хороший внешний вид сварного шва.
8. Малая зона теплового влияния, уменьшающая деформации, возникающие при сварке.
9. Возможность сварки металлов малой толщины.
10. Отсутствие трудоемких операций по очистке изделия от шлаков и остатков флюсов.

Сварка в защитных газах широко применяется при изготовлении самых ответственных конструкций из черных и цветных металлов и легких сплавов, в том числе: нержавеющей стали, алюми-

ния, магния и их сплавов, титана, циркония и их сплавов и др. Обеспечивая высокую производительность, данный способ дает возможность получить швы высокого качества и поэтому в ряде случаев вытесняет сварку электродами с качественными покрытиями и сварку под флюсом.

Для создания вокруг дуги защитной среды используются инертные газы — аргон, гелий или активные газы — углекислый газ, азот, смеси аргона с кислородом, азотом, углекислым газом и во-

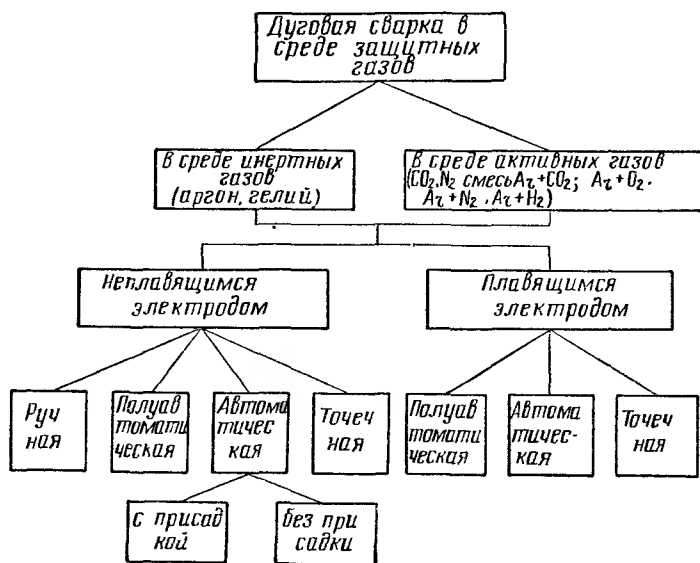


Рис. 106. Классификация способов сварки в среде защитных газов

дородом. Инертные газы применяют для сварки легко окисляемых металлов и сплавов (особенно при небольшой толщине свариваемого металла), например сплавов алюминия, магния, титана, никелевых и хромоникелевых высоколегированных сталей. Углекислый газ используют при сварке углеродистых и легированных сталей, азот — при сварке меди, смесь аргона с 5—10% водорода — при сварке алюминия и магния.

§ 2. Газы, электроды и аппаратура для сварки

Защитные газы. Требования к чистоте аргона и гелия определяются свойствами свариваемых металлов. Для сварки магниевых и алюминиевомагниевых сплавов нужен аргон чистотой не ниже 99,7%. При сварке деталей из этих сплавов с толщиной стен-

ки до 1 мм, когда объем ванны очень мал, даже небольшие включения пленок окислов ухудшают формирование и качество шва. В этом случае к аргону чистотой 99,7% можно добавлять 5—10% водорода, что улучшает процесс сварки. Для сварки сплавов титана и циркония необходим аргон чистотой не ниже 99,9%; для сварки нержавеющей и низколегированных сталей — аргон чистотой не ниже 99,2%.

Чистый аргон выпускается промышленностью двух составов и содержит по объему в %:

	Аргон первого состава	Аргон второго состава
Аргона не менее	99,7	99,2
Азота не более	0,24	0,55
Кислорода не более	0,05	0,2
Двуокиси углерода не более	0,01	0,05
Влаги	Отсутствует	Отсутствует

Кроме того, выпускается аргон высокой чистоты, имеющий концентрацию 99,99% и содержащий не более 0,005% кислорода.

Кислород является наиболее вредной примесью в аргоне. Если аргон содержит повышенное количество углекислого газа, влаги и кислорода, его можно подвергать дополнительной очистке от этих примесей, пропуская перед поступлением в горелку через очистительные колонки, заполненные: 30%-ным раствором едкого калия (для очистки от CO_2) и кусками едкого калия (для осушки от влаги). Затем аргон пропускают через электропечь с медной стружкой, которая при температуре 650—700° удерживает кислород. Расход аргона при сварке зависит от диаметра электрода и обычно составляет от 120 до 600 л/час.

Электроды. В качестве неплавящихся электродов при сварке применяют вольфрамовые, угольные или графитированные стержни. Вольфрам представляет собой тугоплавкий металл, плавящийся при 3350—3600°. Для электрода берется вольфрамовая проволока ВТ-15 диаметром от 0,8 до 6 мм, содержащая до 1,5—2% окиси тория. Добавка к вольфраму тория при сварке на постоянном токе прямой полярности обеспечивает высокую устойчивость дуги, хорошее ее зажигание, позволяет повысить плотность тока в электроде при малом расходе вольфрама и уменьшает чувствительность электрода к загрязнениям при коротких замыканиях его на изделие. В процессе сварки вольфрам электрода испаряется, что вызывает некоторый расход вольфрамовых электродов, равный при токе до 300 а примерно 0,5 г/м шва.

Угольные или графитированные электроды выпускаются в виде стержней диаметром 6 мм, конец которых на длине 20—25 мм затачивается на конус. Конец электрода затупляется до диаметра 2—2,5 мм. Угольные электроды можно применять только при сварке

нержавеющих и жароупорных сталей и нельзя использовать при сварке легких сплавов (алюминиевых и магниевых), так как в этом случае на поверхности шва получается темный налет и образуются поры. При сварке угольными электродами не обязательна дополнительная очистка технического аргона от примеси кислорода и влаги, так как эти вещества химически связываются углеродом электрода и поэтому не оказывают вредного влияния на качество шва. Сварку угольными электродами приходится производить на постоянном токе, поскольку на переменном токе нельзя получить устойчивое горение дуги.

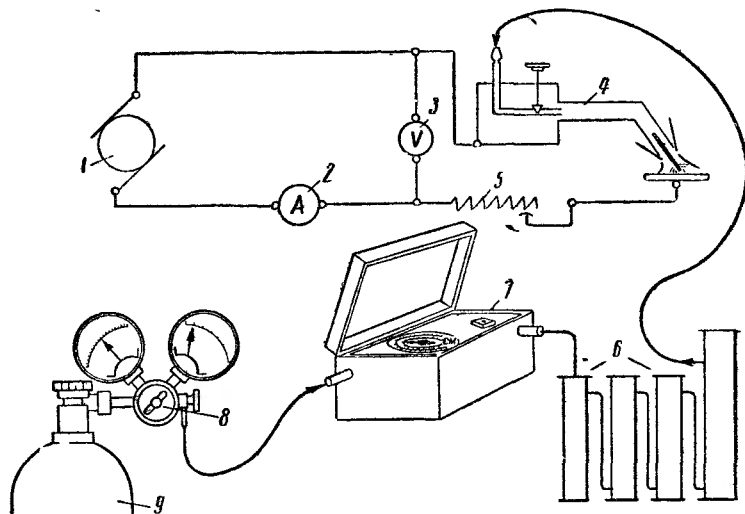


Рис. 107. Схема установки для аргоно-дуговой сварки на постоянном токе

При сварке плавящимся электродом используется металлическая проволока из того же металла, что и свариваемый металл (алюминий, нержавеющая сталь).

Род тока. На рис. 107 показана схема сварочного поста для аргоно-дуговой сварки на постоянном токе, состоящего из сварочного преобразователя 1 с балластным реостатом 5, сварочной горелки — электрододержателя 4, вольтметра 3, амперметра 2, баллона 9 с аргоном и редуктора 8. Расход аргона контролируется расходомером 7. Если требуется дополнительная очистка газа, то применяется очистительная установка 6. Для сварки на постоянном токе металлов небольшой толщины используются сварочные преобразователи на 150—200 а, а для сварки металла средней толщины — на 400—500 а.

Легкие сплавы (алюминиевые и магниевые) свариваются на постоянном токе обратной полярности (катод — свариваемый металл).

В этом случае выбрасываемый катодом мощный поток электронов вызывает непрерывное явление «катодного распыления» на поверхности сварочной ванны, что приводит к разрушению пленки оксидов магния и алюминия, затрудняющих сварку. Таким образом расплавленный металл очищается и легкие сплавы можно сваривать без флюсов.

Аргоно-дуговая сварка ведется также и на переменном токе. Переменный ток частично выпрямляется в дуге, образующейся в среде аргона между вольфрамовым электродом и свариваемым металлом. Вследствие этого в сварочной цепи появляется так называемая составляющая постоянного тока, что вызывает уменьшение тепловой мощности дуги и является нежелательным, так как приводит к уменьшению глубины провара и площади поперечного сечения шва. При значительной величине составляющей постоянного тока не происходит разрушения окисной пленки при сварке сплавов алюминия и магния, отчего качество шва ухудшается.

Для устранения составляющей постоянного тока при сварке на переменном токе в сварочную цепь последовательно включаются конденсаторы емкостью 100 *мкф* (микрофард) на 1 *а* сварочного тока или аккумуляторная батарея, или активное (омическое) сопротивление.

Зажигание дуги в среде аргона затруднено и требует более высокого напряжения. Однако дуга в аргоне горит более устойчиво, чем в воздухе, так как температура вольфрамового катода очень высока и равна 4830°, что значительно увеличивает термоэлектронную эмиссию катода. Возбуждение дуги в аргоне затруднено потому, что атомы аргона не образуют отрицательных ионов, вследствие чего необходима более высокая степень ионизации нейтральных частиц. Потери энергии в дуге на диссоциацию молекул и рекомбинацию атомов отсутствуют, что также повышает устойчивость горения дуги в аргоне.

Для облегчения зажигания и устойчивого горения дуги переменного тока в среде аргона напряжение холостого хода должно составлять 90—120 *в*. Необходимо также применение осциллятора, который включается в сварочную цепь параллельно (см. гл. XVIII, § 4). Схема установки для аргоно-дуговой сварки на переменном токе показана на рис. 108.

В среде аргона на переменном токе преимущественно сваривают легкие сплавы вольфрамовым электродом. В остальных случаях обычно используют постоянный ток прямой или обратной полярности в зависимости от свойств свариваемого металла.

При сварке плавящимся электродом в атмосфере защитных газов характеристика дуги становится возрастающей. Для поддержания постоянства дуги необходимо применять или специальные регуляторы длины дуги, или, что более целесообразно, сварочные преобразователи с жесткой или возрастающей внешней характеристикой

и низким напряжением холостого хода, при которых обеспечивается саморегулирование длины дуги.

Таковыми преобразователями являются, например, сварочные агрегаты ПСГ-350 и ПСГ-500. Дуга, питаемая током от этих преобразователей, горит устойчиво в аргоне и в углекислом газе (при небольшой длине дуги и малом токе). Применяются также специальные приставки, позволяющие в широких пределах регулировать вольтамперные характеристики сварочных преобразователей постоянного тока в зависимости от условий сварки. Кроме

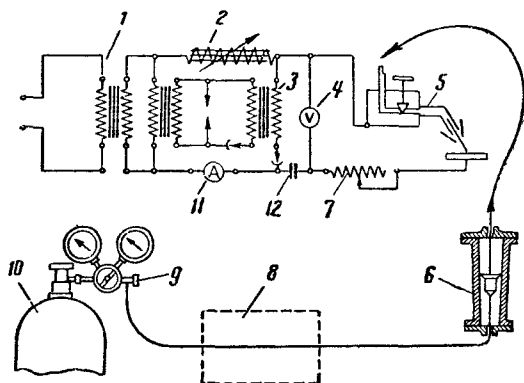


Рис. 108. Схема установки для аргоно-дуговой сварки на переменном токе:

1 — сварочный трансформатор, 2 — дроссель, 3 — осциллятор, 4 — вольтметр, 5 — горелка, 6 — указатель расхода аргона (ротаметр), 7 — балластный реостат, 8 — установка для очистки аргона (показано условно), 9 — редуктор, 10 — баллон с аргоном, 11 — амперметр, 12 — батарея конденсаторов

того, используются выпрямительные полупроводниковые установки для преобразования переменного тока в постоянный сварочный ток (см. гл. XIX, § 4).

Сварочные горелки (электрододержатели) для аргоно-дуговой сварки. Эти горелки имеют конструкцию, обеспечивающую одновременный подвод к электроду сварочного тока и защитной струи аргона. Разрез горелки-электрододержателя ЭЗР-1-54 средней величины для сварки током до 200 а показан на рис. 109. Горелка состоит из корпуса 8 с вентилем 5, трубки 3, сопла 10 и головки 2. Аргон поступает по шлангу, надеваемому на ниппель 7, и через вентиль 5 идет по трубке в головку.

Выходя через сопло 10, аргон обтекает конец электрода, закрепленного в канале 9. Горелка имеет сменные канги для крепления электродов диаметром 1,5; 2 и 2,5 мм. Ток к корпусу горелки подводится по гибкому кабелю 6 и поступает к электроду 1 через

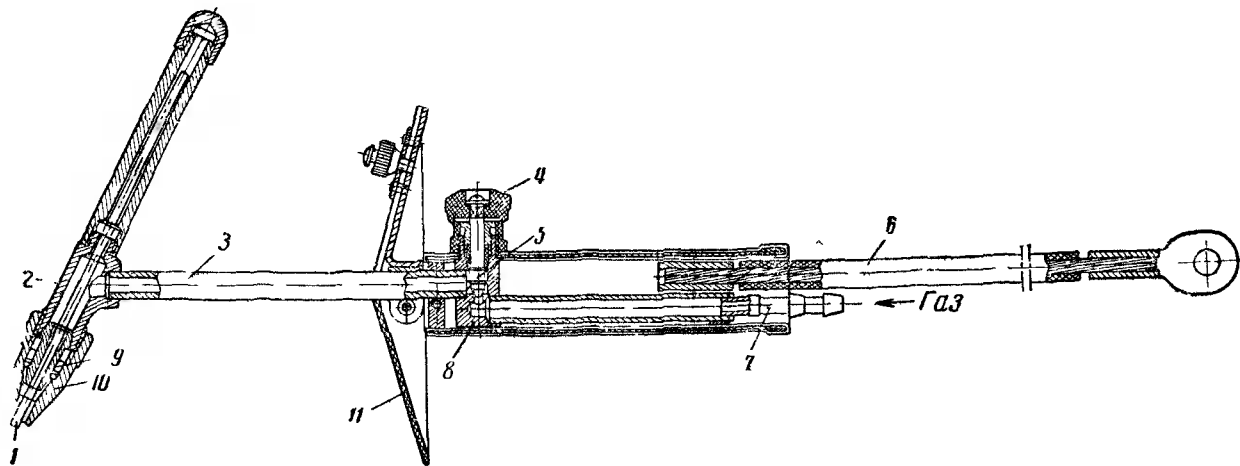


Рис. 109. Сварочная горелка для аргоно-дуговой сварки

зажимы цанги 9. Расход аргона регулируется вентилем 5, имеющим маховичок 4. Для защиты руки сварщика от тепла сварочной дуги горелка снабжается щитком 11 из листовой фибры.

Для надлежащей защиты конца электрода и расплавленного металла струей аргона диаметр отверстия и расход аргона должны быть равны:

Диаметр вольфрамового электрода, мм	1,5—2	2,5—3	4	6
Диаметр выходного отверстия сопла, мм	5—7	7—9	9—12	12—14
Расход аргона, л/мин	2—3	4—5	6—8	10—12

При токе свыше 200 а применяют горелки-электрододержатели с водяным охлаждением.

Для приварки в отдельных точках изделий из нержавеющей стали, алюминия и других металлов используются горелки-пистолеты (рис. 110). Они предназначены для односторонней аргоно-дуговой сварки, которая производится автоматически при нажатии на выключатель 2. Конец электрода и сварочная дуга защищены мундштуком 1, который во время сварки плотно прижимается к поверхности металла. Мундштук охлаждается водой, подводимой по трубкам 3.

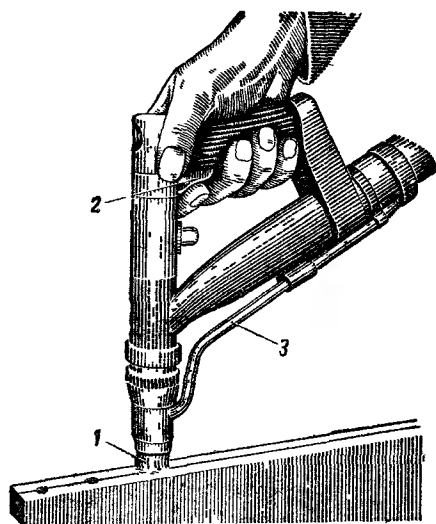


Рис 110 Горелка-пистолет для точечной аргоно-дуговой сварки

§ 3. Технология аргоно-дуговой сварки различных металлов

Аргоно-дуговая сварка тонколистовой нержавеющей и жароупорной аустенитной стали. Производится без использования или с использованием присадочного металла, что зависит от толщины металла и способа подготовки кромок. Присадочный металл вводится в сварочную ванну или закладывается в шов до сварки. Типы сварных соединений, применяемых при сварке тонколистовой стали, показаны на рис 111. Перед сваркой поверхность кромок должна зачищаться до блеска стальной щеткой, а затем промываться растворителем (дихлорэтаном, ацетоном, авиабензином) для

удаления жира, следы которого вызывают пористость шва и уменьшают устойчивость дуги.

Перед сваркой детали прихватываются через каждые 50—75 мм. При ручной и механизированной сварке нержавеющей стали обычно применяют вольфрамовые электроды, допускающие повышенную плотность тока, вследствие чего увеличивается производительность сварки.

При сварке плавящимся электродом используется проволока того же состава, что и свариваемый металл.

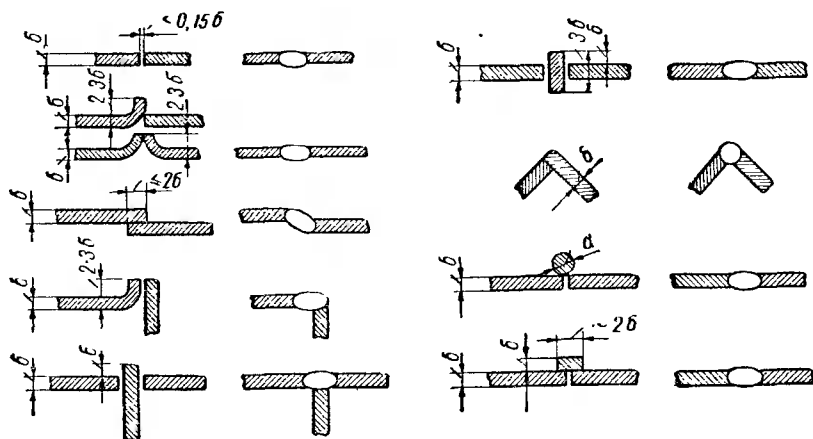


Рис. 111. Типы соединений, применяемых при аргоно-дуговой сварке тонколистового металла

Аргон, предназначенный для сварки сплавов, содержащих более 20% хрома, не должен содержать влаги и углекислоты, а содержание кислорода в нем не должно превышать 0,05%.

Сварку ведут справа налево. Угол между присадочным пруток и свариваемым металлом не должен превышать 15—20°. Пруток лучше укладывать на линию шва. В этом случае струя аргона надежнее защищает плавящийся металл прутка и изделия. Присадочный металл вводится в ванну равномерно, так как он перемещается по шву впереди горелки. Поперечные движения прутком делать нельзя, так как при этом в зону сварки может попадать кислород и окислять металл.

При сварке без присадочного металла электрод держат по отношению к листу под углом 90°. В целях уменьшения расхода вольфрамовых электродов нельзя прекращать подачу аргона сразу после окончания сварки; это рекомендуется делать спустя 1—1,5 мин, когда конец электрода уже охладится. Дуга зажигается при

касании электродом металла, после чего электрод отводят, поддерживая длину дуги 1,5—2 мм.

При сварке вольфрамовым электродом на переменном токе для облегчения зажигания дуги в том месте, где начинают сварку, укладывают графитовый стержень. Зажженную на этом стержне дугу затем переводят на свариваемый металл.

Ручная сварка нержавеющей и жароупорных аустенитных сталей вольфрамовым электродом в среде аргона производится на постоянном токе прямой полярности; может применяться и переменный ток с использованием осциллятора. Сталь толщиной более 3 мм сваривают плавящимся электродом из проволоки нержавеющей стали на постоянном токе обратной полярности.

Режимы ручной сварки вольфрамовым электродом из тонкой нержавеющей стали в среде аргона приведены в табл. 35. Для сварки швов на вертикальной плоскости ток снижают на 10—15%, а для потолочных швов — на 20% против величин, указанных в табл. 35.

Таблица 35

Режимы ручной аргоно-дуговой сварки нержавеющей аустенитной стали в среде аргона

Вид соединения	Толщина свариваемого металла, мм	Диаметр вольфрамового электрода, мм	Диаметр присадочной проволоки, мм	Род тока	Ток, а	Напряжение дуги, в	Скорость сварки, см/мин	Расход аргона, л/мин
В стык	1,0	2	1,6	Переменный	35—75	12—16	15—33	2,5—3,0
»	1,0	2	1,6	Постоянный—прямая полярность	30—60	11—15	12—28	2,5—3,0
»	1,5	2	1,6	Переменный	45—85	12—16	14—31	2,5—3,0
»	1,5	2	1,6	Постоянный—прямая полярность	40—75	11—15	9—19	2,5—3,0
В нахлестку	1,0	2	1,6	Переменный	40—60	12—16	10—13	2,5—3,0
В тавр	1,5	2	1,6	То же	40—60	14—17	7,2—8,7	2,0—2,5
Угловое	1,5	2	—	Постоянный	45	11—15	32	2,5—3,0

Для защиты обратной стороны шва от воздействия воздуха используют медные и стальные подкладки. При этом во время сварки струю аргона подводят также под нижнюю поверхность кромок свариваемых листов, для чего в подкладке делается канавка, расположенная вдоль линии шва.

Аргоно-дуговая сварка легких сплавов. Эти сплавы при нагревании склонны к окислению кислородом воздуха. Они покрываются тугоплавкой пленкой окиси, сильно затрудняющей сварку. Маг-

ниевые сплавы, кроме того, способны в расплавленном виде поглощать азот, образуя нитриды магния. Применение для этих сплавов аргоно-дуговой сварки особенно целесообразно.

При сварке легких сплавов применяются такие же типы соединений, как и при сварке тонколистовой нержавеющей стали (см. рис. 111). Перед сваркой кромки листов должны быть на ширине 25—30 мм очищены шкуркой или щеткой из тонкой проволоки. Кромки деталей из алюминиевых сплавов можно очищать травлением в растворе хромовой кислоты. Перед травлением кромки обезжиривают растворителем или теплым раствором каустика. После травления кромки промывают горячей водой и тщательно протирают. Сварка должна производиться не позже чем через 8 час после травления, иначе поверхность листов вновь покроется слоем окислов.

При ручной сварке легких сплавов толщиной до 5—6 мм применяют вольфрамовые электроды. Для сварки магниевых сплавов следует брать аргон, содержащий не более 0,05% кислорода и не более 0,4% азота. В отдельных случаях можно применять аргон даже с большим содержанием азота, но обязательно очищенный от следов кислорода и влаги. Алюминиевые сплавы можно сваривать в аргоне, содержащем не более 0,03% кислорода. Для этих сплавов особенно вредной является примесь влаги в аргоне, которую следует удалять тщательной осушкой газа, а также самих баллонов перед наполнением их аргоном.

Присадочным материалом служит проволока или полоски из того же сплава, что и свариваемый. Для сварки термообрабатываемых алюминиевых сплавов используют алюминиевую проволоку АК, содержащую до 5% кремния.

Сварка производится в приспособлении, зажимающем свариваемые листы в нужном положении. Свариваемые листы укладывают на подкладку из нержавеющей стали, имеющую вдоль линии шва канавку, обеспечивающую формирование обратной стороны шва.

Присадочный прутки во время сварки держат под углом 10—30°, а электрод — 70—80° к плоскости сварки. Поперечные колебания электродом и присадочным прутком не производятся. Сварку следует вести с максимальной возможной скоростью, при которой еще происходит нормальное сплавление присадочного металла с кромками. При сварке легких сплавов вольфрамовым электродом применяется переменный ток и используется осциллятор. Необходимо также указанными выше способами уменьшать величину составляющей постоянного тока в дуге и повышать устойчивость горения дуги. Режимы сварки легких сплавов на переменном токе приведены в табл. 36.

Сварку плавящимся электродом из проволоки того же сплава, что и свариваемый, ведут на постоянном токе обратной полярности.

Аргоно-дуговая сварка меди. Сварка производится вольфрамовым электродом на постоянном токе прямой полярности. В качестве инертного газа вместо аргона лучше применять гелий.

Режимы ручной сварки легких сплавов на переменном токе

Толщина металла, мм	Вид сварного соединения									
	в нахлестку с проплавлением					в стык с вложенной прокладкой				
	диаметр электрода, мм	ток, а	расход аргона, л/мин	размеры присадки, мм	диаметр электрода, мм	ток, а	расход аргона, л/мин	диаметр присадочной проволоки, мм	диаметр электрода, мм	расход аргона, л/мин
1	2—3	65—90	7—9	1,2×4,5	2—3	70—90	7—9	—	—	—
1,5	2—3	70—95	7—9	1,5×4,5	3	90—115	8—10	—	—	—
2	—	—	—	—	—	—	—	2—2,5	3	8—10
3	—	—	—	—	—	—	—	2—3	3	9—10

Технология сварки меди этим способом разработана ВНИИАвтогеном. Для изготовления присадочных прутков могут использоваться следующие сплавы: хромистая медь, содержащая 1—1,2% хрома, остальное — медь; кремнемарганцовистая медь (эвердур) марки КМЦ-3-1, содержащая 1—1,5% марганца, 2,75—3,5% кремния, остальное — медь.

Лучшие результаты получаются при сварке хромистой медью. Для сварки меди толщиной 2—3 мм применяют следующий режим: ток 100—165 а, скорость сварки 22—24 м/час, расход гелия 550—600 л/час, диаметр вольфрамового электрода 2—2,5 мм, диаметр присадочной проволоки 2,5—3 мм, диаметр отверстия мундштука 6 мм.

Если в качестве защитного газа применяют аргон или азот, то в этом случае для получения требуемых механических свойств наплавленного металла присадочным прутком служит медная проволока, покрытая флюсом. В состав флюса вводятся раскислители (фосфор, кремний и марганец) в виде ферросплавов: феррофосфора, ферросилиция и ферромарганца. Флюс можно наносить не на проволоку, а насыпать в канавку подкладки, расположенную под швом.

Механизированная сварка. Аргонно-дуговую сварку легко можно механизировать и автоматизировать. При механизированной сварке неплавящимся вольфрамовым электродом сварочную горелку соответствующей конструкции укрепляют на самоходной тележке,двигающейся вдоль шва с заданной скоростью, или на специальном станке, перемещающем изделие (например, вращающем обечайку при приварке к ней днищ).

Скорость процесса сварки уве-

личивается в два-три раза по сравнению с ручной сваркой, расход вольфрамовых электродов снижается на 15—20%, улучшается качество наплавленного металла и внешний вид шва.

Для механизированной сварки плавящимся электродом в среде аргона (или гелия) применяют специальные полуавтоматы и авто-

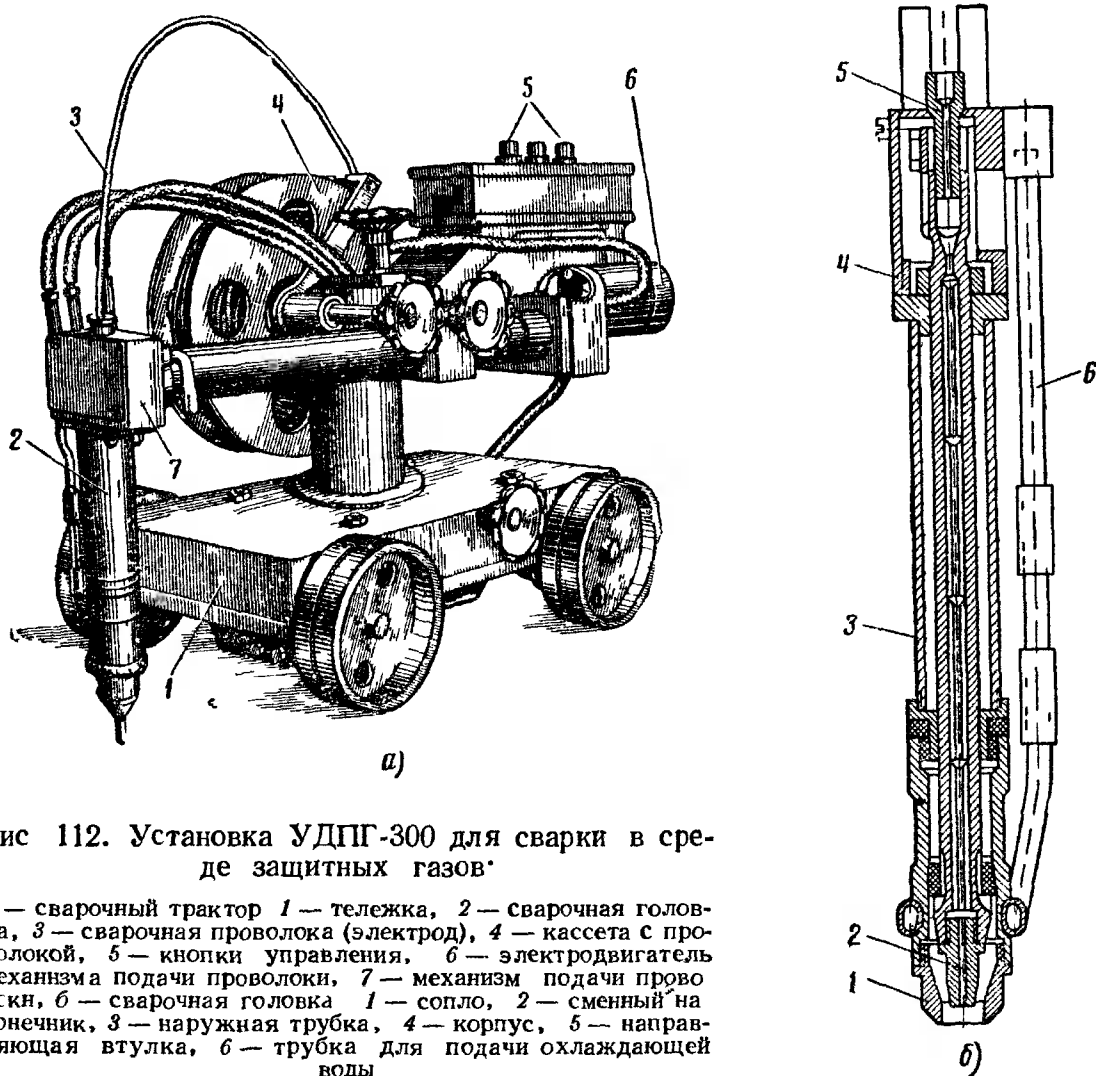


Рис 112. Установка УДПГ-300 для сварки в среде защитных газов*

а — сварочный трактор 1 — тележка, 2 — сварочная головка, 3 — сварочная проволока (электрод), 4 — кассета с проволокой, 5 — кнопки управления, 6 — электродвигатель механизма подачи проволоки, 7 — механизм подачи проволоки, б — сварочная головка 1 — сопло, 2 — сменный наконечник, 3 — наружная трубка, 4 — корпус, 5 — направляющая втулка, 6 — трубка для подачи охлаждающей воды

маты, по своему устройству близкие к полуавтоматам и сварочным тракторам, используемым при сварке под флюсом

Комплект оборудования для сварки плавящимся электродом включает: источник сварочного тока, сварочную головку, механизм для перемещения головки вдоль шва (или для перемещения изделия при неподвижной головке), баллон с защитным газом и газовую аппаратуру. Аргоно-дуговая сварка плавящимся электродом производится на постоянном токе обратной полярности. В качестве источников сварочного тока применяют низковольтные генераторы постоянного тока типов: ПСГ-350, ПСГ-500, АЗД 7,5/30, ЗП-7,5/30, ГСР-9000 и др., а также сварочные полупроводниковые выпрямители, имеющие ппологопадающую или возрастающую

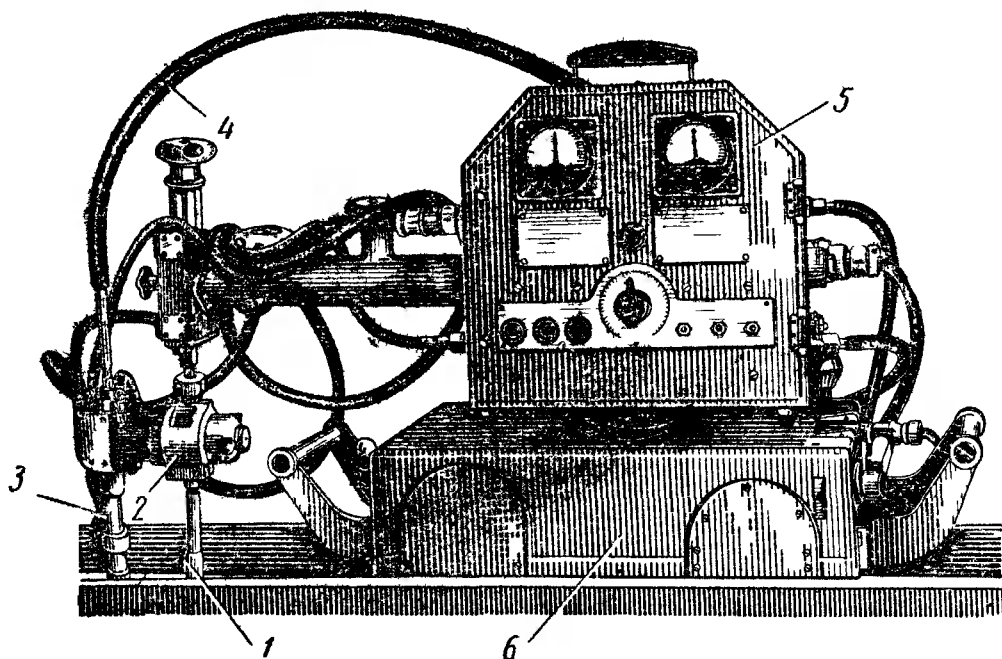


Рис. 113. Установка УДС-58 для дуговой сварки в защитных газах

1 — направляющий ролик, 2 — электродвигатель механизма подачи проволоки, 3 — сварочная головка (пистолет), 4 — шланг со сварочной проволокой внутри, 5 — пульт управления и контрольно измерительных приборов, 6 — тележка

внешнюю характеристику. Для сварки проволокой диаметром более 2 мм можно использовать обычные сварочные преобразователи с падающей внешней характеристикой. Данные об источниках тока приведены в главе XIX.

Для полуавтоматической сварки легких сплавов проволокой диаметром 1,6—2,5 мм током до 300 а применяют полуавтоматы ПШПА-6 и ПШПА-7, состоящие из переносного пульта управления, механизма подачи проволоки с кассетой и электрододержателя пистолетного типа. В электрододержателе имеются ролики, которые протягивают проволоку через шланг из кассеты к контактам электрододержателя. Ролики вращаются механизмом подачи через гибкий валик.

Для сварки металла малых толщин проволокой диаметром 0,5—1,2 мм током до 180 а применяется ранцевый полуавтомат ПШП-9. Механизм подачи проволоки у него расположен в электрододержателе и имеет малогабаритный электродвигатель. Проволока протягивается через шланг из кассеты, находящейся в ранце за спиной сварщика.

Полуавтоматической сваркой плавящимся электродом в среде аргона можно сваривать металл большой толщины многослойными швами.

Этим способом можно, например, сваривать изделия из алюминия с толщиной стенки 100 мм и выше, а также заваривать дефекты в литье из алюминиевых и магниевых сплавов.

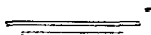
На рис. 112, *а* в качестве примера показана установка типа УДПГ-300 для автоматической сварки в среде защитных газов, а на рис. 112, *б* —сварочная головка для этой установки.

Универсальная установка УДС-58 служит для газодуговой сварки цветных и черных металлов плавящимся электродом в среде аргона, гелия, а также углекислого газа; она разработана ВНИИАвтогеном (рис. 113). Установка имеет два варианта комплектации: УДС-1-58 для ручной и механизированной сварки и второй — УДС-2-58 только для ручной сварки.

Сварочная головка (пистолет) установки УДС-1-58 для подачи проволоки снабжена легким, малогабаритным тянущим механизмом, что позволяет пользоваться как жесткими, так и мягкими проволоками различных диаметров. Кассету с проволокой крепят на пульте управления или на заплечном ранце.

Технические данные установки УДС-58 следующие:

Ток, <i>а</i>	40 ÷ 500
Диаметр проволоки, <i>мм</i>	0,5 ÷ 2
Расход газа, <i>л/мин</i>	6 — 30
Скорость подачи проволоки, <i>м/мин</i>	2 ÷ 15
Вес пистолета, <i>кг</i>	1,4



ГЛАВА XIII

СВАРКА В СРЕДЕ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА

§ 1. Особенности процесса сварки в среде углекислого газа

В 1952 г. ЦНИИТМАШ была разработана технология дуговой сварки стали плавящимся электродом в защитной среде углекислого газа, что явилось крупным достижением советской сварочной техники, направленным на дальнейшее усовершенствование методов сварки. Дуга образуется между концом голой проволоки, являющейся плавящимся электродом, и свариваемым изделием; горение дуги происходит в атмосфере углекислого газа, который подается в зону сварки по наружному мундштуку и защищает расплавленный металл от кислорода и азота окружающего воздуха.

Преимущество сварки в среде углекислого газа перед сваркой под флюсом состоит в том, что сварщик может наблюдать за ходом сварки и горением дуги, так как она не закрыта флюсом; отсутствие флюса делает ненужными приспособления для его подачи и отсоса, усложняющие сварочное оборудование; отпадает необходимость в последующей очистке швов от шлака и остатков флюса, особенно при многослойной сварке.

Коэффициент наплавки при сварке в среде углекислого газа выше, чем при сварке под флюсом. При сварке током прямой полярности этот коэффициент в 1,5—1,8 раза выше, чем при сварке током обратной полярности. Процесс сварки отличается высокой производительностью, достигающей 18 кг/час наплавленного металла. Скорость сварки достигает 60 м/час. Производительность сварки в среде углекислого газа в 2,5—4 раза выше, чем производительность ручной сварки покрытыми электродами, и в 1,5 раза выше, чем при сварке под флюсом.

Стоимость наплавки 1 кг металла при сварке в среде углекислого газа в 2—2,5 раза меньше, чем при ручной сварке, и на 10—20% меньше, чем при автоматической сварке под флюсом.

Сварка в защитной среде углекислого газа сейчас широко при-

меняется в промышленности и во многих случаях успешно вытесняет не только ручную, но даже полуавтоматическую и автоматическую дуговую сварку под флюсом.

Наибольшее применение сварка в среде углекислого газа нашла в судостроении, машиностроении, при сварке трубопроводов, в том числе магистральных, при выполнении монтажных работ, изготовлении котлов и аппаратуры из теплоустойчивых и легированных сталей, заварке дефектов стального литья и прочих областях производства и строительства.

Главным достоинством процесса сварки в защитной среде углекислого газа являются:

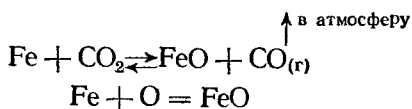
1. Высокая степень использования тепла сварочной дуги, вследствие чего обеспечивается и высокая производительность сварки.
2. Высокое качество сварных швов.
3. Возможность сварки в различных пространственных положениях и на монтаже с применением аппаратуры для полуавтоматической и автоматической сварки.
4. Низкая стоимость защитного газа.
5. Возможность сварки металла малых толщин и сварки электрозащепками.
6. Возможность сварки на весу без подкладок.

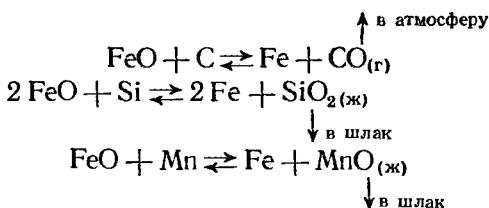
Металлургические процессы при сварке в среде углекислого газа имеют свои особенности, состоящие в следующем.

При высокой температуре дуги молекулы углекислого газа расщепляются (диссоциируют) на CO и O по уравнению $\text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{CO} + \text{O}$. Образующаяся CO в свою очередь диссоциирует на C и O по уравнению $\text{CO} \rightleftharpoons \text{C} + \text{O}$. Атомарный кислород O обладает высокой химической активностью и способен окислять все элементы, входящие в состав проволоки и основного металла.

Исследования показали, что температура капель жидкого металла в зоне дуги составляет 2150—2350°, а температура газа 2900°. Температуры же в сварочной ванне ниже и составляют: металла 1700° и газа 2300°. Как известно, чем выше температура, тем реакции окисления идут интенсивнее. Поэтому при сварке в среде углекислого газа в большей степени происходит выгорание (окисление) элементов, содержащихся в электродной проволоке и в меньшей степени — элементов основного металла. При указанном распределении температур большая часть углекислого газа (60%) расщепляется на окись углерода и кислород в зоне дуги и меньшая (15%) — в месте контакта с ванной.

В зоне сварки при указанных условиях протекают следующие реакции окисления элементов и восстановления их из окислов:





Выделение газообразной окиси углерода (CO) из жидкого металла вызывает «кипение» сварочной ванны и приводит к образованию пор. При сварке в среде углекислого газа пористость шва может возникнуть в результате: 1) недостаточного содержания элементов — раскислителей (кремния, марганца и др.) в проволоке; 2) присутствия ржавчины и окалины, попадающих с кромок металла и с проволоки в ванну; 3) повышенного содержания влаги в углекислом газе; 4) попадания в зону сварки азота из воздуха при недостаточной защите дуги углекислым газом.

С целью восполнения марганца и кремния в металле шва, уменьшающихся в результате угара, и для подавления реакции окисления углерода при сварке в среде углекислого газа применяют электродную проволоку с повышенным содержанием марганца и кремния. При сварке мало- и среднеуглеродистых сталей присутствие в металле шва кремния более 0,2% и марганца более 0,4% предупреждает образование пор.

На степень окисления углерода, кремния и марганца при сварке в среде углекислого газа сильно влияют напряжение и величина сварочного тока, а также диаметр электродной проволоки. С повышением напряжения окисление увеличивается, а при возрастании сварочного тока и уменьшении диаметра проволоки (повышении плотности тока)—уменьшается. Сварка на постоянном токе обратной полярности дает меньшее окисление, чем на токе прямой полярности. При сварке проволокой диаметром 0,5—1,2 мм происходит значительно меньшее окисление элементов, чем при сварке проволокой диаметром 1,6—2 мм. Поэтому более тонкая проволока, имеющая низкое содержание кремния и марганца, обеспечивает получение плотных беспористых швов. Плотность тока при сварке в среде углекислого газа должна быть не ниже 80 а/мм². При этом потери металла на разбрызгивание не превышают 10—15%.

В качестве электрода применяется проволока различных марок по ГОСТ 2246—60 в соответствии с маркой основного металла. Диаметр проволоки может колебаться в пределах 0,5—2,5 мм в зависимости от толщины свариваемого металла и типа сварочного полуавтомата. Поверхность проволоки должна быть чистой, не загрязненной смазкой, органическими антикоррозийными веществами, ржавчиной, окалиной и пр., повышающими разбрызгивание и пористость швов. Иногда проволоку подвергают травлению в 20%-ном растворе серной кислоты с последующей прокалкой в печи при 250—280° в течение 2—2,5 час. Это обеспечивает получение

плотного наплавленного металла с минимальным содержанием водорода. Хорошие результаты дает сварка омедненной (покрытой слоем меди) проволокой.

§ 2. Требования, предъявляемые к углекислому газу

Углекислый газ дешев и используется в пищевой, холодильной промышленности, а также во многих областях техники. Получается углекислый газ из дымовых газов, образующихся при сжигании угольного топлива, газов известково-обжигательных печей, газообразных отходов спиртовой и сахарной промышленности. Углекислый газ бесцветен, неядовит. При давлении 760 мм рт. ст. удельный вес углекислого газа равен 1,98 кг/м³. При температуре +31° и давлении 75,3 атм углекислый газ сжижается. Давление сжижения уменьшается при понижении температуры. При температуре —78,5° углекислый газ переходит в жидкость при атмосферном давлении 760 мм рт. ст. При испарении 1 кг жидкой углекислоты образуется 505 л углекислого газа (при 0° и 760 мм рт. ст.). Хранится и транспортируется углекислый газ в стальных баллонах под давлением 60—70 атм, находясь в них в жидком состоянии. Баллоны окрашиваются в черный цвет и имеют надпись «Углекислота», сделанную белыми буквами. В стандартный баллон емкостью 40 л вмещается 25 кг жидкой углекислоты, которые при испарении дают 12 600 л газа. Жидкая углекислота занимает 60—80% объема баллона, остальное заполнено газом.

Углекислый газ, применяемый для сварки, должен быть сухим и иметь концентрацию не ниже 98% CO₂, а для сварки ответственных конструкций — не менее 99% CO₂. Для осушки от влаги газ из баллона иногда пропускают через специальный патрон, заполненный обезвоженным медным купоросом, или через силикагелевый осушитель.

В табл. 37 приведены составы различных сортов углекислого газа, выпускаемого промышленностью.

Таблица 37

Состав углекислого газа различных сортов

Наименование составных частей	Состав углекислого газа		
	пищевого (ГОСТ 8050—56)	осушенного	сварочного (по ТУ ЦНИИТМАШ)
Двуокись углерода (CO ₂), в % по объему, не менее . . .	98,5	98,5	99,5
Вода в свободном виде, в % по весу, не более	0,1	Отсутствует	
Вода, растворенная в жидкой углекислоте, в % по весу, не более	не регламентируется	0,04	0,04

Если углекислый газ содержит влагу, то шов получается пористым, а наплавленный металл менее пластичным. Растворимость воды в жидкой углекислоте не превышает 0,05%, поэтому избыточная влага скапливается в виде конденсата на дне баллона.

При пользовании неосушенным углекислым газом следует перед началом сварки дать баллону минут 15—20 постоять в вертикальном положении для того, чтобы влага осела на дно. Первые порции углекислого газа, содержащие наибольшее количество примесей (преимущественно азота), выпускают наружу и затем начинают сварку.

Отбор газа заканчивают при остаточном давлении его в баллоне около 4 атм, так как последние порции неосушенного газа содержат много влаги.

При большом расходе газа (свыше 20 л/мин) возможно вымерзание влаги в каналах редуктора вследствие охлаждения газа, происходящего при понижении его давления в момент прохождения через клапан редуктора, и закупорка редуктора льдом. Для предупреждения этого явления отбор газа при большом его расходе производят из нескольких баллонов, включенных параллельно, или применяют предварительный подогрев газа перед редуктором. Для подогрева газа используют электрические подогреватели, питаемые током 36 в.

Рабочее давление углекислого газа перед поступлением его в горелку может колебаться от 0,5 до 2,5 атм. Для понижения давления газа применяются стандартные кислородные редукторы. Расход газа при сварке контролируют с помощью поплавковых указателей расхода (ротаметров). Применяются ротаметры типов РС-3; РС-3а; ИРКС-6,5 и др.

§ 3. Аппаратура и оборудование для сварки

Комплект оборудования для автоматической сварки в среде углекислого газа состоит из источника сварочного тока, сварочной головки, механизма для подачи в зону дуги проволоки, устройства для перемещения головки или изделия при сварке, баллона или группы баллонов с углекислым газом и газовой аппаратуры (подогревателя, редуктора, расходомера, осушителя).

Схема установки, используемой для полуавтоматической сварки в среде углекислого газа, изображена на рис. 114. Вместо сварочной головки применяется ручной электрододержатель с воздушным или водяным охлаждением.

Для сварки плавящимся электродом в среде углекислого газа применяется постоянный ток обратной полярности. В качестве источников тока при сварке проволокой диаметром 1,6—2,5 мм током более 200 а используются обычные сварочные преобразователи

типов ПС-300, ПС-500 и др., имеющие жесткую или падающую внешнюю характеристику. При сварке проволокой диаметром 1,2 мм и менее, током 180 а применяют селеновые выпрямители ВС-200 с пологопадающей внешней характеристикой. В этом случае можно применять генераторы постоянного тока ЗД-4/30; ЗД-7,5 /30; ЗП-7,5/ 30, предназначенные для зарядки аккумуляторов или самолетные генераторы ГСР-6000; ГСР-9000; ГСР-12000; ГСР-15000; ГСР-18000, генераторы НД для гальванического покрытия и др.

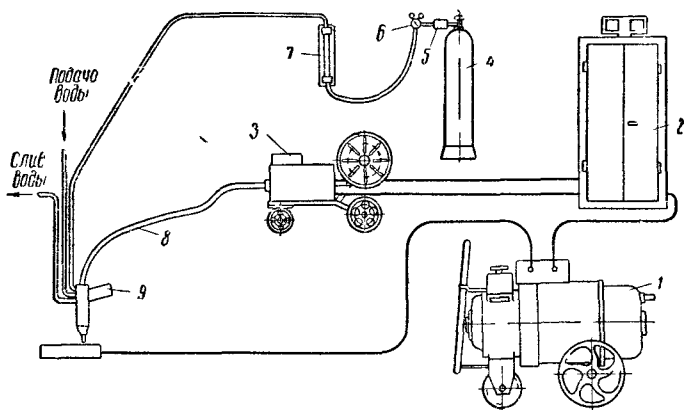


Рис 114. Схема установки для полуавтоматической сварки плавящимся электродом в среде углекислого газа:

1 — сварочный преобразователь постоянного тока, 2 — аппаратный шкаф, 3 — механизм подачи электродной проволоки, 4 — баллон с углекислым газом, 5 — осушитель углекислого газа, 6 — редуктор, 7 — расходомер, 8 — гибкий кабель — штанг, 9 — сварочная горелка (электрододержатель)

Чтобы получить плотный, беспористый металл шва и уменьшить разбрызгивание, необходимо поддерживать наиболее короткую дугу. Дуговая сварка в углекислом газе ведется при постоянной скорости подачи проволоки в дугу и саморегулировании дуги. В этих условиях дуга будет гореть устойчиво, если источник питания имеет жесткую или возрастающую внешнюю характеристику. Возбуждение дуги происходит при напряжении около 20 в и выше. Короткая дуга горит более устойчиво при обратной полярности тока.

Для получения жесткой внешней характеристики у сварочных преобразователей ПС-500 обмотку возбуждения можно отключить от щеток машины и ее концы вывести на клеммную доску. Питается обмотка от отдельного селенового выпрямителя.

Включение в сварочную цепь постоянного тока индуктивного сопротивления (стабилизатора), например стандартного сварочно-

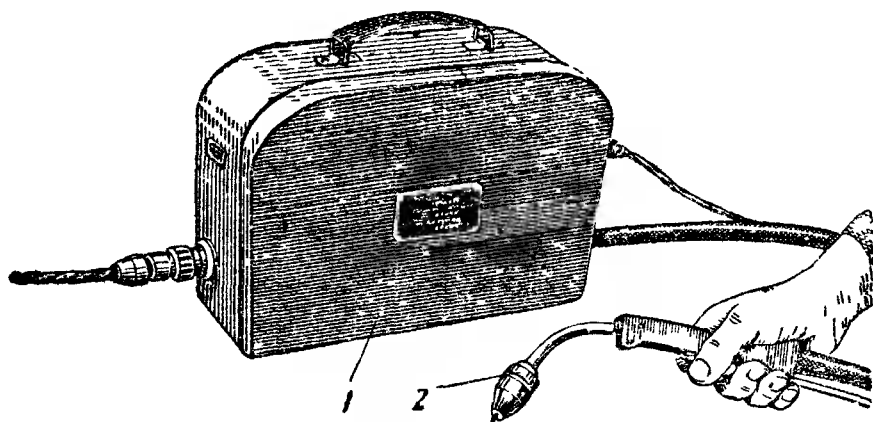


Рис. 115 Полуавтомат А-547 для сварки в среде углекислого газа проволокой 0,8—1,2 мм

1 — чемодан с подающим механизмом и катушкой для проволоки, 2 — держатель

го дросселя РСТЭ-24, уменьшает разбрызгивание металла в 2—2,5 раза, повышает устойчивость горения дуги и допускает сварку металла толщиной 2—3 мм в различных пространственных положениях на малых токах проволокой диаметром 1,6—2 мм.

Наша промышленность выпускает большое количество полуавтоматов и автоматов для сварки в среде углекислого газа. Технические характеристики полуавтоматов приведены в табл. 38.

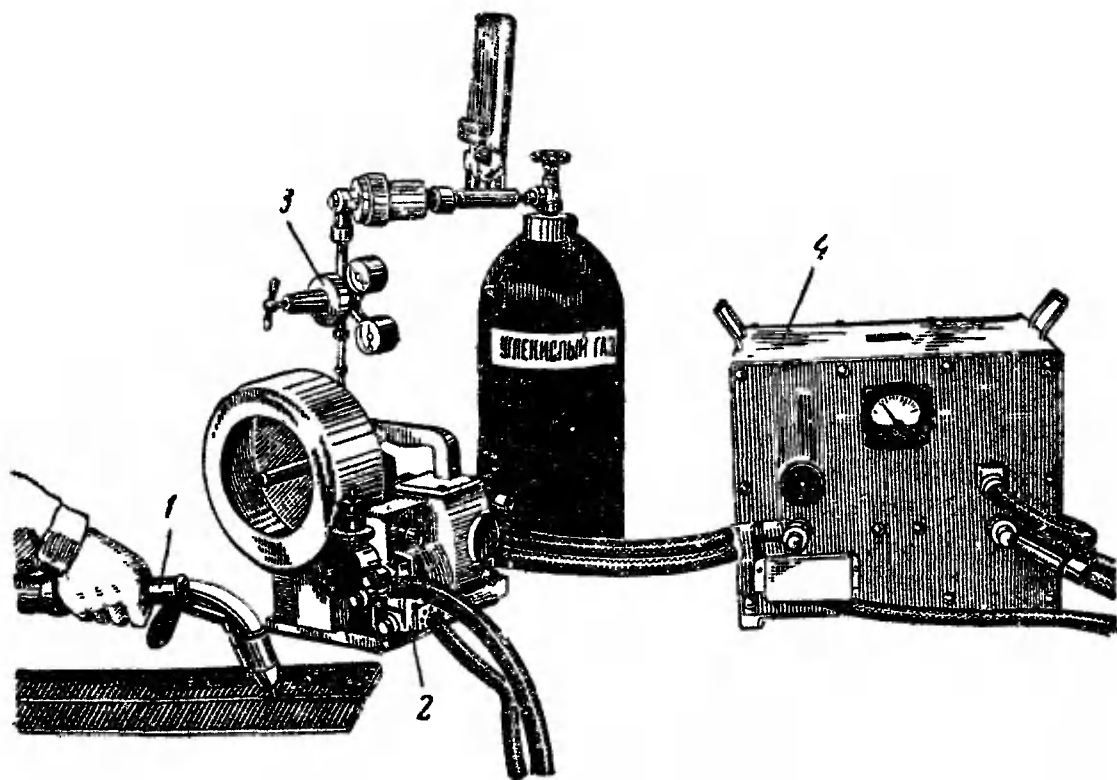


Рис. 116. Полуавтомат А-537 для сварки в среде углекислого газа проволокой 1,6—2,0 мм:

1 — держатель, 2 — механизм подачи проволоки с катушкой для проволоки, 3 — редуктор, 4 — аппаратный ящик

На рис. 115 и 116 показаны сварочные полуавтоматы А-547 и А-537.

Институтом электросварки им. Е. О. Патона разработан также полуавтомат А-547-р, отличающийся от А-547 тем, что все цепи

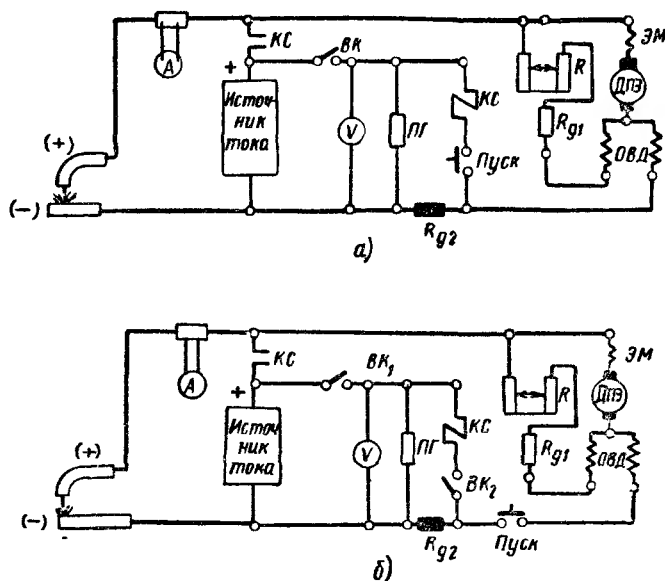


Рис. 117. Принципиальные электросхемы полуавтомата А-547-р:

а — основная, б — видоизмененная с раздельным выключением подачи проволоки и сварочного тока; А — амперметр, V — вольтметр, КС — контактор силовой, BK — выключатель, ПГ — подогреватель газа, R, R_{g1} и R_{g2} — сопротивления, Д_{пз} — двигатель подачи проволоки, ОБД — обмотка возбуждения двигателя, ЭМ — электромагнитная муфта, BK₁ и BK₂ — выключатели

управления у него питаются от цепи сварочного тока и высокое напряжение в аппаратном ящике отсутствует. Электрическая схема полуавтомата А-547-р приведена на рис. 117. При сварке очень коротких швов и толщине металла менее 1 мм, а также при соединении с большими зазорами применяется электрическая схема, изображенная на рис. 117, б. Она отличается от схемы, данной на рис. 117, а тем, что вместо кнопки «пуск» в цепь обмотки возбуждения двигателя включается ножной выключатель (при поустовой сварке) или тумблер (для передвижного поста).

Держатель облегченного типа полуавтомата А-547-р показан на рис. 118. Для устойчивого процесса сварки проволокой 0,5—1,2 мм необходима постоянная скорость подачи проволоки и постоянный вылет конца электрода. Постоянство скорости подачи проволоки обеспечивается подающим роликом без канавки, с мелкой тупой

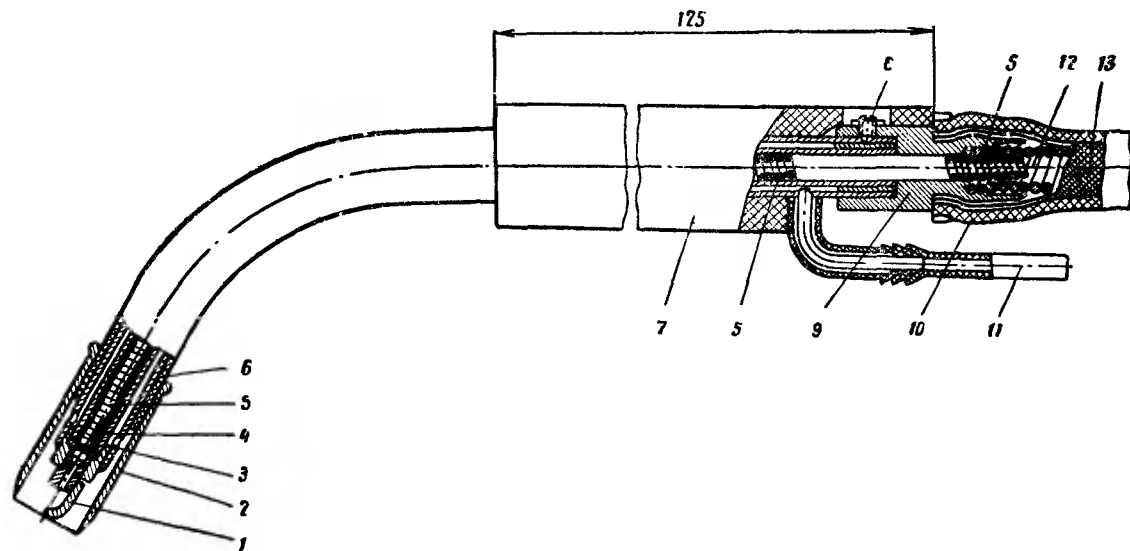


Рис. 118. Держатель полуавтомата А-547-р облегченного типа для проволоки $\varnothing 0,5-1,2$ мм:

1 — наконечник, 2 — сопло, 3 — отверстие для выхода газа, 4 — корпус держателя, 5 — внутренняя спираль, 6 — резиновая изоляция, 7 — ручка держателя, 8 — стопорный винт, 9 — концевая часть шланга, 10 — резиновая изоляция шланга, 11 — газоподводящая трубка, 12 — стопорная спираль, 13 — медная оплетка, являющаяся проводником тока

Полуавтоматы для сварки

Тип	Конструкция	Проволока		Номиналь- ный ток, а	Напряже- ние сети, в	Расход углекисло- го газа, л/час
		диаметр, мм	скорость подачи, м/мин			
A537	Институт электросвар- ки им. Е. О. Патона	1,6—2,5	1,3—1	при ПР— —60% 600 а с водяным и 300 а с воздуш- ным ох- лаждени- ем	380	480—720
A547	То же	0,8—1,2	1,6—4,1	ПР—50 % 150	380	360—480
A547-р	»	0,8—1,0	1,6—6,0	ПР—50 % 150	380	360—480
A607	»	1—1,2	1,6—4,1	ПР—50 % 250	380	360—480

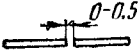
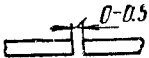
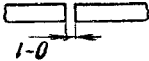
в среде углекислого газа

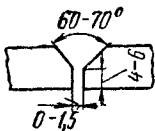
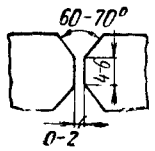
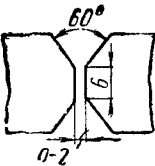
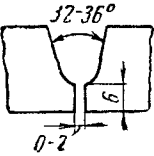
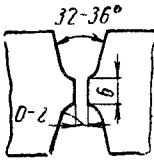
Расход охлаждающей воды л/час	Вес горелки, г		Способ подачи проволоки	Регулирование	Примечания
	с воздушным охлаждением	с водяным охлаждением			
480	—	700	толканием	ступенчатое, коробкой скоростей	Подающий механизм переносный ПШ-54. Автоматическое включение подачи проволоки и начало сварки осуществляются закорачиванием проволоки на изделие
—	150	—	»	плавное	Скорость подачи проволоки равномерная, не зависит от напряжения дуги и регулируется изменением числа оборотов двигателя. Включение тока и подача проволоки осуществляются кнопкой «пуск», установленной на ручке щитка или держателя.
—	120	—	»	»	Контактор, электродвигатель подающего механизма и подогреватель питаются от цепи сварочного тока (высокое напряжение в аппаратуре управления отсутствует)
—	350	—	»	»	Не имеет отдельного источника питания цепей управления. Цепи управления питаются током от сварочного генератора. Нажатием кнопки «пуск» на держателе включается подача проволоки в дугу

Тип	Конструкция	Проволока		Номинальный ток, а	Напряжение сети, в	Расход углекислого газа, л/час
		диаметр, мм	скорость подачи, м/мин			
ПДПГ-300	ВНИИЭСО Завод «Электрик»	0,8—2	1,5—16	ГР—65% 500	220/380	600—1500
ПГШ-2 ПГШ-3	ЦНИИТМАШ »	1,6—2 1,6—2	2—16 3—8	200—500 250—500	220/380 220/380	1000—1500 1000
ПШП-13	НИАТ	0,8—1,2	0,17—17	120	220/380	—
ПГД-2М	МВТУ им Баумана	0,6—1,2	2,3—8	160	220/380	600—1200

Расход охлаждающей воды, л/час	Вес горелки, г		Способ подачи проволоки	Регулирование	Примечания
	с воздушным охлаждением	с водяным охлаждением			
80—100	350	600	толканием	ступенчатое, сменой шестерен	Электрическая схема полуавтомата питается от пониженного трансформатора через выпрямитель. Сварочный ток и предварительная подача газа включаются при касании электродом изделия. При обрыве дуги ток автоматически выключается и подача проволоки прекращается
30—60	440	350	»	плавное	Ролики механизма подачи проволоки вращаются двигателем постоянного тока, регулируемого магнитным усилителем. В шкафу управления размещается: магнитный усилитель, электромагнитный клапан для подачи углекислого газа, два реле, прекращающие сварку при отсутствии в системе углекислого газа и воды; аппаратура управления
30—60	440	550	»	»	
—	440	—	тянущий	»	Механизм подачи проволоки расположен на держателе и имеет малогабаритный электродвигатель
—	1900	—	тянущий	»	

**Подготовка кромок и ориентировочные режимы при сварке стыковых швов углеродистых
и низколегированных сталей в среде углекислого газа**

Толщина металла, мм	Эскизы	Число слоев	Диаметр проволоки, мм	Ток, а	Напряже- ние, в	Скорость сварки, м час	Расход СО ₂ , л мин
0,5—1,0		1	0,5—0,8	50—60	18	20—25	6—7
0,6—1,0		1	0,5—0,8	50—60	18	25—35	6—7
1,2—2,0		1—2	0,8—1,0	70—110	18—20	18—24	10—12
3—5		1—2	1,6—2,0	160—200	27—29	20—22	14—16
6—8		2	2	280—300	28—30	25—30	16—18
6—8	» »	1—2	2	280—300	28—30	18—22	16—18

8—12		2—3	2	280—300 380—400	28—30 30—32	16—20 18—22	18—20 18—20
12—18		2	2	380—400	30—32	16—20	18—22
20		2 4	2—2,5 2—2,5	440—460 420—440	30—32 30—32	16—20 16—20	18—22 18—22
25		10 и более	2—2,5	440—500	30—32	16—20	18—22
40 и более		12 и более	2—2,5 3	440—500 500—750	30—32 34—36	16—20 16—20	18—22 18—22

насечкой. Положение проволоки на ролике фиксируется направляющей и приемной трубками. Расстояние между точкой подвода тока к проволоке и изделием (вылет) должно равняться:

Диаметр проволо-							
ки, мм	0,5	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,5
Вылет, мм	5—8	6—12	7—13	8—15	13—20	15—25	15—30

Если вылет выше указанных пределов, нарушается процесс сварки и увеличивается разбрызгивание металла, а если уменьшен — подгорает наконечник. Постоянство вылета и надежность контакта наконечника и проволоки в месте подвода тока обеспечиваются применением контактных сапожков (рис. 119). В изогнутых наконеч-

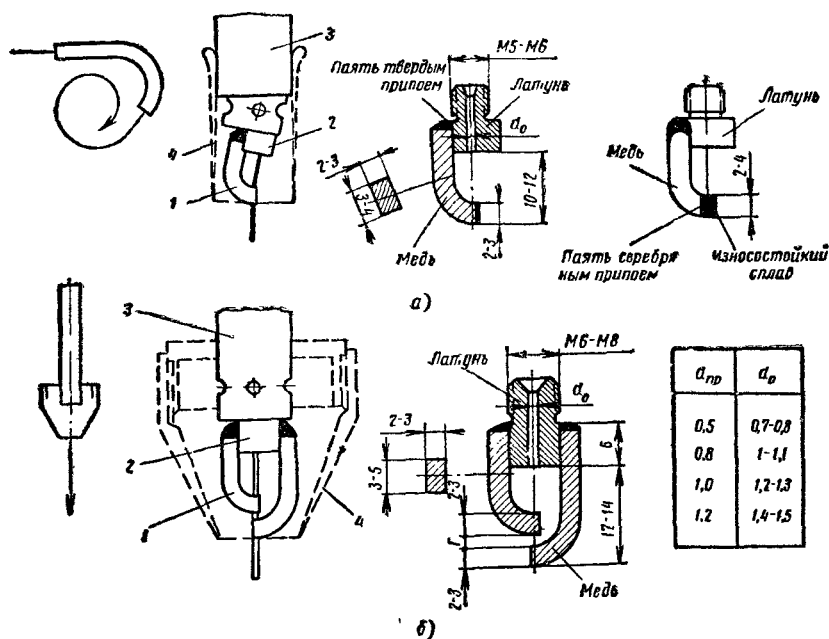


Рис. 119. Типы контактов держателя для изогнутых (а) и прямых (б) мундштуков, для сварки проволокой 0,5—1,2 мм:

1 — контактный сапожок, 2 — наконечник, 3 — мундштук, 4 — сопло

никах применяют один контактный сапожок (рис. 119, а), в прямых — два (рис. 119, б). По мере выработки канавки в сапожках их подгибают. Для повышения стойкости сапожков плоскость контакта напаивают серебряновольфрамовым сплавом на серебряном или медном припое.

§ 4. Технология сварки в среде углекислого газа

Подготовка кромок и ориентировочные режимы сварки стыковых швов углеродистых и низколегированных сталей приведены в табл. 39. В табл. 40 даны режимы сварки угловых швов. Кромки перед сваркой тщательно очищают от грязи, масла, ржавчины и кузнечной окалины, а также от шлаков, остающихся после кислородной резки. Прихватка в процессе сборки должна выполняться электродами с качественным покрытием или в среде углекислого газа.

Для повышения устойчивости горения дуги, уменьшения разбрызгивания, увеличения глубины провара и повышения производительности процесса целесообразнее сварку вести при высоких плотностях тока на электроде, т. е. применять при одном и том же токе более тонкую проволоку. В зависимости от напряжения определяется длина дуги при данной плотности тока. Снижение или повышение напряжения по сравнению с пределами, указанными в таблицах, приводит к чрезмерному укорочению или удлинению дуги и нарушает процесс сварки: обрывается дуга, разбрызгивается металл, появляется пористость и т. д.

Величина напряжения имеет особенно важное значение при сварке тонкого металла (менее 2 мм).

Скорость подачи проволоки практически подбирается такой, чтобы дуга горела устойчиво при заданном токе и напряжении. Расход углекислого газа должен быть таким, чтобы обеспечивалась надежная защита сварочной ванны от окружающего воздуха. В зависимости от этого условия выбирается и наиболее целесообразное положение мундштука относительно поверхности сварочной ванны (угол наклона, расстояние). Расстояние между мундштуком и изделием обычно равно: при токе 60—150 а и напряжении 22 в — 7—14 мм, при токе 200—500 а и напряжении 30—32 в — 15—25 мм. Угол наклона электрода к вертикали должен составлять 15—20°.

Перед началом сварки включают подачу газа и регулируют его расход по расходомеру, продувая одновременно шланги и держатель от остатков воздуха. Вылет электрода в начале сварки устанавливается равным 25—30 мм.

Перемещение электрода при сварке должно быть равномерным. В процессе сварки тонкого металла электрод перемещают только поступательно вдоль шва, при сварке более толстого металла концом электрода делают также и поперечные движения (рис. 120).

Сварщик может вести электрод при сварке слева направо («углом назад») или справа налево («углом вперед»), или «на себя» при перпендикулярном расположении электрода по отношению к плоскости шва; возможен также наклон электрода вперед или назад в пределах 5—20°.

Режимы сварки угловых швов из углеродистых и низколегированных сталей в среде углекислого газа

Толщина металла, мм	Диаметр проволоки, мм	Катет шва, мм	Число слоев	Ток, а	Напряжение, в	Скорость сварки, м час	Расход газа, л мин
1,0	0,5	1,0	1	60	18	18—20	5—6
	0,6	1,2—2,0	1	60	18	18—20	5—6
	0,8	1,2—2,0	1	50	18—19	16—18	6—8
1,5—2,0	0,8	1,5—3,0	1	75	18—20	16—18	6—8
	0,8	2,0—3,0	1	110	19—20	16—18	6—8
1,5—3,0	1,0	1,5—4	1	75—120	18—19	14—18	8—10
	1,2	2,0—6,0	1	90—130	19—21	14—16	8—10
3,0—4,0	1,2	3,0—4,0	1	120—150	20—22	16—18	12—16
	1,6	3,0—4,0	1	150—180	27—29	20—22	12—16
	1,6	5,0—6,0	1	260—280	27—29	20—25	16—17
	2,0	5,0—6,0	1	280—300	28—30	25—30	16—17
	2,0	7,0—9,0	1—2	300—350	30—32	25—30	17—18
5 и более	2,0	9,0—11,0	2	300—350	30—32	25—30	17—18
	2,0	11,0—14,0	3	300—350	30—32	25—30	17—18
	2,0	13,0—16,0	4—5	300—350	30—32	25—30	17—18
	2,0	22,0—24,0	9	300—350	30—32	25—30	17—18
	2,0	27—30	12	300—350	30—32	25—30	17—18
	2,5	7—8	1	300—350	30—32	25—30	17—18

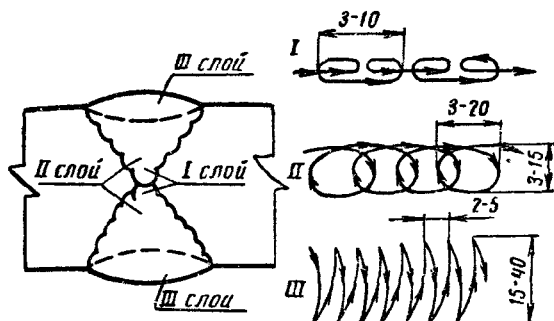


Рис. 120. Перемещение конца проволоки при полуавтоматической сварке Х-образного шва в среде углекислого газа

Диаметр сварочной ванны не должен превышать 30 мм. Сварка справа налево «углом вперед» уменьшает глубину проплавления основного металла и увеличивает ширину валика. Этот способ

предпочтителен при сварке тонкого металла или легированных сталей, склонных к образованию трещин в процессе сварки и при остывании. При сварке угловых швов тавровых соединений угол между электродом и вертикальной стенкой тавра берется равным $25\text{--}35^\circ$. Швы на плоскости, расположенной под углом более 60° к горизонту, а также вертикальные швы при толщине металла менее 2 мм сваривают сверху вниз для того, чтобы давление газов дуги препятствовало стеканию расплавленного металла. При этом целесообразно применять минимальное напряжение и силу тока. Металл толщиной более 2 мм можно сваривать вертикальными швами снизу вверх, наклоняя электрод «углом назад».

Горизонтальные швы сваривают электродом, направленным снизу вверх, без поперечных колебаний, при напряжении 17—18 в. Потолочные швы сваривают электродом в положении «углом назад», используя минимальное напряжение и силу тока, а также несколько увеличивая расход углекислого газа.

Стыковые швы металла толщиной 1,5—3 мм сваривают на весу вертикальным электродом, перемещая его по оси шва. Более тонкий металл (0,8—1,2 мм) сваривают на медной или остающейся стальной подкладке в нижнем положении либо в вертикальном положении без подкладки.

В среде углекислого газа полуавтоматическим способом проволокой 0,8 мм можно сваривать в стык при зазоре до 1,5—2 мм металл толщиной 1—15 мм. С целью предупреждения протекания металла сварщик периодически выключает подачу проволоки на 0,25—0,5 сек, не отводя горелку от ванны; наплавленный металл остывает и не протекает через зазор, кроме того, исключается возможность сквозного проплавления основного металла.

Заканчивая сварку, кратер следует заполнить металлом, затем прекратить подачу проволоки и выключить ток, не отводя горелку и не прекращая подачу углекислого газа до затвердения металла ванны. Чтобы не произошло окисления металла, не следует прекращать сварку отрывом дуги и отводом держателя. Сварка углеродистых и низколегированных конструкционных сталей производится кремнемарганцевой проволокой марок Св-08ГС, Св-08Г2С, Св-12ГС. Состав проволок этих марок приведен в табл. 3.

Проволоки Св-08ГС и Св-12ГС содержат недостаточно марганца, вследствие чего при сварке происходит выгорание не только марганца, но и кремния и в первом слое многослойного шва может появиться пористость. Проволоку Св-08ГС и Св-12ГС можно применять при сварке тонкого металла и изделий небольшого размера с относительно короткими швами. При сварке низколегированных сталей, содержащих для повышения их коррозионной стойкости хром и никель, применяют проволоку Св-08ХГС и Св-10ХГ2С (1% хрома).

Низколегированные стали типа хромансиль толщиной до 4 мм сваривают проволокой Св-18ХГСА, Св-18ХМА и Св-10ГСМТ. Для более толстого металла применяется проволока Св-08Х3Г2СМ, содержащая до 0,10% углерода, 2—2,5% марганца, 0,45—0,75% кремния, 2,0—3,0% хрома, 0,3—0,5% молибдена и не более чем по 0,03% серы и фосфора.

Низколегированные теплоустойчивые молибденовые и хромомолибденовые стали 12ХМ, 15ХМА, 20ХМ, 20ХМА и др. сваривают проволокой Св-08ХГ2СМА, содержащей: до 0,1% углерода, 0,6—0,9% кремния, 1,4—1,8% марганца, 0,8—1,1% хрома, 0,4—0,6% молибдена, не более 0,3% никеля и не более чем по 0,03% серы и фосфора.

Стали, содержащие хром (15ХМА, 20ХМА), свариваются с предварительным подогревом до 250—300° и после сварки подвергаются высокому (при 600—680°) отпуску. Если теплоустойчивая сталь содержит еще ванадий (в обозначении имеется буква Ф, например сталь 12ХМФ), в проволоку вводится 0,25—0,4% ванадия. Изделия из этой стали после сварки также подвергаются термообработке.

Сварка высоколегированных аустенитных хромоникелевых нержавеющей сталей (1Х18Н9Т и др.) в углекислом газе производится проволокой Св-06Х19Н9Т и Св-08Х20Н10Г6. Металл толщиной до 3 мм сваривается на весу и на медной подкладке. Режимы сварки приведены в табл. 41.

Таблица 41

Режимы сварки стали 1Х18Н9Т в среде углекислого газа

Толщина металла, мм	Диаметр проволоки, мм	Ток, а	Напряжение, в	Скорость сварки, м/час	Вылет электрода, мм	Расход газа, л/мин
1,0	0,5	30—40	17	30—45	6	6
1,5	0,8	40—80	17—18	30—40	6	6—7
2,0	0,8—1,2	100—140	18—20	25—40	6—9	6—8
2,5	1,0—1,2	110—150	18—20	20—35	7—9	6—8
3,0	1,2	140—160	19—20,5	20—35	9—10	8—9
3,0	1,6	150—170	23—27	20—35	15	9—12
3,0	2,0	180—190	25—28	25—30	15—20	12—17

Дефекты стального литья (стали 25Л, 30Л и 35Л) заваривают проволокой 1,6—2 мм при сварочном токе 350—420 а, напряжении 28—32 в и расходе газа 15—20 л/мин. Сварку проволокой Св-08ГС ведут узкими валиками по способу «горки» с длиной участков 150—200 мм.

Как уже указывалось, при сварке в среде углекислого газа последний разлагается на окись углерода и кислород. Если сва-

ривают закрытые сосуды, то в них может скапливаться окись углерода и вызвать отравление у сварщика. Углекислый газ тяжелее воздуха, он сосредоточивается в цеху вблизи пола, поэтому необходима хорошая вентиляция свариваемых сосудов и рабочих помещений цеха. При сварке на открытых площадках следует устанавливать ограждения, защищающие место сварки от воздействия ветра, так как ветер сдувает поток углекислого газа, выходящего из мундштука держателя.



ГЛАВА XIV

ДУГОВАЯ СВАРКА ЧУГУНА

§ 1. Особенности сварки чугуна

Сплав железа с углеродом, содержащий от 1,7 до 6,7% углерода, 1—3,5% кремния и 0,3—1% марганца, называется чугуном. В стальном литейном чугуне углерод находится преимущественно в виде прослоек графита, расположенных между зернами сплава. Содержание углерода в литейном чугуне колеблется в пределах 3—3,6%, кремния 1,6—2%, марганца 0,5—1%, серы до 0,12%, фосфора до 0,8%.

Если основная часть углерода находится в чугуне в виде цементита (Fe_3C), то такой чугун очень тверд и трудно поддается обработке.

Кремний в чугуне является графитообразующей примесью и способствует образованию структуры серого чугуна.

Сера является вредной примесью в чугуне, так как способствует образованию трещин при сварке, образуя легкоплавкие прослойки сернистого железа между кристаллами сплава. Сера также способствует образованию цементита в чугуне.

Марганец удаляет серу из чугуна. При содержании марганца до 0,8% он способствует выделению графита, при содержании более 1% — выделению цементита.

Фосфор повышает жидкотекучесть, твердость и хрупкость чугуна. Никель повышает прочность чугуна и способствует выделению графита. Примесь хрома способствует выделению углерода в виде цементита.

В машиностроении широко применяются также высокопрочные чугуны, обладающие наряду с хорошими литейными свойствами также достаточно высокой пластичностью и прочностью при ударных нагрузках.

Их особые свойства обусловлены характером выделения в структуре зерен углерода, которые имеют завитую шарообразную (глобулярную) (модифицированный чугун) или мелкозерни-

стую хлопьевидную и глобулярную форму (ковкий чугун). Сварке, как правило, подвергается серый литейный чугун.

Обычный литейный чугун не обладает пластичностью и плохо выдерживает ударные нагрузки. Сварка чугуна связана с возникновением следующих затруднений:

1. Чугун может давать трещины под действием появляющихся напряжений, особенно в переходной зоне.

2. При расплавлении чугуна может произойти местное превращение графита в цементит, отчего металл в данном месте получает структуру твердого белого чугуна и трудно поддается последующей механической обработке. Это явление называется отбеливанием чугуна. Отбеливание чугуна обусловлено выгоранием кремния, который способствует выделению углерода в виде графита, а также быстрым охлаждением чугуна.

3. Пористостью шва, обусловленной окислением углерода с обильным образованием газообразной окиси углерода. Низкая температура плавления и быстрый переход чугуна из жидкого в твердое состояние не позволяют газам полностью выделиться из металла, отчего шов иногда получается пористым.

4. Образованием пленки тугоплавких окислов кремния, имеющих более высокую температуру плавления, чем основной металл.

5. Жидкотекучестью чугуна, делающей невозможной сварку его в наклонном и вертикальном положениях.

Сварку чугуна производят при ремонтных работах, а также при исправлении литейного брака. Чугунные детали в зависимости от их размеров и формы можно сваривать без подогрева или с подогревом — частичным или полным.

§ 2. Сварка чугуна без предварительного подогрева

Сварка стальными электродами с применением шпилек. Сталь при наплавке на чугун плохо с ним сцепляется ввиду разной их усадки. Кроме того, наплавленная на чугун сталь обогащается углеродом в зоне плавления, становится хрупкой, склонной к закалке и дает при остывании трещины. Поэтому при сварке чугуна стальными электродами для надежного сцепления наплавленного металла с основным на кромках в шахматном порядке на резьбе ставят стальные шпильки, как показано на рис. 121, а. При толщине стенки менее 10 мм шпильки ставят только на нескошенной части кромок. Шпильки сначала обвариваются кругом, после чего шов заполняется наплавленным металлом (рис. 121, б и в).

Диаметр шпилек зависит от толщины стенки: $d = (0,15 \div 0,2)\delta$, где d — диаметр шпильки, а δ — толщина стенки, мм. Шпильки диаметром менее 3 мм не ставят. Расстояние между шпильками составляет $(4 \div 6) d$, глубина посадки $2d$, расстояние от кромок не менее $(1,5 \div 2) d$.

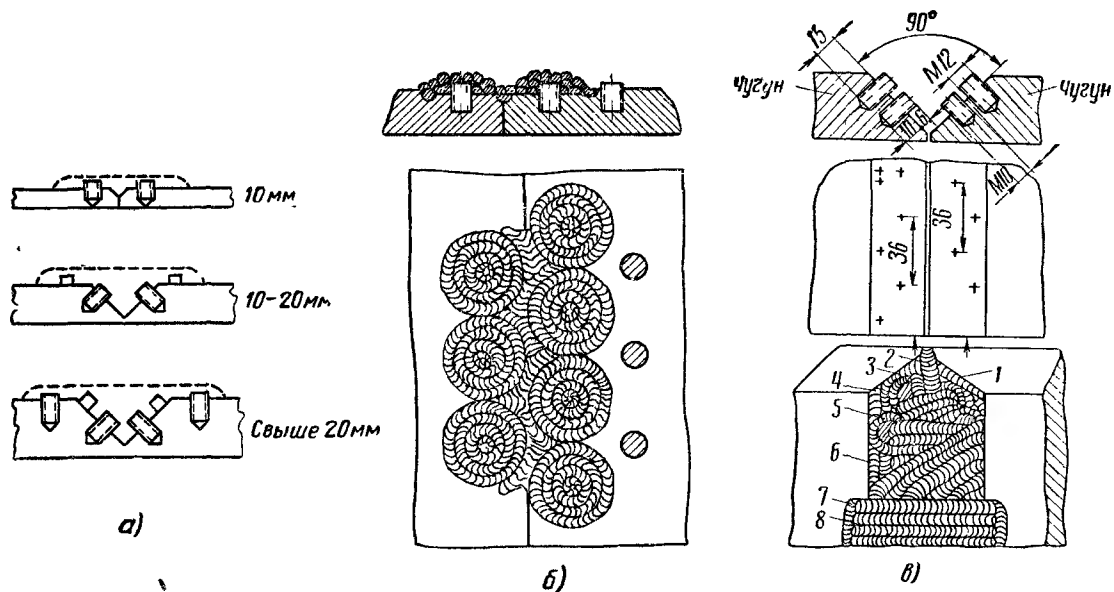


Рис. 121. Сварка чугуна с применением стальных шпилек:

а — установка шпилек при V образной подготовке кромок, *б* — обварка шпилек, установленных в шахматном порядке, *в* — обварка шпилек по способу завода «Красное Сормово»

Сварка чугуна без подогрева стальными электродами с дополнительным креплением стальными шпильками является вполне надежной и применяется при ремонте ответственных крупногабаритных деталей, испытывающих большие нагрузки. На рис. 121, в показана обварка шпилек и порядок наложения валиков (обозначен цифрами) по способу завода «Красное Сормово», примененному при заварке трещин нижнего чугунного кольца направляющего аппарата турбины Горьковской ГЭС.

Во избежание перегрева завариваемой детали и уменьшения выгорания кремния используют постоянный ток обратной полярности. Для уменьшения в деталях внутренних напряжений сварку ведут с перерывами, не давая изделию нагреться выше 100° . Для электродов диаметром 3 мм ток не должен превышать 120 а; диаметром 4 мм — 150 а; 5 мм — 220 а. При сварке чугуна следует применять толстопокрытые электроды, так как шлак замедляет остывание шва, уменьшает выгорание кремния и препятствует отбеливанию чугуна в месте сварки. Хорошие результаты дает покрытие УОНИ-13/55.

При сварке деталей с толстыми стенками для уменьшения количества наплавленного металла и усиления шва рекомендуется в шов вваривать связи из круглой или полосовой стали. Для увеличения площади соприкосновения наплавленного и основного металла верхние слои наплавливают также на наружные поверхности детали в обе стороны от шва на ширину, равную толщине стенки в данном месте.

Сварка стальными электродами с применением специальных покрытий. В качестве электродов используется проволока Св-08 или Св-08А по ГОСТ 2246—60 диаметром 4—5 мм. Покрытие, предложенное П. С. Елистратовым, состоит из 40—50% графита и 50—60% ферросилиция, замешанных на жидком стекле. При расплавлении электроды с таким покрытием дают металл, имеющий структуру серого чугуна и содержащий 3,5—4% углерода и 3—5% кремния. Графит и ферросилиций должны быть размолоты возможно тоньше и проходить через сито с 1600 *отв/см*². Вес покрытия должен составлять 20—30 % от веса проволоки. Для повышения легкоплавкости покрытия на него сверху наносится защитный слой толщиной 0,5—0,6 мм (табл. 42).

Защитный слой плавится одновременно с основным покрытием, растворяя его и способствуя переходу графита и кремния в сварочную ванну. Вместо ферросилиция в покрытие можно вводить

Таблица 42
Состав шихты защитного слоя

Вещества, входящие в защитный слой	Содержание компонентов, %, в составах		
	№ 1	№ 2	№ 3
Полевой шпат	75	50	50
Железная ок- лина	25	40	—
Мел	—	10	—
Плавиковый шпат	—	—	50

60—70% карборунда. Тогда количество графита в покрытии должно составлять 30—40%.

При диаметре проволоки 4 мм используется ток 200 а, при диаметре 5 мм—250 а. Свариваемые кромки скашиваются под углом 45° с притуплением в корне шва, равным 0,5—1 мм. Во избежание возможности протекания жидкого металла зазор между кромками не оставляется.

Я.Я. Синеек вместо одного стального электрода диаметром 4—5 мм предложил применять пучок электродов из 5—10 стальных проволок диаметром 1,7—1,8 мм. Ток берется из расчета 8—11 а на 1 мм² общего сечения проволок в пучке. При этом достигается лучшее взаимодействие капель расплавленного металла и покрытия, обеспечивающее более постоянный и равномерный состав наплавленного металла, близкого по свойствам к серому литейному чугуна.

На Таганрогском котельном заводе применяют предложенные Б. Н. Котовым и М. И. Зуевым электроды из стальных трубок диаметром 12, 13 и 16 мм с толщиной стенки 1,5 мм, заполненные специально приготовленной гранулированной шихтой, а сверху имеющие покрытие. Вес покрытия составляет 23%, а вес шихты — 35% к общему весу электрода. Наплавленный металл приобретает структуру модифицированного высококачественного чугуна.

Шихта имеет следующий состав: 55% чугунного порошка, 2% силикокальция, 5,8% ферросилиция, 4,8% алюминиевого порошка, 21% графита черного, 11,4% железной окалины, 10% жидкого стекла к весу сухой шихты. Состав наружного покрытия: 28% мрамора, 21% плавикового шпата, 25% графита черного, 10,8% известняка, 7,2% магнезии, 8% ферромарганца, 30% жидкого стекла к весу сухой части покрытия. Толщина покрытия равняется 1—1,5 мм на сторону. При сварке чугуна трубчатыми электродами применяются режимы, приведенные в табл. 43.

Таблица 43

**Режимы сварки чугуна
трубчатыми электродами**

Диаметр трубки, мм	Сварочный ток, а	Напряже- ние дуги, в
12×1,5	300—320	40—42
13×1,5	300—350	40—44
16×1,5	350—400	40—46

Таблица 44

**Режимы сварки чугуна
чугунными электродами**

Толщина металла, мм	Диаметр электрода, мм	Сварочный ток, а
До 15	6	270—300
15—30	8	300—400
Более 30	10	450—500

Сварка чугунами электродами. Сварка чугуна голым чугунным электродом без подогрева невозможна, так как металл электрода начинает плавиться раньше, чем основной металл, и, стекая каплями на недостаточно нагретую деталь, застывает, не сплавля-

ясь с основным металлом. Охлаждение расплавленного металла электрода замедляют применением, например, покрытия ОМЧ-1 следующего состава: 25% мрамора, 25% мела, 41% графита, 25% плавленого шпата, 9% ферромарганца, 30% жидкого стекла к весу сухой смеси.

Это и подобные покрытия содержат кремний, способствующий выделению углерода в виде графита и получению в металле шва структуры серого чугуна. Дополнительно остывание можно замедлять введением в покрытие термита*. Чугунные стержни имеют диаметр 6, 8 и 10 мм и следующий состав по ГОСТ 2671—44, марка Б: 3—3,6% углерода, 3,6—4,8% кремния, 0,5—0,8% марганца, до 0,08 серы, 0,3—0,5% фосфора. При сварке используется постоянный ток при обратной полярности. Режимы сварки чугунными электродами приведены в табл. 44.

При заварке мелкие раковины глубиной до 10 мм и длиной до 50 мм полностью вырубает и зачищает. Заварку производят в один прием, начиная с середины раковины; процесс сварки ведут без перерыва. Длина дуги поддерживается равной 4—5 мм, электроды применяют диаметром 6—8 мм.

При холодной сварке чугуна чугунными электродами трудно получить замедленное охлаждение наплавленного металла. Околошовная зона часто становится более твердой и хрупкой вследствие повышенных скоростей охлаждения, что приводит к образованию трещин. Для снижения скорости охлаждения наплавленного металла рекомендуется предварительный подогрев детали до 450—550°. Детали несложной формы достаточно подогревать до 150—200°.

Лучшие результаты дают электроды из легированных никелевых чугунов (табл. 45).

Таблица 45

Состав электродов из легированных никелевых чугунов

Электроды	Состав электродов, %					
	углерода	никеля	кремния	меди	марганца	фосфора
Никелевые . . .	2,04	28,97	1,31	7,62	0,46	0,038
Никель-кремнистые	2,17—2,33	19—22	5,25—6,4	—	0,54	—

Никель не растворяет углерода и не вступает с ним в химическое соединение, но легко сплавляется с железом чугуна. На эти электроды наносится покрытие состава:

	%
Карборунд	70
Углекислый стронций или углекислый барий . . .	30

* Термитом называется порошкообразная смесь из 80% железной окалины и 20% алюминия, которая при сгорании выделяет большое количество тепла.

Жидкое стекло входит в количестве 21,3 см³ на 100 г сухой смеси.

Сварка электродами из монель-металла*. Этот способ дает хорошие результаты и применяется в тех случаях когда место сварки подлежит обработке резцом.

Электроды имеют диаметр 2, 3, 4, 5 и 6 мм и следующий состав: 32—35% меди, 65% никеля, 1% марганца, 2% железа, 0,75% кремния. Применяется покрытие состава: 66% графита, 32,5% мела, 1,5% поташа. Можно также использовать покрытия, состоящие из 40% графита и 60% мела.

Электроды из монель-металла имеют более низкую температуру плавления, чем чугун, поэтому при сварке деталь нагревается незначительно. Монель-металл дает большую усадку, поэтому сварку им ведут короткими валиками длиной до 50 мм с перерывами для охлаждения во избежание излишнего разогрева детали.

Наплавленный металл слегка проковывают в горячем состоянии, что способствует уплотнению шва. При сварке используют постоянный ток при обратной полярности: для электрода диаметром 3 мм ток берется от 90 до 120 а при толщине свариваемого металла от 4 до 20 мм.

При заварке трещины ее кромки оставляют шероховатыми, а концы засверливают. Трещины разделяют под углом 70—90° на глубину до 2/3 толщины стенки. Поверхность рядом с трещиной на ширине 10—15 мм зачищают до металлического блеска. Наличие ржавчины, масла и прочих загрязнений приводит к пористости наплавки.

Лучшие результаты получают при однослойной наплавке короткими участками с проковкой. Последующий участок должен свариваться после охлаждения предыдущего до 40—50°. Можно первые слои сваривать электродами из монель-металла, а последующие — стальными.

В процессе сварки электродами из монель-металла выделяются пары цветных металлов, вредные для здоровья сварщика, поэтому необходима усиленная вентиляция.

Сварка комбинированными электродами. При ремонтных работах, связанных со сваркой чугуна, применяют также комбинированные медно-железные электроды из стального стержня, вставленного в медную трубку. В шве образуется расплав меди с включенными в него шарообразными частицами науглероженной стали. Медь обеспечивает надежное сцепление металла наплавки с основным металлом, а сталь придает шву необходимую прочность. Наилучшие результаты достигаются при наличии в шве 10—15% стали, остальное — медь.

Способ изготовления комбинированных электродов, предложенный П. И. Шориным, следующий: на электродную проволоку Св-08

* Монель-металлом называется медно-никелевый сплав состава: меди 25—35%, никеля 65—70%, железа и марганца (иногда и алюминия) в сумме до 4—5%.

диаметром 3 мм наносят покрытие слоем 0,25 мм. После просушки на воздухе проволоку вставляют в медную трубочку диаметром 4—6 мм и в таком виде используют при сварке. При заварке дефекта в толстостенных чугунных деталях с большим объемом наплавленного металла на наружную поверхность медной трубки наносят покрытие слоем толщиной 0,5 мм, а стальную проволоку берут диаметром 3,5 мм. В качестве покрытия используют смесь из 30 % графита, 40 % ферросилиция и 30 % мела, разведенную на жидком стекле. После просушки на воздухе в течение 5—6 час при температуре 15—18° электроды прокаливают 30—40 мин при 100—120°. Кромки раковины разделяют под углом 45° и на ее поверхность наплавляют комбинированными электродами слой металла толщиной 5 мм. После этого раковину заваривают обычными стальными электродами с покрытием ОММ-5, ЦМ-7; УОНИ-13/45 и др. Сварка ведется на постоянном токе любой полярности. При заварке не следует перегревать деталь.

Применяют также комбинированные медно-железные электроды из медного стержня диаметром 3,5 мм, обернутого жестью в виде ленты толщиной 0,3 мм или покрытого слоем железа толщиной 0,6—0,8 мм электролитическим способом. Соотношение меди и железа в этих электродах составляет: 60—62 % меди, 38—40 % железа. Берется покрытие УОНИ-13/55. Сварка производится постоянным током обратной полярности.

На использовании комбинированных медно-железных электродов основана сварка чугуна по способу А. Г. Назарова. Сварка производится пучком электродов, состоящим из стального электрода с покрытием ОММ-5 или УОНИ-13/55, медного стержня и латунного стержня, связанных проволокой. Лучшие результаты получаются при использовании покрытия УОНИ-13/55. Если покрытие нанесено также и на медный прут, то сварку можно вести на вертикальной плоскости.

Количество и диаметр медных прутков подбирают так, чтобы содержание меди в наплавке составляло от 60 до 70 %. Латунь служит для введения в наплавку цинка, являющегося раскислителем. Сечение медной проволоки или полоски должно быть от 6 до 18 мм², а латунной — от 7 до 10 мм². Сварка ведется на постоянном токе при обратной полярности или на переменном токе с осциллятором. При использовании электрода ОММ-5 диаметром 4 мм, медного прутка диаметром 4 мм и латунного прутка диаметром 3 мм ток равен от 150 до 175 а; при двух электродах ОММ-5 диаметром 5 мм, двух медных диаметром 5 мм и одном латунном диаметром 3 мм—240—260 а.

При сварке медный электрод должен перемещаться впереди стального, покрывая слоем меди наплавляемую поверхность. Пучок электродов должен быть наклонен к детали под углом 35—45°. Для лучшего перемешивания и защиты металла ванны концу электрода сообщают плавные спиралеобразные движения.

При сварке этим способом серого чугуна можно получить достаточно хорошее сплавление и формирование шва, плотную структуру, однако иногда происходит отбеливание переходной зоны, что затрудняет последующую обработку места сварки. Этот недостаток в большинстве случаев является общим для всех способов холодной сварки чугуна электродами со стальными стержнями.

Лучшие результаты получаются при введении железа в покрытие медного электрода. Такой способ разработан П. А. Глуховым и получил распространение на железнодорожном транспорте при ремонте с помощью сварки чугунных деталей. В этом случае берут медные электроды с покрытием УОНИ-13/55, в которые вводится 40—50% железного порошка к весу покрытия. Содержание меди в электроде должно составлять 80—85%. Сварка ведется участками не более 50 мм, с проковкой наплавленного металла после остывания до 60—70°.

Чугун, длительное время работавший при высоких температурах, сваривают с предварительным подогревом кромок до 500—550° горелкой. Сварка производится после полного остывания кромок. Без предварительного подогрева такой чугун плохо сваривается, в нем появляется отслаивание металла шва и пористость.

Опытно-сварочным заводом Мосгорсвархоза выпускаются медно-железные электроды ОЗЧ-1 для холодной сварки чугуна. Институтом электросварки им. Е. О. Патона для холодной ремонтной сварки чугуна разработан электрод из аустенитной хромоникелевой стальной проволоки ОХ18Н9 или ХХ18Н9 с медной оболочкой и покрытием основного типа, например УОНИ-13/55. При диаметре стержня электрода 3,5 мм толщина покрытия равна 0,3—0,4 мм на стору.

Медная оболочка на проволоку диаметром 2 мм наносится совместной протяжкой с медной лентой толщиной 0,8 мм, шириной 12 мм через фильер (оправку с отверстиями). Содержание меди в электроде равно 75—80%. Сварка производится постоянным током 100—120 а при обратной полярности. Наплавка таким электродом дает мягкий чугун с мелкораспределенными включениями железа и меди. Трещин и пор при сварке не образуется.

§ 3. Сварка чугуна с предварительным подогревом

Предварительный подогрев применяют для предупреждения отбеливания чугуна, вызываемого ускоренным охлаждением его в месте сварки. Подогрев способствует понижению скорости охлаждения детали. Температура нагрева зависит от веса детали и ее формы. Иногда достаточно подогреть деталь до 150—200°; детали более сложной формы нагревают до 500—600°. По существу процесс сварки чугуна с подогревом является заливкой детали жидким металлом, расплавленным с помощью сварочной дуги.

Перед сваркой дефектное место тщательно вырубают до неповрежденного металла и зачищают. Вырубка должна иметь плавные очертания без острых углов, в которых жидкий металл может не сплавляться с основным металлом. Свариваемая поверхность должна располагаться горизонтально. Вокруг свариваемого места выкладывают форму из графитовых или угольных пластинок, плотно прилегающих к изделию, препятствующих стеканию расплавленного металла и придающих шву нужные очертания. Иногда применяют форму из кварцевого песка, замешанного на жидком стекле, которая должна быть просушена при температуре 30—50°.

Для подогрева деталь помещают в печь или горн. Если деталь большая, то в полу цеха делают яму и выкладывают ее огнеупорным кирпичом, помещают туда деталь и засыпают древесным углем. Вместо ям можно использовать железные ящики с большим количеством отверстий в стенках для доступа воздуха. В ящик помещают нагреваемую деталь. Чтобы в детали не появились значительные деформации и трещины, подогрев следует вести медленно и равномерно. После нагревания детали до нужной температуры пространство, образованное формой, заполняют расплавленным металлом электрода, причем необходимо во время всего процесса сварки ванну поддерживать в жидком состоянии. Поэтому крупные дефекты заваривают, разбивая их на участки, которые отделяют графитовыми пластинками, плотно пригнанными к поверхности металла.

Соседние участки для обеспечения большей плотности заполняют песком. Чтобы не было перерывов во время смены электродов, сварку часто выполняют два сварщика.

При горячей сварке применяют покрытые чугунные электроды того же состава, что и при холодной сварке; диаметр электродов равняется от 6 до 20 мм. Ток подбирают из расчета 45—50 а на 1 мм диаметра электрода. Применяется как постоянный, но прямой полярности, так и переменный ток.

При сварке необходимо следить, чтобы температура ванны не была слишком высокой или слишком низкой. В первом случае расплавленный металл быстро плавит основной металл («съедает» его), а во втором плохо сплавляется с ним. В перегретую ванну рекомендуется подбрасывать куски электродов для охлаждения; при недостаточном нагреве увеличивать ток и усиливать предварительный подогрев.

Во избежание отбеливания и появления трещин после сварки деталь подвергают медленному охлаждению. Деталь засыпают древесным углем, закрывают асбестом и постепенно снижают температуру в печи или горне. Продолжительность остывания в зависимости от веса и формы детали длится от нескольких часов до нескольких суток.

При сварке чугуна с предварительным подогревом основной и присадочный металл можно расплавлять на постоянном токе 250—450 а с применением угольного электрода. Вследствие большой ско-

рости плавления и обусловленного этим большого объема сварочной ванны этим способом заваривают крупные поверхностные дефекты чугунного литья и исправляют литейный брак. Для удаления окислов кремния при сварке чугуна угольной дугой в качестве флюса используют буру или другие флюсы, употребляемые при газовой сварке чугуна.

Правильное ведение процесса сварки обеспечивает получение в шве плотного однородного серого чугуна, хорошо поддающегося механической обработке. При неправильном проведении сварки можно получить в шве пористый или отбеленный чугун, не поддающийся обработке, хрупкий и склонный к образованию трещин.

Иногда сварка выполняется с нагревом только части детали, находящейся около шва. Такой процесс называется *сваркой с частичным подогревом*. Заварку дефектов в этом случае можно производить одним из вышеуказанных способов.

Сотрудником Ростовского института инженеров транспорта А. И. Зеленовым разработан способ наплавки чугуна чугунным электродом по слою гранулированной шихты следующего состава: 30% стружки чугунной, 28% ферросилиция 75%-ного, 30% алюминия, 12% силикокальцита. Шихта замешивается на жидком стекле, затем сушится, прокаливается при 300° и размалывается в крошку размером 1—3 мм. Толщина слоя шихты при сварке 4—6 мм, при наплавке 8—10 мм, ширина слоя 75—80 мм. Диаметр электрода равен 7—8 мм, ток применяется постоянный или переменный, лучшие результаты дает постоянный ток. Благодаря наличию в шихте графитизаторов и замедленному охлаждению наплавленного слоя металл наплавки получается мягким и хорошо обрабатывается резцом.

Дуговая сварка может применяться также при ремонте деталей из ковкого и высокопрочного чугуна. Ковкий чугун получают из белого чугуна путем длительной термобработки в печах при высокой температуре (томления). По механическим свойствам ковкий чугун близок к стали и способен выдерживать ударные нагрузки. Для сварки деталей из ковкого чугуна применяют электроды из белого чугуна или угольные, а деталь перед сваркой нагревают до $200—400^{\circ}$. Затем сваренную деталь подвергают томлению. Если чугун сваривают после томления, то применяют электроды с обмазкой УОНИ-13/55 или из монель-металла. После сварки детали, подлежащие механической обработке, отжигают при $650—750^{\circ}$.

Высокопрочный (модифицированный) чугун имеет ферритную и перлитно-ферритную основу структуры; ферритный чугун выдерживает напряжение на разрыв $40—50 \text{ кгс/мм}^2$ при относительном удлинении 3—10%, а перлитно-ферритный— $50—60 \text{ кгс/мм}^2$ при относительном удлинении 1—3%. Дуговая сварка высокопрочного чугуна производится железо-никелевыми электродами, содержащими: 0,15% углерода, 0,1—0,3% марганца, 55—60% никеля, 0,15%

кремния, не более 0,035% серы, не более 0,04% фосфора, остальное — железо.

В качестве покрытия используется смесь из 35% доломита, 25% плавикового шпата, 10% графита, 30% ферросилиция. Шихта покрытия замешивается на жидком стекле, составляющем 30—32% к весу сухой части шихты. Сварка производится с предварительным нагревом изделия до 300—350° и возвратным движением электрода для прогрева металла шва. После сварки участка длиной 25—50 мм его проковывают в горячем состоянии. Предел прочности металла, наплавленного таким способом, 24—34 кгс/см², т. е. 50—75% прочности основного металла.

Выбор того или иного способа сварки чугуна зависит от характера и расположения поврежденного места, назначения детали и условий ее работы, производственных возможностей сварочного цеха, состава чугуна и пр.

Существующие способы сварки чугуна продолжают все время совершенствоваться: изыскиваются новые составы электродных стержней и покрытий для них, улучшается сама технология сварки.

Успешно прошли опыты электрошлаковой сварки серого чугуна толщиной 30 мм и выше с применением фтористых флюсов АНФ-6, АНФ-7, 48-ОФ-6 и чугунных или стальных электродов большого сечения. При использовании стальных электродов в ванну вводятся посредством токоподводящего плавящегося мундштука графитизаторы (углерод и кремний). Поэтому плавящийся мундштук должен быть изготовлен из чугуна, содержащего повышенное количество углерода и кремния (до 4,5—5,5% каждого).



ГЛАВА XV

ДУГОВАЯ СВАРКА ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И ИХ СПЛАВОВ

§ 1. Сварка меди

Температура плавления меди колеблется в пределах 1080—1083°. При 400—600° медь становится хрупкой. Она легко окисляется при нагревании, образуя закись меди (Cu_2O). Закись меди дает с медью промежуточный сплав $\text{Cu} + \text{Cu}_2\text{O}$, располагающийся по границам зерен. Так как температура плавления промежуточного сплава на 20° ниже температуры плавления чистой меди, то этот сплав способствует образованию горячих трещин при кристаллизации шва.

Расплавленная медь, содержащая закись меди, в присутствии водорода при затвердевании дает мелкие трещины. Это явление, называемое водородной болезнью меди, возникает вследствие соединения водорода с кислородом закиси меди и образования водяного пара, который при высоких температурах, стремясь расширяться, вызывает появление трещин в металле шва. Трудность сварки меди обусловлена также ее высокой теплопроводностью и жидкотекучестью в расплавленном состоянии.

Чем меньше закиси меди содержится в прокатанной меди, тем лучше она поддается сварке. Примеси мышьяка, свинца, сурьмы и висмута затрудняют сварку меди. Наилучшей свариваемостью обладает электролитическая медь, содержащая не более 0,4% примесей. Литейная медь, содержащая до 1% примесей, сваривается хуже. Хром, марганец, железо, никель и тантал повышают прочность металла шва при сварке меди.

Дуговая сварка ввиду значительной теплопроводности меди требует применения повышенного тока. Сварку производят угольным или металлическим электродом с применением флюсов и покрытий.

Режимы сварки меди угольным электродом приводятся в табл. 46.

Сварку угольным электродом ведут длинной дугой (10—15 мм) на постоянном токе прямой полярности при напряжении 40—55 в.

Во избежание образования закиси меди на границах зерен сварку следует выполнять быстро, без остановок и перерывов, со скоростью не менее 0,25 м/мин. Конец присадочного прутка должен находиться между концом угольного электрода и расплавленной ванной основного металла, не погружаясь в нее. Электрод держат под углом 70—80°, а присадочный прут — под углом до 30° к свариваемому листу.

Расплавляющаяся проволока должна каплями поступать в сварочную ванну. В качестве присадочного металла используют проволоку из чистой (электролитической) меди или из фосфористой бронзы БрОФ9-0,3, имеющей состав: 90,2% меди, 9,27% олова, 0,25% фосфора. Для предохранения металла от окисления и удаления закиси меди применяют флюсы, составы которых приведены в табл. 47.

Таблица 47

Флюсы, применяемые при сварке меди угольным электродом

Вещества, входящие в флюс	Содержание компонентов, %, в составах		
	№ 1	№ 2	№ 3
Борная кислота	—	10	—
Бура	50	68	68
Кислый фосфорнокислый натрий	15	—	15
Кремниевая кислота	15	—	15
Древесный уголь	20	2	2
Поваренная соль	—	20	—

При сварке меди в качестве раскислителей используются алюминий, фосфор и кремний. При сварке прутками из БрОФ9-0,3 можно в качестве флюса применять смесь из 94—96% буры и 6—4% магния металлического в порошке.

Жидкотекучесть меди выше, чем стали, поэтому кромки свариваемых листов нужно соединять плотно, без зазора. Общий угол разделки свариваемых кромок должен равняться 90°. Иногда кромки несколько осаживают, утолщая их для последующей проковки и наклепа с целью размельчения зерен металла сварного соединения.*Медь толщиной более 6 мм сваривают с предварительным подогревом. Листы толщиной от 1 до 3 мм сваривают с отбортовкой кромок, без присадочного металла.

Тонкие листы (менее 5 мм) после сварки проковывают в холодном состоянии, а толстые — при температуре 200—300°. Проков-

Таблица 46

Режимы сварки меди угольным электродом

Толщина металла, мм	Диаметр угольного электрода, мм	Ток, а
1	4	135—180
2	6	195—200
4	6	250—330
6	8	315—430
12	9	420—550

ке подвергается как металл шва, так и переходная зона. Для придания металлу шва вязкости и пластичности после проковки его нужно отжечь, нагрев до температуры 500—550° с последующим быстрым охлаждением в воде. При этом металл шва и околосшовной зоны приобретает мелкозернистое строение.

При сварке меди металлическим электродом применяют медные электроды с покрытиями, в состав которых в качестве раскислителей вводятся ферросплавы: ферромарганец, ферросилиций, кремнистая медь и др. Для защиты обратной стороны шва от окисления в канавку подкладки под швом насыпают флюс того же состава, что и покрытие. Суммарное содержание кремния и марганца в покрытии обычно не превышает 4%. Окись марганца, вступая в соединение с закисью меди, образует жидкоплавкий шлак. В качестве шлакообразующих и стабилизирующих веществ в покрытие вводятся полевой шпат, плавиковый шпат, магнезия, мел и др. Используются также медные электроды с многослойным покрытием. В этих электродах нижний слой покрытия выполнен из флюсов, применяемых при автоматической сварке медных сплавов.

Составы этих флюсов приводились выше. Верхний слой состоит из мелового покрытия (75% мела и 25% жидкого стекла) и служит для повышения устойчивости горения дуги. Сварочный ток равен 50—60 а на 1 мм диаметра стержня электрода. При сварке меди металлическим электродом применяется постоянный ток обратной полярности и наиболее короткая дуга.

Медь, содержащую кислорода не более 0,01%, целесообразно сваривать электродами из меди М1 с покрытием «Комсомолец» следующего состава: 50% ферромарганца, 8% ферросилиция, 10% плавикового шпата, 12% полевого шпата, 20% жидкого стекла (к весу сухой части покрытия). Медь с содержанием кислорода более 0,01% следует сваривать угольным электродом с присадочным прутком из бронзы БрОФ9-0,3.

Применяются также электроды марки ЭТ, разработанные Балтийским судостроительным заводом, со стержнем из кремнемарганцовистой бронзы БрКМц-3-1, содержащей 3% кремния и 1% марганца, и покрытием следующего состава: 17,5% марганцевой руды, 32% плавикового шпата, 16% графита серебристого, 32% ферросилиция 75%-ного, 2,5% алюминия в порошке. Покрытие замешивается на жидком стекле и наносится слоем 0,2—0,3 мм на стержень диаметром 4—6 мм. Сварка ведется короткой дугой на постоянном токе при обратной полярности, ток выбирается из расчета 50 а на 1 мм диаметра стержня электрода.

Способ автоматической сварки меди угольным или графитовым электродом под флюсом разработан Н. А. Ольшанским. Угольный электрод диаметром 20 мм устанавливается в автоматическую сварочную головку, передвигающуюся вдоль шва с постоянной скоростью. Применяется постоянный ток до 1000 а и выше при прямой полярности. Зажимы для электрода охлаждаются водой.

Свариваемые листы помещают на графитовую подкладку и плотно сдвигают. Кромки листов не скашивают. Вдоль кромок укладывают брусочки присадочного металла, а сверху — полосу из латуни ЛТ-90 (меди 90%, цинка 10%), цинк которой служит раскислителем. Присадочный металл и латунь укрепляют поперечными медными проволочками через каждые 150—200 мм. Вдоль шва ставят ограничительные продольные планки зажимного приспособления, прочно удерживающие свариваемые листы и прижимающие к ним поперечные проволочки. Шов засыпают флюсом марки ОСЦ-45, под которым производится сварка.

Режимы автоматической сварки меди под флюсом приведены в табл. 48.

Таблица 48

Режимы автоматической сварки меди

Толщина листов, мм	Ток, а	Напряжение дуги, в	Скорость сварки, м/час
4	780—800	18	22,4
6	900—980	18	22,4
8	1000	18—19	16

Этот способ обеспечивает высокую производительность процесса сварки и хорошее качество металла шва, но требует специальной подготовки изделия под сварку, о чем говорилось выше.

Применяется автоматическая сварка меди под флюсами ОСЦ-45, АН-20 и АН-348А плавящимся электродом диаметром 1,4—4 мм из меди М1, М2 и М3 или кремнемарганцовистой бронзы БрКМцЗ-1. Ток используется постоянный, обратной полярности, 100 а на 1 мм диаметра электрода, напряжение дуги 38—40 в, скорость сварки 15—25 м/час. Для листов толщиной более 8 мм желателен предварительный подогрев, а после сварки — отжиг с быстрым охлаждением.

§ 2. Сварка бронзы, латуни и медноникелевых сплавов

Сварка бронзы. Производится при ремонте, исправлении брака литья или обработки, наплавке. Бронзовые изделия можно сваривать с предварительным подогревом до 350—450° и без него. Прочность бронзы при высоких температурах понижается. Поэтому деталь перед сваркой следует тщательно закреплять во избежание повреждения от случайных толчков и ударов. При нагревании оловянистой бронзы свыше 550° из нее выделяется олово в виде шариков, скользящих по поверхности металла, быстро окисляющихся и образующих белый осадок окиси олова. На месте выделившегося олова остаются пустоты, придающие наплавленному металлу пористость и уменьшающие его прочность.

Дуговая сварка бронзы производится металлическим или угольным электродом в нижнем положении. Сварку металлическим электродом производят на постоянном токе при обратной полярности. При сварке угольным электродом применяют прямую полярность. Ток берут из расчета 30—40 а на 1 мм диаметра металлического электрода. Можно применять и переменный ток, но для большей устойчивости горения дуги выбирать его из расчета 75—80 а на 1 мм диаметра электрода. Сварку ведут возможно быстрее, без перерывов и поперечных движений электрода.

После сварки литые бронзовые детали отжигают при 450—500°. Прокатанную бронзу после сварки проковывают в холодном состоянии для получения плотного и прочного металла шва.

Фосфористую бронзу сваривают металлическими электродами состава: 9—11% олова, 0,5—1% фосфора, остальное — медь. Для сварки оловянистой бронзы берутся прутки, содержащие: 8% цинка, 3% олова, 6% свинца, 0,2% фосфора, 0,3% никеля, 0,3% железа, остальное — медь. Прутки для сварки алюминиевой бронзы имеют состав: 8,5—9,5% алюминия, 1,5—2,5% марганца, 1% железа, остальное — медь.

При сварке фосфористой бронзы в качестве покрытия применяют смесь из 75—80% борного шлака и 25—20% жидкого стекла. Борный шлак получают расплавлением в тигле смеси из 4—5% порошка магнезия и 95—96% плавленой буры с последующим размельчением ее и просеиванием через сито с 900—1000 *отв/см²*. Для сварки алюминиевой бронзы используют покрытие состава: 42% хлористого калия, 20% хлористого натрия, 38% криолита, 20—30% жидкого стекла от веса сухой части покрытия.

Если сварку производят угольным электродом, то в качестве присадочного прутка используют проволоку того же состава, что и при сварке металлическим электродом. Флюсом служит смесь из сухих веществ покрытия приведенного выше состава, которую подсыпают в сварочную ванну.

Наплавка бронзой стальных и бронзовых изделий. Поверхности деталей, работающих на трение, наплавляют литыми или прокатанными электродами из бронзы ОСЦ-5-3-20 или АЖ-9-4 состава:

Марка ОСЦ-5-3-20		Марка АЖ-9-4	
	%		%
Олово	4—5	Алюминий	5—9
Цинк	2—3	Железо	4—5
Свинец	20—21	Медь	остальное
Медь	остальное		

Электроды отливаются в формы при температуре 1200°. Шихту расплавляют в графитовом тигле, на коксовом горне или в электропечи. После отливки поверхность электродов зачищают до металлического блеска. Диаметр электрода 7—8 мм. Наплавка

производится голыми электродами, постоянным током при обратной полярности из расчета 30—35 а на 1 мм диаметра электрода.

Наплавляемая поверхность предварительно очищается с помощью зубила, пескоструя или обработкой на станке, тщательно обезжиривается и посыпается прокаленной при 500—550° бурой слоем 0,5 мм. Наплавку ведут непрерывно, отдельными валиками, при длине дуги 3—4 мм. После наплавки каждый валик тщательно очищают стальной щеткой и проковывают легкими ударами молотка. Наплавку производят в несколько слоев; толщина каждого слоя 2—3 мм. После наплавки деталь медленно охлаждают в сухом песке.

При наплавке электродами из алюминиевой бронзы АЖ-9-4 на электрод наносится покрытие того же состава, что и при сварке алюминиевой бронзы. Толщина слоя покрытия 2—2,5 мм. После сушки на воздухе в течение 8 час электроды с покрытием прокаливают в течение 1,5—2 час при 140°. Наплавку производят на постоянном токе при прямой полярности, равным 40 а на 1 мм диаметра стержня электрода. В процессе наплавки поверхность детали посыпают слоем 0,5 мм сухой порошкообразной смеси, применяемой для приготовления покрытия.

Для наплавки можно применять угольные электроды, используя в качестве присадочного материала прутки из бронзы АЖ-9-4, покрытые указанным выше составом. Сварка ведется на постоянном токе при обратной полярности.

Для угольного или графитового электрода диаметром 10—12 мм ток должен быть 300—350 а. Наплавляемая поверхность засыпается сухим порошком состава: 50% криолита, 25% хлористого калия, 25% хлористого натрия. Длина дуги при наплавке угольным электродом должна равняться 7—8 мм.

Сварка латуни. Латунь представляет собой сплав меди с цинком, имеющий температуру плавления 1060—1100°. При дуговой сварке происходит интенсивное испарение цинка из латуни, что является основной причиной пористости металла шва. В процессе сварки латуни происходит также поглощение расплавленным металлом водорода, который не успевает выделиться при застывании жидкого металла и образует газовые пузырьки и поры. Это создает дополнительную поверхность, увеличивающую испарение цинка и пористость металла шва. Водород попадает в жидкий металл из покрытия или флюса.

При сварке латуни металлическим электродом применяют постоянный ток при прямой полярности. Сварка ведется в нижнем положении очень короткой дугой. Ток для электрода диаметром 5 мм должен колебаться в пределах 250—275 а, скорость сварки — не менее 0,3—0,4 м/мин. После сварки шов проковывают, а затем отжигают при 600—650°. При содержании меди менее 60% проковка производится в горячем состоянии при температуре выше 700°. Если в латуни содержится более 60% меди, проковку

производят в холодном состоянии. Латунь следует сваривать в один слой. Многослойная сварка не рекомендуется, так как приводит к появлению трещин.

В качестве электрода используется проволока из латуни следующего состава: 38,5—42,5% цинка, 4—5% марганца, 0,5% алюминия, 0,5—1,5% железа, 1% прочих примесей, остальное — медь. Проволока имеет покрытие, состоящее из 30% марганцевой руды, 30% титанового концентрата, 15% ферромарганца, 20% мела, 5% сернокислого калия, 35% жидкого стекла к сумме сухих частей обмазки. Покрытие наносится слоем 0,2—0,3 мм. На покрытие, после его затвердевания наносится слой флюса толщиной 0,9—1,1 мм. В качестве флюса берут борный шлак, замешанный на жидком стекле в тех же пропорциях, что и при сварке бронзы.

При сварке латуни угольным электродом используют такие же флюсы и сварочные режимы, как и при сварке меди. Составы присадочной проволоки приведены в табл. 49.

Таблица 49

Присадочная проволока, применяемая при сварке латуни угольным электродом

Вещества, входящие в присадочную проволоку	Содержание компонентов, % в составах			
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
Медь	58—60	58—60	56	60
Олово	0,7—1,0	—	—	—
Кремний	0,2—0,35	0,25—0,35	—	—
Алюминий	—	—	0,1	0,1
Марганец	—	—	0,6	—
Никель	—	2,5—3	—	—
Цинк	остальное	остальное	остальное	остальное

Хорошие результаты при сварке латуни угольной дугой дает проволока из латуни ЛЦМ-40-4,5, содержащая 40% цинка и 4,5% марганца. В этом случае в качестве флюса применяют молотый борный шлак или буру.

Автоматическая сварка латуни плавящимся электродом под флюсом. Этот способ исследован В. Т. Золотых. Сварка осуществляется с помощью сварочных головок или сварочных тракторов, используемых при сварке стали. Возможна шланговая полуавтоматическая и автоматическая сварка. В качестве плавящегося электрода используется медная проволока М1, М2 или М3. Сварка ведется на постоянном токе при обратной полярности. Применяется флюс АН-348Ш или ОСЦ-45; на 100 весовых частей флюса добавляется 10 весовых частей борной кислоты и 20 весовых частей кальцинированной соды, смесь переплавляется и гранулируется. Кромки свариваемых листов обрезают под прямым углом к поверхности листа и перед сваркой зачищают на ширину 50 мм в обе стороны от шва.

Стыкуемые листы собирают в приспособлении, обеспечивающем плотное и равномерное их сжатие по всей длине шва. Зазор между кромками не должен превышать 1 мм. Смещение кромок при сборке (депланация) не должно превышать 1 мм для листов толщиной до 10 мм и 1,5 мм для листов от 10 до 15 мм. Перед сваркой листы прихватывают с помощью того же автомата, на котором производится сварка. Количество прихваток должно быть наименьшим. В процессе сварки прихватки перекрываются основным швом. Начало и конец шва выводятся на планки, временно привариваемые к обоим концам листов. Сварка может быть односторонней и двухсторонней.

Для формирования обратной стороны шва одностороннюю сварку ведут на остающейся подкладке из латуни Л-62 толщиной до 0,8 мм и шириной до 7 мм.

Двухсторонней сварке подвергают листы толщиной свыше 8 мм. Первый слой сваривают на флюсовой подушке. Второй слой сваривают после тщательной очистки первого слоя от окислов и остатков флюса.

Флюс посыпают слоем в 20—30 мм. Вылет электрода из мундштука должен составлять 15—45 мм. Режимы сварки приведены в табл. 50.

Таблица 50

Режимы автоматической сварки латуни плавящимся электродом под флюсом

Толщина листов, мм	Диаметр электрода, мм	Скорость сварки, м/час	Скорость подачи проволоки, м/час	Ток, а	Напряжение дуги, в
3,5	2	16	190	250—280	30—33
4	2	18	200	280—300	30—33
5	2	16	240	300—350	30—33
6	2	18	260	350—400	30—33
10	2	18	335	400—450	32—34
14	2	16	370	450—480	38—42

Предел прочности металла шва при сварке латуни Л-62 этим способом составляет 27—30 кгс/мм², угол загиба не менее 120°. Шов после сварки очищают от остатков флюса и проковывают.

Сварка медноникелевых сплавов. Медноникелевые сплавы, например МНЖ5-1, используются для изготовления труб, устойчивых против действия морской воды, вызывающей коррозию чистой меди и сплавов меди с цинком (латуни). Эти трубы широко применяются в судостроении. Состав сплава МНЖ5-1 следующий: 4,4—5% никеля, 1—1,5% железа, остальное—медь. Содержание в сплаве таких примесей, как мышьяк, сера, свинец и фосфор, не должно превышать 0,01% каждого, сурьмы — не более 0,005%, висмута — не более 0,002%, углерода — не более 0,03% и кислорода — не

более 0,1%. В отожженном состоянии предел прочности этого сплава равен 22—27 кгс/мм², в нагартованном — 47 кгс/мм².

Сварка производится на постоянном токе при обратной полярности. При медленном охлаждении наплавленного металла возможно выделение железа из сплава, что ухудшает его антикоррозийные свойства. Поэтому сварка должна производиться с максимальной скоростью за один проход и без задержки электрода на одном месте.

В качестве электрода применяется медноникелевая проволока из сплава МН5 с покрытием состава: 17,5% марганцевой руды, 32,1% плавикового шпата, 16,1% серебристого графита, 32,1% ферросилиция пассивированного, 2,2% алюминия в порошке. Толщина покрытия 0,4 мм. Режимы сварки медноникелевых сплавов приведены в табл. 51.

Таблица 51

Режимы сварки медноникелевых сплавов

Толщина стенки трубы, мм	Диаметр электрода, мм	Ток, а	Длина электрода, мм
2,5	3	110—120	250—270
3	3	110—130	270—300
5	4	160—200	300—350

Особенно вредной примесью в никеле является сера, образующая сернистый никель (NiS), располагающийся по границам зерен и способствующий образованию трещин. Применение проволоки марки НМц-2,5, содержащей 2,5% марганца, уменьшает вредное влияние серы, так как марганец связывает серу, образуя с ней соединение MnS, более тугоплавкое, чем NiS. Однако марганец ухудшает устойчивость никеля против коррозии. При сварке проволокой НМц-2,5 применяется покрытие УОНИ-13/45. Проволокой НМц-2,5 или проволокой из чистого никеля Н1 можно сваривать никель автоматически с применением бескислородных флюсов БКФ и БКФТ.

§ 3. Сварка алюминия и его сплавов

Температура плавления чистого алюминия 657°. Алюминий обладает высокой теплопроводностью и электропроводностью. В процессе нагревания легко образует окись алюминия, плавящуюся при температуре 2060°. В технике используются различные сплавы алюминия, например с марганцем (сплавы АМц), медью (сплавы Д), кремнием (сплавы АЛ и АК), магнием (сплавы АМг). Они отличаются большей прочностью, чем чистый алюминий, а некоторые из них, например сплав АЛ (силумин), хорошо отливаются.

Алюминий и большинство его сплавов типа АМц и АМг хорошо поддаются сварке.

Сплавы типа дуралюмина (сплавы Д), например Д16Т, свариваются плохо. Это обусловлено тем, что в сварном шве получается структура литого металла, прочность которого в два раза меньше прочности основного прокатанного металла. Кроме того, вследствие значительной усадки металла шва и его низкой пластичности, так же как и основного металла, в процессе сварки в швах часто возникают трещины.

Тепловое действие при сварке вызывает отжиг основного металла, что приводит к снижению показателей его механических свойств.

Дуговую сварку алюминия и его сплавов выполняют как угольным, так и металлическим электродами. Для удаления тугоплавкой пленки окиси алюминия применяют флюс, подсыпaeмый в шов при сварке угольным электродом, наносимый на металлический электрод в виде покрытия при ручной сварке или насыпaeмый на шов при автоматической сварке. Наибольшее распространение имеет флюс АФ-4А состава: 28% хлористого натрия, 50% хлористого калия, 14% хлористого лития, 8% фтористого натрия.

В качестве присадочной проволоки при сварке угольным электродом применяют прутки из алюминия А0 и А1 или из алюминиевых сплавов АМц или АК (содержащие 5% кремния) по ГОСТ 4784—49.

Кремний делает присадочный металл более жидкотекучим, а также уменьшает усадку и возможность образования трещин. При сварке проволокой АК металл шва получается менее пластичный с пределом прочности около 10 кгс/мм^2 , относительным удлинением около 90% и более хрупкий. Сплав АМц содержит от 1 до 1,6% марганца, остальное — алюминий. Металл шва при сварке проволокой АМц имеет предел прочности около 11 кгс/мм^2 , относительное удлинение 12%. В качестве металлического электрода применяют также проволоку из алюминия А0 и А1 или сплавов АМц и АК.

Чтобы шлак и остатки флюса не разъедали поверхность металла, их после сварки удаляют щеткой, а затем шов промывают горячей водой.

Режимы сварки алюминиевых сплавов приведены в табл. 52.

Составы покрытий, применяемых при сварке алюминия металлическим электродом, приведены в табл. 53.

Использование жидкого стекла для этих покрытий не допускается. Вместо него применяют декстрин. Покрытие № 1 не требует связующего вещества и разводится в воде (50 см^3 воды на 100 г сухого вещества). Разведенный на воде замес тщательно размалывается в шаровой мельнице, а затем в виде коллоидного раствора наносится на электрод. Электроды сушат на воздухе, а затем их прокалывают при $140\text{—}150^\circ$ в течение $30\text{—}40 \text{ мин.}$ Толщина слоя покрытия № 1 и № 3 берется равной $1\text{—}1,2 \text{ мм}$, а № 2— $0,4\text{—}0,5 \text{ мм}$. Вместо пок-

Таблица 52

Режимы сварки алюминиевых сплавов

Режимы сварки			
для угольных электродов		для металлических электродов	
Диаметр электродов, мм	Ток, а	Диаметр электродов, мм	Ток, а
8	120—200	4	150—180
10—12	200—280	5	250—320
12—15	280—370	6	300—400
15	370—450	8	400—550
20	500	—	—

Таблица 53

Покрyтия, применяемые при сварке алюминия и его сплавов

Вещества, входящие в покрытие	Содержание компонентов, %, в составах		
	№ 1 для сварки алюминия (сплавы АМц)	№ 2 для сварки дуралюмина (сплавы Д)	№ 3 для сварки силумина (сплавы АЛ)
Хлористый натрий	20	27,2	12,5
Хлористый калий	50	—	50
Криолит*	30	45,5	35
Хлористый литий	—	18,2	—
Сернистый натрий	—	9,1	2,5

* Криолит — твердое вещество, добываемое из недр земли и содержащее 13% алюминия, 54% фтора и 33% натрия.

рытия № 1 можно применять смесь из 65% флюса АФ-4А и 35% криолита.

Листы толщиной до 1,5—2 мм сваривают с отбортовкой кромок без присадочного металла; листы толщиной от 3 до 5 мм сваривают без скоса кромок. При толщине листов свыше 5 мм применяют односторонний скос кромок с углом раскрытия 60°.

При ручной сварке зазор между кромками должен быть:

Толщина листов, мм . .	до 12	14—20	25 и более
Зазор, мм (не более) . .	1	2	2,5
Местные зазоры на длине до 300 мм (не более) .	до 3	до 4	до 4

Если сварка выполняется проволокой АМц, то перед сваркой и во время ее кромки листов толщиной 18—25 мм подогревают до 300—400° и до 200—300° при сварке проволокой АК. Температуру нагрева контролируют термокарандашом или свинцовой проволокой.

Длина нагреваемого участка должна быть не менее 200 мм. Сварка производится на поддерживающих подкладках постоянным током при обратной полярности из расчета 45—55 а на 1 мм диаметра электрода. Металл толщиной до 14 мм сваривается электродом диаметром 6 мм при токе 300—400 а, металл толщиной свыше 14 мм — электродами диаметром 8 мм при токе 400—550 а. При толщине до 14 мм шов сваривается в 1—2 слоя, при толщине свыше 14 мм — в 2—3 слоя. Сварка производится в нижнем и полувертикальном положениях.

Для получения мелкозернистой структуры металла шва охлаждение детали после сварки должно быть замедленным. После остывания сварной шов следует слегка проковать.

Чтобы уменьшить внутренние напряжения деталей из литых сплавов, их после сварки отжигают при 300—350° с последующим медленным охлаждением.

Листы из алюминиевого сплава АМц средних толщин (8 мм и выше) подвергают автоматической и полуавтоматической сварке по флюсу плавящимся электродом из проволоки АМц. Диаметр проволоки равен 2,5—3,5 мм, применяется флюс состава № 1 (см. табл. 53). Высота слоя флюса должна равняться 10—35 мм. Сварка ведется на постоянном токе при обратной полярности. Берется ток 320—440 а, напряжение дуги 38—44 в, скорость сварки 12—20 м/час, вылет электрода 25—45 мм. За один проход обеспечивается проплавление листов на 2/3 их толщины. Сварка производится с двух сторон, по одному проходу с каждой стороны. Первый шов сваривается на стальной подкладке, плотно прижатой с помощью сварочного приспособления к свариваемым листам. Листы собирают с зазором не более 2 мм и укладывают при сварке горизонтально или с наклоном не более 15 мм на 1 м.

После сварки шлаки и остатки флюса удаляют, промывая поверхность шва горячей водой и протирая волосяными и стальными щетками или хлопчатобумажными концами. В случае необходимости для лучшего удаления остатков флюса поверхность швов травят 5%-ным раствором азотной кислоты, затем промывают горячей водой и просушивают.

Отдельные дефекты в швах вырубают, вышабривают или выверливают и в случае необходимости заваривают дуговой сваркой металлическим электродом или аргоно-дуговой сваркой.

При сварке сплава АМц могут образовываться горячие трещины, если основной металл содержит примеси: железа свыше 0,25% и кремния свыше 0,2%. При содержании железа и кремния менее 0,25% каждого следует применять электродное покрытие с добавкой 3% 45%-ного ферросилиция, просеянного через сито с 900 от/см². Это покрытие имеет марку А1Ф и следующий состав: 33% криолита, 32% хлористого калия, 18% хлористого натрия, 9% хлористого лития, 5% фтористого натрия, 3% ферросилиция. При автоматической сварке полуоткрытой дугой сплава АМц, в составе которого

находится менее 0,25% железа и кремния, применяется флюс АН-А1Ф, содержащий 1,5% ферросилиция.

Автоматическая сварка алюминия по слою флюса является современным процессом, значительно улучшающим технологию изготовления сварных сосудов и аппаратов из алюминия. Наилучшие результаты по чистоте и качеству металла шва дает аргоно-дуговая или гелие-дуговая сварка алюминия вольфрамовым или плавящимся электродом.

Сварка литых алюминиевых сплавов (типа силумин) производится по той же технологии, что и прокатанных сплавов, но с предварительным подогревом до 250—300°.

§ 4. Сварка магния и его сплавов

Магний используется в виде сплавов (деформируемые магниевые сплавы МА) с марганцем, цинком и алюминием. Например, сплав МА-1 содержит 0,3% алюминия, 1,3—2,5% марганца, 0,1% цинка, 0,3% кремния, по 0,05% железа и меди, остальное — магний. Сплав МА-5 содержит 7,5—9,3% алюминия, 0,15—0,5% марганца, 0,2—0,8% цинка, по 0,15% меди и железа, до 0,25% кремния, остальное — магний.

В литейные магниевые сплавы входит до 1—1,5% кремния (сплав МЛ-1) или 1—2% марганца (сплав МЛ-2). Сплав МЛ-6 содержит 9—10% алюминия, до 2% цинка, 0,15—0,5% марганца, остальное — магний. Сплавы магния очень легки (удельный вес 1,76—1,8) и достаточно прочны. В настоящее время разработаны способы сварки магниевых сплавов, дающие вполне удовлетворительные швы. Температура плавления магниевых сплавов 460—650°.

Ввиду большой склонности к окислению магниевые сплавы при зажигании дуги могут легко воспламениться и сгорать без расплавления, образуя белый налет окиси магния. Обычно сварку магниевых сплавов ведут угольной дугой. Применяя те же флюсы, что и при сварке алюминия, можно предупреждать это явление. Лучшие результаты дают флюсы, содержащие до 50% фтористых соединений. Флюс разбавляется водой и наносится кисточкой на кромки изделия непосредственно перед сваркой. Кромки и присадочный пруток должны быть очищены от слоя окиси магния шабером или протравлены в 10%-ном растворе азотной кислоты в течение 2—3 мин при 50—60°, после чего промыты в 10%-ном растворе едкого калия или натрия, а затем в проточной воде. При сварке применяют постоянный или переменный ток.

Для стыковых швов режимы сварки следующие:

Толщина металла, мм . . .	0,8	1,5	2	2,5
Ток постоянный при прямой полярности, а	15	75	78	95
Скорость сварки, см./мин .	55	22	22	17

Металл толщиной 0,8 мм сваривается в стык с отбортовкой кромок без присадочного материала. Металл толщиной свыше 0,8 мм сваривается с применением присадочного прутка. Факел угольной дуги должен направляться на конец присадочного прутка, а дуга перемещаться вдоль шва быстро в соответствии со скоростью расплавления кромок и прутка. Стыковые швы свариваются на подкладках из нержавеющей стали, снабженных продольными канавками для формирования обратной стороны шва. Тонкие листы должны перед сваркой собираться плотно, без зазоров.

После сварки изделие промывается теплой водой и на его поверхность наносится защитная пленка путем оксидирования в водном растворе из 2% бихромата калия, 0,1% хлористого аммония, 3% азотной кислоты при температуре 70—80°.

Разработаны способы дуговой сварки магниевых сплавов металлическим электродом. Подготовка листов при этом производится так же, как и при сварке угольной дугой. В качестве покрытия применяется шихта из фтористых солей или смеси их с хлористыми солями. Содержание фтористых солей должно составлять 10—30%. Покрытие разводится на воде и наносится на проволоку из магниевого сплава, соответствующего по составу свариваемому металлу, слоем 1—1,1 мм при диаметре проволоки 4 мм и 1,4 — 1,5 мм при диаметре 8 мм.

Во избежание растрескивания покрытия электродная проволока предварительно протравливается плавиковой кислотой и промывается горячим раствором двуххромовокислого калия или хромового ангидрида. Покрытые электроды сушатся при медленном нагревании до 250—300° и хранятся в герметической упаковке. Если покрытие состоит только из фтористых солей, то его расплавляют и в расплавленное покрытие погружают предварительно обезжиренную проволоку.

Сварка производится только в нижнем положении постоянным током при прямой полярности. Возможно использование для сварки переменного тока с напряжением холостого хода не ниже 100—120 в. Во избежание прожогов металла электрод следует передвигать с возможно большей скоростью. Производится предварительный подогрев детали до 200°. Применяются стальные подкладки. Листы собираются на прихватках в специальных приспособлениях (кондукторах).

Величина тока в зависимости от диаметра электрода следующая:

Диаметр электрода, мм	3,5	4	4—5	5—6	6—7	8—10
Ток, а	50—60	65—70	70—85	90—110	120—150	160—200

После сварки деталь подвергается медленному охлаждению, промывке теплой водой и оксидированию тем же способом, что и при сварке угольной дугой. Такой способ сварки для сплава МА-1 обеспечивает предел прочности сварного соединения 12—14 кгс/мм²,

а при сварке с проковкой — 18—19 кгс/мм². Проковка ведется при нагревании изделия до 200—300°. Наилучшие результаты дает дуговая сварка магниевых сплавов в защитной среде аргона или гелия.

§ 5. Сварка титана и циркония

Т и т а н обладает малым удельным весом (4,5 г/см³), значительной прочностью, равной 42—54 кгс/мм², и высоким относительным удлинением, достигающим 15—30 %. Эти свойства обеспечивают широкое применение титана в машиностроении и приборостроении. Технический титан и его сплав содержат 0,08—0,6 % углерода, 0,3—2,15 % железа, 1—4 % марганца, 0,74—4 % хрома. Например, титан ВТ1Д может содержать до 0,06 % углерода, 0,12 % алюминия, следы железа и кремния, 0,013 % водорода, 0,13 % кислорода. Предел прочности таких сплавов составляет 84—126 кгс/мм² при относительном удлинении от 5 до 20 %.

Основная трудность при сварке титана состоит в склонности его вступать в соединение с кислородом, азотом и водородом при высоких температурах нагрева. Наилучшие результаты получаются при сварке титана вольфрамовым электродом в среде инертных газов (аргона, гелия) высокой чистоты. Содержание кислорода в аргоне и гелии должно быть не более 0,05 %, азота — не более 0,2 %.

Перед сваркой поверхность кромок и присадочного металла следует протравить в течение 10 мин в смеси из 35 % соляной кислоты, 5 % плавиковой кислоты и 60 % воды. При сварке применяются подкладки, помещаемые с обратной стороны шва. Подкладки имеют канавки, в которые подается струя защитного газа. Сварку ведут на постоянном токе при обратной полярности с максимальной скоростью. Для металла толщиной 0,8—3 мм применяется ток от 40 до 140 а при напряжении дуги 14—18 в. Расход аргона в дуге 8—12 л/мин, для защиты обратной стороны шва 3—5 л/мин, скорость сварки 18—25 м/час.

Титан и его сплавы можно сваривать с помощью автоматов под бескислородным тугоплавким флюсом АН-Т на переменном и постоянном токе электродной проволокой из титана.

Основу флюсов для сварки титана составляют фтористый кальций, хлористый барий и фтористый натрий. Лучшие результаты получаются при сварке на постоянном токе при обратной полярности. Режимы сварки титана под флюсом приведены в табл. 54.

Титан и его сплавы хорошо соединяются также точечной, шовой и стыковой контактной сваркой.

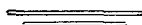
Ц и р к о н и й обладает высокой пластичностью и хорошо сопротивляется действию кислот различной концентрации. Трудность сварки циркония заключается в активном поглощении им кислорода, азота и водорода в нагретом состоянии. Сварка циркония, как и титана, производится в среде особо чистых защитных газов (ар-

Режимы сварки титана

Толщина свариваемого металла, мм	Диаметр электрода, мм	Напряжение дуги, в	Ток, а	Скорость сварки, м/час
1,5—1,8	2	30—34	160—180	60—65
2,8—3	2—2,5	32—38	230—340	50
4—5	3	30—32	310—340	50

гона и гелия) на медной, охлаждаемой водой подкладке и с подачей защитного газа к обратной стороне шва. Лучше всего сварку циркония производить в специальной камере, заполненной аргоном.

При сварке листов толщиной 0,8 мм с отбортовкой применяется ток переменный 55 а, постоянный 45 а. При толщине листов 1,5 мм переменный ток равен 65 а, постоянный 55 а, диаметр присадочной проволоки 1,3 мм. Расход аргона составляет около 7 л/мин. Чистота аргона должна быть не ниже 99,8%.



ГЛАВА XVI

НАПЛАВКА ТВЕРДЫМИ СПЛАВАМИ И МЕТАЛЛАМИ

§ 1. Твердые сплавы

Для повышения твердости и износоустойчивости трущихся поверхностей деталей и рабочих кромок режущего инструмента их наплавляют твердыми сплавами или специальными электродами. Наплавка производится электрической дугой или пламенем сварочной горелки.

Применяются следующие виды твердых сплавов:

- 1) литые — в виде стержней: сормайт, смена, стеллит и др.;
- 2) зернистые — в виде крупки 1—3 мм: сталинит, вокар, виском и др.;
- 3) металлокерамические — в виде пластин, например победит и др.;
- 4) наплавочные электроды.

Составы некоторых литых и зернистых твердых сплавов приведены в табл. 55.

Сормайт № 1 не требует термообработки после наплавки и может обрабатываться резцом. Твердость наплавки 40—50 единиц по Роквеллу*. Сормайт № 2 менее хрупок, чем сормайт № 1. После отжига он может обрабатываться резцом. После закалки приобретает высокую твердость.

Наличие вольфрама и кобальта в стеллитах удорожает их, и поэтому стеллиты применяются реже сормайта.

Сталинит — дешевый сплав, нашедший широкое применение в промышленности. Твердость наплавки 56—57 единиц по Роквеллу.

* Твердость металлов измеряют специальными приборами Роквелла и Бринелля. Она выражается в условных единицах по Роквеллу (обозначается *HRC*, *HRA*, буквы *B*, *C* и *A* обозначают применяемые шкалы) или в кгс/мм² по Бринеллю (обозначается *HB*). Чем больше число единиц твердости, тем твердость выше.

Таблица 55

Составы твердых сплавов

Наименование сплава	Химический состав, %									Примечание
	углерод	кремний	марганец	хром	воль-фрам	кобальт	никель	сера и фосфор	железо	

Л и т ы е

Сормайт № 1 . .	2,5—3,3	2,8—4,2	1,5	25—31	—	—	3—5	0,08	Остальное	Прутки диаметром 5 — 6 мм, длиной до 250 мм
Сормайт № 2 . .	1,5—2	1,5—2,2	1,0	13—17,5	—	—	1,3—2,1	0,07	То же	То же
Стеллит ВК-3 . .	1—1,5	2,75	—	28—32	4—5	58—62	2	—	»	»
Стеллит ВЗК-ЦЭ	1,7—2,1	2—2,5	—	28—32	4—5	59—65	—	0,08	»	»
Смена № 2 . . .	3,8—4,8	1	1	28—32	18—22	—	30—35	0,08	»	»

З е р н и с т ы е

Сталилит	8—10	До 3	13—17	16—20	—	—	—	—	»	Крупка в зернах 1—2 мм
Вокар	9—10	До 0,5	—	—	85—87	—	—	—	»	То же, зерна 1—3 мм
Висхом	6	—	15	5	—	—	—	—	Остальное (стружка)	То же

Вокар обеспечивает твердость наплавки 60—63 единицы по Роквеллу. Вокар — дорогой сплав, поэтому применяется в основном для наплавки рабочей части бурового инструмента.

Виском — дешевый сплав, не содержащий фольфрама, находит широкое применение для наплавки деталей сельскохозяйственных машин (лемехов, плугов, дисков, зубьев борон и пр.).

Широко используют для наплавки специальные электроды с покрытиями, обеспечивающими получение наплавленного металла с требуемыми показателями по твердости и износоустойчивости. Наиболее простыми из этих покрытий являются:

1. Хромистое — содержащее 70% феррохрома, 15% графита и 15% меди.

2. Марганцовистое — содержащее 75% ферромарганца, 15% графита и 10% меди. Покрытие замешивают на водном растворе жидкого стекла, который берется в количестве 9 л на 1 кг сухой смеси. Отношение количества жидкого стекла к количеству воды в растворе для хромистого покрытия равно 1 : 3, а для марганцовистого 1 : 2.

3. Сталинитовое — содержащее 72% сталинита, 10% плавикового шпата, 6% полевого шпата, 12% мела. Отношение жидкого стекла к воде в растворе равно: при машинном способе нанесения покрытия 1 : 1, при ручном 2 : 3. Толщина слоя покрытия 0,8—1 мм.

Получили распространение наплавочные электроды из малоуглеродистой проволоки с легирующими покрытиями, предложенными инженером Б. М. Конторовым. Состав покрытий для электродов Конторова приведен в табл. 56. Электроды Т-268, Т-590 и Т-600 относятся к группе самозакаливающихся и дают при наплавке твердый металл. Электроды Т-540 дают наплавленный металл, твердость которого может быть снижена путем отжига. После обработки режущим инструментом твердость наплавки можно повысить закалкой и отпуском. Электроды Т-590 и Т-600 применяются для наплавки только в нижнем положении, а Т-268 и Т-540 — для наплавки также и на вертикальной поверхности.

Применяется большое количество типов электродов со стержнем из легированной стали и защитным покрытием, назначением которого является уменьшение выгорания легирующих элементов при наплавке. К ним, например, относятся электроды ЦНИИТМАШ марки ЦШ-4 со стержнем из стали ШХ 15 и покрытием, содержащим: 60% мрамора, 35% плавикового шпата, 5% гранита, 30—35% жидкого стекла (к весу сухой части покрытия).

В других типах электродов покрытие служит также для легирования металла наплавки, как например в электродах ЦНИИТМАШ марки ЦШ-2 со стержнем из стали 45 и покрытием, имеющим состав: 45% мрамора, 18% плавикового шпата, 5% гранита, 12% ферромарганца, 3% феррохрома, 14% ферротитана, 3% ферромolibдена, 30—35% жидкого стекла (к весу сухой части покрытия).

Состав покрытий для электродов Б. М. Конторова

Марка электрода	Содержание в % по весу						
	ферро-хром	ферро-титан	ферро-ванадий	ферро-молибден	карбид бора	графит серебряистый	мел
T-216	40	—	25	20	—	7,5	7,5
T-268	80	13,5	—	—	—	3,5	3,0
T-293	48,8	4,9	4,9*	31,7	—	2,4	7,3
T-540	40	45	—	—	—	5	10
T-590	90	—	—	—	5	5	—
T-600	72	14	—	—	—	14	—
T-620	75	15	—	—	5	5	—

*Ферросилиций.

Для наплавки рельсов, крестовин, штампов для холодной штамповки и др. используются электроды ЦН-350, ОМГ и ОЗН-400 с покрытиями состава (в %):

	ЦН-350	ОМГ	ОЗН-400
Мрамор	40	22	45
Плавиковый шпат	21	16	15
Полевой шпат	12	—	—
Ферромарганец	18	—	33
Ферросилиций	9	—	—
Феррохром	—	60	—
Графит	—	2	—
Алюминий	—	—	3
Поташ	—	—	4
Отношение веса покрытия к весу стержня, %	45—50	40—50	43—48

В качестве стержня применяется проволока Св-08, Св-08А и Св-08ГА. Твердость наплавки равна 250—400 единиц по Бринеллю.

Электроды ОМГ служат для наплавки стрелок и крестовин из марганцовистой стали Г-13.

Для наплавки арматуры паровых котлов ЦНИИТМАШ разработал электроды ЦН-3, состоящие из проволоки нержавеющей стали ОХ18Н9 с покрытием, содержащим 15% мрамора, 9% плавикового шпата, 5% графита, 2% ферромарганца Мн-1, 69% феррохрома Хр-2 и 20—30% жидкого стекла к весу сухого покрытия. Вес покрытия составляет 115—120% от веса стержня. Металл, наплавленный этими электродами, представляет сплав типа сормайт, твердость его 44—55 единиц по Роквеллу. Лучшие результаты достигаются при наплавке электродами ЦН-3 в один слой с максимальной скоростью. При многослойной наплавке возможно получение хрупких участков и выкрашивание.

§ 2. Технология наплавки

Порошкообразные сплавы (сталинит, вокар) можно наплавлять угольным электродом. При наплавке порошок сплава превращается в однородный твердый слой, проникающий в основной металл на глубину 2—3 мм. Углерод, содержащийся в сталините, частично сгорает, образуя газы, защищающие наплавку от окисления кислородом воздуха. Сталинит наплавляется в один, два или три слоя толщиной от 1 до 5 мм. Наплавку производят на постоянном токе, так как в этом случае она получается более плотной.

При наплавке сормайтом на прутки наносится покрытие составом (в % по весу):

	Покры- тие А	Покры- тие Б
Мрамор	50	55
Плавиковый шпат	30	30
Ферромарганец	6	6
Феррохром	10	—
Графит	4	9
Жидкое стекло (к сумме сухих веществ)	30—35	30—35

Покрытие А применяют для деталей, подогреваемых при наплавке до 600—700°, а покрытие Б — до 300—400°. Покрытие наносят слоем толщиной 1,4—1,6 мм путем окунаания. Ток и диаметр электрода при наплавке выбираются по табл. 57.

Таблица 57

Режимы наплавки твердыми сплавами

Название сплава	Вид электрода	Диаметр электрода, мм	Ток, а	
			постоянный	переменный
Сталинит	Угольный	8—10	120—140	—
		12—15	140—160	—
		18—20	160—200	—
Сормайт	Сормайт с покрытием А или Б	4	140—160	160—180
		5	180—200	220—225
		6	200—225	225—250
		7	225—250	250—300
Вокар	Угольный	10—15	160—180	—
		15—20	180—200	—
Электроды с легирующим покрытием	Углеродистая проволока Св-08А или Св-08ГА	3	120—130	130—140
		4	140—160	160—180
		5	180—200	200—225

Наплавляемая деталь не должна иметь трещин и других дефектов, уменьшающих ее прочность. Закаленные стали предварительно отжигают при $750\text{--}900^\circ$ для устранения внутренних напряжений. Наплавляемую поверхность тщательно зачищают до металлического блеска. Замасленные детали обжигают пламенем горелки или промывают горячим 10% -ным раствором каустика, а затем чистой водой.

На детали из легированных сталей (например, марганцовистой стали) первый слой наплавляется электродом из углеродистой проволоки для лучшего сцепления наплавки с основным металлом. Последующие слои наплавляются твердым сплавом. Наплавку можно производить комбинированным способом, расплавляя сталинит электродом из углеродистой проволоки с меловым покрытием. Электрод сплавляется со сталинитом и основным металлом, образуя промежуточный, менее хрупкий и достаточно изнosoустойчивый слой.

Порошкообразный твердый сплав не должен содержать пыли. Влажный сталинит слеживается в комки и в таком виде не пригоден для наплавки; его необходимо предварительно просушить, размолоть и просеять. На электродах не должно быть ржавчины, иначе наплавка получится пористой и хрупкой. При наплавке сталинитом рекомендуется в ванну добавлять в качестве флюса 2—5% прокаленной буры. При использовании порошкообразных сплавов для предохранения краев детали от оплавления и получения чистой, ровной кромки место наплавки обкладывают пластинками из графита. По окончании наплавки пластинки убирают. Отверстия в детали, не подлежащие заплавке, забивают чистым влажным кварцевым песком. Для предупреждения коробления детали наплавку производят участками, предварительно нагревая деталь до $600\text{--}650^\circ$ или увеличивая отвод тепла от детали массивными медными подкладками и охлаждением водой.

Порошкообразные сплавы насыпают на поверхность детали слоем, несколько большим, чем требуемая толщина наплавки. При расплавлении высота слоя составляет: для сталинита 40—50% и для вокара 30—40% от толщины первоначально насыпанного слоя. Насыпанный слой слегка утрамбовывают и выравнивают шаблоном. Сталинит насыпают полоской шириной до 60 мм, вокар — до 20—30 мм. Наплавку ведут, не прерывая горения дуги. Электрод передвигают с одного края наплавки на другой в направлении от себя. Так как сплав имеет высокое электросопротивление, конец электрода должен быть направлен не на поверхность насыпанного слоя, а в торец его.

Если нужно наплавить сталинитом толстый слой, то для получения прочной, нехрупкой наплавки два первых слоя наплавляют комбинированным способом, расплавляя сталинит стальным электродом, а последний — угольным. На чугун сталинит наносят в один слой толщиной 3—4 мм. Чугунную деталь сложной формы следует подогреть до $300\text{--}400^\circ$.

Наплавку сормайтowymi электродами и электродами с покрытиями из твердых сплавов производят так же, как и наплавку стальными покрытыми электродами.

Для наплавки порошкообразными сплавами широко применяются также трубчатые электроды, свернутые из стальной ленты толщиной 0,6—0,8 мм, шириной 15 мм. Внутрь трубки засыпается порошок твердого сплава и в таком виде трубка используется в качестве электрода для ручной или автоматической наплавки под флюсом.

При автоматической и полуавтоматической наплавке применяют порошковую проволоку.

Наплавка производится под флюсами АН-16; АН-20, АН-30; ФЦП-2, а также в среде углекислого газа. Ток выбирают постоянный, обратной полярности или переменный в зависимости от марки наплавляемой стали. При наплавке в углекислом газе применяют постоянный ток обратной полярности.

Большие поверхности крупных деталей наплавляются электрошлаковым способом. В качестве присадочных стержней в этом случае также используются свертываемые из ленты трубчатые электроды, непрерывно заполняемые порошком твердого сплава. При электрошлаковой наплавке наплавленный слой получается точно заданной толщины с гладкой поверхностью требуемой формы. Этот способ дает возможность широко изменять состав шихты твердого сплава, получая наплавку с требуемыми механическими свойствами.

Для автоматической наплавки валков из стали 55Х прокатных станов применяется керамический флюс ЖС-320, содержащий 53% мрамора, 21% плавикового шпата, 5% феррохрома Хр-16, 7% хромистой руды, 8% ферротитана, 3% ферромарганца Мн-1, 1% графита, 2% ферросилиция Си-45. Мрамор и плавиковый шпат определяют жидкотекучесть и интервал температур застывания флюса. Остальные части флюса служат легирующими добавками наплавленного слоя металла. Применяется электродная углеродистая проволока диаметром 5 мм марки Св-08, окружная скорость перемещения наплавляемой поверхности 18—30 м/час. Наплавка ведется с местным предварительным подогревом вала до 400—500° газовой горелкой, током 550—580 а, напряжением дуги 28—30 в. Твердость наплавки после закалки 400 единиц по Бринеллю.

Для наплавки металлорежущего инструмента применяют электроды, которые наряду с достаточной твердостью и стойкостью дают постоянный состав наплавленного металла и допускают его термическую обработку при изготовлении резцов, фрез и прочего инструмента. Такими электродами являются ЦИ-ІМ и ЦИ-ІV, разработанные В. А. Лапидусом в ЦНИИТМАШ. Электроды ЦИ-ІМ имеют стержень из углеродистой проволоки Св-08А с покрытием состава: 23% мела, 16% плавикового шпата, 1,5% графита, 1,5% ферромарганца, 1,5% ферросилиция, 10% феррохрома, 5,2% феррованадия, 40,3% ферровольфрама, 1% алюминия, 30—35% жидкого стекла к весу сухого покрытия.

При наплавке применяется постоянный ток при обратной полярности или переменный ток, исходя из следующих режимов:

Диаметр электрода, мм	4	5
Ток, а:		
постоянный	100—120	130—150
переменный	180—200	210—230

Наплавляемая часть инструмента ограждается медными брусками и заправляется металлом электрода. После наплавки металл имеет твердость 55—60 единиц по Роквеллу. Отжиг понижает твердость до 30—32 единиц, при которой инструмент можно подвергнуть механической обработке. Последующая закалка и отпуск повышают твердость наплавки до 62—65 единиц по Роквеллу.

Электроды ЦИ-IV имеют стержень из стальной углеродистой проволоки У9 и покрытие состава: 23% мрамора, 17,4% плавикового шпата, 1,5% ферромарганца, 1,4% ферросилиция, 10,2% феррохрома, 5,3% феррованадия, 39,8% ферровольфрама, 1% алюминия металлического, 0,4% графита.

На рис. 122 показаны схемы различных способов наплавки изделий.

В целях получения более плотной и мелкозернистой структуры наплавленного металла используются также механические и ультразвуковые колебания. Так, например, за последние годы разработаны и внедрены в практику способы электроимпульсной автоматической наплавки металла.

Вибродуговая электроимпульсная автоматическая наплавка широко распространена при восстановлении изношенных деталей автомобилей и тракторов, деталей станков, прессов и другого оборудования. Этот способ обеспечивает малые деформации наплавленных деталей, дает незначительную глубину зоны теплового влияния, позволяет получать тонкие наплавленные слои с повышенной твердостью без применения термообработки. Электродная проволока непрерывно получает колебания от механического или электромагнитного вибрационного устройства, которым снабжается автоматическая головка для подачи проволоки.

Наплавка осуществляется на выпрямленном или постоянном токе напряжением от 6 до 15 в. Электродная проволока диаметром 1,4—1,8 мм, вибрирующая с частотой 100 колебаний в секунду, подается к поверхности вращающейся наплавляемой детали.

Между проволокой и поверхностью в моменты размыкания цепи образуется дуга, которая оплавляет конец проволоки, а при замыкании электрода на поверхности детали откладываются частички металла проволоки.

Для получения более твердого слоя наплавки применяется проволока с повышенным содержанием углерода или легированная, а в зону наплавки подается охлаждающая жидкость (20%-ный водный раствор глицерина или 4%-ный раствор соды).

Данный способ позволяет получать твердый наплавленный слой толщиной от 0,1 до 3 мм без последующей термообработки и не вызывает нагревания или деформации наплавляемой детали. При этом химический состав наплавляемого металла почти не изменяется.

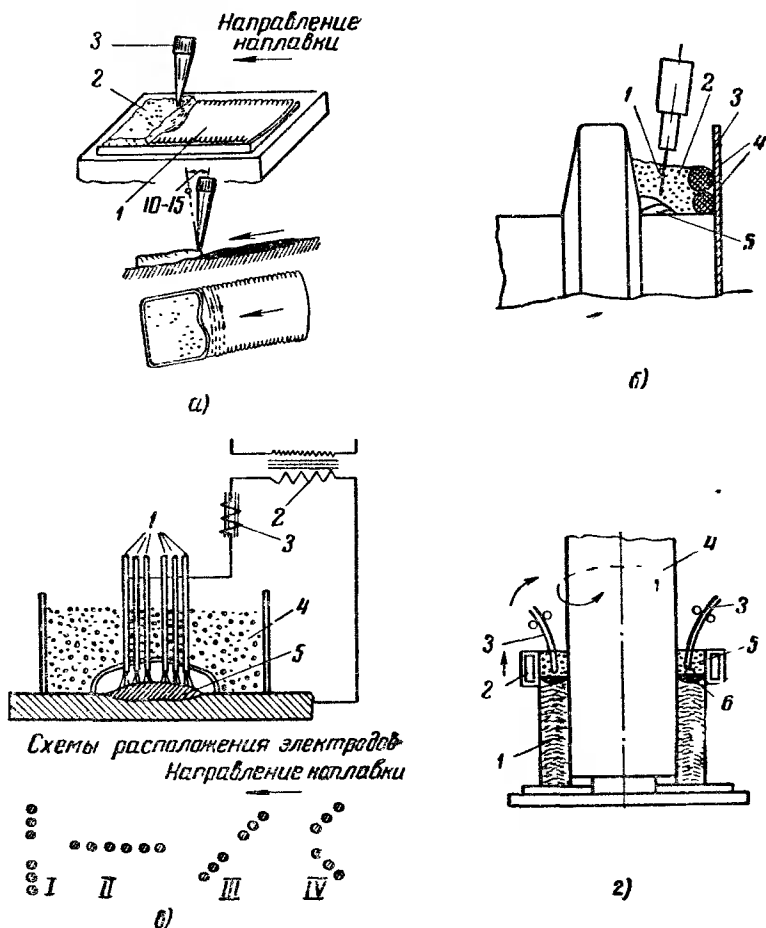
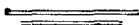


Рис. 122. Способы наплавки изделий:

а — ручная наплавка: 1 — наплавленный слой, 2 — зернистый твердый сплав, 3 — электрод угольный; б — автоматическая наплавка под флюсом: 1 — электродная проволока, 2 — керамический флюс, 3 — флюсоудерживающее устройство, 4 — асбест, 5 — наплавка; в — многоэлектродная наплавка под флюсом: 1 — электроды, 2 — сварочный трансформатор, 3 — дроссель, 4 — флюс ФЦ-9, 5 — наплавка; г — электрошлаковая наплавка: 1 — наплавленный слой, 2 — охлаждаемое водой медное кольцо, 3 — электродная проволока, 4 — наплавляемая деталь цилиндрическая, 5 — флюс, 6 — ванна жидкого металла

При электродуговой наплавке металлов находит применение также ультразвук. Ультразвуком называют высокочастотные колебания частотой свыше 50 000 гц, которые можно получать с помощью вибрирующей кварцевой пластинки. Такие колебания не воспринимаются человеческим ухом, но обладают большой проникающей способностью и могут разрушать поверхностные пленки окислов на частицах расплавленного и затвердевающего металла; они делают структуру наплавленного металла более мелкой и однородной.

Ультразвуковые колебания сообщаются жидкому металлу или через электрод или непосредственно. Ультразвук может также вызывать пластическое течение ненагретого металла, который при наличии усилия способен в этом состоянии свариваться. Поэтому ультразвук в настоящее время применяют как самостоятельное средство для холодной точечной и шовной сварки меди, алюминия и дуралюмина толщиной до 1,5 мм и нержавеющей стали толщиной до 0,7 мм.



ГЛАВА XVII

ДУГОВАЯ РЕЗКА. СВАРКА И РЕЗКА ПОД ВОДОЙ

§ 1. Дуговая резка угольным и металлическим электродами

Разработаны и применяются различные способы резки металлов электрической дугой. Эти способы позволяют резать углеродистые стали, нержавеющие высоколегированные стали, чугун, цветные металлы — медь, латунь, алюминий.

Резка угольным электродом. Для резки используют графитовые или угольные электроды и постоянный ток при прямой полярности. Угольным электродом можно резать металл толщиной до 100 мм. Производительность этого способа резки невелика. Так, например, резка угольным электродом 1 м стали толщиной 10 мм при токе 400 а продолжается 4—5 мин; при толщине 20 мм и токе 400 а — 20 мин; при толщине 50 мм и токе 600 а — 40—50 мин.

При резке угольным электродом происходит сильное науглероживание кромок разреза, что затрудняет их последующую механическую обработку. Иногда применяют пластинчатый угольный электрод, дающий более узкий разрез (рис. 123, а).

Резка металлическим электродом. При резке металлическим электродом получается более узкий и ровный разрез, чем при резке угольным электродом. Этот способ пригоден для резки стали толщиной до 15—20 мм. Покрытие электродов, используемых для резки, должно быть более тугоплавким, чем для сварки. При плавлении на конце электрода должен образовываться небольшой козырек глубиной 6—7 мм. Дуга горит внутри козырька, что обеспечивает более сосредоточенный нагрев разрезаемого металла, и резка идет быстрее. Образующийся шлак делает металл более жидкотекучим. Покрытие электрода состоит из марганцевой руды (пиролюзита), замешанной на жидком стекле, в количестве 30% от веса руды. Кислород, содержащийся в руде, окисляет металл в месте разреза, разогревая его и тем ускоряя процесс резки. Толщина слоя покрытия электрода должна составлять 1—1,5 мм. Для резки могут применяться также сварочные электроды с покрытиями ЦМ-7 или ЦМ-7С. В качестве стержня в электроде используют любую стальную проволоку диаметром от 4 до 6 мм. Резка ведется на постоянном токе величиной 300 — 350 а или переменном величиной 270—280 а.

Резку начинают с кромки или середины листа. В последнем случае лист сначала прожигают, ставя электрод перпендикулярно поверхности листа. Затем электрод наклоняют на $30\text{--}60^\circ$ так, чтобы

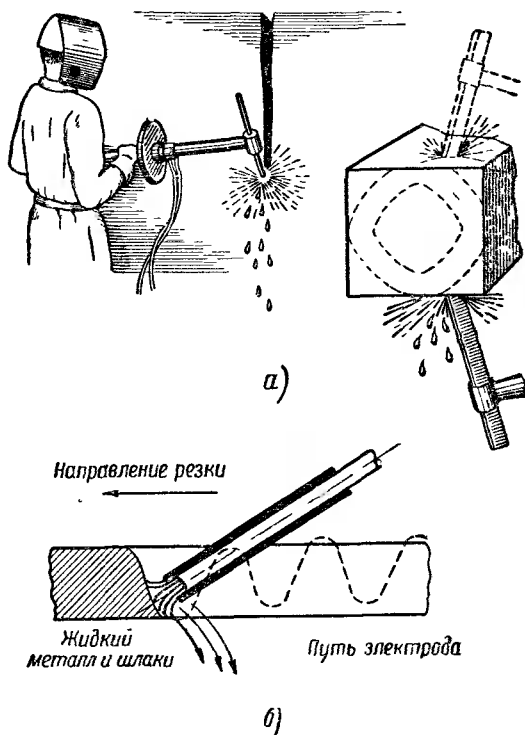


Рис. 123. Дуговая резка металла:
а — угольным электродом, б — металлическим электродом

образуемый дугой кратер был расположен на торцевой кромке разреза (рис. 123, б). Для удаления шлака и жидкого металла электрод непрерывно перемещают от верхней плоскости листа к нижней, передвигая его вперед по мере проплавления листа. При резке стали толщиной 10 мм скорость составляет 10—12 м/час при расходе электродов (без огарков) 1—1,1 кг на 1 м разреза.

§ 2. Воздушно-дуговая резка

Этот способ состоит в нагревании и расплавлении металла в месте разреза теплом дуги, горящей между угольным электродом и разрезаемым металлом, и непрерывном удалении расплавленного металла струей сжатого воздуха. Указанным способом можно производить как разделительную, так и поверхностную резку металла.

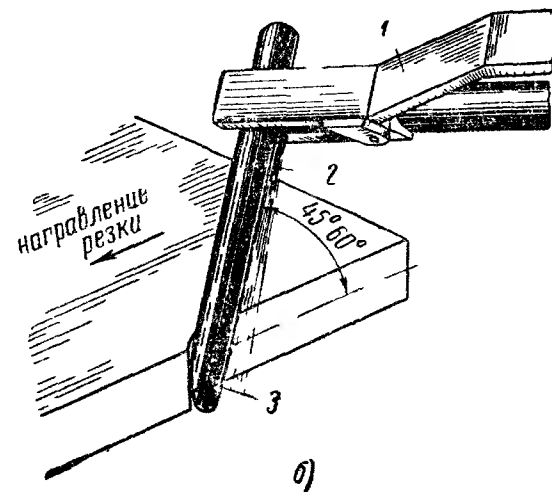
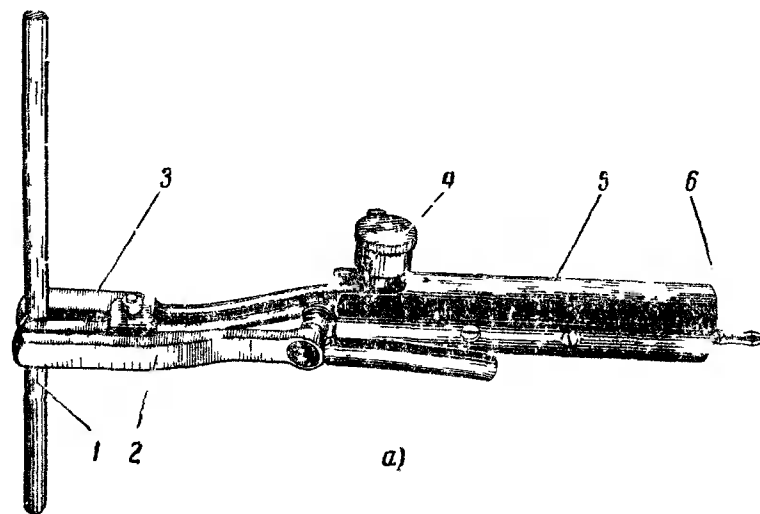
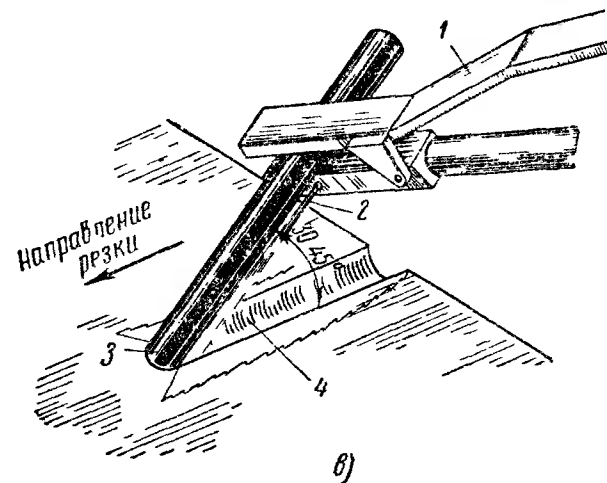


Рис 124 Резак РВД-1-57 для воздушно-дуговой резки.

а — внешний вид резака 1 — графитированный электрод, 2 — подвижная губка, 3 — неподвижная губка, 4 — вентиль для воздуха, 5 — рукоятка, 6 — ниппель для подвода воздуха, б — положение резака при раздельной резке в — положение резака при поперечной резке 1 — резак, 2 — воздушная струя, 3 — электрод, 4 — канавка



Технология и конструкция резаков для воздушно-дуговой резки разработана ВНИИАвтоген, а также Ю. А. Масловым и Г. А. Савелковым. На рис. 124, а показан резак РВД-1-57 конструкции ВНИИАвтоген для поверхностной и разделительной воздушно-дуговой резки. Резак имеет рукоятку 5, в которой расположен вентиль 4 для подачи сжатого воздуха, поступающего из заводской пневмосети. Между неподвижной 3 и подвижной 2 губками зажимается угольный или графитированный электрод 1. В губке 3 имеются два отверстия, через которые выходит сжатый воздух, подводимый в резак под давлением 4—6 *ати* по шлангу через ниппель 6; струя воздуха выдувает расплавленный металл из разреза.

Положение резака при разделительной и поверхностной резке показано на рис. 124, б и в. Вылет электрода, т. е. расстояние от губок до его нижнего конца, не должно превышать 100 мм. По мере обгорания электрод постепенно выдвигается из губок вниз. Получаемая ширина канавки при резке этим способом превышает диаметр электрода на 1—3 мм. Поверхность металла в месте разреза получается ровной и гладкой. При резке применяют постоянный ток при обратной полярности.

Данный способ может быть использован для поверхностной обработки большинства черных и цветных металлов, вырезки дефектных участков сварных швов, срезки заклепок, пробивки отверстий, отрезки прибылей стального литья, выплавки литейных пороков и пр. Воздушно-дуговой разделительной резке могут подвергаться нержавеющие стали, латуни и трудноокисляемые сплавы толщиной до 20—25 мм. Режимы резки приведены в табл. 58.

Таблица 58

Режимы воздушно-дуговой резки

Диаметр графитированного электрода, мм	Ток, а	Давление воздуха, ати	Ширина разреза, мм	Толщина металла, мм	Затрата на 1 пог м реза		
					времени, час	воздуха, л	электрода, г
4	200—240	5	6	5	0,051	156	16
6	270—290	5	8	15	0,06	320	62
8	370—390	5,5	10	25	0,069	490	162
10	460—480	5,5	12	—	—	—	—
12	560—580	6	14	—	—	—	—

§ 3. Газо-дуговая резка проникающей дугой

В данном процессе используется дуга постоянного тока, горящая между вольфрамовым торированным * электродом и разрезаемым металлом. Электрод помещен в мундштук, охлаждаемый водой, через который подается струя аргоно-водородной смеси, азота или

* Торированный, содержащий 1,5—2% окиси тория.

азото-водородной смеси. Схема процесса резки показана на рис. 125. Резка основана на глубоком проплавлении металла по линии

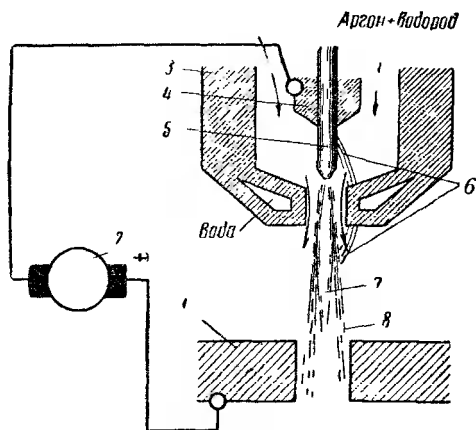


Рис 125. Схема резки проникающей дугой:

1 — разрезаемый металл, 2 — генератор постоянного тока, 3 — мундштук, 4 — токоподводящая втулка, 5 — вольфрамовый электрод, 6 — побочная дуга, 7 — режущая дуга, 8 — струя газов, сжимающих дугу и удаляющих шлаки

реза теплом дуги. Струя газов, вытекающих из мундштука резака, искусственно сжимает столб дуги и придает ему форму острого вытянутого язычка, посредством которого и осуществляется резка.

Для резки цветных металлов (алюминия, меди и др.) применяется арго-водородная смесь, содержащая до 20—35% водорода. При резке легированных сталей толщиной до 25 мм применяется азот, а при толщине свыше 25 мм азото-водородная смесь, содержащая до 50% водорода. Для резки этим способом ВНИИАвтоген разработаны специальные

установки: УДР-1-58 (для механизированной резки) и УДР-2-58 (для ручной резки), отличающиеся только комплектровкой.

Техническая характеристика установки УДР-58:

Диаметр вольфрамового электрода, мм	3
Наибольший рабочий ток, а	450
Расход газов, л/мин:	
аргона	24—30
водорода	8—13
азота	30—150
Расход охлаждающей воды, л/мин	1,5—2
Скорость резки, мм/мин	118—8000

Установка питается от источника постоянного тока с падающей характеристикой, рассчитанного на рабочий ток 250—450 а, напряжение дуги 70—80 в, напряжение холостого хода не менее 100 в. Для зажигания дуги применяется осциллятор с первичным напряжением 220 в.

§ 4. Сварка и резка под водой электрической дугой

Электрической дугой можно осуществлять сварку и резку металлов под водой, что имеет большое значение при судоремонтных работах, ликвидации аварий и подъеме затонувших судов, восстановлении и разборке обрушившихся мостов и т. д. Способы подводной

дуговой сварки и резки металлов разработаны акад. К. К. Хреновым.

Схема горения дуги под водой показана на рис. 126. Устойчивое горение дуги обеспечивается применением электродов с толстым слоем покрытия, образующего при плавлении козырек на конце электрода. При отсутствии козырька или недостаточной величине

Таблица 59

Водонепроницаемые обмазки

Вещества, входящие в обмазку	Содержание компонентов, %, в составе		
	№ 1	№ 2	№ 3
Мел	10	—	—
Железный су- рик	90	100	—
Титановая ру- да	—	—	50
Полевой шпат Жидкое стекло (к весу сухой ча- сти покрытия) . .	—	—	50
	30	30	30

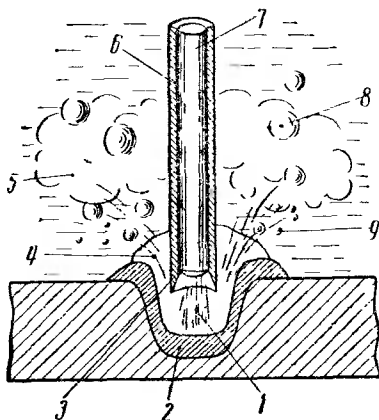


Рис 126. Схема горения дуги под водой:

1 — дуга, 2 — слой расплавленного металла, 3 — защитный козырек обмазки, 4 — газовый пузырь вокруг дуги, 5 — облачко мути, 6 — обмазка, 7 — металлический стержень, 8 — пузырьки газа, 9 — брызги металла

его дуга горит под водой неустойчиво. Образующийся вокруг горячей под водой дуги газовый пузырь содержит 64—92% водорода и 5—26% окиси углерода. Для сварки под водой применяют электроды с водонепроницаемой обмазкой, покрытой раствором целлулоида или парафина (табл. 59).

Толщина покрытия для электрода диаметром 4 мм равна 0,8 мм; для 5 мм — 1 мм; для 6 мм — 1,2 мм. После нанесения покрытия электрод подвергается сушке, прокалке и пропитке водонепроницаемым составом.

При сварке применяют постоянный ток при прямой полярности или переменный ток. Для устойчивого горения дуги в воде напряжение холостого хода генератора или трансформатора должно быть 75—95 в, рабочее напряжение 30—40 в, величина тока для электродов диаметром 4 мм — 200—240 а, диаметром 5 мм — 250—360 а, диаметром 6 мм — 300—380 а. Чтобы компенсировать охлаждающее действие воды на металл, сварка под водой ведется на несколько повышенном токе по сравнению со сваркой на воздухе. Плотность и

прочность металла шва, сваренного под водой, получаются вполне удовлетворительными.

Резка электрической дугой под водой происходит даже быстрее и лучше, чем на воздухе. Для подводной дуговой резки используют металлические толстопокрывые или угольные электроды. Лучшие результаты дает резка на постоянном токе.

Для подводной электрокислородной резки используют трубчатый стальной электрод, по внутреннему каналу которого к месту разреза подводится кислород. Ток и кислород к электроду подводятся через специальный электрододержатель. Электрод представляет собой стальную трубку с наружным диаметром 5—7 мм, толщиной стенки 1,7—2,5 мм и длиной 450 мм. Снаружи трубка покрывается обмазкой, применяемой для подводной электросварки. Ток берется постоянный 250—350 а при прямой полярности, расход кислорода составляет 6—10 м³/час.

Под водой на глубине до 100 м электрокислородным способом разрезается сталь толщиной до 100—120 мм.

Недостатком электрокислородной резки стальным электродом является быстрое сгорание электродов и необходимость частой их смены. Для удлинения срока службы применяют карборундовые* электроды диаметром 15—18 мм, длиной 250 мм. Такие электроды могут работать до 40 мин. Однако значительный диаметр этих электродов затрудняет введение их в полость реза при резке толстых листов и пакетов из листов металла. Чтобы при возбуждении дуги под водой не происходило быстрого обгорания электрода, необходимо в начале резки подать кислород, а затем возбуждать дугу; в конце резки нужно оборвать дугу, а затем прекратить подачу кислорода.

* Карборундом называется карбид кремния (соединение углерода с кремнием), твердый, жароупорный, тугоплавкий и стойкий против окисления материал.

ГЛАВА XVIII

ТРАНСФОРМАТОРЫ ДЛЯ СВАРКИ ПЕРЕМЕННЫМ ТОКОМ

§ 1. Основные требования к сварочным трансформаторам и их внешние характеристики

Сварочные трансформаторы можно разделить на две основные группы: а) трансформаторы для ручной и полуавтоматической сварки, рассчитанные на ток до 500 а, и б) трансформаторы для автоматической сварки, рассчитанные на ток 500—2000 а; эти трансформаторы обычно снабжены устройством для дистанционного регулирования сварочного тока.

Сварочные трансформаторы должны удовлетворять следующим основным требованиям:

1. Иметь падающую внешнюю характеристику, обеспечивающую устойчивое горение дуги. Различные типы внешних характеристик показаны на рис. 127. Характеристика типа а пригодна для

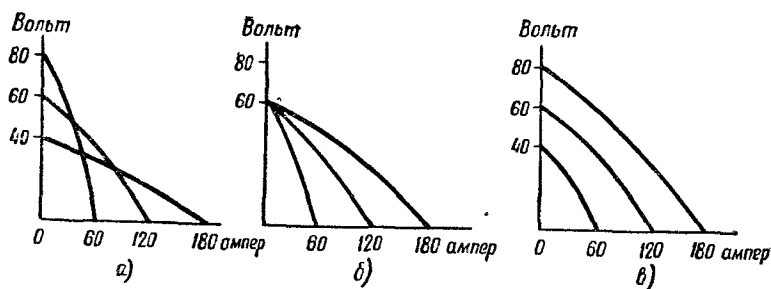


Рис. 127. Различные типы характеристик сварочных трансформаторов

сварки на больших и малых токах, так как в ней с уменьшением тока напряжение холостого хода повышается, что необходимо для устойчивости дуги при работе на небольших токах. Характеристика типа б имеет повышенное напряжение холостого хода, обеспечивающее

зажигание дуги при малых токах. Зато при сварке на больших токах это напряжение будет излишне высоким. Еще менее благоприятны характеристики типа *в*, где при малых токах напряжение недостаточно для устойчивого горения дуги. Таким образом, из всех трех характеристик наилучшей является характеристика типа *а*.

2. Во избежание сильного перегрева электрода и приваривания его к металлу ток короткого замыкания должен превышать рабочий ток не более чем на 35—40%.

3. Напряжение холостого хода (при разомкнутой сварочной цепи) должно быть не выше 75 *в*. Стандартное рабочее напряжение на выводах вторичной обмотки 25—30 *в*.

4. Конструкция трансформатора должна обеспечивать защиту от влияния атмосферных осадков, пыли и др. Изоляция обмоток должна быть противосырьостной.

5. Трансформатор должен обеспечивать постоянство горения дуги при колебании напряжения в первичной обмотке $\pm 10\%$.

Пределы регулирования сварочного тока должны составлять примерно от 40 до 130% номинального значения тока. Номинальным считается ток, соответствующий ПР—60%. Величина ПР называется коэффициентом прерывистости и выражает отношение продолжительности рабочего периода трансформатора к длительности цикла. Длительность цикла складывается из продолжительности рабочего периода и паузы (холостого хода) и принимается равной 5 мин.

В промышленности нашли применение сварочные трансформаторы с отдельным и встроенным регулятором.

§ 2. Трансформаторы с отдельным регулятором

К этому типу относятся трансформаторы СТЭ-24-У и СТЭ-34-У, основные технические данные которых приведены в табл. 60.

На рис. 128 показан внешний вид трансформатора СТЭ-34 с регулятором. Трансформатор и регулятор устанавливаются на колесах, что облегчает их перемещение по цеху. Кожухи имеют отверстия (жалюзи) для естественного охлаждения обмоток и сердечника. Сердечники (магнитопроводы) набраны из штампованных элементов, изготовленных из листовой трансформаторной стали толщиной 0,5 мм. Первичная обмотка трансформатора состоит из двух катушек изолированной проволоки. Вторичная обмотка сделана из голый шинной меди, навитой поверх катушек первичной обмотки. При напряжении сети 380 *в* катушки первичной обмотки соединены между собой последовательно, а при 220 *в* — параллельно. Вторичные обмотки во всех случаях соединены последовательно. Обмотка регулятора выполнена из голый шинной меди и снабжена асбестовыми прокладками. Схема соединений обмоток трансформа-

Технические данные сварочных трансформаторов

Тип		Номинальная мощность, <i>кВа</i>	Первичное напряжение, <i>в</i>	Вторичное напряжение, <i>в</i>		Ток (<i>а</i>) номинальный при ПР—65%	Пределы регулирования сварочного тока, <i>а</i>	Вес, <i>кг</i>	
трансформатора	регулятора			холостого хода	рабочего хода			трансформатора	регулятора
СТЭ-24-У	РСТ-24-У	23	220 или 380	60	30	350	100—500	130	92
СТЭ-34-У	РСТ-34-У	30	220 » 380	60	30	500	150—700	160	100
СТН-350	—	25	380 » 220	70	30	350*	80—450	220	—
СТН-500	—	32	220, 380, 500	60	30	500	150—700	260	—
СТН-500-1	—	32	220 или 380	60	30	500	150—700	275	—
ТС-120	—	9	220 » 380	68	25	120	50—160	90	—
ТС-300	—	20	220 » 380	63	30	300	110—385	185	—
ТС-500	—	32	220 » 380	60	30	500	165—650	200	—
ТСК-300	—	20	380	63	30	300	110—385	215	—
ТСК-500	—	32	380	60	30	500	165—650	280	—

* При ПР—50%.

тора и регулятора показана на рис. 129. Корпус трансформатора должен быть заземлен проводом сечением 6—10 мм².

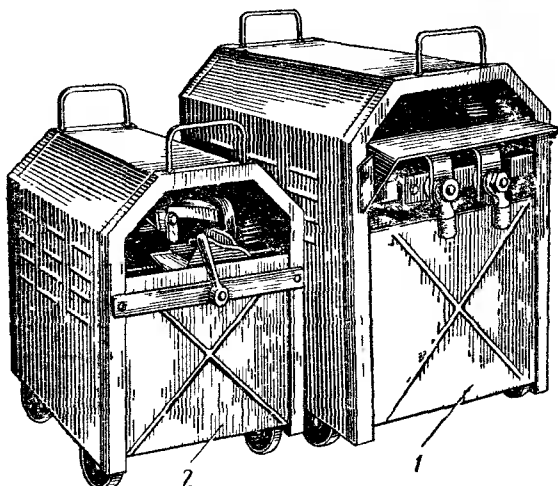


Рис. 128. Сварочный трансформатор СТЭ-34 с регулятором.

1 — трансформатор, 2 — регулятор

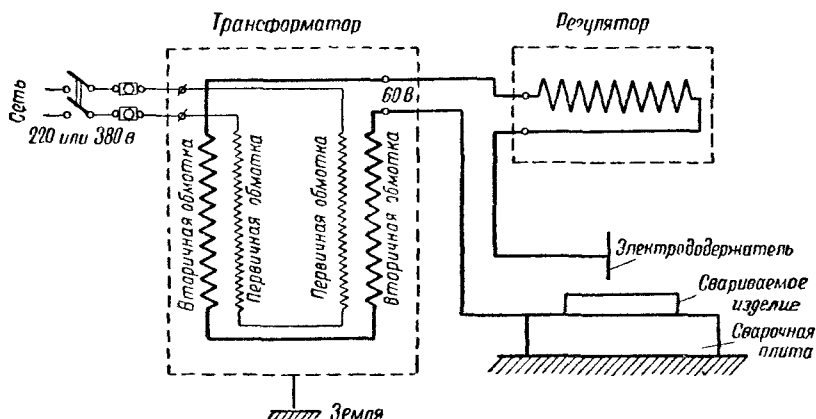


Рис. 129. Схема соединений обмоток трансформатора СТЭ-34 и регулятора PСТЭ-34

§ 3. Трансформаторы со встроенным регулятором

Трансформаторы со встроенным регулятором более компактны и выпускаются под марками СТАН-0, СТАН-1, СТН-500, СТН-700, СТН-1000, ТСД-500, ТСД-1000 и ТСД-2000. Принципиальная схе-

ма таких трансформаторов разработана акад. В. П. Никитиным. Трансформаторы ТСД в отличие от СТАН и СТН имеют устройства для дистанционного регулирования тока. Технические данные трансформаторов типа СТН приведены в табл. 60. Внешний вид трансформатора СТН-500 показан на рис. 130. Трансформатор СТН-500-1 отличается от СТН-500 тем, что имеет алюминиевые обмотки с выводами, армированными медью.

Трансформаторы данного типа являются однопостовыми и предназначены для питания сварочным током одной дуги. Вторичные обмотки трансформатора и реактивная обмотка регулятора расположены на общем железном сердечнике (яре) и включены навстречу друг другу (рис. 131, а). Благодаря этому магнитные потоки, возникающие в сердечнике при прохождении тока по вторичной обмотке и по обмотке регулятора направлены навстречу друг другу. Схема сердечника трансформатора показана на рис. 131, б. В верхней части сердечника, где расположена обмотка регулятора, имеется воздушный зазор, величину которого можно регулировать враще-

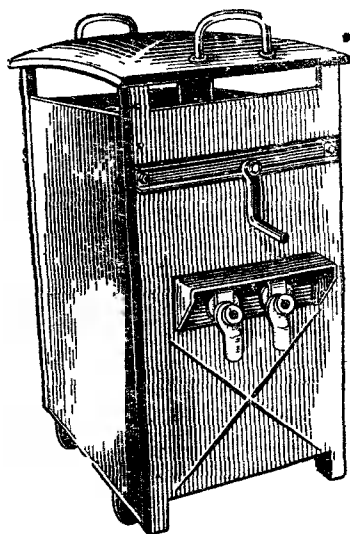


Рис 130 Сварочный трансформатор СТН-500

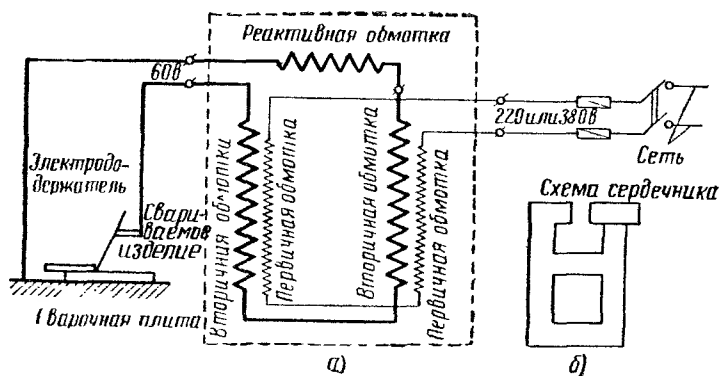


Рис 131 Схема соединений обмоток трансформатора и регулятора СТН-500

нием рукоятки регулятора. При вращении рукоятки по часовой стрелке воздушный зазор увеличивается. Вследствие этого магнитный поток в этой части сердечника уменьшается, а также уменьшается индуктивное сопротивление, вызываемое обмоткой регулятора, отчего сварочный ток возрастает. Наоборот, вращение рукоятки против часовой стрелки вызывает обратные явления, приводящие к уменьшению сварочного тока. При холостом ходе трансформатора сварочная цепь разомкнута, и так как через обмотку регулятора ток не идет, она работает как часть вторичной обмотки трансформатора.

Трансформаторы данного типа могут иметь также не встречное, а согласное включение обмотки регулятора. Такие трансформаторы применяют при сварке тонкого металла на малых токах, так как при малом сварочном токе напряжение вторичной цепи в них повышается; это увеличивает устойчивость горения дуги при сварке на малых токах.

Действительно при понижении сварочного тока воздушный зазор в верхней части сердечника, как уже указывалось выше, должен быть уменьшен с целью повышения индуктивного сопротивления обмотки регулятора. Уменьшение этого зазора вызывает увеличение той части магнитного потока, которая ответвляется в магнитопровод регулятора. Вследствие этого увеличивается электродвижущая сила, возникающая в витках обмотки регулятора; эта электродвижущая сила при согласном включении обмотки регулятора складывается с электродвижущей силой вторичной обмотки и увеличивает вторичное напряжение трансформатора холостого хода. Поэтому трансформаторы данной конструкции имеют внешнюю характеристику, отвечающую типу *a* (рис. 127).

Сварочные трансформаторы с дросселем насыщения. Наличие подвижных частей и переменного воздушного зазора в магнитопроводе сварочного трансформатора связано с рядом неудобств в эксплуатации; при малых токах снижается устойчивость горения дуги, может появиться вибрация пакета регулятора, гудение аппарата во время работы, искажение кривой сварочного тока в результате возможных перекосов подвижного пакета регулятора; необходимо применение электрического привода для перемещения пакета при дистанционном управлении процессом. Перечисленных недостатков нет в трансформаторах с дросселем насыщения, в которых отсутствуют подвижные части магнитопроводов и регулируемые воздушные зазоры. Конструкции таких сварочных трансформаторов разработаны в Уральском политехническом институте.

Схема сварочного трансформатора с дросселем насыщения дана на рис. 132. Аппарат состоит из однофазного трансформатора 1 и дросселя насыщения 2, изготавливаемых отдельно и жестко соединяемых при сборке в один агрегат. Между магнитопроводами трансформатора и дросселя имеются постоянные воздушные зазоры $\delta = 3-4$ мм.

Сварочный ток регулируется дросселем насыщения, имеющим обмотку управления W_y , питаемую током через селеновый выпрямитель B_c и реостат R . С помощью реостата изменяется ток в обмотке W_y дросселя насыщения 2, что приводит к изменению величины общего магнитного потока трансформатора. Трансформатор имеет первичную обмотку W_1 , две вторичные обмотки W_{2a} и W_{2b} и съемную шину Π для переключения вторичных обмоток. Ток короткого замыкания превышает рабочий ток на 16—25%. Коэффициент распределения вторичной обмотки $\alpha_2 = \frac{W_{2b}}{W_{2a}}$ имеет два значения $\alpha_2 = 0,3$ и $\alpha_2 = 0,5$ в зависимости от положения шины Π .

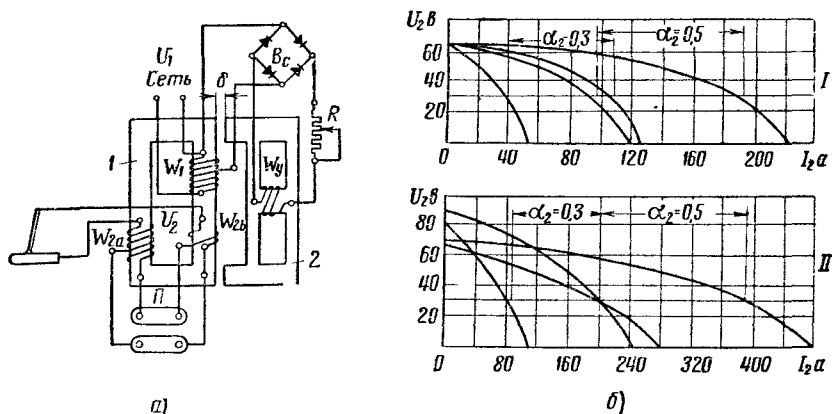


Рис. 132. Схема сварочного трансформатора с дросселем насыщения и его внешние характеристики при токе до 200 а (I) и до 400 а (II):

а — схема, б — внешние характеристики

Внешние характеристики трансформатора при различных значениях α_2 и при максимальных сварочных токах 200 и 400 а показаны на рис. 132, б.

Заводом «Электрик» выпускаются трансформаторы СТЭ-24 и СТЭ-34 с дросселем насыщения типа ДН, предназначенные для ручной дуговой сварки неплавящимся электродом на переменном токе в среде аргона. Магнитная цепь дросселя состоит из двух магнитопроводов. На одном из сердечников каждого магнитопровода помещена рабочая обмотка, включаемая в цепь сварочного тока. Оба магнитопровода с рабочей обмоткой охватываются общей подмагничивающей обмоткой постоянного тока. Величина сварочного тока регулируется изменением тока подмагничивания. С подмагничивающей обмоткой сцеплен стальной пакет рассеяния с небольшим воздушным зазором.

Увеличением индуктивности рассеяния обмотки постоянного тока обеспечивается ускоренный переход тока через нулевое значение.

ние, что повышает устойчивость горения дуги, особенно при малых сварочных токах. Постоянный ток для питания подмагничивающей обмотки получают от сети переменного тока через селеновый выпрямитель. Дроссель насыщения имеет два взаимно перекрывающихся диапазона регулирования сварочного тока.

На каждой ступени ток плавно регулируется с помощью реостата, включенного в цепь подмагничивающей обмотки.

Для трансформатора СТЭ-24 применяется дроссель ДН-300-1, рассчитанный на номинальный ток 300 а и пределы регулирования 50—300 а, для трансформатора СТЭ-34 — дроссель ДН-500 на 500 а и пределы регулирования 60—500 а.

Трансформаторы с развитым рассеянием. Промышленностью выпускаются однопостовые однокорпусные трансформаторы типа ТС и ТСК с развитым рассеянием, регулируемым изменением расстояния между обмотками. Конструкция их разработана Всесоюзным научно-исследовательским институтом электросварочного оборудования (ВНИИЭСО). Технические данные этих трансформаторов приведены в табл. 60. Магнитопровод трансформатора выполнен в виде вертикальных стержней, на каждом из которых расположено по одной катушке первичной и вторичной обмоток, соединенных параллельно. Катушки первичной обмотки неподвижные, а вторичной подвижные. Перемещение катушек вторичной обмотки осуществляется вручную с помощью винта, проходящего через верхнее ярмо. Наибольший сварочный ток достигается при сближении катушек, наименьший — при их удалении друг от друга. При одновременном переключении катушек трансформаторов с параллельного соединения на последовательное возможно использование малых сварочных токов в пределах от 15 до 160 а. Обмотки трансформаторов ТС и ТСК алюминиевые, а их выводы армированы медью. Трансформаторы ТСК отличаются от ТС наличием конденсатора, обеспечивающего увеличение коэффициента мощности ($\cos \varphi$).

§ 4. Осцилляторы. Импульсные возбудители дуги

Возбуждение дуги облегчается повышением напряжения и частоты переменного тока. При высокой частоте тока конец электрода не успевает достаточно охладиться при переходе тока через нулевое значение и дуга легко возникает вновь.

Для получения переменного тока высокой частоты и напряжения при сварке применяют о с ц и л л я т о р ы. Осциллятор позволяет получить ток частотой до 250 000 гц периодов в секунду при напряжении до 3000 в. Хотя такой ток имеет высокое напряжение, он не опасен для человека ввиду его малой мощности. Осциллятор включают параллельно со сварочным трансформатором, питающим ток дугу. При этом дуга зажигается настолько легко, что даже не требуется прикосновения электрода к детали. Используя осцил-

лятор, можно сваривать металл малой толщины сварочным током от 10 а и выше. При обычном способе питания дуги столь малый ток не обеспечивает устойчивого горения ее, что затрудняет сварку.

В связи с широким применением электродов, в состав покрытий которых вводятся вещества, обеспечивающие устойчивость горения дуги при сварке переменным током, использование осцилляторов сократилось. Осцилляторы теперь применяются главным образом при аргоно-дуговой сварке переменным током, а также при сварке очень тонкого металла.

На рис. 133, а показана схема осциллятора М-3. Ток от сварочного трансформатора напряжением 40—65 в поступает в первичную обмотку повышающего трансформатора 1 мощностью 150 *вт*, в котором напряжение повышается до 2500 в. Далее этот ток поступает в колебательный контур 11, состоящий из конденсатора 1, индукционной катушки 2 и искрового разрядника 4. Разрядник состоит из трех вольфрамовых пластин, расстояние между которыми равно 0,25 мм. Между пластинами проскакивает искра, вследствие чего во вторичной обмотке индукционной катушки 2 возбуждается ток высокого напряжения в 2500 в и высокой частоты, достигающей 250 000 *гц*.

В случае порчи осциллятора конденсатор 3 защищает сварщика от поражения током низкой частоты высокого напряжения. При включении осциллятора в цепь к клемме В подключают электрод, а к клемме Ч — свариваемую деталь. Провод, идущий от клеммы В к электрододержателю, должен соединяться с последним после дросселя, иначе высокочастотный ток не сможет пройти через обмотку дросселя, которая представляет для него большое сопротивление. На рис. 133, б дана схема включения осциллятора, сварочного трансформатора и дросселя при сварке.

На рис. 133, в показана схема осциллятора ОСП-88-1, состоящего из повышающего трансформатора 1, ограничительного сопротивления 2, искрового разрядника 3, конденсатора 4, высокочастотного трансформатора 5, имеющего ферритовый сердечник 6, первичную и вторичную обмотки 7, плавкого предохранителя 8 и конденсаторов 9 и 10. Осциллятор ОСП-88-1 при большой эффективности потребляет малую мощность и имеет малый вес.

Первичная обмотка повышающего трансформатора осциллятора подключается ко вторичной обмотке сварочного трансформатора двойным проводом сечением 1,5 мм² через клеммы 65 и Л. К электроду и свариваемой детали осциллятор подключается проводом сечением 1,5 мм² с высокочастотной изоляцией и металлической оплеткой (экраном), служащей для уменьшения радиопомех. С этой же целью корпус осциллятора делается металлическим. Около сварщика ставят рубильник, при помощи которого осциллятор может быть включен в нужный момент.

Правила обслуживания осцилляторов заключаются в следующем:

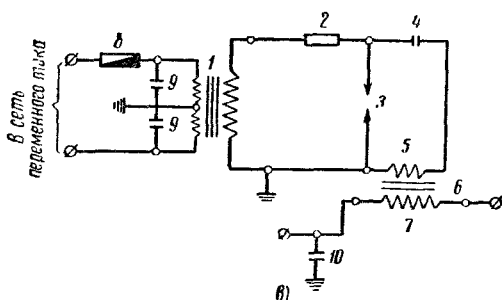
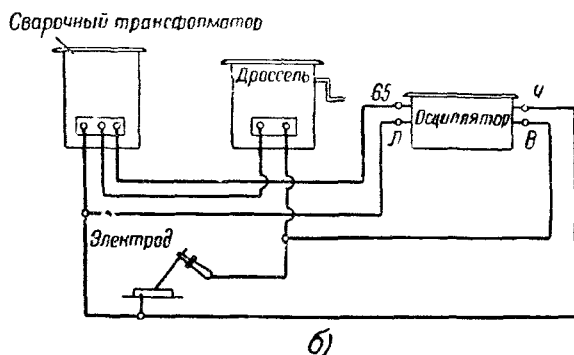
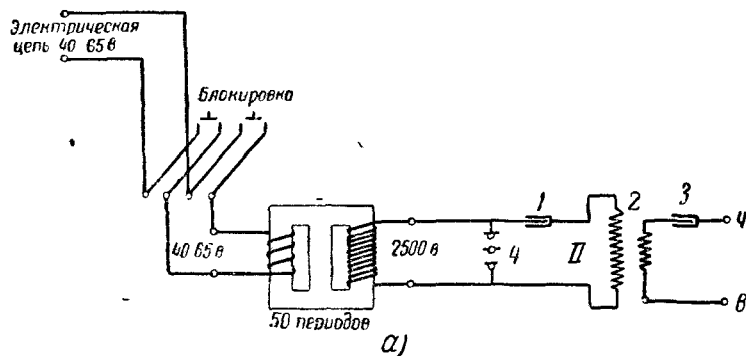


Рис. 133. Схема (а) осциллятора М-3 и включение его в сварочную цепь (б); схема осциллятора ОСП-88-1 (в)

а) сначала включают осциллятор, потом сварочный трансформатор;

б) после окончания работы осциллятор должен быть выключен;

в) один раз в месяц рабочие поверхности разрядника чистятся шкуркой № 00;

г) осциллятор следует предохранять от толчков, ударов и не вскрывать без особой необходимости;

д) панель осциллятора протирают чистой тряпкой один раз в пять дней.

Повысить устойчивость горения сварочной дуги и облегчить ее возбуждение можно также путем применения импульсных возбудителей (генераторов импульсов), например марки ГИ-1, конструкции Института электросварки им. Е. О. Патона. Импульсный генератор снабжен конденсатором, который заряжается от источника переменного тока через индуктивное устройство с насыщающимся магнитопроводом.

В разрядной цепи включен электронно-ионный выключатель, управляемый двумя тиратронами*, включенными встречно-параллельно. Этот выключатель является быстрodeйствующим и замыкает разрядную цепь в момент перехода сварочного тока через нуль, обеспечивая при этом разрядку конденсатора и подачу в дугу кратковременных импульсов тока повышенного напряжения, порядка 200—300 в. Этим создаются условия для легкого возбуждения дуги переменного тока при повторном ее возникновении после перехода через нулевое значение.

Поскольку импульсный возбудитель подает ток повышенного напряжения синхронно (т. е. согласованно по времени) с изменением напряжения сварочного тока, он более надежно обеспечивает повторное зажигание дуги, чем осциллятор; кроме того, не вызывает радиопомех, неизбежных при пользовании осцилляторами. Разрядная цепь возбудителя включается в сварочную цепь трансформатора — дуга параллельно, подобно тому, как при включении осциллятора.

§ 5. Параллельное включение сварочных трансформаторов

Если необходимо получить большой сварочный ток, например при горячей сварке чугуна, автоматической сварке под слоем флюса, сварке пучком электродов и пр. и отсутствии трансформаторов достаточной мощности, можно применять трансформаторы меньшей мощности, включаемые параллельно.

* Тиратроном называется специальная стеклянная или металлическая лампа, заполненная парами ртути под вакуумом и пропускающая ток только в одном направлении. Тиратроны широко применяются в сварочной технике для точной дозировки продолжительности прохождения тока через электроды при точечной контактной сварке.

При параллельном включении сварочных трансформаторов необходимо соединить одноименные концы первичных и вторичных обмоток. Эти концы на клеммных досках трансформаторов обозначают одинаковыми буквами.

Схема параллельного соединения сварочных трансформаторов СТЭ-34 показана на рис. 134. Параллельно можно соединять одно-

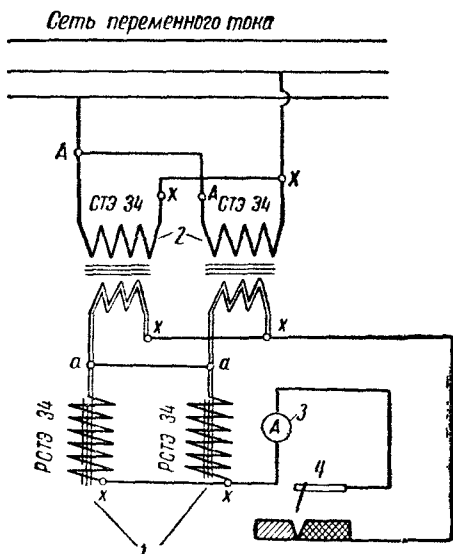


Рис 134. Соединение сварочных трансформаторов для параллельной работы:

1 — регуляторы, 2 — трансформаторы, 3 — амперметр, 4 — электродержатель (буквами обозначены концы обмоток)

типные трансформаторы с одинаковой внешней характеристикой и одинаковым первичным и вторичным напряжением. При параллельном соединении напряжение сварочной цепи равно вторичному напряжению одного сварочного трансформатора, а ток равен сумме токов, проходящих через каждый трансформатор.

Правильность соединения обмоток можно проверить следующим образом. Сначала соединяют концы первичных обмоток, затем соединяют два конца вторичных обмоток, а между двумя другими концами включают вольтметр или лампочку на 127 в. Если концы обмоток соединены правильно, то вольтметр покажет нуль и лампочка гореть не будет. Если вольтметр покажет напряже-

ние 120—130 в или лампочка загорится, это означает, что концы вторичной обмотки соединены неправильно и их следует пересоединить.

§ 6. Многопостовые сварочные трансформаторы

Сварочные посты могут питаться током централизованно от одного трансформатора по схеме многопостовой сварки. В этом случае каждый сварочный пост снабжается отдельным регулятором тока. Мощность трансформатора должна соответствовать суммарной мощности сварочных постов с учетом коэффициента одновременно-сти их работы.

Для многопостовой сварки можно использовать только сварочные трансформаторы с отдельными регуляторами, т. е. типа СТЭ.

Трансформаторы со встроенным регулятором нельзя применить для многопостовой сварки, так как наличие у них общего магнитопровода с регулятором допускает нормальное горение только одной сварочной дуги.

При многопостовой сварке целесообразно использовать трехфазные трансформаторы (рис. 135). В этих трансформаторах первичная

Силовая сеть переменного тока

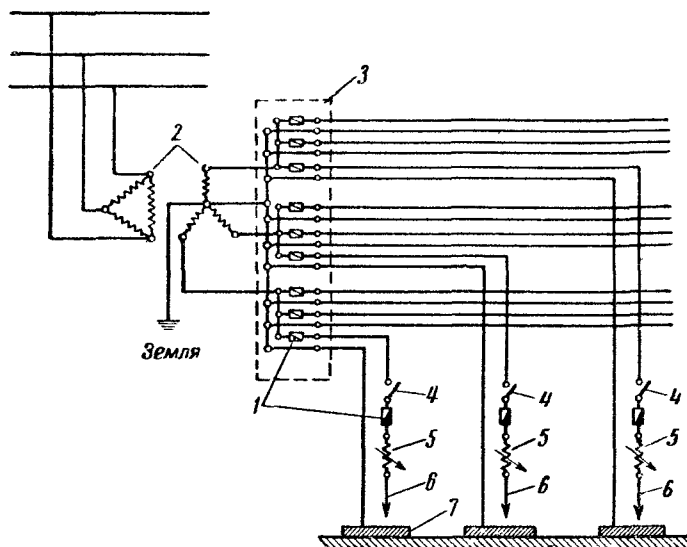


Рис 135 Схема включения трехфазного трансформатора на многопостовую сварку:

1 — предохранители, 2 — трехфазный трансформатор, 3 — распределительный щит, 4 — рубильники, 5 — постовые регуляторы, 6 — электроды, 7 — свариваемый металл

обмотка включается треугольником, а вторичная — звездой с выведенным нулем на землю. Напряжение между нулевым проводом и любой из трех фаз (фазовое напряжение) не должно превышать 65—70 в. Сварочные дуги включаются между нулем и одной из фаз трансформатора с таким расчетом, чтобы все три фазы были загружены равномерно. Ток к сварочным постам подается по проводам от центрального распределительного щита.

Многопостовая сварка на переменном токе имеет следующие преимущества:

1. Расход энергии примерно в 2—2,5 раза меньше, чем при использовании однопостовых преобразователей постоянного тока.

2. Уменьшаются потери холостого хода.

3. Сокращаются первоначальные затраты на оборудование и его амортизацию.

4. Экономится площадь.
5. Обеспечивается большая безопасность, так как к рабочим местам подводится ток напряжением 60—70 в вместо 220—380 в при однопостовой сварке.
6. Обеспечивается большая надежность работы и сокращение эксплуатационных расходов.
7. Повышается производительность сварочных работ за счет работы на больших токах.
8. Упрощается обслуживание трансформаторов.

§ 7. Трансформаторы для сварки трехфазной дугой

Для ручной сварки трехфазной дугой разработаны специальные трансформаторы марки ЗСТ конструкции проф. Н. С. Сиунова. Трансформатор имеет мощность 35 ква при ПР — 100% , 60 ква

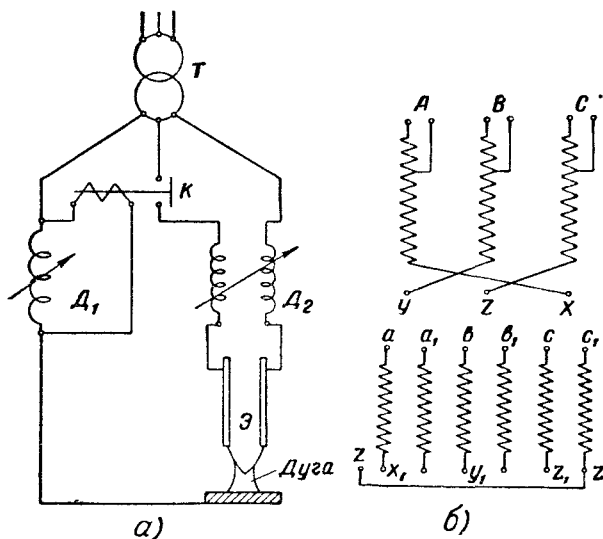


Рис 136. Схема включения трансформатора ЗСТ и регулятора при сварке трехфазной дугой:

T — трансформатор, K — контактор, D_1 и D_2 — комбинированные дроссели с двумя сердечниками, $\mathcal{E}$ — электроды

при ПР—60% и рассчитан на первичное напряжение 220—380 в, вторичное напряжение равно 59 или 68 в, сварочный ток — 350—400 а. Схема включения трансформатора и регулятора показана на рис. 136, а; схема соединения обмоток трансформатора ЗСТ приведена на рис. 136, б (буквами обозначены соответствующие концы

первичной и вторичной обмоток трансформатора, выведенные на клеммную доску).

Регулятор тока имеет два отдельных сердечника (магнитопровода). У каждого сердечника свой регулируемый воздушный зазор. Сердечник D_1 имеет одну катушку, а сердечник D_2 — две катушки. Такое устройство позволяет регулировать распределение сварочного тока между дугами и изделием. Контактёр K служит для замыкания цепи между электродами, когда оба электрода отведены от изделия и сварка закончена.

§ 8. Обслуживание сварочных трансформаторов

Сварочный ток не должен превышать максимального тока, на который рассчитаны данный трансформатор и его регулятор.

Все зажимы на трансформаторе и регуляторе должны быть хорошо затянуты и иметь надежный электрический контакт.

Сварщик не должен касаться металлических токоведущих частей первичной цепи трансформатора.

Трансформаторы следует периодически осматривать с целью своевременного устранения мелких неисправностей, могущих вызвать аварию. Основные неисправности, возникающие при работе трансформаторов, следующие:

1. Витковое замыкание в обмотках, признаком которого является нагревание и обгорание изоляции обмотки. Если при этом в обмотке нет разрывов и замыкание произошло в первичной обмотке трансформатора, то последний будет сильно гудеть, расходовать большое количество тока холостого хода и нагреваться. Для исправления дефекта трансформатор нужно отключить от сети, разобрать и устранить витковое замыкание.

2. Нарушение контактов в соединениях, сопровождающееся нагревом, требующее немедленного устранения. Для этого трансформатор или регулятор отключают, разбирают нагревающееся соединение, плотно пригоняют контактные поверхности и затягивают до отказа болты зажимов.

3. Чрезмерный нагрев сердечника или скрепляющих его шпилек и других частей вследствие порчи их изоляции. Поврежденную изоляцию необходимо заменить новой, разобрав трансформатор.

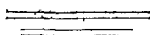
4. Сильное гудение сердечника, вызываемое ослаблением его крепления. У регулятора это явление появляется в результате ослабления винтового привода сердечника.

5. Повреждение изоляции между обмотками или между обмоткой и корпусом. Этот дефект легко обнаружить с помощью контрольной лампочки. Устранение дефекта требует разборки трансформатора.

Сечение соединительных проводов берется в зависимости от напряжения в первичной цепи по данным табл. 61.

Сечение проводов, подводящих ток из сети к трансформаторам

Марка сварочного трансформатора	Напряжение сети, в			
	220		380	
	сечение провода, мм ²	наибольший ток предохранителя, а	сечение провода, мм ²	наибольший ток предохранителя, а
СТЭ-24	16	100	10	60
СТЭ-34	35	160	16	90
СТН-500	35	160	16	90
СТН-700	70	210	35	130



ГЛАВА XIX

СВАРОЧНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ДЛЯ СВАРКИ ПОСТОЯННЫМ ТОКОМ

§ 1. Основные требования к сварочным преобразователям

Сварочным преобразователем принято называть агрегат, состоящий из генератора постоянного тока и электродвигателя трехфазного переменного тока. Эти агрегаты служат для питания дуги постоянным сварочным током.

Генератор сварочного преобразователя должен удовлетворять следующим основным требованиям:

1. Иметь соответствующую мощность, позволяющую вести сварку электродами требуемого диаметра, и допускать регулирование сварочного тока в установленных пределах.

2. Создавать напряжение, необходимое для возбуждения и горения дуги, а также быстро изменять величину этого напряжения в зависимости от изменения длины дуги. Напряжение при зажигании дуги (напряжение холостого хода) должно быть выше напряжения горения дуги (рабочего напряжения).

3. Не допускать значительного увеличения тока в сварочной цепи при коротком замыкании; время, необходимое для восстановления первоначального напряжения после короткого замыкания, не должно превышать 0,05 сек.

4. Многопостовые сварочные генераторы должны поддерживать постоянным напряжение сварочной цепи.

Внешней вольтамперной характеристикой сварочного генератора называется зависимость между напряжением и током на клеммах сварочной цепи генератора, изображаемая в виде кривой на диаграмме. На рис. 137 *а* и *б* показаны внешние характеристики двух сварочных генераторов. Они обе падающие, т. е. при возрастании тока в сварочной цепи напряжение в ней уменьшается. Характеристика, изображенная на рис. 137, *а*, является пологой, а на рис. 137, *б* — крутой. При изменении напряжения на одну и ту же величину

у более пологой характеристики величина изменения тока a будет больше, чем у более крутой характеристики.

При сварке металлическими и угольными электродами наибольшее применение находят однопостовые генераторы с падающими характеристиками, так как они в наибольшей степени удовлетворяют указанным выше требованиям.

Для сварки в среде защитных газов — аргоне, углекислом газе более подходят генераторы с возрастающей характеристикой (рис. 137, в), так как они обеспечивают устойчивое горение сварочной дуги. В этом случае саморе-

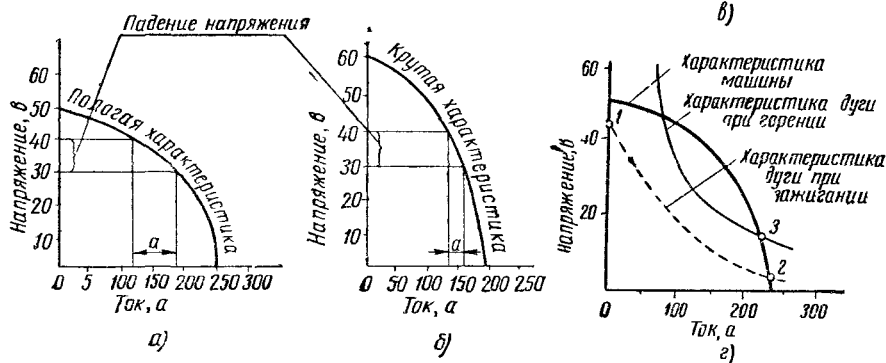


Рис. 137. Характеристики сварочных генераторов:

a — пологая, $б$ — крутая, $в$ — возрастающая, $г$ — связь между характеристиками машины и сварочной дуги

гулирование дуги будет происходить более интенсивно, так как даже незначительное изменение длины дуги вызывает уже существенное изменение величины сварочного тока a .

Зависимость между напряжением и током в самой сварочной дуге выражается характеристикой дуги. Для устойчивого горения дуги ее характеристика должна пересекаться с характеристикой генератора. На рис. 137, г показана диаграмма с наложенными друг на друга характеристиками генератора и дуги. Характеристика генератора в этом случае создает условия для устойчивого горения дуги: при зажигании дуги электрод касается металла и напряжение дуги от начальной величины в точке 1 изменяется по кривой 1—2 до точки 2 пересечения с характеристикой генератора. Точка 2 соответствует началу отвода электрода от ванны. При отводе электрода дуга удлиняется и напряжение в ней возрастает по кривой 2—3 до точки 3 пересечения с характеристикой

нормально горящей дуги. Точка 3 будет соответствовать устойчивому горению дуги.

При более крутой характеристике генератора ток короткого замыкания не будет слишком большим по сравнению с нормальным током в генераторе. Обычно характеристика генератора подбирается так, чтобы ток короткого замыкания в нем не превышал нормальный рабочий ток более чем в 1,5 раза. Промышленностью выпускаются многопостовые и однопостовые сварочные преобразователи.

Однопостовые сварочные преобразователи рассчитаны обычно на сварочный ток от 120 до 800 а, многопостовые — от 500 до 2500 а.

§ 2. Многопостовые преобразователи

Общие сведения. Генераторы многопостовых преобразователей имеют постоянное напряжение, т. е. их внешняя характеристика расположена горизонтально (рис. 138, кривая I). Такие характеристики называются жесткими. Многопостовые преобразователи используются в сварочных цехах для централизованного питания сварочным током. Напряжение на клеммах генератора должно быть достаточным для возбуждения дуги.

Для получения падающей внешней характеристики сварочные дуги включаются в цепь через балластные реостаты, создающие в цепи дополнительные сопротивления. Изменяя сопротивление реостата, можно регулировать сварочный ток. При увеличении тока напряжение на зажимах генератора не изменяется. Напряжение же дуги будет изменяться в зависимости от сварочного тока. Напряжение на зажимах генератора, измеренное при разомкнутой сварочной цепи, называется напряжением холостого хода.

Обозначим:

U_{Γ} — напряжение на зажимах генератора, в;

U_d — напряжение дуги, в;

U_p — падение напряжения в балластном реостате, в;

I — сварочный ток, а;

R — сопротивление балластного реостата, ом.

По закону Ома падение напряжения в балластном реостате будет равно $U_p = I \cdot R$. Следовательно, напряжение дуги составит:

$$U_d = U_{\Gamma} - U_p = U_{\Gamma} - IR.$$

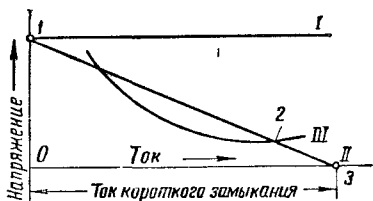


Рис. 138. Характеристики:

I — многопостового генератора, II — в комбинации с балластным реостатом, III — сварочной дуги

При коротком замыкании, когда $I = I_{к.з}$, напряжение дуги должно упасть до нуля. В этом случае

$$U_d = 0 \text{ или } U_r - I_{к.з}R = 0.$$

Отсюда получим:

$$I_{к.з} = \frac{U_r}{R}.$$

Таким образом, величина тока короткого замыкания $I_{к.з}$ определяется величиной сопротивления R балластного реостата.

Например, напряжение генератора $U_r = 60$ в, напряжение дуги $U_d = 20$ в. Тогда требуемое сопротивление балластного реостата при сварочном токе $I = 300$ а будет равно:

$$R = \frac{60 - 20}{300} = 0,133 \text{ ом}.$$

При этом сопротивлении ток короткого замыкания $I_{к.з}$ составит:

$$I_{к.з} = \frac{60}{0,133} = 450 \text{ а}.$$

Падающая характеристика, обусловленная включением в сварочную цепь реостата, изображена на диаграмме рис. 138 прямой II. Она пересекает характеристику сварочной дуги III в точке 2, являющейся точкой устойчивого горения дуги. Точка 1 на рис. 138 соответствует холостой работе генератора, а точка 3 — моменту короткого замыкания цепи, когда все напряжение, развиваемое генератором, идет на преодоление сопротивления реостата; величина тока короткого замыкания будет выражаться длиной отрезка 0—3.

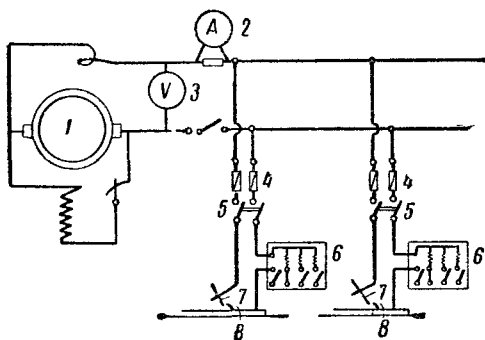


Рис. 139. Схема включения сварочных постов в цепь многопостового генератора через балластные реостаты:

1 — многопостовой генератор, 2 — амперметр, 3 — вольтметр, 4 — предохранители, 5 — рубильники, 6 — балластные реостаты, 7 — электроды, 8 — сварочные дуги

Принципиальная схема включения балластных реостатов во внешнюю цепь многопостового генератора показана на рис. 139.

Если сварка производится металлическими и угольными электродами, пользуются многопостовыми преобразователями с напряжением холостого хода генератора 60 в. При сварке только металлическими электродами можно использовать преоб-

разователь с напряжением генератора 40 в, поскольку для зажигания дуги при металлическом электроде требуется меньшее напряжение, чем при угольном.

Устройство многопостовых агрегатов. Многопостовой преобразователь состоит из генератора постоянного тока и электродвигателя переменного или постоянного тока. Общий вид многопостового агрегата

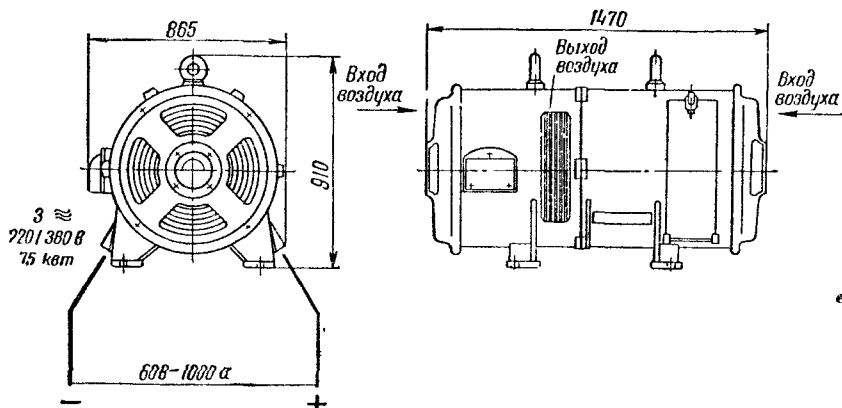


Рис. 140. Многопостовой преобразователь постоянного тока ПСМ-1000-1

агрегата ПСМ-1000-1 показан на рис. 140. Агрегат ПСМ-1000-1 имеет шестиполосный генератор с самовозбуждением.

Техническая характеристика генератора

Мощность, кВт	60
Напряжение, в	60
Ток, а	1000
Число оборотов в минуту	1470
Вес, кг	1600
Количество обслуживаемых постов по 200 а . . .	9

Генератор с электродвигателем смонтированы в общем корпусе и агрегат устанавливается на фундамент.

Напряжение, обеспечиваемое генератором, можно регулировать с помощью шунтового реостата, включаемого в цепь обмотки возбуждения. Поворачивая маховичок реостата по часовой стрелке, уменьшают сопротивление в цепи возбуждения, т. е. увеличивают напряжение, создаваемое генератором. Вращая маховичок против часовой стрелки, уменьшают напряжение на зажимах генератора. Генератор допускает параллельную работу с другими такими же генераторами. Для этого на клеммной доске генератора имеется добавочный зажим, к которому подключается уравнильный провод, соединяющий два или несколько генераторов, работающих парал-

тельно. Схема включения сварочного агрегата ПСМ-1000-1 и сварочных постов показана на рис. 141.

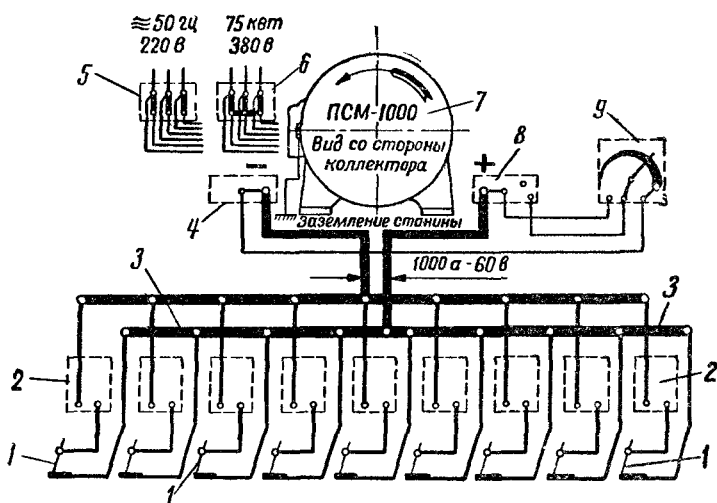


Рис. 141. Схема включения в цепь преобразователя ПСМ-1000-1 сварочных постов и балластных реостатов:

1 — электроды, 2 — балластные реостаты, 3 — шины, 4 и 8 — клеммные доски для подключения к шинам сварочной цепи, 5 и 6 — клеммные доски двигателя агрегата для подключения к заводской сети переменного тока, 7 — агрегат ПСМ-1000-1, 9 — шунтовый реостат для регулирования напряжения сварочного генератора

Количество сварочных постов, которые можно подключать к одному многопостовому агрегату, определяется по формуле

$$n = \frac{I}{I_0 \cdot K},$$

где n — количество постов;

I — ток многопостового агрегата, указанный в его паспорте, а;

I_0 — наибольший ток, потребляемый одним сварочным постом, а;

K — коэффициент одновременной работы постов, принимаемый в расчетах равным $K = 0,6$.

Например: $I = 1000$ а, $I_0 = 200$ а, $K = 0,6$, тогда имеем:

$$n = \frac{1000}{200 \cdot 0,6} = 8,4;$$

принимаем $n = 9$.

Балластные реостаты. Общий вид балластного реостата пока-

зан на рис. 142. Балластный реостат состоит из нескольких элементов сопротивления — катушек из константановой* проволоки, намотанной на рамки. Регулирование сварочного тока осуществляется посредством пяти рубильников, которые дают возможность получить 20 ступеней тока от 10 до 200 *а* через каждые 10 *а*. Если требуется получить в дуге ток больше, чем 200 *а*, то на каждую дугу включают параллельно два балластных реостата. Тогда наибольший ток, пропускаемый реостатами, увеличивается в два раза.

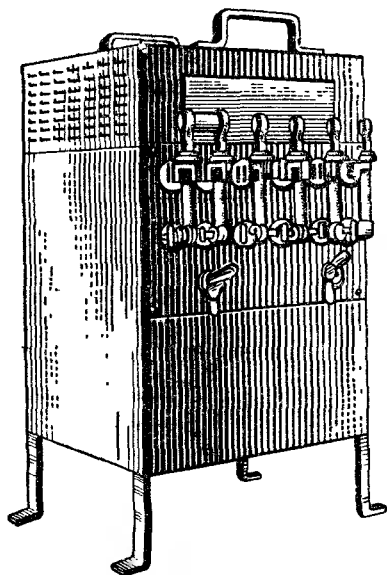


Рис. 142. Балластный реостат

§ 3. Однопостовые преобразователи

Для питания сварочным током одной сварочной дуги применяются однопостовые преобразователи. Для создания падающей характеристики генераторы однопостовых преобразователей имеют соответствующую электрическую схему.

На рис. 143 показан общий вид однопостового преобразователя СУГ-2р. В этих агрегатах используются сварочные генераторы СМГ-2. Преобразователи СУГ-2р передвижные и поставлены на раму трехколесной тележки, снабженной ручкой и поворотным колесом. Электродвигатель соединен с генератором муфтой. На рис. 144 показана схема обмоток (вид со стороны коллектора) генератора СМГ-2 и его включения в цепь для сварки. Буквами *Н* и *К* обозначены начало и конец обмоток катушек полюсов.

Генератор СМГ-2 работает по схеме с самовозбуждением. Он имеет шесть полюсов: четыре основных (*N* и *S*) и два добавочных (*n* и *s*). Два основных полюса, расположенные по вертикали, называются *п о п е р е ч н ы м и*. Каждый из них имеет по две катушки обмоток. Два других основных полюса (горизонтальные) называются *г л а в н ы м и* и имеют по одной катушке обмоток. Обмотки основных полюсов включены так, что рядом стоящие вертикальные

* Константан — сплав, содержащий 40% никеля, 0,5% марганца, остальное — медь, обладающий высоким электрическим сопротивлением, употребляется в виде проволоки для катушек реостатов.

и горизонтальные полюсы имеют одинаковую полярность: северную (N) — верхний и левый, южную (S) — нижний и правый.

Электродвижущая сила якоря определяется суммой магнитных

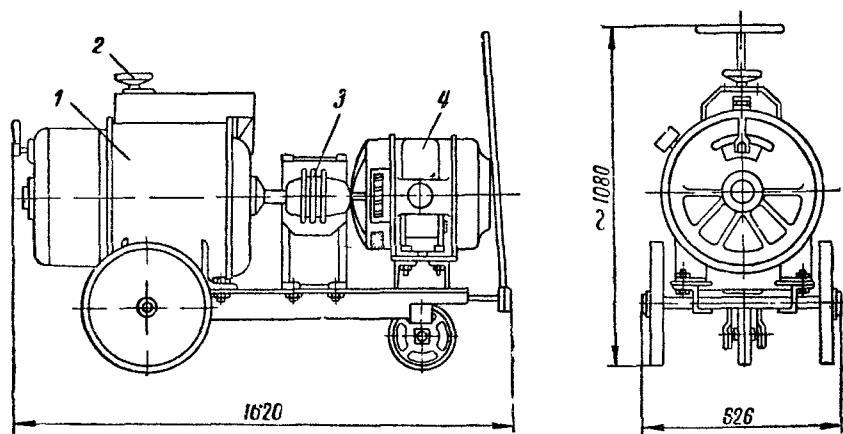


Рис 143. Однопостовой передвижной преобразователь СУГ-2р:
1 — генератор, 2 — маховик реостата для регулирования сварочного тока, 3 — соединительная муфта, 4 — электродвигатель

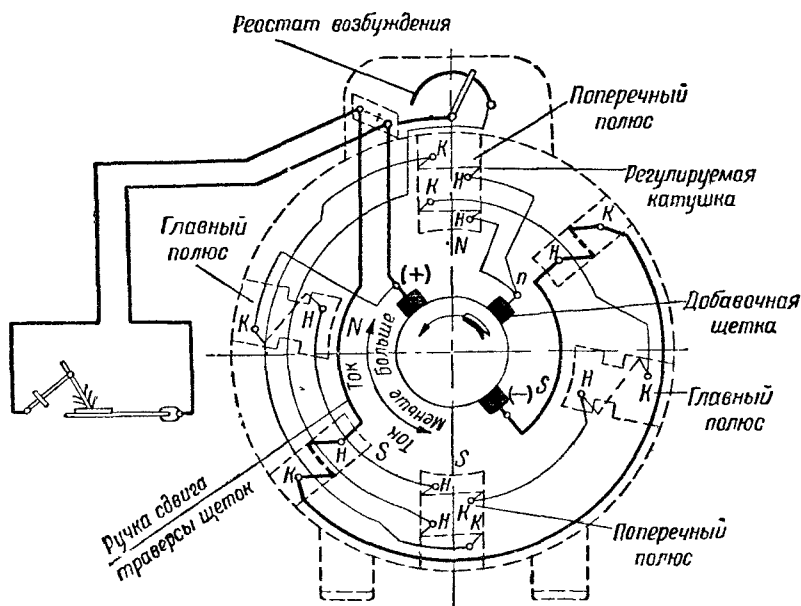


Рис. 144. Схема обмоток и включения в сварочную цепь генератора СМГ-2 (вид со стороны коллектора)

потоков обеих пар полюсов. Генератор имеет две цепи возбуждения — одну нерегулируемую и вторую регулируемую. Нерегулируемая цепь возбуждения снабжена обмотками, находящимися на поперечных и главных полюсах. Все они включены последовательно между плюсовой щеткой (+) и добавочной. Регулируемая цепь возбуждения имеет обмотки только на поперечных полюсах, которые также последовательно включены между плюсовой щеткой (+) и добавочной с реостатом.

Обмотки добавочных полюсов включены последовательно в сварочную цепь.

Падающая внешняя характеристика генератора СМГ-2 обеспечивается уменьшением магнитного потока нерегулируемой обмотки цепи возбуждения при воздействии магнитного потока обмотки якоря (реакции якоря).

После возбуждения сварочной дуги в обмотке якоря появляется ток, вследствие чего в якоре возникает свой магнитный поток. Часть силовых линий магнитного потока якоря направляется навстречу магнитному потоку нерегулируемой обмотки и тем самым уменьшает его, при этом уменьшается общая величина магнитного потока генератора. Это вызовет падение напряжения в сварочной цепи генератора тем большее, чем больше ток в сварочной цепи. При коротком замыкании размагничивающее действие реакции якоря увеличивается настолько, что напряжение в сварочной цепи падает до нуля.

Техническая характеристика генератора СМГ-2

	ПР—100%	ПР—75%	ПР—50%
Мощность <i>квт</i>	7,5	8,4	9,6
Ток, <i>а</i>	250	280	320
Напряжение рабочее, <i>в</i>	30	30	30
Напряжение холостого хода, <i>в</i> . .	65	65	65
Число оборотов в минуту . .	1430	1430	1430
Предел регулирования тока, <i>а</i> .	от 45 до 320	—	—

Агрегат СУГ-2р предназначен для сварки металлическим электродом диаметром от 3 до 6 мм. Реостат возбуждения (регулятор) установлен непосредственно на корпусе генератора. Вращением маховичка реостата по часовой стрелке увеличивают, а против часовой стрелки уменьшают сварочный ток. Шкала значений тока, вырабатываемого генератором СМГ-2, соответствует напряжению в дуге 30 в.

Промышленностью выпускаются преобразователи постоянного тока типов ПС-300-М-1, ПС-300Т и ПС-500 в однокорпусном исполнении. У них якорь генератора и роторы электродвигателя насажены на общий вал. Преобразователь ПС-300-М-1 предназначен для установки на фундамент и сварки током от 80 до 380 а и рассчитан на

номинальное напряжение 30 в. Преобразователи ПС-300Т и ПС-500 передвижные и установлены на тележках. Они рассчитаны на номинальное напряжение 30 в и соответственно на сварку током от 75 до 340 а и от 120 до 600 а.

Сварочные генераторы этих преобразователей с самовозбуждением и при размагничивающем действии последовательной обмотки возбуждения имеют падающую характеристику.

Общий вид преобразователя ПС-500 показан на рис. 145 а; на рис. 145 б показана электрическая схема его генератора. Основная обмотка самовозбуждения H генератора СГ питается от одной из главных щеток 1 и дополнительной щетки 2. Эта обмотка создает магнитный поток, независимый от величины напряжения на главных щетках 1 и 3. Падающая характеристика создается путем

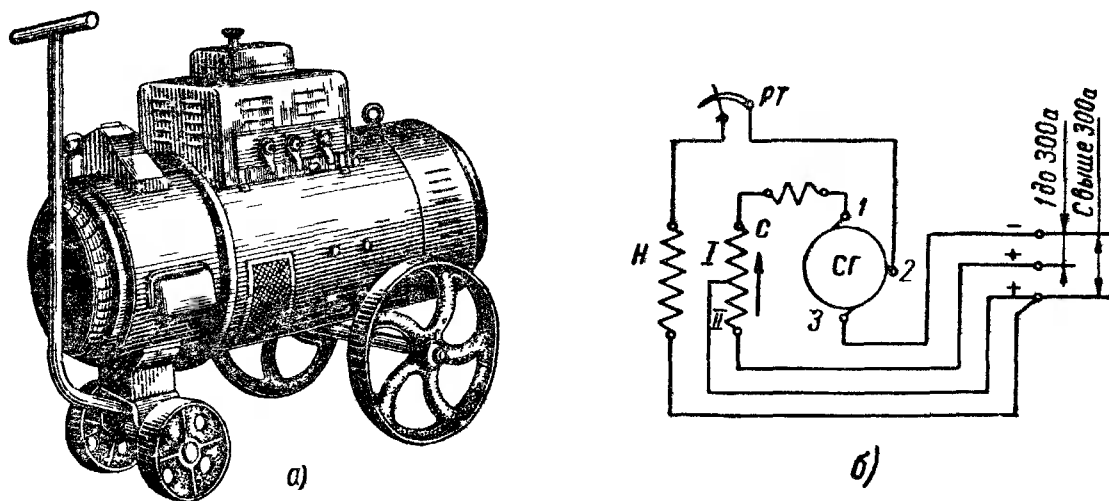


Рис. 145. Преобразователь ПС-500:
а — общий вид, б — схема соединения обмоток

встречного включения обмотки C из двух катушек: I — с четырьмя и II — с двумя витками. Регулирование тока осуществляется реостатом PT , включенным в цепь обмотки H . Для расширения пределов регулирования тока и предупреждения значительного изменения напряжения генератора предусмотрено секционное включение обмотки C : на первой секции — до 300 а — четыре витка. Преобразователь ПС-500 рассчитан на напряжение холостого хода 40 в.

Для сварки на малых токах от 30 до 120 а электродами диаметром 1,5—3 мм промышленностью выпускаются однокорпусные преобразователи ПСО-120, имеющие независимое возбуждение, питаемое от сети переменного тока через селеновый выпрямитель. Преобразователи серии ПСО выпускаются четырех типов и рассчитаны на следующие номинальные токи:

для ручной сварки	120 и 300 а
для ручной и автоматической сварки	
под флюсом	500 и 800 а

Источники постоянного тока для сварки в среде углекислого газа должны удовлетворять следующим требованиям:

1. Иметь жесткую, пологопадающую или возрастающую характеристику. Для сварки проволокой диаметром более 2 мм могут применяться источники тока с падающей характеристикой.
2. Обеспечивать напряжение в дуге: при проволоке диаметром 0,8—1,2 мм—18—25 в; при проволоке диаметром 2—3 мм—28—35 в.
3. Обеспечивать плотность тока: при проволоке диаметром 2 мм и менее — не ниже 100 а/мм², при проволоке диаметром более 2 мм—60—70 а/мм².
4. Обладать высокими динамическими свойствами и обеспечивать скорость нарастания тока при коротких замыканиях не менее 70—80 кка/сек.

Для автоматической и полуавтоматической сварки на постоянном токе плавящимся электродом в атмосфере защитных газов (углекислого газа и аргона) электродной проволокой диаметром 0,8÷2 мм выпускаются однопостовые передвижные сварочные преобразователи ПСГ-350 и ПСГ-500. Преобразователь состоит из сварочного генератора постоянного тока и трехфазного асинхронного двигателя, размещенного в одном корпусе с генератором, смонтированным на тележке. Генератор имеет четыре главных и четыре дополнительных полюса. На главных полюсах расположены две обмотки: обмотка независимого возбуждения и последовательная (подмагничивающая) обмотка, секционированная на две ступени. При включении полного числа витков последовательной обмотки получают возрастающую внешнюю характеристику, а при включении части витков — жесткую характеристику генератора.

Обмотка независимого возбуждения питается от сети переменного тока через стабилизатор напряжения и селеновый выпрямительный блок, чем устраняется влияние колебаний напряжения сети на ток возбуждения и характеристику генератора. Напряжение генератора регулируется реостатом путем изменения тока в обмотке независимого возбуждения.

Технические характеристики сварочных преобразователей серии ПСГ

	ПСГ-350	ПСГ-500
Номинальный ток при ПР—65 %, а	350	500
Номинальное напряжение, в	30	35
Пределы регулирования тока, а	50—350	50—500
Пределы регулирования напряжения, в	15—35	15—40
Номинальная мощность, квт	14	28
Напряжение сети, в	220—330	220—380
Число оборотов вала в минуту	2900	2900

К. п. д., %	63	65
Габариты, мм:		
длина	1085	1055
ширина	555	580
высота	980	920
Вес, кг	400	500

В качестве источников постоянного тока при сварке в среде CO_2 могут использоваться также зарядные преобразователи следующих типов, имеющие жесткую внешнюю характеристику и обладающие высокими электродинамическими свойствами:

	Преобразова- тель ЗП7,5/30 Ярославского электромехани- ческого завода	Генератор ГСР-9000*	Генератор Г-5 Москов- ского тор- гового за- вода*
Номинальный ток, а .	250	300	220
Напряжение, в	20—30	20—28	21
Вес, кг	—	21	45

* Применяются в комплекте с угольным или механическим регуляторами для получения устойчивого напряжения дуги.

При сварке проволокой диаметром 2—3 мм током свыше 200 а в нижнем положении можно применять сварочные генераторы с крутопадающей характеристикой типов ПС-300, ПС-500 и ПСМ-1000.

Для получения жестких или пологопадающих характеристик можно к обычным низковольтным генераторам присоединять полупроводниковую и магнитную приставки ПП-1 и ПМ-2, разработанные ЦНИЛЭлектропромом. Полупроводниковая приставка ПП-1 состоит из двух каскадных полупроводниковых усилителей постоянного тока, с помощью которых осуществляется управление током обмотки возбуждения генератора по заданной программе.

Магнитная приставка ПМ-2 является трансформаторным магнитным усилителем, состоящим из двух усилителей МУ-1 и МУ-11. Обмотка возбуждения генератора питается от включенных встречно-вторичных обмоток усилителя через выпрямитель. Переключение схемы с одного типа внешних характеристик на другой осуществляется пакетным переключателем.

Для выполнения сварочных работ в тех местах, где нет постоянного источника электрической энергии (на строительстве, прокладке трубопроводов и тому подобных работах), выпускаются сварочные агрегаты с двигателем внутреннего сгорания автомобильного или тракторного типа. Генератор соединяется с двигателем эластичной муфтой. В зависимости от мощности, типов генератора и двигателя такие агрегаты выпускаются разных марок.

Техническая характеристика приставок

	ПП-1	ПМ-2
Напряжение питания, <i>в</i>	220/380	220
Максимальная мощность на выходе, <i>вт</i>	200	180
Максимальный ток нагрузки, <i>а</i>	6,5	7,0
Напряжение на выходе, <i>в</i>	30	25
Вес, <i>кг</i>	18	20
Габариты, <i>мм</i>	500×315×240	200×250×300

§ 4. Сварочные выпрямители

Промышленностью выпускаются сварочные выпрямители из полупроводников (селена или германия), служащие для выпрямления трехфазного переменного тока в постоянный ток для сварки (рис. 146). Они состоят из понижающего трансформатора, регулятора сварочного тока, выпрямительного блока с селеновыми или германиевыми шайбами и пускорегулирующей аппаратуры.

Выпрямитель ВС-200 однопостовой, селеновый, состоит из трансформатора, выпрямительного блока и индуктивной катушки. Напряжение холостого хода изменяется переключением секций первичной обмотки трансформатора. Индуктивная катушка улучшает динамические свойства выпрямителя.

Выпрямитель ВС-200 имеет пологопадающую внешнюю характеристику и следующие технические данные:

Напряжение холостого хода, <i>в</i>	70
Номинальный сварочный ток при ПР—65 %, <i>а</i>	150
Пределы регулирования тока, <i>а</i>	30—150
Напряжение на дуге, <i>в</i>	17—21
Напряжение питающей сети, <i>в</i>	220—380
Габариты, <i>мм</i>	600×480×1200
Вес, <i>кг</i>	187
Диаметр сварочной проволоки, <i>мм</i>	0,8—1,0

Выпрямители ВСК состоят из узла питания (главный силовой трансформатор и добавочный трансформатор); узла управления для регулирования напряжения с помощью переключателей; узла селеновых выпрямителей — главного выпрямителя с жесткой характеристикой и вспомогательного, включенного параллельно главному и имеющего повышенное напряжение холостого хода; узла стабилизации, обеспечивающего получение различных внешних характеристик.

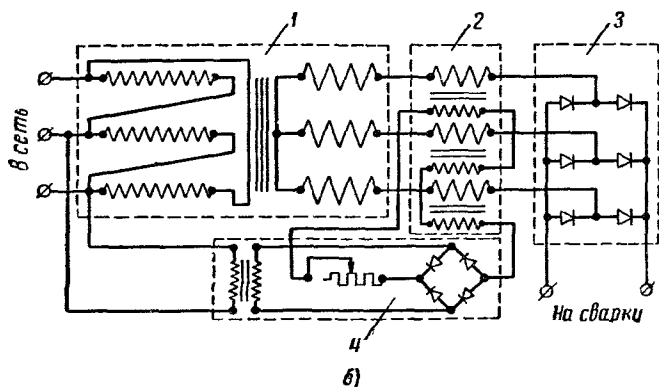
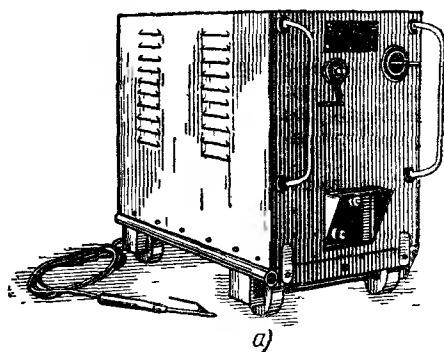


Рис 146 Сварочный селеновый выпрямитель ВСК-120

а — общий вид, *б* — электрическая схема 1 — трехфазный понижающий трансформатор, 2 — три дросселя намагничивания с подмагничиванием постоянным током, 3 — селеновый выпрямитель, соединенный по трехфазной мостовой схеме, 4 — блок селеновых выпрямителей для тока подмагничивания дросселей

Техническая характеристика выпрямителей ВСК

	ВСК 150	ВСК 300	ВСК 500
Напряжение холостого хода, <i>в</i>	70	70	70
Номинальный сварочный ток при ПР—65 %, <i>а</i>	150	300	500
Пределы регулирования тока, <i>а</i>	50—200	75—400	125—675
Напряжение дуги, <i>в</i>	17—28	14—24	26—38

Выпрямители ВСК могут применяться для сварки в среде CO_2 для ручной дуговой сварки, для полуавтоматической и автоматической сварки под флюсом.

Всесоюзный научно-исследовательский институт электросва-

рочного оборудования (ВНИИЭСО) разработал универсальный сварочный выпрямитель ВСУ-300 для ручной дуговой сварки, автоматической сварки под флюсом и сварки в среде защитного газа. Выпрямитель ВСУ-300 может быть отрегулирован на работу как с жесткими, так и падающими характеристиками; его технические данные следующие:

	Жесткая характеристика	Падающая характеристика
Номинальный сварочный ток при		
ГР—65 % <i>a</i>	300	200
Номинальное рабочее напряжение, <i>b</i>	35	30
Пределы регулирования тока, <i>a</i>	50—320	25—240
Напряжение питающей сети, <i>b</i>	220/380	220/380
Напряжение холостого хода, <i>b</i>	53—65	65
К п д, %	67	63
Габариты, мм	830×645×950	—
Вес, кг	320	—

§ 5. Применение многопостовых и однопостовых преобразователей

Многопостовые и однопостовые преобразователи имеют свои преимущества и недостатки.

Например, электрическая энергия используется лучше при однопостовых преобразователях, так как многопостовые машины дают большие потери в балластных реостатах. Вследствие этого расход энергии на 1 кг наплавленного металла равен: при однопостовых преобразователях 6—8 *квт · ч*, при многопостовых 8—10 *квт · ч*. Стоимость же единицы мощности у многопостовых преобразователей ниже, поскольку в более крупных машинах единица мощности обходится дешевле, чем в более мелких однопостовых. Расходы на погашение стоимости оборудования, ремонт, уход и обслуживание многопостовых преобразователей ниже, чем однопостовых. Удобство сварки и качество шва при использовании тех и других машин одинаковы.

Недостатком многопостовых преобразователей является их меньшая маневренность. В случае выхода из строя многопостового агрегата сразу прекращает работу большое количество сварочных постов, чего не может быть при использовании однопостовых преобразователей. При дешевой электроэнергии выгоднее применять многопостовые преобразователи, а при более дорогой — однопостовые.

Многопостовые преобразователи обладают значительными преимуществами при использовании их в сварочных цехах с числом постов не менее 20—30, так как они занимают меньшую площадь по сравнению с таким же количеством однопостовых агрегатов, особенно в тех случаях, когда однопостовые машины приходится располагать на полезной производственной площади цеха.

§ 6. Работа параллельно включенных сварочных генераторов

В тех случаях, когда необходимо производить сварку током, превышающим нормальный ток для генератора данного преобразователя, можно включить параллельно два генератора. Тип и характеристика этих генераторов должны быть одинаковыми. Перед включением следует отрегулировать обе машины на одинаковое напряжение холостого хода. При работе нужно следить за показаниями амперметров, так как при неправильном распределении нагрузки между генераторами напряжение одного из них будет выше,

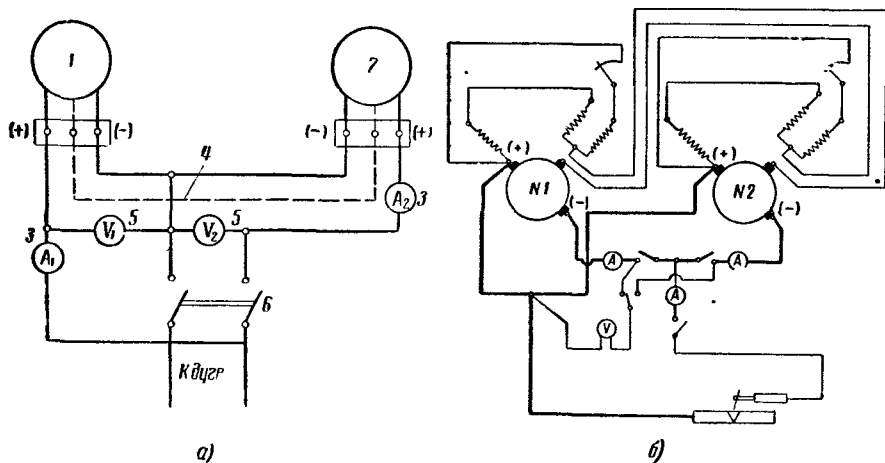


Рис. 147. Параллельное соединение генераторов:

а — схема соединения генераторов многопостовых преобразователей на параллельную работу: 1 — генератор № 1, 2 — генератор № 2, 3 — амперметры, 4 — уравнильный провод, 5 — вольтметры, 6 — рубильник; *б* — схема соединения двух однопостовых генераторов СМГ-2 на параллельную работу

чем другого, и ток пойдет в тот генератор, где напряжение ниже. Последний будет работать как электродвигатель и может размагнититься, в этом случае стрелка амперметра отклонится влево от нуля. При этом нужно немедленно выключить рубильник и снова отрегулировать распределение нагрузок между генераторами.

На многопостовых преобразователях предусматриваются уравнильные контакты, с помощью которых генераторы соединяются уравнильным проводом. При понижении напряжения на одной машине ток по уравнильному проводу идет в машину с более низким напряжением, подмагничивает полюса и повышает напряжение данного генератора, выравнивая его с напряжением другого генератора, включенного параллельно. Сечение уравнильного провода равно 10—16 мм². Схема параллельного соединения генераторов многопостовых преобразователей дана на рис. 147, *а*.

На рис. 147, *б* показана схема соединения двух однопостовых

сварочных генераторов СМГ-2 на параллельную работу. Цепь возбуждения генератора № 1 отключается от щеток и присоединяется к щеткам генератора № 2, а цепь возбуждения генератора № 2—к щеткам генератора № 1. Такой способ перекрестного питания возбуждения генераторов обеспечивает их устойчивую параллельную работу.

§ 7. Обслуживание сварочных преобразователей

Сварочный преобразователь может длительно и безотказно работать при систематическом уходе за ним. Особого ухода требует коллектор генератора, щетки и подшипники.

К о л л е к т о р нужно время от времени очищать от пыли чистой тряпкой, смоченной в бензине, причем выполняется эта операция при неработающем генераторе. При правильной работе машины на коллекторе не должно быть следов нагара. Мелкое (бисерное) искрение щеток, не оставляющее следов нагара на коллекторе, не опасно. Если на коллекторе появляются следы нагара, нужно выяснить причину этого явления и устранить ее, а коллектор шлифовать мелкозернистой прессованной пемзой или мелкой стеклянной бумагой, натянутой на деревянную колодку, имеющую форму поверхности коллектора. Шлифовку следует производить равномерно по всему коллектору. Шлифовать коллектор наждачной бумагой категорически воспрещается.

Если со временем между пластинами начинает выступать слюда, то при работе щеток появляется искрение и шум. В этом случае следует специальной пилкой осторожно выбрать слюду между пластинками на глубину около 1 мм, а затем мелким трехгранным напильником снять образовавшиеся заусенцы и шлифовать коллектор на ходу при поднятых щетках.

Щ е т о ч н ы й м е х а н и з м следует регулярно осматривать. Поврежденную или изношенную щетку надо заменить новой и притереть ее к коллектору. Для этого под щетку (стеклом к ней) подкладывают полоску мелкой стеклянной бумаги. Стеклянную бумагу пропускают под щеткой в направлении вращения машины до тех пор, пока щетка не будет плотно прилегать к коллектору. Притирку производят при нормальном нажатии пружины щеткодержателя. После притирания щеток (как и после шлифовки коллектора) образовавшуюся пыль надо удалить, а для окончательной притирки щеток дать генератору поработать вхолостую.

При установке новых щеток нужно убедиться в том, что все они выровнены, одновременно сходят с пластины и вступают на новую; нужно также проверить, передвигаются ли щетки в обойме свободно, без заедания, и не качаются ли в ней. Нижний край обойм должен находиться на расстоянии 2—3 мм от коллектора.

Неправильное положение траверсы может вызвать также сильное искрение щеток и даже обгорание коллектора.

Смазка в шарикоподшипниках с течением времени густеет и загрязняется. Поэтому ее следует менять один или два раза в год. После удаления загрязненной смазки надо тщательно промыть подшипники бензином из шприца, после чего снова заполнить их смазкой. При разборке подшипников необходимо следить, чтобы в них не попала пыль, песок и пр.

Изоляция машин вследствие попадания влаги может отсыреть, что уменьшает ее сопротивление. Это возможно, если машина длительное время находилась в бездействии на открытом воздухе или в сыром неотапливаемом помещении. В таких случаях перед пуском в работу машину следует просушить способом, указанным в заводской инструкции по обслуживанию преобразователя данного типа.

§ 8. Области применения сварочных трансформаторов и преобразователей

Сварочные трансформаторы проще, легче по весу и дешевле сварочных преобразователей постоянного тока. Поскольку сварка толстопокрытыми электродами на переменном токе обеспечивает получение сварных швов высокого качества, сварочные трансформаторы нашли самое широкое применение в различных областях. Около 80% всего объема сварочных работ производится на переменном токе с использованием сварочных трансформаторов.

Сравнительные данные применения сварочного трансформатора (переменный ток) и однопостового преобразователя (постоянный ток) приводятся ниже:

	Сварочный трансформатор (переменный ток)	Однопостовый преобразователь (постоянный ток)
Расход энергии на 1 кг наплавленного металла, <i>квт·ч</i>	3,5—4	6—8
Стоимость энергии, %	50—60	100
Мощность холостого хода, <i>квт</i>	0,2	2—3
Стоимость оборудования, %	20—30	100
Стоимость ремонта и обслуживания в % от стоимости оборудования	3	6
Занимаемая площадь на 1 пост, <i>м²</i>	1,5	4,5—4,6

Тем не менее, несмотря на все преимущества трансформаторов перед сварочными машинами постоянного тока, последние достаточно широко используются в тех случаях, когда это вызывается технологической необходимостью, например при отсутствии источников электрической энергии, при сварке цветных металлов, чугуна, подводной сварке и резке, сварке тонкого металла, сварке электродами с покрытием основного характера (для которых требуется сварка на постоянном токе) и в других случаях. В связи с этим сварочные машины постоянного тока различных типов и характеристик выпускаются промышленностью в больших количествах.

ГЛАВА XX

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СВАРКИ

§ 1. Общие сведения

Для сварки под флюсом применяются два вида автоматического оборудования: подвесные или самоходные сварочные головки и сварочные тракторы. Основой каждого из них является устройство для подачи проволоки и способ регулирования длины дуги, обеспечивающие устойчивое горение дуги под флюсом. Применяются два вида головок: с постоянной скоростью подачи проволоки и переменной, изменяющейся с уменьшением или увеличением длины дуги. В головках первого типа скорость подачи проволоки в процессе сварки остается постоянной и не зависит от напряжения дуги. Длина дуги саморегулируется следующим образом. Представим себе, что длина дуги увеличилась. Тогда возрастет напряжение дуги, вследствие же падающей характеристики источника тока сварочный ток уменьшится. От этого понизится скорость плавления проволоки и длина дуги сократится, так как проволока поступает в дугу с постоянной скоростью. Следовательно, нарушенное равновесие будет восстановлено. Если, наоборот, дуга станет короче, то ее напряжение уменьшится, а сварочный ток возрастет. Скорость плавления проволоки увеличится и вновь станет равной скорости ее подачи.

Устройства этого типа были изобретены В. Н. Дятловым и получили широкое распространение вследствие своей простоты. Эти устройства работают удовлетворительно, если напряжение сети изменяется не более чем на 5—8%. С повышением плотности тока процесс саморегулирования дуги улучшается.

В головках второго типа скорость подачи проволоки изменяется в зависимости от изменения напряжения дуги, для чего предусматривается специальный электрический регулятор, увеличивающий или уменьшающий скорость подачи проволоки при удлинении или укорочении дуги. Головки второго типа наиболее пригодны для сварки при малых токах и низком напряжении дуги.

§ 2. Сварочные головки

Сварочные головки устанавливаются на сварочном стенде неподвижно или на самоходной тележке, перемещающейся по направляющим рельсам вдоль шва. Если головка установлена неподвижно, то относительно ее перемещается изделие. Такая система обычно применяется при сварке круговых швов в цилиндрических сосудах.

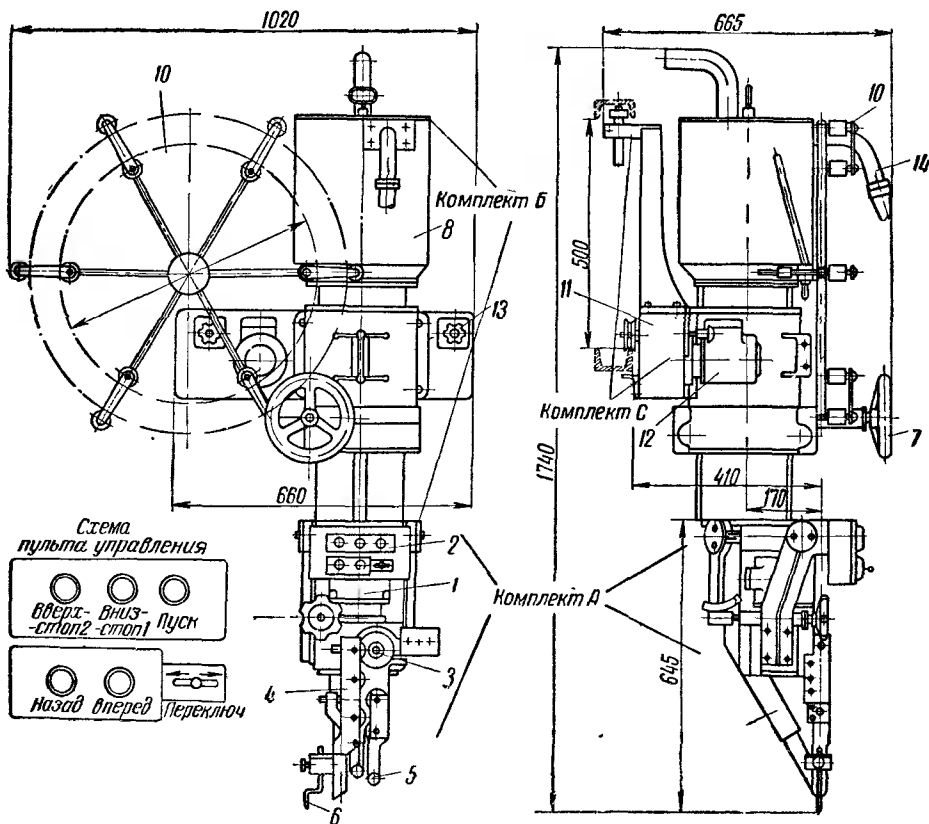


Рис. 148. Головка типа АВС.

1 — указатель движения по шву, 2 — ролики механизма правки проволоки, 3 — катушка для проволоки, 4 — бункер для флюса, 5 — маховичок включения фрикциона самоходной тележки, 6 — пульт управления головкой, 7 — электродвигатель головки, 8 — ролик, подающий проволоку, 9 — контактный ролик, 10 — труба для подачи флюса в шов, 11 — электродвигатель тележки, 12 — тележка самоходная, 13 — труба подачи воздуха для отсоса флюса со шва, 14 — маховичок механизма подъема и опускания головки

На рис. 148 показана универсальная сварочная головка АВС конструкции Института электросварки им. Е. О. Патона, нашедшая широкое применение в промышленности.

Головка состоит из трех комплектов: комплекта *А* — собственно головки (подающего механизма); комплекта *Б* — подъемного механизма с флюсоаппаратом и державкой для проволоки; комплекта *С* — самоходной тележки.

Сочетание комплектов *А* и *Б* может использоваться в качестве подвесной неподвижной головки. Комплекты *А*, *Б* и *С* вместе составляют самоходную головку. Головка служит для сварки стыковых, нахлесточных, прямолинейных и круглых швов. Головка работает с постоянной скоростью подачи проволоки, независимой от изменения напряжения дуги.

Техническая характеристика головки АБС

Пределы допускаемого сварочного тока, <i>а</i>	400—2000
Диаметр электродной проволоки, <i>мм</i>	5—6
Пределы изменения скорости подачи электродной проволоки, <i>м/час</i>	28,5—225
Пределы поперечного перемещения электрода относительно оси шва, <i>мм</i>	± 100
Угол наклона электрода вдоль шва, <i>град</i>	до 60
» » поперек шва, <i>град</i>	± 45
Вертикальный подъем электрода, <i>мм</i>	до 200
Запас проволоки в державке, <i>кг</i>	12—15
Скорость перемещения вдоль шва (скорость сварки), <i>м/час</i>	16,8—100
Вес комплекта, <i>кг</i> :	
АБ	120
АБС	160

§ 3. Сварочные тракторы

Сварочные тракторы состоят из сварочной головки с бункером для флюса и самоходной тележки. Они перемещаются при сварке непосредственно по поверхности изделия, вдоль линии свариваемого шва.

В промышленности нашли наиболее широкое применение три типа сварочных тракторов: тракторы типа ТС Института электро-сварки им. Е. О. Патона, тракторы типа УТ ЦНИИТМАШ и типа АДС завода «Электрик».

Технические данные, характеризующие некоторые типы сварочных тракторов, приведены в табл. 62.

Трактор ТС-17-М-У, изображенный на рис. 144, предназначен для сварки стыковых швов с разделкой кромок и без нее, швов в нахлестку, угловых швов и швов в лодочку. Сварочная головка трактора ТС-17-М-У работает по принципу подачи проволоки к дуге с постоянной скоростью.

Трактор (рис. 149, *а*) имеет один электродвигатель 10, с помощью которого приводится в движение механизм для перемещения трак-

Технические данные сварочных тракторов

Технические данные	Тип трактора					
	ТС-17-М У	УТ-1250	УТ-1500	УТ-2000	АДС-1000-2	АДС-2000-1
Сварочный ток, а	200—1000	250—1250	300—1500	300—2000	400—1200	600—1700
Диаметр электродной проволоки, мм	1,6—5	2,5—6	3—6	3—8	3—6	3—8
Скорость подачи электродной проволоки, м/час	52—403	31,8—198	36—288	36—288	30—108	30—108
Скорость сварки, м/час	16—126	13—83	10—80	10—320	15—80	10—40
Вес трактора, кг	45	44	75	130	60	75

тора вдоль шва и механизм подачи электродной проволоки. Электродвигатель соединен с головкой 11, на которой укреплен бункер 2 для флюса. Тележка имеет два передних бегунка 1 и два задних бегунка 8. Маховичок 9 служит для соединения и разъединения бегунка с ведущим механизмом. На тележке трактора укреплен катушка 7 для электродной проволоки 5 и пульт управления 6. С одной стороны передние и задние бегунки имеют на своих ободах канавки, что позволяет осуществлять перемещение трактора по легкому рельсовому пути. Ведущий бегунок имеет резиновый обод для лучшего сцепления с металлом, по которому движется трактор. Трактор имеет вольтметр 3 и амперметр 4.

Скорость подачи проволоки можно изменять путем смены цилиндрических зубчатых колес 8, а скорость передвижения трактора сменой зубчатых колес 6 (рис. 149, б).

Трактор по линии шва направляется копирным устройством из двух роликов или от руки.

Вся аппаратура для управления работой трактора и источником питания током размещена в отдельном аппаратном шкафу, где находится двухполюсный контактор для включения и выключения сварочной цепи, трансформаторы для питания цепей управления, трансформатор тока для амперметра (или шунт при сварке на постоянном токе), реле цепи управления.

Тракторы УТ (универсальные тракторы) разработаны в ЦНИИТМАШ. Они состоят из каретки и сварочной головки, смонтированной на подвижном коромысле. Каретка и головка имеют отдельные электродвигатели. На коромысле с одной стороны вместе с головкой укреплен бункер для флюса, а с другой — катушка для проволоки. Коромысло можно поворачивать в горизонтальной плоскости и ставить головку сбоку тележки. Головку можно также по-

ворачивать вокруг горизонтальной оси коромысла, располагая ось электродной проволоки под любым углом к плоскости шва. Тележку можно укрепить на шарнире сверху, подвесив к ней коромысло

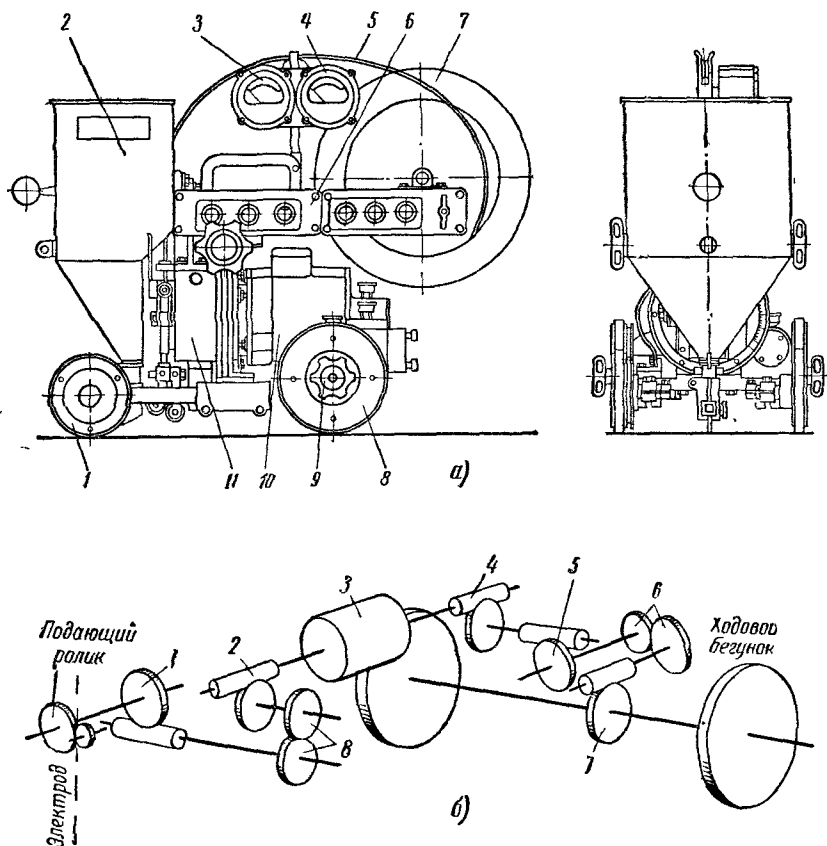


Рис. 149. Сварочный трактор ТС-17-М-У:

а — общий вид: 1, 8 — бегунки, 2 — бункер, 3 — вольтметр, 4 — амперметр, 5 — проволока, 6 — пульт управления, 7 — катушка, 9 — маховичок, 10 — электродвигатель, 11 — головка; б — схема механизма: 1 и 2 — червячные пары механизма подачи проволоки, 3 — электродвигатель, 4, 5 и 7 — червячные пары механизма передвижения трактора, 6 — сменные зубчатые колеса механизма передвижения трактора, 8 — сменные зубчатые колеса механизма подачи проволоки

со сварочной головкой. На коромысле расположен пульт управления, амперметр и вольтметр для контроля за режимом сварки.

Тракторы УТ имеют специальный регулятор (вариатор) конструкции В. А. Светозарова для плавного бесступенчатого регулирования скорости подачи электродной проволоки и перемещения каретки трактора.

Трактор АДС-1000-2 (автомат для дуговой сварки током 1000 а, модель № 2) предназначен для сварки стыковых швов листов толщиной от 6 до 20 мм и угловых швов с катетом от 4 до 12 мм. Общий вид трактора АДС-1000-2 показан на рис. 150. Он состоит из самоходной четырехколесной тележки 1, перемещающейся от электродвигателя 2 по рельсовому пути 11. На тележке установлена вертикальная стойка 6 с подъемным механизмом 7; на стойке закреплено коромысло 5. С одной стороны коромысла имеется катушка 3 с проволокой; на стенке этой катушки расположены приборы пульта 4 управления автоматом. На другой стороне коромысла 5 укреплены автоматическая сварочная головка 9 и бункер 10 для флюса. От электродвигателя 8 осуществляется привод механизма подачи проволоки.

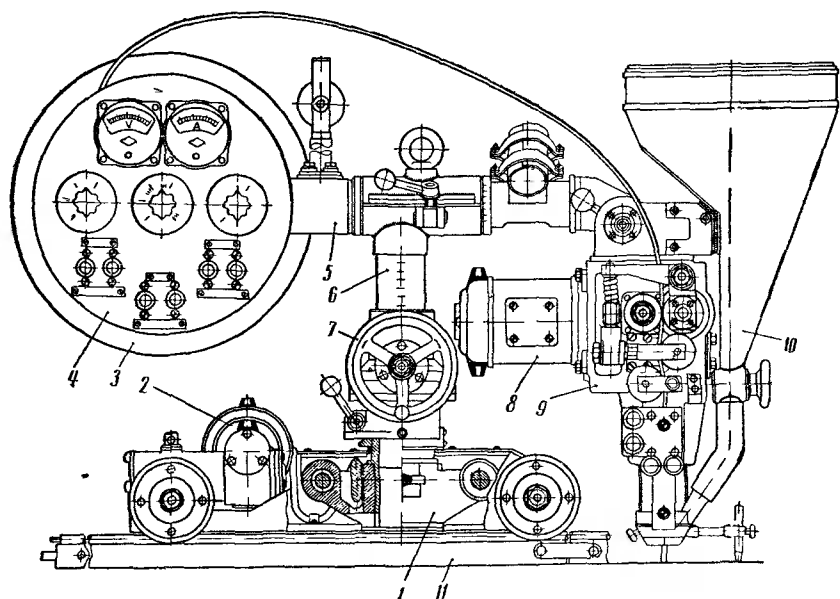


Рис. 150. Общий вид трактора АДС-1000-2

Катушка вмещает 12 кг проволоки, а бункер — до 12 кг флюса. Конструкция сварочной головки 9 допускает ее поворот в горизонтальной плоскости на угол до 90°. Коромысло вместе с головкой может поворачиваться вокруг своей оси на угол 45° в обе стороны от вертикальной плоскости шва, а стойка 6 может поворачиваться вокруг своей оси на угол 180°.

На пульте управления автомата расположены ручки приборов для регулирования скорости сварки, для изменения напряжения

дуги и установки величины сварочного тока Кроме того, на пульте управления имеется вольтметр и амперметр, а также кнопки: для пуска и прекращения работы автомата, подъема и опускания электрода, дистанционного регулирования сварочного тока.

Питание автомата АДС-1000-2 сварочным током осуществляется от трансформатора ТСД-1000-3 через специальное распределительное устройство.

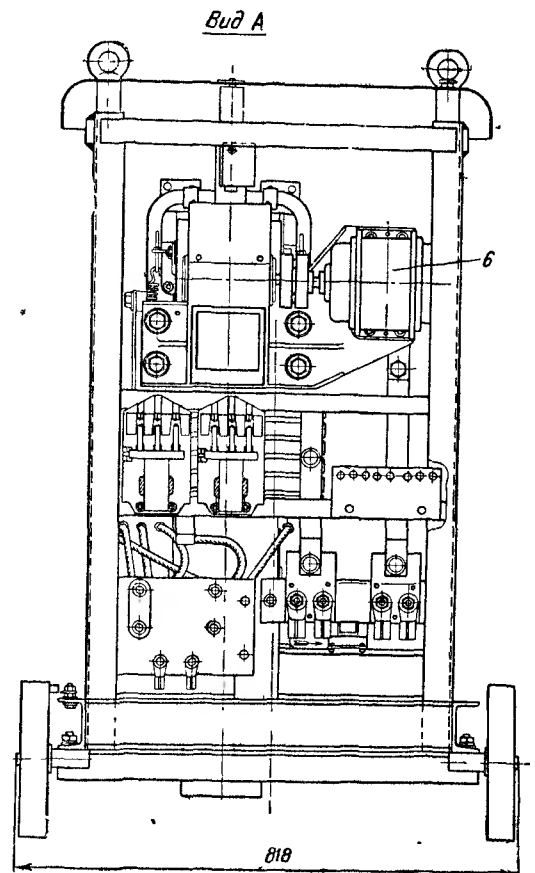
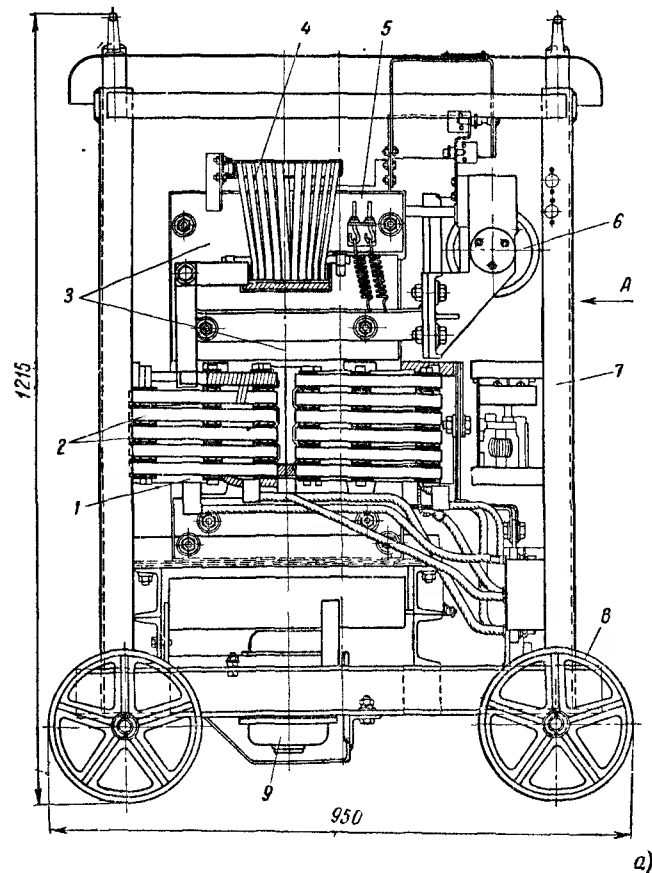
Тракторы типа АДС работают с автоматическим регулированием скорости подачи электродной проволоки в зависимости от напряжения дуги. Для этого в распределительном устройстве имеется отдельный электродвигатель переменного тока, который приводит во вращение два небольших генератора, питающих постоянным током: один — якорь электродвигателя головки, а другой — якорь электродвигателя тележки автомата.

Напряжение генератора, питающего якорь электродвигателя головки автомата, изменяется в зависимости от изменения напряжения сварочной дуги. У генератора, питающего якорь электродвигателя головки, имеется дополнительная обмотка возбуждения, включенная через селеновый выпрямитель в сварочную цепь; в этой обмотке создается магнитный поток, направленный в сторону потока основной независимой обмотки возбуждения, включенной непосредственно в сеть через отдельный трансформатор и селеновый выпрямитель.

Если напряжение дуги начинает возрастать, якорь электродвигателя головки вращается быстрее, ускоряя подачу проволоки в дугу и тем уменьшая ее длину и напряжение. При понижении напряжения дуги якорь электродвигателя головки замедляет свое вращение, увеличивая тем самым длину дуги и ее напряжение. Таким образом, заданное напряжение сварочной дуги автоматически поддерживается постоянным.

Число оборотов электродвигателя каретки автомата и электродвигателя подачи проволоки может плавно изменяться потенциометрами*, включенными в обмотку возбуждения генераторов, питающих постоянным током якоря этих двигателей. Установленная величина сварочного тока регулируется дистанционно. Для этого в схеме распределительного устройства предусмотрены специальные кнопки, с помощью которых сварщик может, не отходя от сварочного автомата, включать и выключать двигатель трансформатора ТСД-1000-3, перемещающий в нужное положение подвижную часть сердечника регулятора тока.

* Потенциометром называется прибор, имеющий катушку сопротивления. Изменяя поворотом рукоятки потенциометра величину сопротивления катушки, тем самым меняют напряжение цепи, которая подключена к потенциометру.



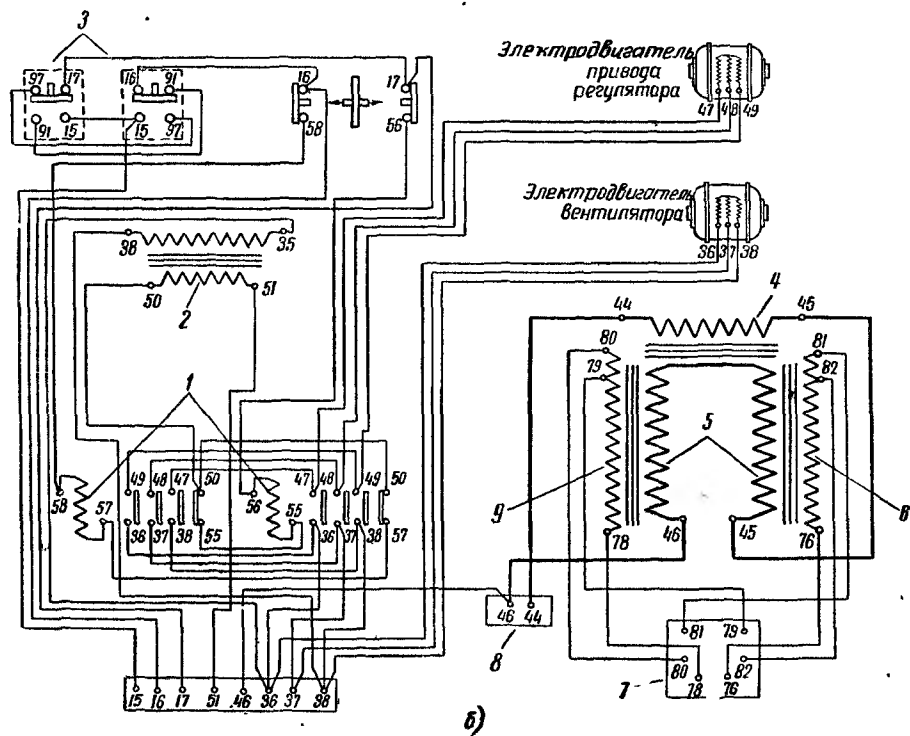


Рис. 151. Общий вид трансформатора ТСД-1000-3

§ 4. Трансформаторы для автоматической сварки

Для автоматической сварки под флюсом используются специальные трансформаторы, рассчитанные на большой ток и снабженные устройством для дистанционного регулирования сварочного тока. К ним относятся трансформаторы ТСД-500, ТСД-1000 и ТСД-2000-2. Общий вид трансформатора ТСД-1000-3 показан на рис. 151, а. Плавное регулирование сварочного тока производится с помощью кнопок, смонтированных на пульте управления сварочного автомата. Электрическая схема трансформатора ТСД-1000-3 показана на рис. 151, б.

Технические данные трансформаторов ТСД

	ТСД-500	ТСД-1000-3	ТСД-2000-2
Первичное напряжение, в	220—380	220—380	380
Вторичное напряжение, в:			
рабочее	45	42	53
холостого хода	80	69, 42, 78	77—85
Пределы регулирования сварочного тока, а	200—600	400—1200	800—2000
Номинальный ток при ГР—60%	500	1000	2000
Мощность номинальная, кВа	42	76	180
Сечение токоподводящих проводов, мм ² :			
при 380 в	25	50	100
» 220 в	50	95	190
Сечение гибкого провода, подводящего ток к автоматической головке, мм ²	2 провода по 150	150 или 2×50 500	4 провода по 150 670
Вес, кг	445		

Трансформаторы ТСД имеют встроенный регулятор тока и общий сердечник 3, на котором расположены катушки первичной обмотки 1, вторичной обмотки 2 и обмотки регулятора 4. Верхняя часть 5 пакета сердечника, на которой расположена обмотка регулятора, передвигается с помощью небольшого электродвигателя 6 мощностью 0,25 квт. Трансформатор снабжен вентилятором 9 для охлаждения и помещен в железный шкаф 7, передвигаемый на четырех колесах 8. Трансформаторы ТСД пригодны для питания только одной сварочной дуги, так как имеют встроенный регулятор.

ГЛАВА XXI

МАТЕРИАЛЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ГАЗОВОЙ СВАРКИ И РЕЗКИ

§ 1. Газы, присадочная проволока и флюсы для газовой сварки

Кислород. С целью получения высокой температуры пламени для нагревания металла при сварке и резке горючие газы или пары сжигают в смеси с технически чистым кислородом. По ГОСТ 5583—58 выпускается технический кислород трех сортов: высшего сорта чистотой не ниже 99,5%; 1-го чистотой не ниже 99,2% и 2-го сорта чистотой не ниже 98,5% O_2 по объему. Остаток в 0,5—1,5% составляют азот и аргон. Чистота кислорода имеет некоторое значение для сварки, так как при снижении чистоты кислорода с 98 до 97% его расход на 1 м шва увеличивается примерно на 1,5%.

При кислородной резке чистота кислорода имеет очень большое значение, так как даже незначительное понижение чистоты кислорода существенно сказывается на увеличении его расхода.

1 м³ кислорода при 1 *ати* и 20° весит 1,33 кг. Кислород получают из атмосферного воздуха, а в некоторых случаях — из воды путем разложения ее электрическим током (электролиз). К сварочным постам кислород доставляется в баллонах под давлением 150 *ати* или по трубопроводу под давлением 5—30 *ати*. Большие количества кислорода хранят и перевозят также в жидком виде в специальных изолированных цистернах при атмосферном давлении. Перед использованием для сварки и резки жидкий кислород испаряют, превращая его в газ.

Горючие газы. В качестве горючих газов при сварке и резке применяют ацетилен, водород, пропан и нефтяные газы, природный газ и другие горючие, а также пары бензина и керосина. Основные данные о различных горючих приведены в табл. 63.

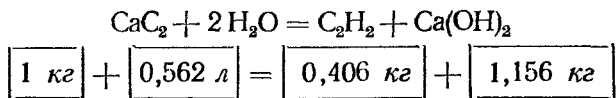
Ацетилен является наиболее распространенным горючим, применяемым для газовой сварки и резки. Он представляет собой газообразное химическое соединение углерода с водородом и имеет химическую формулу C_2H_2 . Технический ацетилен не имеет цвета,

но обладает резким характерным запахом. Длительное вдыхание технического ацетилена может вызвать головокружение и даже отравление. 1 м³ ацетилена при 20° весит 1,09 кг. При наличии источника воспламенения ацетилен способен взрываться при условии, что его давление превышает 1,5—2 атм. Смеси ацетилена с кислородом и воздухом способны взрываться даже при атмосферном давлении, если содержание ацетилена в смеси с кислородом колеблется в пределах 2,8—93% и в смеси с воздухом — в пределах 2,2—81%.

Взрывы ацетилена обладают большой разрушительной силой и представляют опасность для людей и оборудования. Поэтому при использовании ацетилена необходимо строго соблюдать правила техники безопасности.

Технический ацетилен получают из карбида кальция путем разложения последнего водой. При этом в ацетилен из карбида кальция попадают вредные примеси, загрязняющие ацетилен: сероводород, аммиак, фосфористый водород, кремнистый водород. Эти примеси могут ухудшать свойства наплавленного металла и поэтому удаляются из ацетилена промывкой в воде и химической очисткой. Особенно нежелательна примесь фосфористого водорода, содержание которого в ацетилене более 0,07% повышает взрывоопасность последнего.

Карбид кальция (CaC₂) представляет собой кускообразное вещество темно-серого или коричневого цвета, с удельным весом 2,26. В техническом карбиде кальция содержится чистого карбида кальция 80—90%, а остальное — примесь извести. Карбид кальция упаковывается в герметические барабаны из кровельной стали по 100—130 кг и в таком виде доставляется потребителям. Размеры кусков равны от 2 до 80 мм. Частиц размером менее 2 мм (пыли) в техническом карбиде должно быть не более 3%. Чем крупнее куски, тем больше ацетилена можно получить при разложении 1 кг карбида кальция. В среднем при разложении 1 кг технического карбида кальция получается от 230 до 280 л ацетилена. Процесс разложения карбида кальция водой происходит по реакции:



Теоретически для разложения 1 кг карбида кальция требуется 0,562 л (или кг) воды. При этом получается 0,406 кг (или 372,5 л) ацетилена и 1,156 кг гашеной извести. Однако вследствие того, что при этой реакции выделяется еще тепло (около 475 ккал/кг карбида кальция), разложение ведут в избытке воды, чтобы не произошло нагревания ацетилена до высоких температур, достаточных для взрыва ацетилена. Практически на 1 кг карбида кальция при разложении берут от 5 до 15 л воды.

Горючие газы для сварки и резки металлов

Название газа	Температура пламени при сгорании в кислороде, град	Вес 1 м ³ при 20° и 1 атм, кг	Количество ки- слорода (м ³), подаваемого в горелку на 1 м ³ горючего	Способ получения (для сварки и резки)	Способ хранения и перевозки	Область применения
Ацетилен	3150	1,09	1,0—1,3	Из карбида кальция	В баллонах под давлением 15 атм и растворенным в ацето- не	Во всех случаях при сварке и резке
Водород	2000—2100	0,084	0,3—0,4	Разложение воды электриче- ским током	Газообразный в баллонах под давлени- ем 150 атм	Сварка стали тол- щиной до 2 мм, свар- ка латуни, свинца, алюминия; кислород- ная резка
Пиролизный газ	2300	0,65—0,85 .	1,2—1,5	Разложение нефти в специ- альных аппара- тах	По трубопроводу под давлением до 3— 4 атм	То же
Нефтяной газ	2300	0,63—1,45	1,5—1,6* до 2**	То же	Газообразный в баллонах под давлени- ем 150 атм	
Пропан	2050—2100	1,9	3—3,5	Переработ- ка нефти	Жидкий в балло- нах при давлении до 16 атм	Сварка и пайка цветных металлов, кислородная резка

Название газа	Температура пламени при сгорании в кислороде, град	Вес 1 м ³ при 20° и 1 атм, кг	Количество ки- слорода (м ³), подаваемого в горелку на 1 м горючего	Способ получения (для сварки и резки)	Способ хранения и перевозки	Область применения
Городской газ	1900—2000	0,8—1,0	1,2—1,3	Газифика- ция твердого топлива	Газообразный в баллонах под давлени- ем 150 атм	Сварка легкоплав- ких металлов; пайка; кислородная резка
Коксовый газ	1900—2000	0,4—0,55	0,75—0,8	Коксование углей	По газопроводу	То же
Пары керо- сина	2450—2500	0,8—0,84 кг/л	1,7—2,4***	Переработ- ка нефти	В жидком виде в цистернах или бочках под атмосферным дав- лением	Кислородная рез- ка стали; сварка лег- коплавких металлов; пайка; поверхностная закалка
Природный газ (метан)	1900 — 2000	0,7	1,5—2,0	Природный газ	Газообразный в баллонах под давлени- ем 150 атм или пода- ча по трубопроводу	Сварка легкоплав- ких металлов; пайка; кислородная резка

* Количество кислорода (м³), подаваемого в горелку

** Количество кислорода (м³), подаваемого в резак

*** Количество кислорода (м³), подаваемого в горелку на 1 кг керосина

С учетом потерь ацетилена при разложении карбида кальция удельный расход карбида на 1 м³ ацетилена практически составляет 4,3÷4,5 кг.

Присадочная проволока. При газовой сварке в случае необходимости получения дополнительного металла шва применяется присадочная проволока соответствующего состава. Для сварки стали используются присадочные проволоки по ГОСТ 2246—60. Диаметр проволоки выбирается в зависимости от толщины свариваемого металла и способа сварки. Проволока должна иметь чистую поверхность, свободную от ржавчины, окалины, масла, краски и других загрязнений и плавиться равномерно без разбрызгивания.

Флюсы. В процессе газовой сварки стали расплавленный металл достаточно надежно защищен от окисления факелом сварочного пламени. Однако при сварке чугуна, меди, латуни, алюминия, магния, весьма склонных к окислению, такая защита является уже недостаточной. Сварка этих металлов требует применения флюсов, которые, расплавляясь, обеспечивают шлаковую защиту расплавленного металла от окисления.

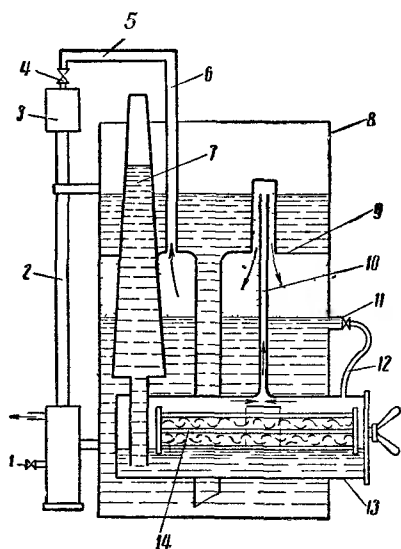
В качестве флюсов при газовой сварке применяют буру, борную кислоту, борный шлак, соединения бора в виде паров боросодержащих жидкостей, хлористые и фтористые соединения калия, натрия, лития, а также другие вещества и их смеси.

§ 2. Ацетиленовые генераторы и водяные затворы

Ацетиленовые генераторы. Ацетиленовым генератором называется аппарат, применяемый для разложения карбида кальция водой с целью получения ацетилена. В промышленности используют как стационарные, так и передвижные генераторы, отличающиеся размерами, конструкцией и производительностью. Передвижные генераторы используются для получения ацетилена непосредственно на месте выполнения работ по сварке и резке. В зависимости от способа подачи воды к карбиду применяют генераторы следующих систем: «вода на карбид», «карбид в воду», «вытеснения», комбинированной «вода на карбид — вытеснения». Из передвижных генераторов широкое распространение получили генераторы МГ-54, ГНВ-1, 25, ГВР-1, 25М, ГВР-3 и др. В табл. 64 приведены основные технические данные передвижных генераторов.

На рис. 152 дана схема генератора ГНВ-1, 25. Корпус генератора 8 состоит из двух частей, разделенных горизонтальной перегородкой 9. В нижнюю часть, являющуюся газгольдером, вварена реторта 13, соединенная резиновым шлангом 12 через кран 11 с водяным пространством нижней части.

Газовое пространство нижней части соединено шлангом 5 и трубой 6 с водяным затвором 2, укрепленным на корпусе генератора. Генератор заполняется водой до установленного уровня



при открытом кране 4 и закрытом кране 11. Корзина 14 загружается карбидом кальция и вставляется в реторту, которая плотно закрывается крышкой. При открытии крана 11 вода будет поступать в реторту, а образующийся ацетилен по трубе 10 выходит в нижнюю часть генератора, вытесняя из нее воду в верхнюю часть. Когда вода опустится ниже уровня крана 11, поступление ее в реторту прекратится. В последующие минуты давление в реторте будет возрастать более медленно, а вода из нее начнет вытесняться в конусообразный сосуд 7, открытый сверху. Разложение карбида в реторте при этом замедлится. Если начнется отбор газа из генератора, то давление ацетилена в нем понизится и вода из сосуда 7 вновь поступит в реторту, увеличив разложение карбида.

Рис 152 Схема генератора ГНВ-1,25

вновь поступит в реторту, увеличив разложение карбида.

Таблица 64

Основные технические данные передвижных генераторов

Тип	Едино- времен- ная загрузка карбида, кг	Грануляция карбида, мм	Нормальная часовая про- изводитель- ность, л/час	Рабочее дав- ление газа, атм	Размеры, мм		Прибли- зительный вес без воды, кг	Число реторт
					диаметр корпуса	общая высота		
ГВД-0,8	2	25×80	800	0,07—0,3	260	590	19,5	—
МГВ-0,8	2	25×80	800	0,1—0,3	295	795	19,0	1
АСМ-1-58	2,2	25×80	1250	0,1—0,3	300	800	20,4	1
ВАЗ-1-57	4	25×80	1250	0,2—0,6	350	870	26	1
МГ-54	2×2,5	15×25	2000	300—500**	590	1135	65	2
		25×80						
ГНВ-1,25	4	25×80	1250	250—300**	500	1040	42	1
АНВ-1-56*	4	25×80	1250	250—300**	500	1040	50	1
ГВР-1,25М	4	25×80	1250	0,08—0,15	480	1000	50	1
ГВР-3	2×4	25×80	3000	0,15—0,3	630	1260	110	2

* С водяным затвором и осушителем, расположенными внутри корпуса.

** Измеряется в мм вод ст

При снижении давления до 230—250 мм вод. ст. снова возобновляется поступление воды в реторту из нижней части генератора; поступление воды прекращается при давлении в генераторе 250—260 мм вод. ст. В указанных пределах давлений генератор работает автоматически, увеличивая или уменьшая выделение ацетилена в соответствии с его потреблением сварочной горелкой или резаком.

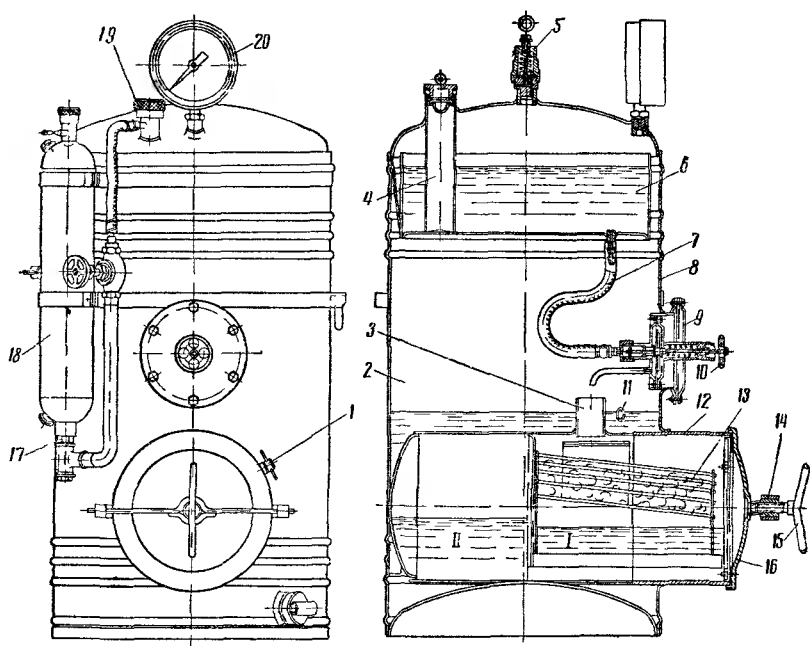


Рис 153. Общий вид и разрез генератора ГВП-1,25М

Водяной затвор должен наполняться водой до уровня контрольного крана 1 через воронку 3. Сосуд 7 и его нижняя трубка должны раз в смену промываться водой для удаления из них отложений извести.

Давление ацетилена в генераторах ГНВ-1,25 бывает недостаточно для преодоления сопротивления шлангов, подводящих газ к горелке или резаку. Тогда пользуются генераторами среднего давления, например типа ГВП-1,25М, из которых ацетилен подается под давлением от 0,08 до 0,3 атм.

Общий вид и разрез генератора ГВП-1,25М приведен на рис. 153. В корпус генератора 8 вварена реторта 12. Вода в корпус генератора заливается до уровня контрольного крана 11, расположенного несколько выше реторты. В верхней части корпуса имеется бачок 6 для питательной воды, из которого она по трубке 7 мо-

жет подаваться в реторту через мембранный регулятор 9 подачи воды. Генератор снабжен водяным предохранительным затвором 18 с обратным клапаном 17, предохранительным клапаном 5 и разрывной предохранительной мембраной 19, установленными на корпусе и крышке генератора. Генератор заполняется водой через горловину 4. Карбидом кальция загружают корзину 13 и вставляют ее в реторту, закрывая последнюю герметически крышкой 16 с помощью винта 15 и траверсы 14.

Вращая маховичок 10 регулятора 9, открывают доступ воды из бачка 6 в реторту 12 через регулятор. Вода заполняет реторту, смачивает часть карбида кальция в корзине и начинается выделение ацетилена, который поступает в газовое пространство 2 генератора через патрубок 3. При этом давление в генераторе повышается и вода вытесняется газом из отделения реторты I в отделение II, а разложение карбида кальция и выделение ацетилена уменьшается. Соответственно замедляется и повышение давления в генераторе.

После израсходования некоторого количества газа из газгольдера давление в реторте понизится и вода вновь поступит в нее из бачка 6 и из отделения II в отделение I реторты. В результате увеличится количество карбида, смоченного водой, и количество выделяющегося в реторте ацетилена.

Данное устройство автоматизирует работу генератора и обеспечивает производство ацетилена в количествах, соответствующих его расходу в данный период работы аппарата.

Степень заполнения реторты водой проверяют, открывая контрольный кран 1 на реторте. Давление газа в генераторе определяется по показаниям манометра 20. При перезарядке реторты карбидом во избежание выбрасывания воды из нее в момент открытия крышки необходимо предварительно уменьшить давление газа в реторте посредством крана 1.

Генератор ГВР-1,25М приспособлен для работы на открытом воздухе в зимних условиях, для чего он снабжается утепляющим чехлом, который предохраняет воду в водяном затворе от замерзания. При длительных перерывах в работе воду из затвора и генератора необходимо спустить.

Водяные затворы. Устойчивое горение пламени горелки или резака обеспечивается правильным соотношением между скоростью горения и скоростью истечения горючей смеси из канала мундштука. Если скорость истечения станет меньше скорости горения, то пламя может проникнуть внутрь мундштука и произойдет воспламенение смеси в каналах горелки, что иногда приводит к обратному удару пламени в ацетиленовый шланг, ацетиленовый генератор или газопровод. Для защиты генератора и газопровода от таких обратных ударов между ними и горелкой или резаком устанавливается водяной предохранительный затвор.

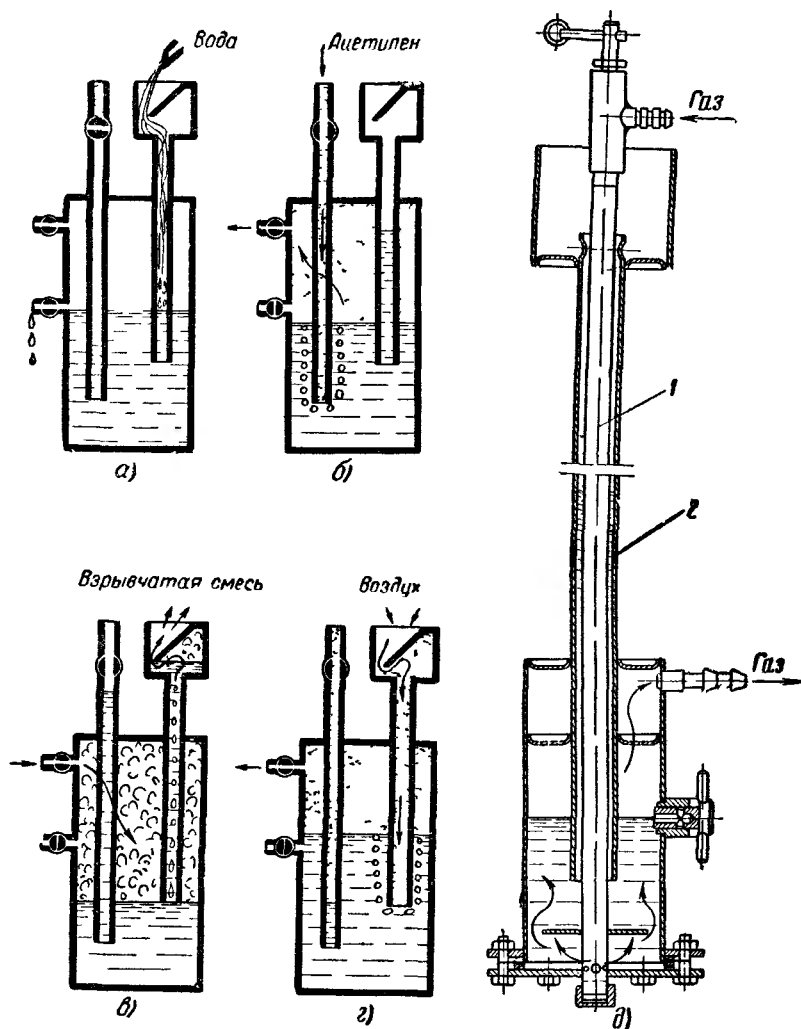


Рис. 154. Схема устройства и работы водяного затвора низкого давления:
 а — наполнение затвора водой, б — нормальная работа затвора, в — момент обратного удара пламени, г — подсос воздуха через затвор при недостатке газа в генераторе или ацетиленопроводе, д — конструкция затвора низкого давления

Водяной затвор является очень важной частью оборудования газосварочного поста, так как от его надежной работы зависит взрывобезопасность всей установки. Поэтому водяной затвор должен всегда находиться в исправном состоянии. Он заполняется водой до установленного уровня. В соответствии с рабочим давлением ацетилена применяются водяные затворы низкого и среднего давления.

Схема работы водяного затвора низкого давления при нормальных условиях и при обратном ударе показана на рис. 154, б и в. На рис. 154, д показана конструкция водяного затвора низкого давления.

Ацетилен поступает в затвор по центральной трубке 1, вытесняя воду в наружную трубку 2. При обратном ударе пламени в центральной трубке образуется водяная пробка, препятствующая про-

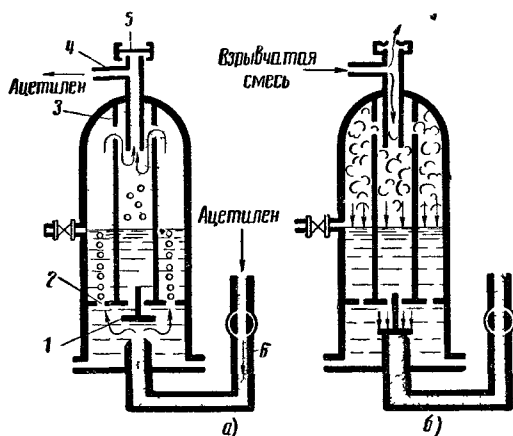


Рис 155. Схема устройства и работы водяного затвора среднего давления:

а — при нормальной работе, б — при обратном ударе пламени

хождению взрывной волны через затвор в ацетиленовый шланг.

В генераторе среднего давления давление ацетилена может повышаться до 0,3 *ати* и поэтому приходится применять закрытую конструкцию затворов (рис. 155). При нормальной работе ацетилен проходит по трубке 6 через обратный клапан 1, газораспределитель 2, каплеотбойник 3 и ниппель 4, далее — в горелку или резак. Когда происходит обратный удар пламени, давление в затворе повышается и вода закрывает обратный клапан 1, предотвращая возможность прохода взрывной волны через затвор в трубку 6. Одновременно давлением взрыва мембрана 5 разрывается и взрывчатая смесь получает возможность выхода в атмосферу. Каплеотбойник 3 препятствует уносу воды из затвора струей газа. Газораспределитель 2 разбивает сплошной поток газа на мелкие струйки, по которым обратному удару пламени труднее пройти через затвор в ацетиленовый шланг даже в том случае, если клапан 1 закрыт неполностью.

§ 3. Баллоны, редукторы, шланги

Баллоны. Для хранения сжатого кислорода под высоким давлением применяют стальные цилиндрические баллоны, рассчитанные на давление 150 *ати* и испытанные на давление 225 *ати*. За послед-

ние годы внедряются баллоны из низколегированных высокопрочных сталей, рассчитанные на рабочее давление 200 *атм* и испытательное 300 *атм*. Горловина баллона снабжена конической резьбой, в которую ввертывается латунный вентиль. Сверху на горловину баллона навертывается колпак, предохраняющий вентиль от загрязнения и повреждения. Для сварки и резки используются стандартные баллоны емкостью 40 л, наружным диаметром 219 мм, толщиной стенки 8 мм, длиной 1390 мм, весом 70 кг.

Кислородные баллоны и их арматуру необходимо предохранять от загрязнения маслом, малейшие следы которого способны самовоспламениться в среде сжатого чистого кислорода и поэтому представляют опасность для целостности баллона.

Количество кислорода (V), вмещающегося в баллоне при данном давлении (P), равно произведению емкости баллона (v) на давление газа.

Например: $v = 40$ л; $P = 150$ *атм*: $V = 40 \cdot 150 = 6000$ л, отнесенных к нормальному атмосферному давлению.

Ацетилен также возможно хранить в сжатом виде в баллонах, но внутренность ацетиленового баллона заполняется высокопористой массой, пропитанной ацетоном. Пористую массу готовят из древесного активного угля, инфузорной земли, дробленой пемзы и других пористых материалов. Ацетон служит для растворения сжатого ацетилена. Находясь в мельчайших порах массы и будучи при этом растворенным в ацетоне, сжатый ацетилен теряет свои взрывоопасные свойства и может в таком виде совершенно безопасно храниться в баллоне под давлением до 20—25 *атм*.

При открытии вентиля баллона ацетилен частично выделяется из ацетона и в виде газа отводится из баллона через редуктор в шланг горелки. Так происходит до тех пор, пока весь ацетилен, растворенный в ацетоне, не будет израсходован. Ацетон, кроме незначительной части его, уносимой с газом, весь остается в пористой массе и вновь используется для растворения новых порций ацетилена, накачиваемых в баллон при последующих наполнениях его газом. В 1 л ацетона при нормальной температуре и при 1 *атм* растворяется около 23 л ацетилена. При повышении давления растворимость ацетилена в ацетоне пропорционально увеличивается. С повышением температуры растворимость падает, а с понижением повышается. Изменение растворимости ацетилена в ацетоне составляет 3% на каждый 1° изменения температуры в ту или другую сторону.

Количество ацетилена в баллоне определяется по весу путем взвешивания баллона до и после наполнения газом. Разность весов дает количество газа в баллоне в килограммах. Если этот вес разделить на вес 1 m^3 ацетилена, равный 1,09 кг, то получим количество газа в баллоне в m^3 .

Например, баллон с ацетиленом весит 90 кг, порожний баллон — 84 кг. Тогда количество ацетилена в баллоне по весу равно: $90 - 84 = 6$ кг, а по объему — $6 : 1,09 = 5,5$ м³, или 5500 л.

Когда ацетилен накачивается в баллоны до давления 20—25 *ати*, происходит некоторое нагревание газа в баллоне за счет выделения теплоты растворения и растворимость ацетилена в ацетоне несколько падает. После остывания баллона растворимость снова повышается и давление падает до 10—12 *ати*. Тогда в баллон вторично подкачивают ацетилен, после чего в нем устанавливается рабочее давление 15—16 *ати*. При этом давлении в баллоне вмещается около 5000—5500 л ацетилена (отнесенных к 1 *ата*).

Баллоны для различных сжатых газов окрашиваются в цвета, присвоенные данному газу: кислородные — в голубой, ацетиленовые — в белый, водородные — в темно-зеленый, пропановые — в красный и т. д. На баллоне краской написано название хранимого в нем газа. Верхняя сферическая часть баллона не окрашивается и на ней выбивается заводской номер баллона, его паспортные данные, а также срок следующего испытания и клейма последующих освидетельствований и гидравлических испытаний, которым он подвергается через каждые шесть лет.

Редукторы. Давление газа, при котором он хранится в баллоне, является слишком высоким для использования в горелке или резаке. Кроме того, это давление непрерывно понижается по мере расходования газа из баллона. Поэтому газ из баллона в горелку или резак подается через специальный регулирующий прибор, называемый редуктором. В редукторе давление газа понижается до нужной величины; редуктор поддерживает это давление постоянным независимо от изменения давления газа в баллоне.

Схема устройства и работы редуктора показана на рис. 156. Газ из баллона под высоким давлением входит в редуктор 3 по штуцеру 7 и поступает к редуцирующему клапану 6, прижимаемому к седлу пружиной 10. Снизу, со стороны камеры низкого давления, в клапан упирается штифт, второй конец которого связан с резиновой мембраной 4. С другой стороны на мембрану давит главная пружина 2 редуктора. Ввертывая регулирующий винт 1, можно изменять силу сжатия пружины 2 и, перемещая мембрану вместе с клапаном вверх, открывать отверстие клапана 6, создавая проход для сжатого газа из камеры высокого давления в камеру низкого давления 5.

При данном положении клапана и соответствующем ему расходе газа поступление последнего в камеру низкого давления будет происходить до тех пор, пока давление в камере 5 на мембрану не уравновесит усилие главной пружины 2 и не преодолеет его. Тогда пружина начнет сжиматься, а мембрана 4 будет перемещаться в

обратном направлении; вторая пружина 10 будет прижимать клапан, уменьшая поступление газа в камеру 5 до тех пор, пока не наступит состояние равновесия между давлением газа в этой камере и усилием пружины 2.

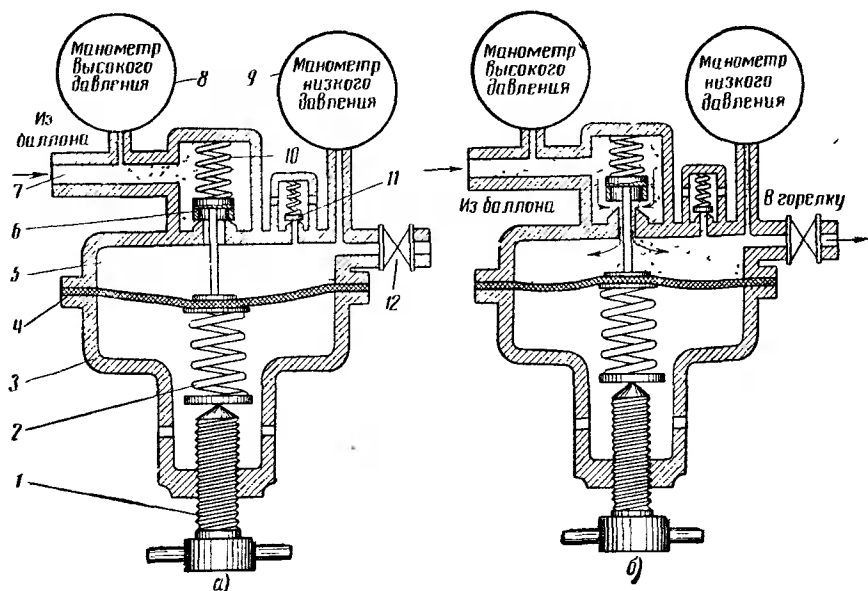


Рис. 156. Схема устройства и работы редуктора:

а — нерабочее положение частей редуктора, когда газ не идет через редуктор, б — положение частей редуктора при прохождении через него газа

По мере понижения давления газа перед редуктором степень открытия клапана в редукторе описанной выше системы будет увеличиваться так, чтобы рабочее давление газа после редуктора оставалось все время постоянным. Редуктор имеет предохранительный клапан 11, запорный вентиль 12, манометры высокого давления 8 и низкого давления 9.

Ацетиленовые редукторы отличаются от кислородных способом присоединения к вентилю баллона и цветом окраски: кислородный редуктор присоединяется с помощью штуцера с накидной гайкой и окрашивается в голубой цвет; ацетиленовый редуктор присоединяется специальным хомутом и окрашивается в белый цвет (рис. 157).

Манометры редукторов имеют шкалы:

	Для кислорода ат	Для ацетилена ат
Высокого давления (в баллоне)	до 250—300	до 30
Низкого давления (рабочее)	» 30	» 4

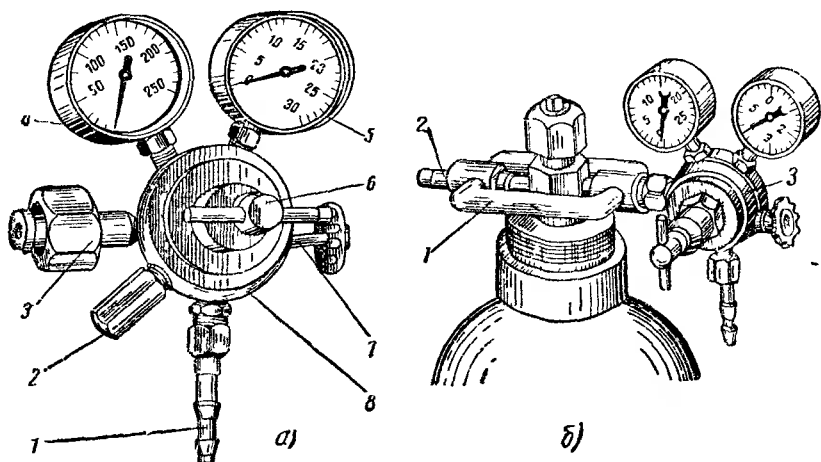


Рис 157. Редукторы для сжатых газов:

а — кислородный 1 — nipple для шланга, 2 — предохранительный клапан, 3 — накидная гайка, 4 — манометр высокого давления, 5 — манометр низкого давления 6 — регулирующий винт, 7 — запорный вентиль, 8 — корпус. *б* — ацетиленовый 1 — хомут, 2 — нажимный винт, 3 — редуктор

Кроме постовых редукторов, применяются также центральные или рамповые редукторы, устанавливаемые на кислородных распределительных рампах и рассчитанные на большой расход газа. Через рамповые редукторы газ из батареи баллонов подается под требуемым давлением в трубопровод для питания группы постов сварки и резки. Рамповые редукторы выпускаются на рабочее давление от 5 до 25 *ати* и расход газа 200, 250, 500 $\text{м}^3/\text{час}$ и более.

Шланги. Шланги для подвода газов в горелку или резак изготавливаются из вулканизированной резины с одной, двумя и тремя тканевыми прокладками и имеют стандартные внутренние диаметры 5,5, 9,5 и 13 мм. Для кислорода шланги должны испытываться на давление 20 *ати*, для ацетилена — на 5 *ати*. Для малых горелок применяются шланги с внутренним диаметром 5,5 мм, а для большого расхода газа — рукава с внутренним диаметром 16 и 19 мм. Для бензина и керосина шланги изготавливаются из бензостойкой резины. Чтобы не стеснять движений сварщика, длина шлангов должна быть не менее 5 м.

§ 4. Сварочные горелки

Горелка служит для смешения кислорода и горючего газа в требуемом соотношении и получения сварочного пламени заданного состава и мощности. В зависимости от величины давления поступающего в горелку ацетилена применяются и н ж е к т о р н ы е

(низкого давления) и безынжекторные (высокого давления) горелки. В безынжекторных горелках ацетилен поступает в смесительную камеру под давлением, примерно равным давлению кислорода. Для нормальной работы этих горелок давление ацетилена и кислорода должно быть не менее $0,3 \text{ атм.}$ В инжекторные го-

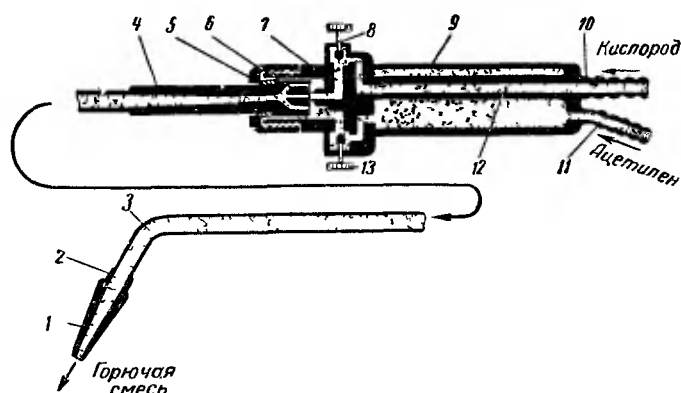


Рис 158. Схематический разрез инжекторной горелки:

1 — мундштук, 2 — соединительный ниппель, 3 — трубка наконечника, 4 — смесительная камера, 5 — накладная гайка, 6 — инжектор, 7 — корпус, 8 — вентиль для кислорода, 9 — трубка рукоятки, 10 — кислородный ниппель, 11 — ацетиленовый ниппель, 12 — кислородная трубка, 13 — вентиль для ацетилена

релки (рис 158) кислород поступает под давлением от 1 до 4 атм и, вытекая из канала инжектора с большой скоростью, засасывает соответствующее количество ацетилена

Для работы инжекторных горелок можно применять ацетиленовые генераторы низкого давления, в которых ацетилен получают при избыточном давлении всего 100—200 мм вод. ст. В практике особенно широко распространены инжекторные горелки как более универсальные, поскольку они могут работать на ацетилене как низкого, так и высокого давления.

Через ниппель 10 и трубку 12 в инжектор 6 поступает кислород под давлением до 4 атм. Вытекающая из инжектора струя кислорода создает разрежение в трубке-рукоятке 9, за счет которого ацетилен подсасывается в смесительную камеру 4, образуя горючую смесь, сгорающую по выходе из мундштука 1 с образованием сварочного пламени.

На рис. 159, а изображена инжекторная сварочная горелка ГС-53, технические данные которой приведены в табл. 65. С 1960 г. Московский завод кислородного машиностроения выпускает горелку «Москва» с технической характеристикой, аналогичной характеристике горелки ГС-53 (рис. 159, б).

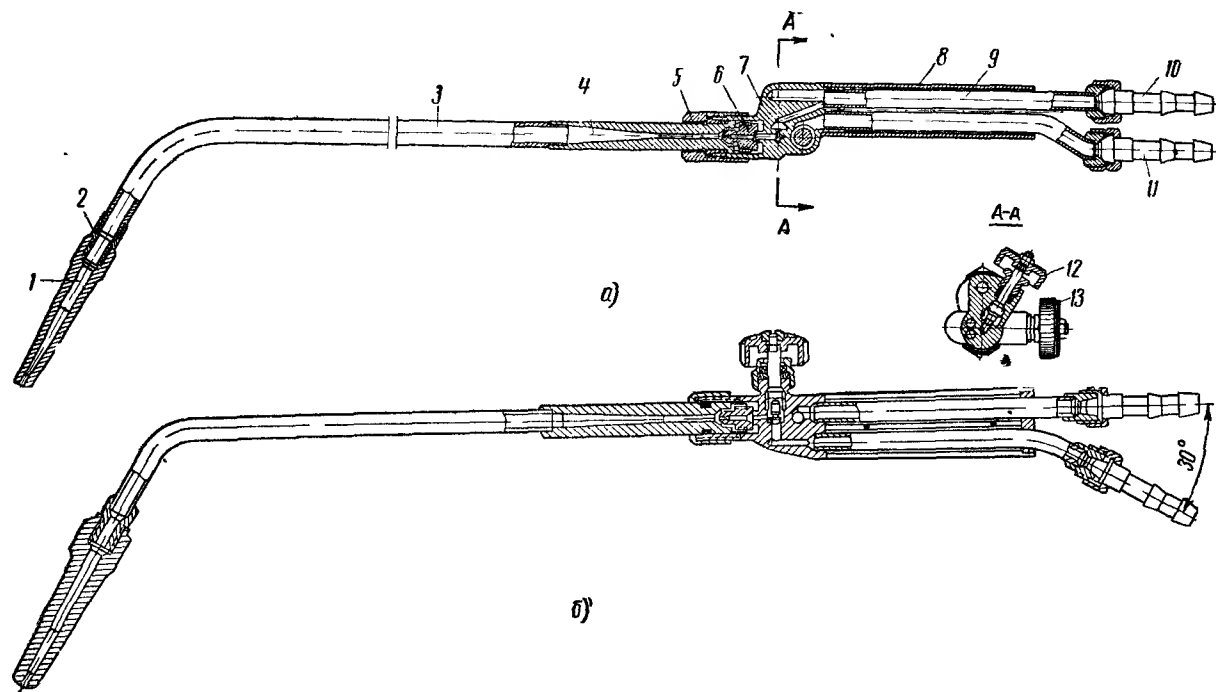


Рис. 159 Конструкции горелок с наконечником:

а — разрез горелки ГС-53; 1 — мундштук, 2 — соединительный ниппель, 3 — трубка наконечника, 4 — смесительная камера, 5 — накидная гайка, 6 — сопло инжектора, 7 — корпус, 8 — рукоятка, 9 — кислородная трубка, 10 — кислородный ниппель, 11 — ацетиленовый ниппель, 12 — вентиль для кислорода, 13 — вентиль для ацетилена; б — разрез горелки «Москва»

**Средний расход газов и примерная толщина свариваемого металла для различных номеров наконечников
горелок ГС-53 и «Москва»**

Показатели	Номера наконечников						
	1	2	3	4	5	6	7
Примерная толщина свариваемого металла (сталь), мм	0,5—1,5	1—3	2,5—4	4—7	7—11	10—18	17—30
Расход ацетилена, л/час	50—135	135—250	250—400	400—700	700—1100	1050—1750	1700—2800
Расход кислорода, л/час	50—140	140—260	260—420	420—750	750—1170	1170—1900	1900—3100
Диаметр отверстий мм							
инжектора	0,25	0,35	0,45	0,6	0,75	0,95	1,2
смесительной камеры	0,85	1,25	1,60	2,0	2,5	3,0	3,8
мундштука	0,80	1,15	1,5	1,9	2,3	2,8	3,5
Давление кислорода, атм	1—4	1,5—4	2—4	2—4	2—4	2—4	2—4
Скорость истечения смеси из мундштука, м/сек	60—145	70—145	75—145	80—145	90—160	100—165	105—175

Рукоятка горелки ГС-53 может быть использована для присоединения ряда специальных наконечников: для резки, нагрева, пайки и др. Выпускаются также различные виды горелок специального назначения, например горелки для сварки металла малых толщин с наконечниками № 00; 0; 1 и 2; для поверхностной закалики; для газопрессовой сварки и др.

Перед началом работы необходимо сварочную горелку проверить на герметичность, а также исправность ее в работе. Для контроля работы инжектора к рукоятке горелки присоединяется проверяемый наконечник, на кислородный ниппель надевается шланг и в горелку подается кислород под соответствующим давлением, указанным в табл. 65. При открытии кислородного вентиля горелки в ацетиленовом ниппеле должно создаваться заметное разрежение, которое можно ощутить, если приложить палец к отверстию ниппеля. Если разрежение не создается или оно недостаточно, то причинами этого могут быть: неплотное прижатие сопла инжектора к его седлу в корпусе горелки; засорение или наличие заусенцев в каналах мундштука, смесительной камеры и ацетиленовых каналах горелки; пропуск газа из кислородных каналов горелки перед инжектором в ацетиленовые. Обнаруженные в горелке неисправности необходимо устранить.

При зажигании сварочного пламени сначала нужно слегка открыть кислородный вентиль горелки для создания некоторого разрежения в ее ацетиленовых каналах. После этого можно открыть ацетиленовый вентиль горелки и зажечь горючую смесь, отрегулировав затем сварочное пламя с помощью кислородного и ацетиленового вентилях. Чтобы погасить пламя, следует закрыть сначала ацетиленовый, а затем кислородный вентили горелки. В этом случае никогда не произойдет обратного удара пламени в ацетиленовый шланг. Если же сначала закрыть кислородный вентиль, а потом ацетиленовый, то горючая смесь может проникнуть в ацетиленовый шланг и вызвать обратный удар пламени.

Иногда после продолжительной непрерывной работы горелка начинает хлопать и давать обратные удары. В этом случае нужно погасить пламя горелки, закрыв ее вентили в вышеуказанном порядке, и охладить мундштук в воде.

Каналы мундштука, смесительной камеры и инжекторы можно прочищать только тонкой медной проволокой. Если мундштук обгорел и отверстие его сильно разработано, конец мундштука следует аккуратно опилить мелким напильником, слегка осадить ударами молотка, а затем осторожно прокалить сверлом соответствующего диаметра согласно данным табл. 65.

Пропуск газа через сальники вентилях горелки устраняется подтягиванием сальниковых гаек или заменой сальниковой набивки.

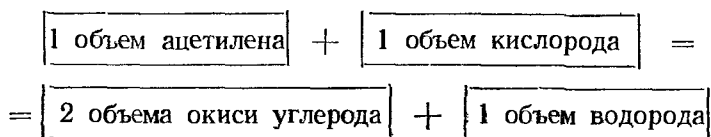
ГЛАВА XXII

ТЕХНОЛОГИЯ ГАЗОВОЙ СВАРКИ

§ 1. Сварочное пламя

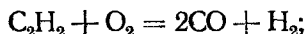
Внешний вид, температура сварочного пламени и влияние его на расплавленный металл зависят от состава горючей смеси. Изменяя соотношение кислорода и ацетилена в смеси, можно получить три основных вида пламени: нормальное восстановительное; окислительное; науглероживающее.

Для сварки большинства металлов применяют восстановительное пламя. Теоретически оно получается в том случае, когда в смеси на один объем ацетилена приходится один объем кислорода. Ацетилен тогда сгорает по следующей схеме:



Реакцию сгорания ацетилена в пламени горелки условно можно представить протекающей в две фазы:

I фаза — сгорание ацетилена за счет кислорода смеси:



II фаза — сгорание продуктов реакции I фазы за счет кислорода окружающего воздуха:



Окись углерода и водород, образующиеся в продуктах сгорания, раскисляют металл, восстанавливая имеющиеся в сварочной ванне окислы. При этих условиях металл шва получается однородным — без пор, газовых пузырей и включений окислов.

Практически в смесь подают несколько больше кислорода, чем это нужно для получения восстановительного пламени по приведенной выше теоретической схеме сгорания. Нормальное восстановительное пламя можно получить при избытке кислорода в смеси до 30% против теоретического, т. е. при отношении ацетилена к кислороду от 1 : 1 до 1 : 1,3. Схема нормального восстановительного ацетилено-кислородного пламени показана на рис. 160.

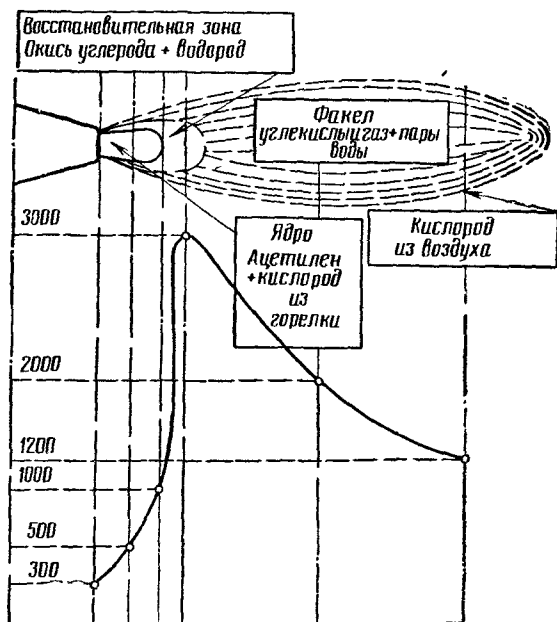


Рис. 160. Схема нормального ацетилено-кислородного пламени и график распределения температуры по его длине

Ядро пламени имеет резко очерченную форму цилиндра или конуса с закругленным концом и ярко светящейся оболочкой, состоящей из раскаленных частиц углерода, сгорание которых происходит в наружном слое оболочки. Длина ядра зависит от скорости истечения горючей смеси. Если увеличить давление кислорода в горелке, скорость истечения смеси увеличится и ядро удлинится. С уменьшением скорости истечения смеси длина ядра уменьшается.

Восстановительная зона имеет темный цвет, заметно отличающий ее от ядра и остальной части пламени. Эта зона занимает пространство до 20 мм от конца ядра пламени. Она состоит из окиси углерода и водорода. Восстановительная зона имеет наиболее высокую температуру в точке, отстоящей на расстоянии

2—4 мм от конца ядра. Этой частью пламени нагревают и расплавляют металл в процессе сварки. Остальная часть пламени, расположенная за восстановительной зоной, носит название факела. Факел состоит из углекислого газа, паров воды и азота, которые появляются в пламени при сгорании окиси углерода и водорода восстановительной зоны за счет кислорода окружающего воздуха. Поэтому температура факела будет значительно ниже температуры восстановительной зоны. Азот попадает в пламя из воздуха.

Если увеличивать подачу кислорода в горелку или уменьшать подачу ацетилена, то получим окислительное пламя. Оно образуется в том случае, если в смеси на один объем ацетилена приходится более 1,3 объема кислорода. Окислительное пламя характеризуется укороченным, заостренным ядром с менее резкими очертаниями и более бледной окраской. Температура окислительного пламени выше температуры нормального восстановительного пламени, однако такое пламя будет сильно окислять свариваемый металл.

При уменьшении подачи кислорода или увеличении подачи ацетилена получается науглероживающее пламя или, как его иногда называют, ацетиленистое. Оно образуется при подаче в горелку менее одного объема кислорода на один объем ацетилена. В ацетиленистом пламени ядро теряет свои резкие очертания, и на его конце появляется зеленый ореол, по которому судят об избытке ацетилена.

Содержащийся в пламени избыточный ацетилен разлагается на водород и углерод, последний переходит в расплавленный металл. Поэтому ацетиленистое пламя будет науглероживать металл шва. Уменьшая подачу ацетилена в горелку до полного исчезновения зеленого ореола у конца ядра, можно ацетиленистое пламя превратить в нормальное восстановительное.

При регулировании следует обращать внимание на правильность установки рабочего давления кислорода в соответствии с паспортом данной горелки и наконечника. Правильно установленное давление кислорода дает ровно и устойчиво горящее пламя, которое не сдувает расплавленного металла с поверхности ванны.

Режим газовой сварки характеризуется удельной мощностью пламени, под которой понимается часовой расход ацетилена в литрах, приходящийся на 1 мм толщины свариваемого металла. Сварка различных металлов требует различной удельной мощности сварочного пламени. Металл большой толщины и хорошо проводящий тепло требует более мощного сварочного пламени, чем тонкий менее теплопроводный или более легкоплавкий металл.

§ 2. Техника газовой сварки

Процесс газовой сварки не требует сложного и дорогого оборудования. Поэтому газовая сварка, несмотря на ее более низкую производительность, по сравнению с современными механизирован-

ными и автоматизированными способами электрической сварки, также находит широкое применение в промышленности. Газовую сварку используют преимущественно для изготовления изделий из тонколистовой стали (1—3 мм), из проката цветных металлов — алюминиевых сплавов, меди, латуни, магниевых сплавов, ремонта литых изделий из чугуна, бронзы, алюминия и магния, монтажа труб малых и средних диаметров. Пайка металлов, наплавка твердых сплавов, поверхностная закалка газокислородным пламенем — все эти процессы по технике выполнения близки к газовой сварке.

Виды сварных соединений при газовой сварке. Газовая сварка является универсальным способом и может применяться при сварке всех металлов. Однако она сопровождается нагреванием достаточно большого участка металла вблизи от места сварного соединения и поэтому может вызывать значительные коробления и напряжения в сварных конструкциях по сравнению с другими методами сварки, дающими более ограниченную зону нагрева. В связи с этим газовую сварку целесообразно использовать только для таких соединений, которые требуют наименьшего количества наплавленного металла и меньшего нагрева основного металла. К таким соединениям относятся стыковые, а также угловые и торцовые. Соединений в нахлестку и в тавр при газовой сварке следует избегать, так как при нагреве они дают большее коробление металла, чем стыковые.

В табл. 66 показаны способы подготовки кромок при газовой сварке стыковых соединений. Листы малой толщины сваривают без присадочного металла с отгибом кромок. Кромки расплавляются и образуют валик сварного шва. Металл толщиной до 5 мм можно соединять без скоса кромок односторонней газовой сваркой. Более толстые листы перед сваркой скашивают под углом 35—40° так, чтобы общий угол раскрытия шва составлял от 70 до 90°, что обеспечивает возможность провара металла на всю толщину.

Газовой сваркой можно выполнять швы в любом положении: нижнем, вертикальном, горизонтальном и потолочном.

Подготовка кромок и способы движения мундштука. Подготовка кромок при газовой сварке состоит в придании им формы, соответствующей виду сварного соединения, предусмотренного чертежами изделия. Перед сваркой кромки должны быть тщательно очищены от загрязнений — слоя окислов, ржавчины, окалины, влаги, масла и пр. Для очистки стали проще всего прогреть кромки пламенем горелки. Кромки цветных металлов очищают механическими и химическими способами.

Сварочное пламя направляется на металл так, чтобы последний находился в восстановительной зоне на расстоянии 2—6 мм от конца ядра. При сварке легкоплавких металлов пламя больше направляется на присадочный металл, а ядро удаляется от ванны на большее расстояние.

Подготовка кромок при газовой сварке

Название шва	Схема шва	Размеры, мм		
		толщина металла	величина зазора a	величина закругления a_1
Стыковой с отбортовкой кромок, без присадочного материала		0,5—1	—	1—2
Стыковой без скоса кромок: односторонний		1—5	0,5—2	—
двусторонний		3—6	1—2	—
Стыковой, V-образный		6—15	2—4	1,5—3
Стыковой, X-образный		12—25	2—4	2—4
Стыковой, V-образный при листах разной толщины		5—20	2—4	1,5—2,5
Стыковой, X-образный при листах разной толщины		12—30	3—4	2—4

Для регулирования скорости нагрева и плавления металла изменяют угол наклона мундштука и применяют различные способы движения концом мундштука и присадочной проволоки, как это показано на рис. 161. Способ *а* используется при сварке тонких листов, способы *б* и *в* — при сварке более толстого металла.

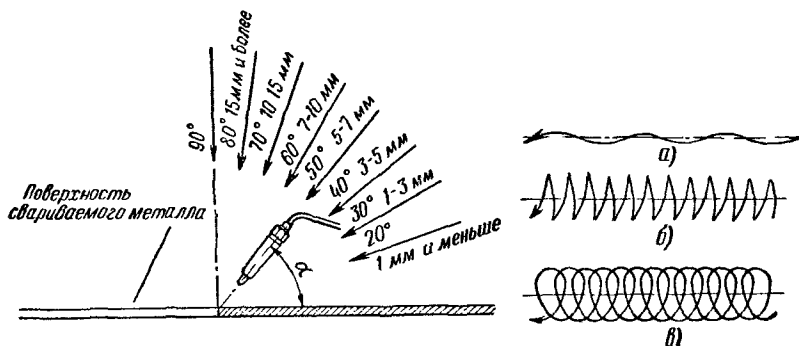


Рис. 161. Углы наклона мундштука горелки к свариваемому металлу в зависимости от его толщины и траектории движений конца мундштука

Мундштук должен быть расположен так, чтобы ядро пламени не касалось расплавленного металла во избежание науглероживания последнего. Ванна расплавленного металла должна быть всег-

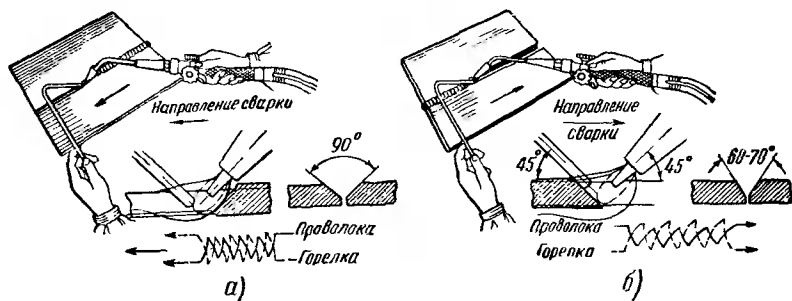


Рис. 162. Схемы газовой сварки.

а — левой, *б* — правой

да защищена факелом и восстановительной зоной пламени от окисления кислородом окружающего воздуха.

Способы газовой сварки. Применяются два основных способа газовой сварки: левая сварка и правая сварка.

Левая сварка (рис. 162, *а*) характеризуется перемещением горелки в направлении справа налево и присадочной проволоки впереди сварочного пламени, которое направлено на еще не-

сваренную часть шва. При этом способе металл недостаточно защищен пламенем от окисления, тепло пламени используется частично, так как увеличиваются потери его в окружающую среду, производительность сварки невысокая.

Правая сварка (рис. 162, б) характеризуется перемещением горелки слева направо впереди присадочной проволоки. Пламя направлено на сваренную часть шва и конец присадочного прутка. Больше количество тепла пламени идет на расплавление металла сварочной ванны. Колебательные движения мундштука и проволоки в поперечном направлении производятся реже, чем при левой сварке. Конец проволоки, все время погруженный в сварочную ванну, перемешивает ее и облегчает удаление окислов в шлаки.

При сварке листов толщиной свыше 6 мм восстановительная зона пламени, имеющая наиболее высокую температуру, оказывается погруженной в разделку кромок шва, благодаря чему тепло используется более эффективно и производительность сварки возрастает на 20—25%, а расход газов снижается на 15—25%, по сравнению с левым способом сварки.

При сварке листов толщиной 1—3 мм, наоборот, более эффективным способом является левая сварка. Поэтому правую сварку следует применять только при сварке металла толщиной свыше 5—6 мм. При правой сварке угол раскрытия кромок шва должен составлять 70°. Мощность горелки при сварке стали берется 150 л/час ацетилена на 1 мм толщины металла. Правая сварка обеспечивает полный провар стали толщиной до 6 мм без скоса кромок, когда она выполняется с одной стороны.

Сварка многопламенными горелками является дальнейшим развитием правой сварки. Вместо одного пламени применяется несколько пламен (два и три), каждое из которых выполняет определенную функцию: подогрев кромок, подогрев проволоки, плавление и сварка. Сварка ведется при прямолинейном перемещении горелки вдоль шва. Способ этот требует большого искусства от сварщика и может применяться при сварке металла толщиной свыше 6 мм. Он обеспечивает повышение производительности на 25—50% и снижение расхода газов на 1 м шва на 15—25% по сравнению со сваркой левым способом однопламенной горелкой той же мощности.

Автоматическая газовая сварка осуществляется также многопламенной горелкой. Горелка крепится неподвижно к станку, а свариваемое изделие движется вдоль нее так, чтобы оси всех языков пламени были расположены по оси шва. Автоматическую сварку многопламенными горелками целесообразно применять при массовом производстве однотипных изделий, например тонкостенных труб, где она обеспечивает высокую производительность процесса.

Многослойная сварка используется для соединения металла большой толщины, порядка 15—20 мм и более. Мно-

гослойная сварка применяется также при сварке труб из молибденовой и хромомолибденовой теплоустойчивой стали меньшей толщины. Сварка ведется короткими участками. Предварительно проволоочной щеткой очищаются от окалины нижележащие слои. Способ этот менее производителен, но дает наплавленный металл с лучшими механическими свойствами, так как при нем уменьшается общая зона нагрева, происходит отжиг и нормализация наплавленного металла предыдущих слоев при наложении последующих швов.

Потолочной сваркой выполняются швы на горизонтальной и вертикальной плоскостях. При потолочной сварке основной задачей является удержание капли расплавленного металла от стекания вниз. Для этого применяется пламя с меньшей скоростью истечения горючей смеси из мунштука («мягкое» пламя), давлением газов которого удерживается расплавленный металл сварочной ванны до момента начала его кристаллизации. Потолочную сварку легче вести правым способом, так как в этом случае облегчается формирование шва, а конец присадочной проволоки служит дополнительным средством для удержания металла.

Сварка двойным валиком применяется при односторонней сварке листов толщиной до 6—8 мм без разделки кромок. Сварку ведут при вертикальном положении листов и шва. В начале шва сварщик проплавляет в листах сквозное отверстие. Затем, заполняя его наплавкой на нижнюю кромку отверстия металла присадочного прутка и верхней кромки, перемещает пламя в отверстие вверх, образуя валик, проходящий насквозь через всю толщину свариваемых листов.

Этот способ позволяет получить плотный металл шва и может выполняться двумя сварщиками при одновременной сварке более толстых листов с двух сторон.

§ 3. Сварка листов

Предварительно перед сваркой листы прихватывают короткими швами, ширина и толщина которых должна составлять не более $\frac{3}{4}$ ширины и толщины основного шва. Расстояние между прихватками выдерживается при толщине листов до 2 мм $25 \div 40$ мм; при большей толщине $60 \div 100$ мм. Прихватки накладывают от середины шва к его концам. От конца шва или кромки отверстия прихватки должны располагаться на расстоянии не менее 10 мм. При наложении прихваток с двух сторон шва их располагают в шахматном порядке.

Сварку ведут обратнo-ступенчатым способом, отдельными участками, тщательно проваривая места, где наложены прихватки. Для уменьшения коробления листов при сварке, повышения точности сборки и производительности труда прихватку, сборку и сварку рекомендуется вести в приспособлениях. При наложении прихва-

ток на круговых швах, например при варке доньшка в обечайку резервуара или постановке заплат, их располагают поочередно на противоположных участках окружности в целях более равномерного нагрева изделия и уменьшения деформаций.

Порядок варки заплат в листы показан на рис. 163; при соблюдении этого порядка наложения швов деформации получаются наименьшими. Для предупреждения появления в швах трещин от внутренних напряжений заплате предварительно придают слегка выпуклую форму. Отверстие, в которое вваривается заплата, должно иметь закругленные внутренние углы. Кромки листа и заплаты, если это требуется по условиям сварки, должны иметь скос под соот-

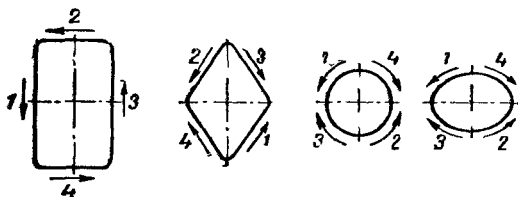


Рис. 163. Варка заплат

ветствующим углом. На тонком металле кромки листа и заплаты отбортовывают и заваривают без присадочного металла, после чего шов проковывают и заглаживают в нагретом состоянии.

Трещины перед заваркой предварительно разделяют зубилом или фрезой, а по концам их сверлят отверстия для предупреждения возможности дальнейшего распространения. Трещину заваривают от середины к краям.

§ 4. Сварка труб

Газовая сварка также используется для сварки поперечных стыков труб. Трубы диаметра более 100 мм чаще сваривают дуговой сваркой, чем газовой. Скос кромок трубы делают при толщине стенки свыше 5 мм, угол раскрытия шва от 70 до 90°. Кромку стыка несколько затупляют для предупреждения сквозного проплавления. Оси свариваемых труб должны возможно более точно совпадать друг с другом. Сварку ведут левым или правым способом.

Сварку неповоротных стыков труб после предварительной прихватки ведут в два приема, заваривая сначала одну половину окружности стыка, например нижнюю, а затем вторую — верхнюю. Для более равномерного нагрева всего стыка сварку второй половины ведут в направлении, обратном направлению сварки первой половины стыка.

Начинают и заканчивают сварку второго шва на участке, занятом первым швом с целью получения равномерной выпуклости

шва по всей окружности трубы. Можно сваривать участки стыков труб в порядке, показанном на рис. 164, а, особенно удобен этот порядок при сварке труб диаметром свыше 100 мм. Трубы диаметром свыше 300 мм сваривают два сварщика одновременно на участках 1 и 2 (рис. 164, б). После этого трубу поворачивают на 180° и одновременно ведут сварку участков 3 и 4. Если трубу нельзя по-

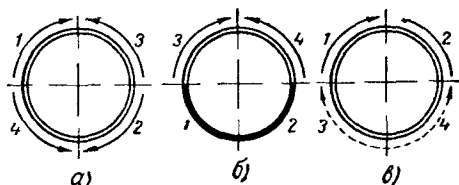


Рис. 164. Порядок сварки труб большого диаметра

ворачивать, сварку этих участков ведут в потолочном положении, как указано пунктиром на рис. 164, в.

§ 5. Сварка стали

В настоящее время конструкции из стали сваривают в большинстве случаев электрической сваркой, являющейся более производительной и дающей более высокие механические свойства сварных соединений. Газовая сварка используется значительно реже и лишь в отдельных случаях: на монтаже, при ремонте, мелкосерийном производстве и других случаях. Рассмотрим особенности газовой сварки стали.

Мало- и среднеуглеродистые стали. Эти стали свариваются газовой сваркой любым из описанных выше способов. Удельная мощность пламени при левой сварке мало- и среднеуглеродистой стали составляет 100—130 л/час, а при правой — 150 л/час на 1 мм толщины свариваемого металла.

Для повышения производительности можно выполнять сварку пламенем мощностью до 200 л/час на 1 мм толщины, применяя соответственно более толстую присадочную проволоку. Однако такая сварка требует большого опыта от сварщика, так как связана с опасностью перегрева свариваемого металла и ухудшения его механических свойств. При нормальном режиме сварки стали применяется проволока диаметром: для левой сварки $d = \frac{s}{2} + 1$ мм; для пра-

вой $d = \frac{s}{2}$ мм, где s — толщина металла в мм. При толщине металла свыше 15 мм диаметр присадочной проволоки берется равным 6 — 8 мм. Сварочное пламя должно иметь восстановительный характер.

Для низко- и среднеуглеродистой стали применяется присадочная проволока Св-08 или Св-08А и Св-08ГА по ГОСТ 2246—60. После сварки можно производить проковку металла шва в горячем состоянии при температуре 850—900° (светло-красное калие). Это придает структуре металла мелкозернистость, в результате чего повышается его пластичность. Проковку следует заканчивать при остывании участка шва до темно-красного цвета, так как проковка при более низкой температуре приводит к наклепу металла, в результате чего его пластичность не повышается, а, наоборот, понижается и металл становится более хрупким. После проковки шов следует подвергнуть нормализации, нагрев горелкой до указанной выше температуры и охладив на воздухе.

Высокоуглеродистые стали. Стали, содержащие свыше 0,6% углерода, свариваются значительно хуже, чем среднеуглеродистые, в которых углерода содержится от 0,25 до 0,6%. Высокоуглеродистые стали очень склонны к закалке и образованию трещин в переходной зоне и зоне влияния. Поэтому при их сварке применяется пламя с меньшей тепловой мощностью, равной 75 л/час на 1 мм толщины металла.

Пламя должно быть восстановительным или с небольшим избытком ацетилена, так как при окислительном пламени происходит усиленное выгорание углерода и шов получается пористым. Предупреждается появление закаленных зон и трещин предварительным и сопутствующим подогревом до 200—250°. Присадочным материалом служит проволока, содержащая углерода от 0,11 до 0,18%, или Св-12ГС по ГОСТ 2246—60.

Предпочитается левый способ сварки. После сварки необходима нормализация. Получить наплавленный металл с высокими механическими свойствами при сварке этих сталей можно также, применяя присадочную проволоку с нормальным содержанием углерода, но легированную хромом (0,5—1%), никелем (2—4%) и марганцем (0,5—0,8%). Металл толщиной менее 3 мм предварительно не подогревают.

Низколегированные перлитные стали. К этой группе относится сталь марки 15ХСНД (СХЛ-1, НЛ-2), состав и свойства которой были приведены в главе IX. Эта сталь хорошо сваривается газовой сваркой, восстановительным пламенем удельной мощности 75 л/час на 1 мм толщины основного металла. Присадочным материалом служит сварочная проволока Св-08, Св-08А или Св-10Г2 по ГОСТ 2246—60. Сварку ведут левым или правым способом в зависимости от толщины металла. Для улучшения механических свойств металла шва рекомендуется его проковка в горячем состоянии с последующей нормализацией.

Низколегированные молибденовые и хромомолибденовые теплоустойчивые стали. Характеристика состава и свойств этих сталей дана в главе IX. Газовой сварке чаще всего подвергаются трубы

из сталей этого типа в процессе монтажа котельных агрегатов. В качестве присадочного материала используются проволоки Св-10ХМ, Св-18ХМА по ГОСТ 2246—60. Во время сварки пламя должно иметь только восстановительный характер, так как окислительное пламя вызывает образование тугоплавких окислов хрома, затрудняющих сварку хромомолибденовых сталей. Мощность пламени и диаметр проволоки следующие:

Толщина стенки трубы, мм	до 3	4—6	7—10
Расход ацетилен, л/час . . .	300	500	750—1200
Диаметр проволоки, мм . . .	3—4	4—5	5—6

Свариваемые кромки скашиваются под углом 45°, фаска снимается на токарном станке. Притупление кромок должно составлять 0,5—0,7 мм, зазор между кромками не более 0,5 мм. Сборка стыков проверяется шаблонами.

Трубы собираются в приспособлении, обеспечивающем совпадение их осей. Перед сваркой кромки труб прихватываются в трех точках по окружности стыка. Сварку ведут отдельными участками. При толщине стенки до 5 мм шов делается однослойным, при толщине более 5 мм — двухслойным. Для гарантии полного провара стыка кромки предварительно расплавляют в корне шва без присадочной проволоки, а затем шов заполняется присадочным металлом на всю толщину стенки с образованием необходимого усиления. При двухслойной сварке первый слой сваривается без утолщения, а вторым слоем наваривают утолщение шва. Длина каждого участка обычно равна 15—25 мм.

Сварку следует вести без перерывов до заварки одной половины окружности стыка. При сварке второй половины стыка во избежание появления трещин следует предварительно весь стык равномерно подогреть горелкой до 250—300°.

После сварки стыки подвергаются нормализации при температуре 900—930° для стали 15М и 20М и 930—950° для стали 12ХМ и 20ХМ с выдержкой при этой температуре в течение 1—1,5 мин на 1 мм толщины стенки и последующем охлаждении на спокойном воздухе. При минусовой температуре окружающей среды сварку необходимо вести с предварительным подогревом стыка до 250—300°.

Низколегированные хромокремнемарганцевые стали (хромансиль). Составы и свойства этих сталей приведены в главе IX. Данные марки сталей хорошо соединяются газовой сваркой. В период внедрения этих сталей в машиностроении основным способом их сварки являлся газовый. В дальнейшем газовая сварка была в основном заменена дуговой сваркой в среде защитных газов и автоматической сваркой под флюсом. Присадочным материалом при сварке этих сталей может быть малоуглеродистая проволока Св-08 или Св-08А в тех случаях, когда прочность сварного соединения менее

90 кгс/мм². При необходимости получения более высокого предела прочности применяется проволока Св-18ХГСА или Св-18ХМА. Пламя должно иметь строго восстановительный характер. Режим сварки следующий:

Толщина металла, мм	0,5	1	2	3
Расход ацетилена, л/час	50	75	150	300
Диаметр проволоки, мм	1	1,5	2	2,5

Низколегированные хромокремнемарганцевые стали свариваются в один слой в нижнем положении. Вертикальных и потолочных швов следует избегать. Перед сваркой листы прихватываются. Сварка должна производиться быстро, без перерывов и задержек пламени на одном месте. Следует избегать резкого охлаждения металла после сварки и стараться постепенно отводить пламя от шва, подогревая факелом металл в радиусе 25—40 мм вокруг конца шва или места наложения прихватки. После сварки сварное соединение подвергают термообработке: закалке до 880° с охлаждением в масле и последующему отпуску при 400—570°.

Высоколегированные хромоникелевые аустенитные стали. Свойства этих сталей, их марки и составы даны в главе IX. Газовая сварка этих сталей дает хорошие результаты, но эти стали склонны к повышенной деформации вследствие более низкой их теплопроводности. Поэтому сварку изделий из таких сталей следует по возможности производить в кондукторах. Присадочным металлом является проволока Св-02Х19Н9, Св-06Х19Н9Т, Св-08Х19Н10Б по ГОСТ 2246—60.

Сварка должна выполняться восстановительным пламенем мощностью 75 л/час на 1 мм толщины основного металла. Для шлакования окислов хрома применяются флюсы, составы которых приведены в табл. 67.

Флюс наносится на верхнюю и нижнюю стороны листов в виде пасты за 15—20 мин до сварки, а его остатки после сварки удаляются со шва.

После сварки изделие подвергают термообработке — нагреву до 1050—1100° и последующему быстрому охлаждению в воде (при толщине металла менее 2 мм —

на воздухе) для предупреждения межкристаллитной коррозии шва и зоны влияния вследствие выпадения карбидов хрома. Термообработку не применяют, если сталь содержит титан в качестве стабилизатора ее структуры.

Таблица 67
Состав флюсов, применяемых при сварке высоколегированных хромоникелевых аустенитных сталей

Вещества, входящие во флюс	Содержание компонентов, %, в составах			
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
Буря	50	80	—	40
Борная кислота . .	50	—	—	50
Плавиковый шпат .	—	—	80	10
Ферротитан	—	—	20	—
Оксид кремния . .	—	20	—	—

§ 6. Сварка чугуна

Сведения о свойствах и свариваемости чугуна были изложены в главе XIV. Здесь рассмотрим технологию газовой сварки чугунных деталей. С помощью газовой горелки можно с успехом производить ремонтную сварку изделий из серого литейного, а также ковкого и высокопрочного чугуна. Более длительный и равномерный нагрев, обеспечиваемый пламенем при газовой сварке, способствует получению в металле шва структуры серого, неотбеленного чугуна, хорошо поддающегося последующей механической обработке. При сварке чугуна образуется достаточно большое количество окислов марганца и особенно кремния, затрудняющих сварку. Для удаления этих окислов в шлаки применяют флюс в виде молотой буры или смеси одного из следующих составов: 1) 56% буры, 22% углекислого натрия (сода) и 22% углекислого калия (поташа); 2) 50% буры, 47% двууглекислого натрия и 3% кремниевой кислоты; 3) 23% буры, 27% углекислого натрия и 50% азотнокислого натрия. Сварку ведут только в нижнем положении с предварительным общим или частичным подогревом свариваемой детали. Применяется восстановительное или слегка науглероживающее сварочное пламя, так как окислительное пламя вызывает местное выгорание кремния, вследствие чего на этих участках шва возможно образование структуры отбеленного чугуна.

Присадочным металлом при сварке служат прутки из чугуна диаметром 6, 8, 10 и 12 мм, длиной 400—700 мм. Состав чугуна присадочных стержней следующий: 3—3,6% углерода, 3,6—4,8% кремния, 0,5—0,8% марганца, не более 0,08% серы, 0,3—0,5% фосфора, остальное — железо. Мощность пламени должна составлять 100—120 л/час на 1 мм толщины основного металла. Кромки металла скашиваются под углом 45° и должны быть очищены перед сваркой до металлического блеска, а затем прогреты пламенем сварочной горелки.

Во время сварки прутки периодически погружают во флюс и переносят его в сварочную ванну; кроме того, флюс подсыпают в ванну ложкой. В целях ускорения процесса и регулирования равномерности нагрева крупные детали рекомендуется сваривать одновременно двумя горелками. Концом прутка все время перемешивают сварочную ванну, облегчая этим выход наружу растворенным в металле газам, тем самым предупреждая появление пор в металле шва.

Полный подогрев свариваемой детали производится в горне, печи или временном очаге. Температура нагрева составляет от 300 до 600°, в зависимости от размеров и формы детали. После сварки нужно обеспечить медленное охлаждение детали, покрывая ее асбестом или засыпая песком для изоляции от окружающей среды. При нагреве в печи свариваемые детали охлаждаются вместе с печью.

Чугун серый, ковкий и высокопрочный можно сваривать латунной

присадочной проволокой марки Л-62, имеющей температуру плавления 850—900°, что значительно ниже температуры плавления чугуна, которая равна примерно 1200°. При этом способе кромки чугунной детали не расплавляются, а нагреваются только до температуры плавления латуни и облуживаются последней. На подготовленную таким образом поверхность кромок затем наплавляется соединительный слой металла шва, состоящий из сплава, состав которого будет близок к составу присадочных латунных стержней. Так как латунь является пластичным металлом, то место сварного соединения будет обладать достаточной прочностью и необходимой пластичностью.

Лучше всего поверхность нагретого чугуна смачивается латунью при температуре нагрева чугуна до 700—850°. При более низкой температуре, порядка 600°, наплавленный металл быстро застывает и содержащиеся в нем газы не успевают выделиться, что вызывает появление пористых швов. При температуре нагрева свыше 900° происходит растворение железа в латуни и испарение из нее цинка, что также вызывает пористость наплавленного металла. Кроме того, при этой температуре графит чугуна выгорает, что ухудшает смачивание чугуна расплавленной латунью. Для предупреждения испарения цинка, входящего в состав латуни, пламя должно иметь избыток кислорода до 30—40%. Латунь наплавляется менее горячей частью пламени, которое направлено на присадочный пруток и находится от него на несколько большем расстоянии, чем обычно.

Для сварки чугуна латунью наиболее целесообразно применение газообразного флюса (см. § 8). Кроме того, применяются чугунные прутки с медным покрытием, улучшающим смачиваемость кромок свариваемого металла наплавленным металлом, а также прутки из чугуна специального состава, температура плавления которого лежит между 1050 и 1200° (эвтектического чугуна). При сварке чугуна специального состава употребляются особые флюсы в виде пасты. При отсутствии специальных чугунных прутков или латуни марки Л-62 трещины в чугунных деталях можно заваривать также проволокой из электролитической красной меди.

Низкотемпературная сварка и заварка литейных дефектов в чугунных деталях. Данный способ разработан ВНИИАвтогеном и состоит в заварке литейных дефектов с применением специального флюса-пасты и присадочных стержней из чугуна особого состава, без расплавления основного металла. Присадочные стержни имеют следующий состав (%):

	Для тонкостенных изделий	Для толстостенных изделий
Углерода	3,2—3,8	3,0—3,5
Кремния	4,1—3,8	2,8—3,6
Марганца	0,6—0,8	0,52—0,6

Серы	не более 0,05	не более 0,05
Фосфора	0,2—0,4	0,2—0,4
Никеля	0,4—0,6	0,4—0,6
Хрома	до 0,1	до 0,1
Титана	0,15—0,20	0,15—0,20

Стержни отливаются в кокиль и имеют диаметр 5, 7, 9 и 12 мм. Флюс-паста имеет следующий состав: 8% двуокиси титана, 10% азотнокислого калия, 8% фтористого кальция, 45% буры технической, 3% ферротитана, 21% фтористого натрия, 5% фтористого лития. Место заварки зачищают до металлического блеска. При толщине стенки до 10 мм кромки подвергаются V-образной разделке с углом раскрытия 70—90°, при толщине стенки более 10 мм—X-образной. Литейные дефекты (поры, шлаковые включения) вырубают и кромки разделяют под общим углом раскрытия шва 45—60°.

Перед сваркой производится местный нагрев изделия горелкой до 300—400°; изделия с более сложной формой подвергают общему нагреву в печи до той же температуры.

На нагретую поверхность наносится слой флюса-пасты и место заварки нагревается горелкой до 750—790°. Пламя должно быть нормальным восстановительным. При такой температуре нагрева флюс-паста начинает плавиться, покрывая место сварки тонкой пленкой. Присадочный стержень покрывается снаружи флюсом-пастой и расплавляется постепенно, капля за каплей стекая на завариваемую поверхность и растекаясь по ней. Сварка ведется справа налево, пламя горелки перемещается впереди шва. После заварки изделие медленно охлаждается в песке или под слоем асбеста.

При данном способе заварки отсутствуют зоны твердого отбеленного чугуна, так как основной металл не доводится до состояния плавления, наплавка получается плотной, мягкой и хорошо обрабатывается резцом. Ремонтируемое изделие испытывает незначительные внутренние напряжения, и трещины при заварке не образуются.

§ 7. Сварка меди

Свойства и свариваемость меди были изложены в главе XV. Медь хорошо сваривается газовой сваркой. Правильное выполнение сварки с последующей проковкой позволяет получить сварное соединение с пределом прочности металла шва 17—22 кгс/мм² при пределе прочности основного металла из мягкой меди 22—23 кгс/мм². Вследствие высокой теплопроводности для сварки меди требуется пламя повышенной мощности. Для толщин до 10 мм мощность пламени должна быть равной 150 л/час, а для толщин свыше 10 мм—200 л/час ацетилен на 1 мм толщины основного металла. Более толстую медь рекомендуется сваривать двумя горелками одновременно.

но; одной для подогрева с мощностью 150—200 л/час, а второй для сварки с мощностью 100 л/час ацетилена на 1 мм толщины.

Для уменьшения отвода тепла свариваемые детали сверху и снизу покрывают листами асбеста. Используется восстановительное сварочное пламя, ядро которого держится почти под прямым углом к кромкам листов на расстоянии 3—6 мм от поверхности ванны. Для уменьшения образования закиси меди и предупреждения появления горячих трещин сварку следует вести быстро, без перерывов, строго следя за сохранением восстановительного характера сварочного пламени. Применять прихватки перед сваркой не следует. Сваривать изделие рекомендуется в сборочно-сварочном приспособлении (кондукторе). Сварка пламенем с избытком ацетилена вызывает реакцию восстановления закиси меди водородом и окисью углерода, содержащимися в пламени, в результате чего в наплавленном металле образуются поры и мелкие трещины.

При сварке в качестве присадочного металла используется проволока из чистой (электролитической) меди или из меди, содержащей до 0,2% фосфора и до 0,15—0,30% кремния в качестве раскислителей. Диаметр проволоки должен быть от 0,5 до 0,75 S (S—толщина металла, подвергаемого сварке). Проволока диаметром свыше 8 мм не применяется.

Распределение тепла при сварке меди следует регулировать так, чтобы проволока плавилась несколько ранее кромок, наплавляя присадочный металл на только еще начинающие расплавляться кромки основного металла. Скос кромок производится под углом 45° при толщине листов свыше 3 мм. Притупление кромок составляет 0,2 мм от их толщины. Кромки перед сваркой зачищают до металлического блеска или подвергают травлению в растворе азотной кислоты с последующей промывкой в воде.

Для раскисления меди при сварке и удаления в шлак образующихся окислов используются флюсы, составы которых приводятся в табл. 68.

Таблица 68

Составы флюсов, используемых при сварке меди

Вещества, входящие в флюс	Содержание компонентов, %, в составах			
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4 (паста)
Бура	100	50	60—70	50
Борная кислота	—	50	10—20	—
Поваренная соль	—	—	20—30	—
Древесный уголь	—	—	—	20
Кремнекислота	—	—	—	15
Кислый фосфорнокислый натрий	—	—	—	15

Флюс, в составе которого находится кислый фосфорнокислый натрий, применяется при сварке проволокой, не содержащей раскислителей в виде кремния и фосфора. Флюсы вносятся в ванну, а также ими покрывают конец присадочного прутка, кромки свариваемого металла на расстоянии 40—50 мм в обе стороны от оси шва и обратную сторону свариваемых листов. Флюс-паста состава № 4 наносится на прутки в виде покрытия.

Для измельчения зерен наплавленного металла и повышения плотности шов после сварки проковывают. Металл толщиной до 5 мм проковывают в холодном состоянии, а более толстый — при 200—300°. После проковки шов отжигают при температуре 500—550°, подвергая его затем быстрому охлаждению водой, что сохраняет мелкозернистую структуру и повышает пластичность наплавленного и основного металла. Во избежание образования трещин проковку не следует вести при температурах выше 500°, так как медь при этих температурах становится хрупкой.

§ 8. Сварка латуни

Особенности сварки латуни были изложены в главе XV. В настоящее время, несмотря на относительно низкую производительность, газовая сварка латунных изделий все еще применяется в промышленности.

Для борьбы с испарением цинка при газовой сварке латуни применяют сварочное пламя с большим избытком кислорода, достигающим 30—40% против его нормального количества в восстановительном пламени. При сварке латуни в горелку подается от 1,3 до 1,4 м³ кислорода на 1 м³ ацетилена. Избыток кислорода окисляет часть цинка, окись которого образует пленку на поверхности сварочной ванны, защищающую нижележащие слои расплавленного металла от дальнейшего испарения цинка при сварке. Кроме того, избыток кислорода окисляет свободный водород в зоне сварки, препятствуя поглощению его расплавленным металлом, что также приводит к снижению испарения цинка и уменьшает пористость шва. Мощность сварочного пламени должна составлять 100 л/час ацетилена на 1 мм толщины основного металла. Скос кромок зависит от толщины свариваемого металла (см. табл. 66). Перед сваркой кромки зачищают до металлического блеска, а при наличии на них слоя окалина травят в 10%-ном растворе азотной кислоты с последующей промывкой водой и протирают насухо.

В качестве присадочного прутка применяется латунная проволока ЛК-62-05, состоящая из 60,5 ÷ 63,5% меди, 0,3 ÷ 0,7% кремния, остальное — цинк. Состав этой проволоки разработан ВНИИАвтогеном с целью улучшения процесса сварки латуни, что достигается введением в проволоку кремния в качестве раскислителя, уменьшающего окисление и испарение цинка. При сварке этой проволокой

получается плотный беспористый шов с минимальным выделением паров цинка.

Для повышения производительности сварки, если используется проволока ЛК-62-05, мощность горелки можно увеличить до 150 л/час ацетилена на 1 мм толщины металла (без заметного увеличения потерь цинка на испарение). В качестве флюса применяется бура или один из составов, используемых при сварке чугуна латунию (см. § 6).

При сварке латуни наилучшие результаты дает разработанный ВНИИАвтогеном газообразный флюс, состоящий из паров летучей бороорганической жидкости БМ-1. Эта жидкость представляет собой смесь метанола (CH_3OH) с 55—70% метилбората В (CH_3O)₃. Перед поступлением в горелку ацетилен пропускается через эту жидкость, заполняющую специальный сосуд — флюсопитатель, где он насыщается парами жидкости и далее идет в горелку. Пары флюса попадают в сварочное пламя, где метилборат сгорает по реакции:



Борный ангидрид B_2O_3 образует в пламени летучую борную кислоту H_3BO_3 , которая осаждается на изделии и вновь разлагается, образуя борный ангидрид, являющийся флюсующим веществом. Содержащийся во флюсующей жидкости метанол полностью сгорает в пламени без образования каких-либо вредных для процесса сварки соединений. Расход флюса БМ-1 для получения наплавленного металла хорошего качества составляет около 70 г на 1 м³ ацетилена.

Газофлюсовая сварка латуни с применением флюса БМ-1 позволяет значительно повысить производительность, делает процесс почти безвредным для сварщика, обеспечивает получение плотного беспористого металла шва без проковки, с пределом прочности до 38 кгс/мм², углом загиба 180°, ударной вязкостью 15 кгс м/см².

Испарение цинка почти не происходит и состав металла шва остается прежним, соответствующим промежуточному составу между основным и присадочным металлом, в зависимости от доли участия каждого из них в образовании металла шва. Поверхность шва получается чистой от окислов и шлаков, незначительный налет которых легко удаляется протиркой шва тканью. Значительно упрощается и улучшается процесс выполнения многослойных швов.

В химическом машиностроении находит применение железомарганцовистая латунь ЛЖМц-59-1-1, состоящая из 59% меди, 1% марганца, 1% железа, остальное — цинк. Эта латунь хорошо куется и используется для изготовления толстых профилей, идущих на фланцы сосудов. При сварке заготовок для фланцев кромки профиля после его изгиба на вальцах скашивают под углом 35° без притупления. Скос производят с одной стороны.

Для предупреждения вытекания жидкого металла собранный под сварку стык ограждают графитовыми пластинками. Затем кромки нагревают двумя горелками до оплавления, причем расход ацетилена составляет 1050—1750 л/час. Кромки посыпают бурой и заливают расплавленным металлом (латунью марки ЛК-62-05), который плавится в тигле под слоем древесного угля толщиной в 10 мм для защиты от окисления. Во время заливки кромки шва подогревают горелками. После окончания заливки стыка и его охлаждения ограждающие плитки убираются и заготовка идет в дальнейшую обработку. Такой способ сварки предложен сварщиком А. И. Романовым и назван ванным.

Сварка стыка двух полос сечением 125×125 мм занимает 25—30 мин. Наплавленный металл получается с высокими механическими свойствами: пределом прочности 42 кгс/мм^2 , удлинением 36%, ударной вязкостью $6,8 \text{ кгс}\cdot\text{м/см}^2$. Если при сварке латуни применяется проволока Л-62 и обычные флюсы, то для повышения плотности шов подвергают проковке, заглаживая его заподлицо с основным металлом. При содержании в латуни меди менее 60% проковку ведут в горячем состоянии при температуре 650° , а при содержании меди более 60%—в холодном состоянии. После проковки производят отжиг при $600\text{—}650^\circ$ с последующим медленным охлаждением.

Проковка делает металл шва мелкозернистым, а отжиг устраняет возможность появления наклепа. Для снятия внутренних остаточных напряжений в латунном изделии, приводящих в дальнейшем иногда к его растрескиванию, применяют отжиг при 300° . Сварку латуни следует вести в защитной маске (респираторе), поскольку выделяющиеся пары цинка вредны для здоровья.

Газофлюсовая наплавка латуни на чугун и сталь. При изготовлении запорной арматуры для пара и газов на стальные и чугунные поверхности клапанов запорных вентилей наплавляются латунные уплотнительные кольца газофлюсовой сваркой, разработанной ВНИИАвтогеном и описанной выше. Этот способ сварки обеспечивает плотную беспористую наплавку, прочно связанную с основным металлом. При наплавке не происходит изменения структуры и свойств металла наплавленной детали.

В качестве присадочного прутка применяют латунь Л-62. Проволока из латуни ЛК-65-05 дает более хрупкий слой в месте сплавления латуни с чугуном или сталью, чем проволока Л-62. Металл в месте наплавки нагревается флюсующим пламенем до 650° . При этом на поверхности металла образуется тонкая стекловидная пленка шлака.

Пламя горелки с парами флюса БМ-1 окрашено в ярко-зеленый цвет, а его ядро сливается с факелом. Пруток латуни плавится в пламени и жидкая латунь наносится на поверхность стали или чугуна в виде валика. При наплавке валика впереди его должна двигаться тонкая пленка жидкой латуни, что указывает на хорошее

смачивание ею наплавляемой поверхности, обеспечивающее прочное сцепление валика наплавки с основным металлом.

Пламя горелки должно быть направлено к поверхности под углом 45° , охватывая с обеих сторон концы прутка и валика. Применяется левый способ перемещения горелки вдоль шва без поперечных колебаний.

При наплавке не должно происходить испарения цинка и образования пузырей в ванне. Появление их указывает на неправильное ведение процесса и недостаточную защиту флюсом жидкого металла и наплавляемой поверхности. Прочность сцепления наплавленного металла с основным при наплавке на чугун 15 кгс/мм^2 (отрыв по чугуну), при наплавке на сталь 30 кгс/мм^2 (отрыв по стали).

§ 9. Сварка бронзы

Газовую сварку применяют при ремонте литых изделий из бронзы, наплавке работающих на трение поверхностей деталей слоем антифрикционных бронзовых сплавов и пр. В случае необходимости сварку и наплавку бронз ведут с подогревом до 450° . Подогрев требуется для предупреждения трещин. В нагретом состоянии повышается хрупкость бронз, поэтому при сварке изделие должно хорошо закрепляться; сварка ведется в нижнем положении, следует избегать толчков и ударов по детали.

Сварочное пламя должно иметь восстановительный характер, так как при окислительном пламени увеличивается выгорание легирующих примесей бронзового сплава: олова, кремния, алюминия. Образующиеся окислы затрудняют сварку, а шов получается пористым с включениями шлаков. Чтобы не перегревать металл, пламя держится на несколько большем расстоянии от сварочной ванны, аналогично тому, как это делается при сварке латуни. В качестве присадочного материала применяют прутки, близкие по составу к свариваемому металлу. В качестве раскислителя в присадочную проволоку вводят до $0,4\%$ кремния. Мощность пламени устанавливается из расчета $100\text{—}150 \text{ л/час}$ ацетилен на 1 мм толщины основного металла.

Для защиты металла от окисления и удаления окислов в шлаки применяют флюсы. Составы флюсов берутся такие же, как при сварке меди или латуни. Лучшие результаты дает сварка алюминиевых бронз с использованием флюсов, содержащих в своем составе хлористые и фтористые соединения натрия, бария, калия и лития.

После сварки деталь подвергается отжигу при $450\text{—}500^\circ$ и последующему охлаждению в воде. После сварки проковке подвергается только прокатанная бронза, но не литая. При газовой сварке бронзы можно получать наплавленный металл с пределом прочности до 30 кгс/мм^2 .

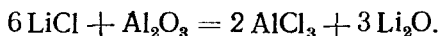
§ 10. Сварка алюминия и его сплавов

Данные о свойствах и свариваемости алюминиевых сплавов были приведены в главе XV. Газовая сварка алюминиевых сплавов дает достаточно хорошие результаты при условии правильного выбора режима сварки, наличия соответствующих навыков у сварщика и применения соответствующих флюсов, хорошо растворяющих пленку тугоплавкой окиси алюминия (Al_2O_3).

Особое значение при сварке алюминия имеет правильный выбор мощности пламени, так как пленка окиси алюминия сплошь покрывает сварочную ванну и мешает сварщику контролировать начало расплавления свариваемого металла. При слишком мощном пламени этот момент может быть легко упущен и тогда в данном месте образуется сквозное проплавление металла, трудно поддающееся исправлению. В зависимости от толщины металла мощность пламени при сварке алюминия и его сплавов должна быть следующей:

Толщина металла, мм	0,5—0,8	1	1,2	1,5—2	3—4
Расход ацетилена, л/час	50	75	75—100	150—300	300—500

Флюс наносится на кромки и проволоку в виде пасты или применяется в виде порошка. Составы флюсов были приведены в табл. 53. Входящие в состав флюса хлористые соли, например лития, активно отнимают кислород от окиси алюминия, образуя хлористый алюминий по реакции:



Содержащийся во флюсах криолит способен хорошо растворять в расплавленном состоянии окись алюминия Al_2O_3 . Химическая формула криолита Na_3AlF_6 . Все флюсы, применяемые для сварки алюминия, особенно содержащие соединения лития, очень гигроскопичны, т. е. жадно поглощают влагу, и поэтому должны храниться в стеклянных герметически закрывающихся банках небольшими порциями, в соответствии с фактическим расходом флюса на сварку. Остатки флюса на металле вызывают коррозию шва, поэтому их необходимо удалять промывкой в горячей воде. Для создания защитной пленки на поверхности шва его промывают в течение 5 мин 5%-ным раствором азотной кислоты с добавлением 2% хром-пика. При газовой сварке тонких листов из алюминиевых сплавов применяются соединения, показанные на рис. 111.

Листы толщиной до 2,5 мм сваривают с отбортовкой, толщиной от 3 до 5 мм—без скоса, при толщинах от 6 до 15 мм требуется односторонний скос кромок под углом 35—45°. Соединений в нахлестку следует избегать из-за опасности затекания остатков флюса между листами и последующей коррозии соединения. Для очистки кромок перед сваркой их подвергают промывке в течение 10 мин в растворе каустика (150 г на 1 л воды) при 65°, а затем в воде комнат-

ной температуры, после чего их травят в течение 2 мин в 25%-ном растворе ортофосфорной кислоты (для сплавов АМц и АМг) или в 30—35%-ном растворе азотной кислоты (для сплавов Д и АМг). После травления кромки промывают в воде и протирают тканью досуха. Не позже чем через 8 час должна производиться сварка во избежание нового окисления металла.

Для сварки применяется проволока той же марки, что и свариваемый металл. При сварке термически обрабатываемых алюминиевых сплавов и сплава АМц лучшие результаты дает проволока АК, содержащая 5% кремния, повышающая жидкотекучесть металла шва и дающая меньшую усадку. Для сплавов АМг не рекомендуется применять проволоку АК, так как она снижает пластичность шва; лучше использовать проволоку АМг с несколько большим содержанием магния, чем в основном металле. Для сварки литых алюминиевых сплавов используется проволока АК, АМц и проволока из чистого алюминия.

Алюминий и его сплавы предпочтительнее сваривать левым способом пламенем только восстановительного характера или с небольшим избытком ацетилена. Угол наклона муфштuka к поверхности свариваемого металла должен быть не более 45°. Допускается легкая проковка шва в холодном состоянии. Сварка литого алюминия производится участками по 50—60 мм с предварительным подогревом до 250—260°. После сварки для получения и сохранения мелкозернистой структуры литье подвергается отжигу при 300—350° с медленным охлаждением детали после нагрева.

§ 11. Сварка магниевых сплавов

При газовой сварке магниевых сплавов можно получить наплавленный металл с пределом прочности от 60 до 80% от предела прочности основного металла. Магниевые сплавы удовлетворительно свариваются газовым пламенем, но требуют применения флюсов для удаления тугоплавкой пленки окиси магния, образующейся в процессе сварки. При нагреве до 600° и выше магниевые сплавы склонны к росту зерна и повышению хрупкости. Для уменьшения неблагоприятного влияния нагрева магниевые сплавы легируются титаном (0,2—0,4%) или селеном (0,5%).

Техника сварки, подготовка кромок и типы соединений при сварке магниевых сплавов применяются такие же, как и при сварке алюминиевых сплавов. Снятие фасок под углом 40—45° производится при толщине металла свыше 3 мм. Кромки стыкуются без зазора и должны иметь притупление не менее 1,5 мм.

Режимы сварки следующие:

Толщина металла, мм	1—2	5—6
Расход ацетилена, л/час	150	300
Скорость сварки, м/час	6—9	3—4

Пламя должно иметь небольшой избыток ацетилена и направляться на шов под небольшим углом. Сварка ведется левым способом без поперечных колебаний мундштука, в один проход. Конец прутка не должен погружаться в ванну, так как это приводит к засорению ее окислами. Кромки металла перед сваркой должны быть очищены от защитной пленки окиси, имеющейся на листах (см. гл. XV). После сварки шов подвергается оксидированию раствором хромпика. Для этого берутся растворы, составы которых указаны в главе XV. В качестве флюсов используются составы, приведенные в табл. 69.

Таблица 69

Флюсы, используемые при сварке магниевых сплавов

Вещества, входящие в флюс	Содержание компонентов, %, в составах	
	№ 1	№ 2
Фтористый литий . . .	31	—
Хлористый литий . . .	—	40
Фтористый магний . . .	14	—
Хлористый натрий . . .	—	40
Фтористый кальций . .	7	20
» барий . .	15	—
» алюминий .	33	—

Для сварки магниевых сплавов пригодны также фтористохлористые флюсы, применяемые при сварке алюминиевых сплавов. Флюс наносится на прутки и на обе стороны свариваемого металла вдоль кромок. Остатки флюса тщательно удаляются после сварки промывкой горячей водой и протиркой щетками. Проковка после сварки повышает пластичность наплавленного металла.

Сварка крупных деталей и литья из магниевых сплавов производится с предварительным подогревом до 300—350°. Для устранения остаточных напряжений детали после сварки отжигают при температуре от 190 до 315° в зависимости от марки сплава.

§ 12. Наплавка твердых сплавов

Для наплавки газовым пламенем наиболее подходят литые твердые сплавы, выпускаемые в виде стержней. Порошкообразные твердые сплавы в обычном их виде не применяются, так как они при наплавке раздуваются сварочным пламенем. Поэтому порошкообразными сплавами заполняют трубки, свернутые из стальной ленты толщиной 0,5 мм. Диаметр трубки равен 6 мм. Такие трубки, заполненные карбидом вольфрама, используются в нефтедобывающей промышленности для наплавки бурового инструмента и известны под названием стержней ТЗ. Наплавка стержнями ТЗ дает твердость 85 единиц по Роквеллу, а в наплавленном ими слое содержится 15% железа и 85% карбидов вольфрама. Спеченные (керамические) сплавы, выпускаемые в виде пластинок, припаивают медным припоем к резцовым державкам путем нагревания припоя и пластинки сплава пламенем сварочной горелки. Пластины могут нагреваться также в печи или электрическим током с помощью контактной сварочной машины.

Сильно изношенные детали перед наплавкой литыми твердыми сплавами наплавляют до первоначальных размеров и формы малоуглеродистой проволокой. После зачистки предварительно наплавленного участка от шлаков и окалины в нем выбирают канавку или фаску соответствующей глубины. При наплавке сормайтот № 1 глубина канавки или фаски должна равняться 1,5—2,5 мм для деталей, работающих на истирание. Для режущих кромок инструмента эта глубина равна 0,5—1,5 мм; для инструмента, испытывающего ударные нагрузки, — не более 0,5 мм. Глубина канавки или фаски определяет толщину рабочего слоя наплавки. Для менее хрупкого сормайтот № 2 и для инструментов, используемых при горячей обработке металлов, глубина фаски увеличивается в два раза. Ширина фаски делается равной 5—10 мм, острые углы фаски снимают и закругляются.

Наплавку производят в нижнем положении. Для предупреждения коробления детали во время наплавки ее предварительно подогревают до 500—750°. Пламя применяется с небольшим избытком (5—10%) ацетилена. В качестве флюса, удаляющего окислы, мешающие сплавлению твердого сплава с наплавляемой деталью, применяют молотую бурю.

Для механизации и автоматизации процесса наплавки поверхностей вращения деталей твердыми сплавами ВНИИАвтоген разработал конструкцию специального наплавочного станка типа САН-1-56. Станок имеет наплавочную головку с двумя горелками, флюсопитателем и наконечником для подачи прутка стеллита. Наплавляемая деталь устанавливается на поворотный стол. Пруток и горелка могут совершать колебательные движения в пределах 1,5—12 мм. При наплавке стеллитом ВК-3 в качестве флюса используется смесь состава: 25% буры обезвоженной, 25% борной кислоты, 50% плавикового шпата. Флюс должен быть просеян через сито с отверстиями 1600 отв/см² и иметь влажность не более 5%.

Техническая характеристика станка САН-1-56:

Диаметр наплавляемых деталей, мм	от 5 до 250
Ширина наплавляемой канавки, мм	до 40
Толщина наплавляемого слоя, мм . .	до 5
Диаметр присадочных прутков, мм	от 5 до 8
Скорость наплавки, мм/мин	25—100
Расход, л/час:	
ацетилена	375—1800
кислорода	375—1800
сжатого воздуха (азота или углекислого газа)	12—60
охлаждающей воды	1,5—5,0

Управление станком производится с пульта управления.

§ 13. Сварка пластмасс

Пластмассы широко используются в машиностроении для изготовления сосудов, труб, арматуры и других изделий, работающих в среде агрессивных газов и жидкостей (кислот и пр.). Для этих целей, например, широко применяется винипласт, обладающий достаточной прочностью и твердостью. Винипласт получают путем специальной обработки полихлорвиниловых смол. Технические данные винипласта следующие: удельный вес $1,38—1,4 \text{ г/см}^3$, предел прочности при растяжении не ниже 4 кгс/мм^2 , относительное удлинение не менее 20%, твердость 13 единиц по Бринеллю. Выпускается винипласт в виде листов толщиной от 2 до 20 мм, труб и прутков. Он хорошо режется, штампуется и сваривается.

Нагрев винипласта может осуществляться различными способами: трением, электрическим нагревательным элементом, токами высокой частоты, пламенем горючего газа, сгорающего в смеси с воздухом. Последний способ является достаточно удобным, простым и не требует сложного оборудования, что особенно важно при выполнении сварки в монтажных условиях.

При сварке винипласта свариваемый материал и присадочный пруток нагревают до вязкого размягченного состояния, после чего пруток слегка прижимают к соединяемым частям и последние легко свариваются. При сварке винипласта применяются соединения: стыковые, угловые, валиковые и в нахлестку. При стыковых соединениях угол раскрытия шва должен составлять $60—80^\circ$. Для более равномерного прогрева диаметр присадочного прутка не должен превышать 4 мм. Во избежание возможного разложения винипласта от перегрева сварка должна вестись быстро, без задержки на отдельных участках шва. По этой же причине необходимо по возможности точно следить за температурой подогрева пластмассы, поддерживая ее все время постоянной и регулируя степень нагрева в зависимости от характера размягчения винипласта в месте сварки.

Для сварки пластмасс ВНИИАвтоген разработал конструкцию горелки ГПП-1-56, техническая характеристика которой приводится ниже:

Давление воздуха перед горелкой, <i>ати</i> . . .	0,3—5
Температура нагретого воздуха, <i>град</i> . . .	250—300
Расход воздуха, $\text{м}^3/\text{час}$:	
при давлении 0,3 <i>ати</i>	2
» » 0,8 <i>ати</i>	2,8
» » свыше 1 <i>ати</i>	3
Расход ацетилена, $\text{м}^3/\text{час}$	0,03
» водорода, $\text{м}^3/\text{час}$	0,1
Длина горелки, мм	315
Вес, <i>г</i>	480

ГЛАВА XXIII

КИСЛОРОДНАЯ РЕЗКА

§ 1. Сущность процесса кислородной резки

Сущность процесса кислородной резки состоит в сгорании разрезаемого металла в струе технически чистого кислорода и удалении образующихся при этом жидких шлаков из разреза. Применяется разделительная кислородная резка и поверхностная. Углеродистые и низколегированные стали режутся с применением только чистого кислорода. Высоколегированные стали, чугун и медные сплавы режутся кислородом с применением специальных флюсов.

Процесс резки осуществляется или ручным способом, или механизированным с использованием специальных режущих переносных приборов легкого типа, а также стационарных машин для автоматизированной резки по шаблонам и разметке. Машинная резка широко применяется в машиностроении, особенно для предварительной обрезки и скашивания кромок под сварку. Методы кислородной машинной резки продолжают широко развиваться и внедряться в промышленности путем создания новых конструкций специализированных и универсальных машин.

Для осуществления процесса кислородной резки необходимо соблюдение следующих условий:

1. Температура плавления металла должна быть выше температуры его воспламенения в кислороде. Не удовлетворяющий этому условию металл будет плавиться и переходить в жидкое состояние еще до начала его горения в струе кислорода. Малоуглеродистые и среднеуглеродистые стали полностью удовлетворяют этому условию, так как они плавятся при температуре примерно 1500° , а их горение в кислороде может начинаться уже при $1300-1350^{\circ}$.

Повышение содержания углерода в стали понижает ее температуру плавления и поэтому ухудшает условия резки кислородом. Присутствие в стали трудноокисляемых легирующих элементов (хрома, никеля) в заметных количествах также ухудшает ее способность разрезаться кислородом.

2. Температура плавления шлаков должна быть ниже температу-

ры горения металла в кислороде, а образующиеся при резке шлаки должны быть жидкотекучими и легко удаляться под действием давления режущей струи.

3. При сгорании металла должно выделяться тепло, достаточное для поддержания горения металла в кислороде.

4. Теплопроводность металла не должна быть слишком высокой и не препятствовать сохранению высокой температуры на поверхности кромки разреза.

Всем указанным выше условиям наиболее полно удовлетворяют стали с содержанием углерода до 0,5%, хрома до 5%, марганца до 4%. Остальные примеси в тех количествах, в которых они обычно содержатся в стали, не влияют заметно на процесс резки.

Перед началом резки сталь необходимо нагреть до температуры ее воспламенения в кислороде. Примерно 33% тепла от всего количества, требующегося для этого, подводится за счет подогревающего пламени, а 67% поступает от реакции сгорания стали в кислороде.* От общего количества тепла, расходуемого на резку, на нагрев стали до температуры воспламенения идет 54%; на нагрев шлаков — 22% и на покрытие потерь в окружающую среду—24%.

§ 2. Газы и аппаратура для кислородной резки

Кислород и горючие газы. Для резки должен применяться кислород возможно более высокой чистоты. Практически применяют кислород чистотой 98,5—99,5%. Чем выше чистота кислорода, тем резка протекает быстрее, а расход кислорода меньше.

Для подогрева изделия при резке широко применяют горючие газы — заменители ацетилена, указанные в табл. 63. В первую очередь используются: коксовый, природный, нефтяной и паровый газы, пропан, пары керосина. При использовании газов-заменителей расход их через резак можно определить, зная коэффициент замены ацетилена. Значения этого коэффициента принимаются равными: для метана и природного газа 1,5, для городского газа 1,8, для пропана 0,6. Сечения каналов в резаках для газов-заменителей рассчитывают по допустимому расходу газа через мундштук, пользуясь нормами, приведенными в табл. 70.

Таблица 70

Нормы расхода газов-заменителей при резке

Диаметр канала сопла, мм	Расход газов, л/час			
	ацетилена	метана	пропана	городского газа
0,8	100	32	26	37
1,0	175	55	45	65
1,2	276	87	71	104
1,4	405	128	104	150

* При установившемся процессе резки.

Количество кислорода, подаваемое в горючую смесь, на 1 л горючего газа определяют, исходя из данных, приведенных в табл. 63.

Резаки. Резак представляет собой горелку для кислородной резки металлов. Схема резака изображена на рис. 165, а. Он имеет рукоятку 9 и корпус 10, в который вставлена смесительная камера 14,

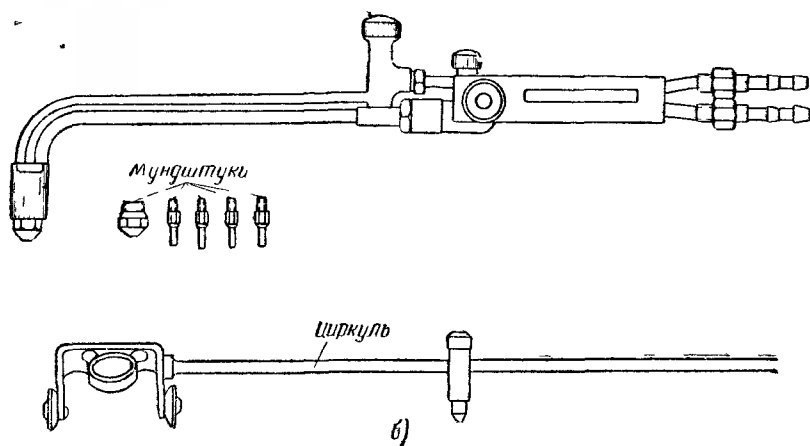
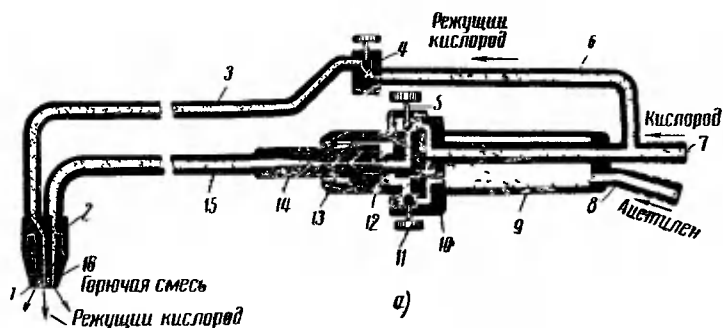


Рис 165 Резак для кислородной резки:

а — схема, б — общий вид

присоединяемая к корпусу накидной гайкой 13. В смесительную камеру ввернуто сопло инжектора 12. Ацетилен поступает в резак по шланговому ниппелю 8, а кислород — по ниппелю 7.

Кислород, поступающий через ниппель 7, идет по двум направлениям: часть его, используемая для подогревающего пламени и регулируемая вентилем 5, поступает в центральный канал инжектора 12, подсасывая ацетилен, количество которого регулируется вентилем 11. Из смесительной камеры горючая смесь по трубке 15 проходит в головку 2 резака, а затем, выходя через зазор между на-

ружным мундштуком 16 и внутренним 1, сгорает, образуя подогревающее пламя.

Другая часть кислорода проходит по трубке 6 через вентиль 4 и далее по трубке 3 также поступает в головку 2 резака, откуда выходит через центральный канал внутреннего мундштука 1, образуя режущую струю кислорода.

Регулирование давления кислорода и подбор мундштуков в зависимости от толщины разрезаемого металла производится по данным табл. 71.

Таблица 71

Режимы резки резаком РР-53

Показатели	Режимы резки малоуглеродистой стали толщиной, мм					
	5	25	50	100	200	300
Номер внутреннего мундштука . . .	1	2	3	4	5	5
Номер наружного мундштука	1	1	1	2	2	2
Давление кислорода, <i>ати</i>	3	4	6	8	11	14
Расход кислорода, <i>м³/час</i>	2,5	5,2	8,5	18,5	35,5	42,0
Расход ацетилен, <i>м³/час</i>	0,6	0,7	0,8	1,0	1,1	1,2
Примерная ширина разреза, мм	2—2,5	2,5—3,5	3,5—4,5	4,5—7	7—10	10—15
Скорость резки, мм/мин	556	370	260	165	105	80

Давление ацетилена колеблется в пределах от 0,02 до 0,1 *ати*. Внешний вид резака РР-53 показан на рис. 165, б.

Керосинорезы. В керосинорезах в качестве горючего используют керосин. Керосинорез К-51 (рис. 166) состоит из резака, бачка для жидкого горючего, шлангов, тележки и циркуля. Схема резака керосинореза изображена на рис. 167. Кислород через ниппель, вентиль 9 и инжектор 4 поступает в смесительную камеру головки 3. Здесь он смешивается с парами керосина или бензина, поступающими через второй ниппель и вентиль 7 в асбестовую набивку испарителя 11, в которой происходит испарение керосина под действием пламени вспомогательного мундштука 12. Горючая смесь выходит наружу через кольцевой зазор между мундштуками 1 и 2, образуя подогревающее пламя. Мощность и состав пламени регулируются вентилем 9 и маховичком 10, изменяющим положение инжектора в смесительной камере. Кислород проходит через вентиль 6 по трубке 5 в центральный канал мунд-

штука 1. Для удобства работы резак снабжен рукояткой 8, в которой размещаются трубки для подвода керосина и кислорода.

Керосин должен подаваться в резак под давлением 0,5—2 атм. Для этого служит бачок емкостью 5 л, снабженный ручным воздуш-

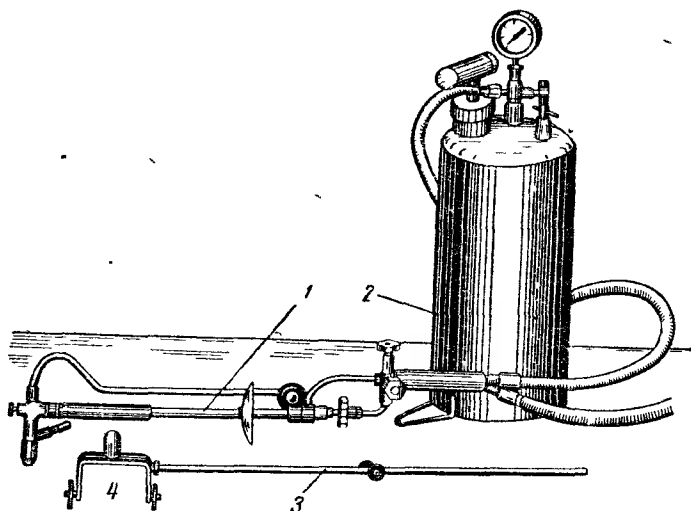


Рис. 166. Внешний вид керосинореза К-51 и бачка для керосина:

1 — резак, 2 — бачок, 3 — циркуль, 4 — тележка

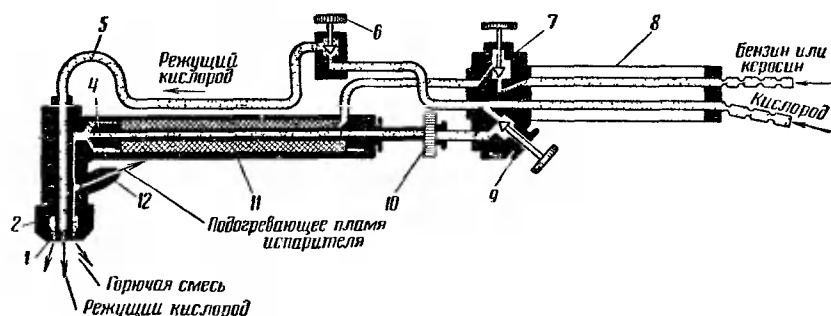


Рис. 167. Схема резака керосинореза

ным насосом, манометром и запорным вентилем. Режимы резки керосинорезом приведены в табл. 72.

Для зажигания пламени керосина испаритель сначала нагревают паяльной лампой, горелкой или другим источником тепла. Предварительно в бачок насосом накачивают воздух до давления

Режимы резки керосинорезом

Показатели	Режимы резки малоуглеродистой стали толщиной, мм			
	до 20	20—50	50—100	100—200
Номер внутреннего мундштука (сопла) . . .	1	2	3	4
Давление кислорода, <i>ати</i>	4—5	5—7	7—9	9—11
Давление керосина в бачке, <i>ати</i>	1,5—3,0	1,5—3,0	1,5—3,0	1,5—3,0
Расход кислорода, <i>м³/час</i>	5,4—7,6	7,6—9,8	9,8—20,2	20,2—32,6
То же, <i>л/пог. м</i>	134—423	423—1090	1090—3360	3360—7230
Расход керосина, <i>кг/час</i>	0,7—0,8	0,8—0,9	0,9—1,1	1,1—1,3
То же, <i>л/пог. м</i>	25—53	50—100	100—180	180—290
Скорость резки, <i>мм/мин</i>	450—300	300—150	150—100	100—75

2—2,5 *ати*, затем открывают вентиль подачи подогревающего кислорода и вентиль подачи горючего в резак, после чего регулируют подогревательное пламя, которое должно иметь правильную, слегка колоколообразную форму.

При работе с керосинорезом нужно особенно следить за плотностью соединения мундштуков с головкой резака, а также за тем, чтобы не было пропусков газа и жидкости в местах соединений и в вентильях. При негерметичности соединений и вентилей резака керосинореза керосин может попасть в кислородный шланг, что приводит к обратному удару пламени в шланг и его взрыву. Для защиты кислородного шланга от обратных ударов пламени применяются обратные клапаны с теплоплотителем из мелкой латунной сетки, устанавливаемые на кислородном ниппеле керосинореза. Перед заливкой в бачок керосин необходимо фильтровать. Испаритель резака следует систематически разбирать и очищать от нагара, тщательно промывая в горячей воде асбестовую набивку испарителя. При этом не следует менять плотность набивки, так как иначе резак может работать неустойчиво. Сильно прогоревшую набивку необходимо заменять новой. Шланг для подачи жидкого горючего нужно хорошо закреплять на ниппелях резака и бачка, так как при срыве шланга керосин начнет вытекать сильной струей и может вспыхнуть.

Нельзя применять в керосинорезах бензин вместо керосина, так как это может привести к вспышкам, обратным ударам и ожогам вследствие более высокой летучести паров бензина. В этом

случае следует использовать резаки, специально рассчитанные для работы на бензине и имеющие иные размеры каналов в инжекторе и мундштуках, чем у керосинорезов.

В настоящее время керосин используется также в горелках для сварки легкоплавких металлов, пайки и поверхностной закалки в качестве заменителя ацетилена. Принцип устройства и работы этих горелок такой же, как и у керосинореза, только в них отсутствуют вентили, трубки и каналы для режущего кислорода. В машинах для резки применяются керосинорезы с механическим распылением керосина струей кислорода и последующим испарением его в мундштуке головки.

§ 3. Технология разделительной кислородной резки

Резку начинают, как правило, с кромки листа. Если требуется начать резку с середины листа (например, при вырезке фланцев), то в листе предварительно прожигают кислородом отверстие, от кромки которого и начинают резку. Металл нагревают в месте начала резки почти до температуры плавления, затем пускают режущую струю кислорода. Одновременно с этим начинают перемещать резак по намеченной линии разреза, обеспечивая сгорание металла по всей его толщине.

Резак следует перемещать равномерно, с постоянной скоростью. При быстром перемещении резака соседние участки металла, подлежащие резке, не будут успевать достаточно нагреваться и процесс может прерваться. Наоборот, при слишком медленном перемещении резака будет происходить оплавление кромок, вследствие чего разрез получится неровным, а на кромках будет большое количество шлака. При резке следует пользоваться простейшими приспособлениями: кареткой, циркулем, направляющей линейкой. Это облегчает равномерность передвижения резака и способствует получению более чистого реза.

Давление кислорода зависит от толщины разрезаемого металла и конструкции резака, оно подбирается по табл. 71 и 72.

Кислородом можно разрезать сталь толщиной до 1200 мм. Для этого применяют резаки с мундштуками специальной конструкции, работающие на кислороде низкого давления порядка 2—2,5 атм, струя которого на значительной длине сохраняет цилиндрическую форму. В мундштук вставляются сменные латунные вставки, имеющие ступенчато-суживающийся цилиндрический канал без расширения на выходе. Выходной участок канала для режущей струи кислорода имеет диаметры 6; 7 и 8 мм и соответственно длину 66; 67 и 68 мм. Перед входом в сопло струя кислорода проходит длинный прямой вертикальный участок подводящей трубки, чем устраняются завихрения газа в этой струе и повышается ее пробивная способность.

Для массовой вырезки однотипных деталей из тонких листов

следует применять пакетную резку. В этом случае несколько листов складывают вместе (в пакет), плотно сжимают струбцинами и вырезают из пакета требуемые детали. Этот способ кислородной резки значительно увеличивает производительность труда.

§ 4. Механизированная кислородная резка

Для механизированной кислородной резки применяют специальные машины. ГОСТ 5614—58 установлены следующие типы стационарных и переносных машин для кислородной резки:

МРЛ — машины резательные линейные для раскрытия листов на полосы и вырезки преимущественно прямоугольных деталей;

МРК — машины резательные прямоугольно-координатные для вырезки деталей и заготовок различных очертаний;

МРШ — машины резательные шарнирные для фигурной резки;

МРП — машины резательные параллелограммные, применяемые для одновременной вырезки нескольких одинаковых деталей и заготовок различной конфигурации;

МРТ — машины резательные — тележки, движущиеся по листу или рельсовому пути, для вырезки прямоугольных, круговых и других криволинейных деталей и заготовок с большими радиусами кривизны.

Машины типа МРТ представляют собой самоходные тележки, оснащенные резаком и имеющие в качестве привода электродвигатель, пружинный механизм или газовую турбину. Эти машины при работе устанавливаются непосредственно на лист разрезаемого металла и перемещаются по его поверхности. На таких машинах может быть установлено от 1 до 3 резаков. Скорость резки на них равна от 50 до 1500 мм/мин в зависимости от толщины металла. Направление перемещения тележки по намеченной линии реза осуществляется от руки, по линейке или по циркулю. На рис. 178 показаны переносные машины ПП-1 и ПП-2, относящиеся к типу МРТ (ГОСТ 5614—58).

На корпусе 1 машины ПП-1 (рис. 168, а) имеется суппорт 3, в котором укреплен резак 2. Внутри корпуса расположен механизм с системой зубчатых колес, соединенных с электродвигателем 4 мощностью 50 Вт и передающих вращение вала двигателя валу ведущего ролика тележки. Скорость передвижения тележки можно регулировать, изменяя число оборотов вала электродвигателя посредством реостата 5, включенного в цепь обмотки якоря. Если на суппорт 3 установить два резака, причем один из них под углом до 40°, то можно за один проход разрезать лист и скашивать его кромку. Машина ПП-2 снабжена двумя резаками (рис. 168, б). Машиной ПП-2 можно также вырезать полосы из листов и фланцы достаточно большого диаметра, при котором разница в длинах путей, проходимых внешним и внутренним резаками, не оказывает заметного влияния на процесс резки.

Для резки металла большой толщины, превышающей 300 мм, большое значение имеет сохранение постоянства положения оси режущей струи кислорода и скорости ее перемещения относительно кромки разреза. При изменении этих параметров в нижней части слитка резка может приостановиться и шлаки заполнят прорезанный участок, нарушив весь процесс.

Для резки металла больших толщин—от 200 до 600 мм—ВНИИ-Автогеном разработана машина ПМР-600 (рис. 169), состоящая из тележки 2, которая движется по направляющим 3 вместе с резаком 1, укрепленным на ее суппорте. Привод тележки осуществляется от электродвигателя. Изменение скорости перемещения тележки можно производить в пределах от 12 до 450 мм/мин.

Существует много конструкций переносных машин. К ним относятся, например, машины для вырезки фланцев; машины для резки на вертикальной плоскости, снабженные магнитными присосами; самоходные головки, перемещающиеся по гибкому рельсу, которому придается предварительно форма намеченной линии реза; легкие машины, перемещаемые под действием пружинного механизма и др.

Стационарные машины для кислородной резки применяются при массовой заготовке деталей под сварку, при вырезке однотипных заготовок, сложном раскрое листов и прочих работах в заготовительных отделениях металлообрабатывающих и сварочных цехов. В промышленности нашли распространение различные системы машин для кислородной резки (рис. 170).

В шарнирной режущей машине типа МРШ (рис. 170, в) перемещение резака по заданному контуру обеспечивается сочетанием перемещений двух вертикальных шарнирных рычагов. Один рычаг имеет неподвижный шарнир на колонне машины, а второй—шарнирно связан с качающимся концом первого рычага. На свободном конце второго рычага укреплен вертикальный резак 1 и ведущий копирный ролик головки 3. Оси режущего мундштука резака и ролика совпадают и находятся на одной вертикальной линии.

Параллелограммные машины МРП (рис. 170, г) имеют два шарнирно связанных рычага. Обе системы рычагов соединены между собой двумя параллельными штангами одинаковой длины, образуя параллелограмм. На наружной штанге укрепляются резаки 1, которых может быть до 20 шт. К этой же штанге укреплена ведущая головка 3 с копирным роликом, перемещающимся по кромкам шаблона 7, очертания которого будут в точности повторять все резаки, установленные на штанге.

Линейные резательные машины МРЛ (рис. 170, а) имеют очень простую схему и состоят из двух тележек, жестко соединенных между собой поперечной траверсой. На траверсе устанавливаются и закрепляются до 6—8 вертикальных резаков. Одна из тележек является ведущей и имеет привод от электродвигателя. Тележка вместе с траверсой и установленными на ней резаками перемещает-

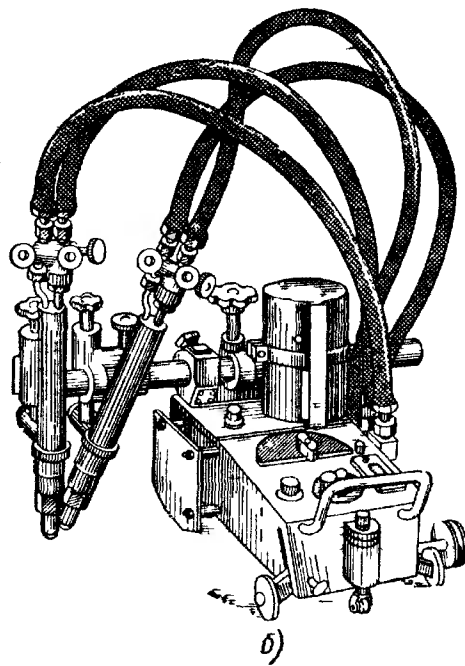
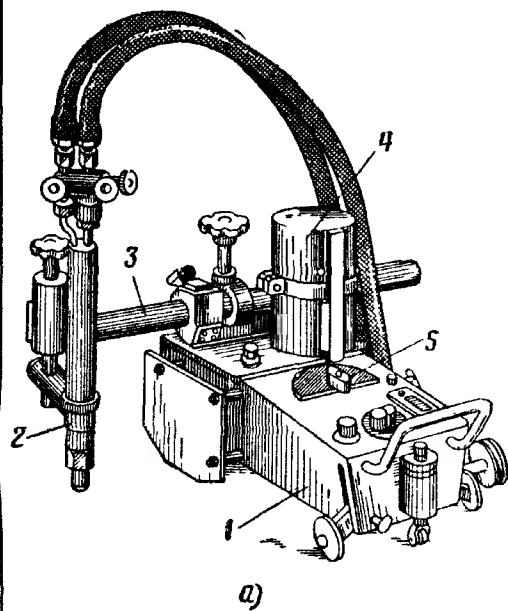


Рис. 168. Переносные машины для кислородной резки:
а — марки ПП-1, б — марки ПП-2

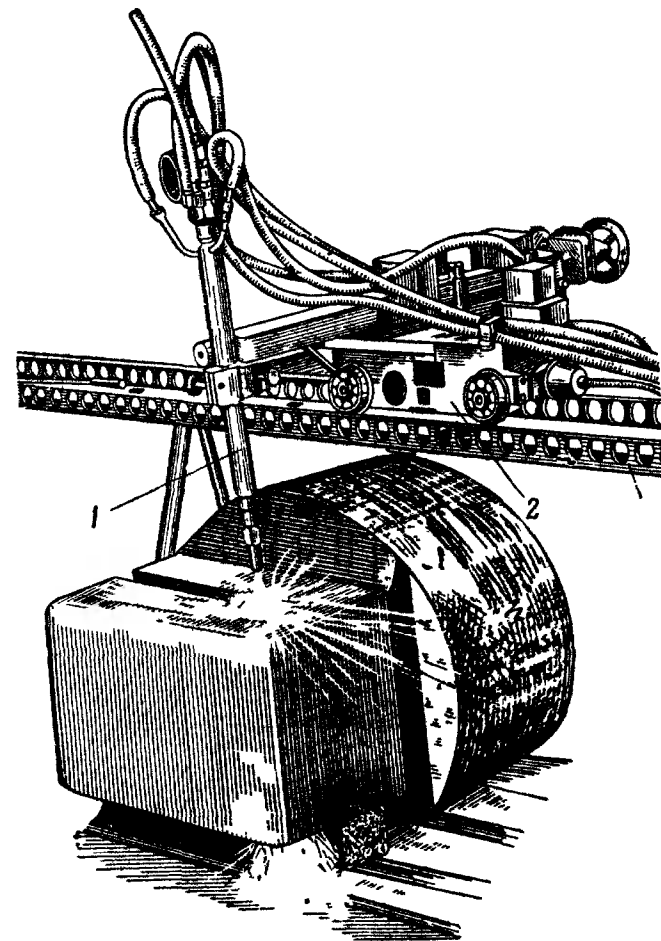


Рис 169 Машина ПМР-600 для резки стали больших толщин

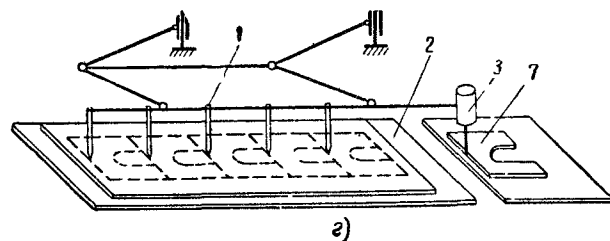
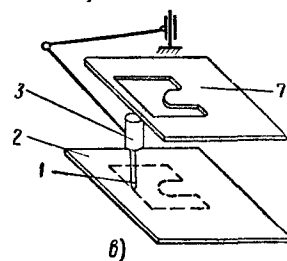
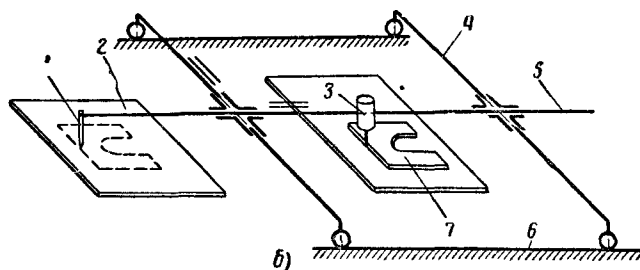
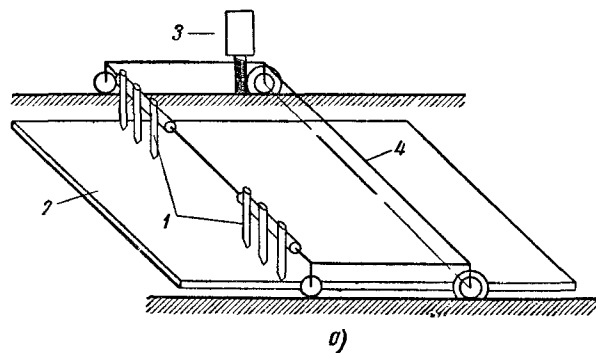


Рис. 170 Схемы стационарных машин для кислородной резки

а — линейные, МЛР, *б* — прямоугольно координатные, МРК, *в* — шарнирные, МРШ, *г* — параллелограммные, МРП
1 — резак, *2* — стол, *3* — ведущая головка, *4* — тележка
5 — штанга, *6* — направляющие рельсы, *7* — шаблон

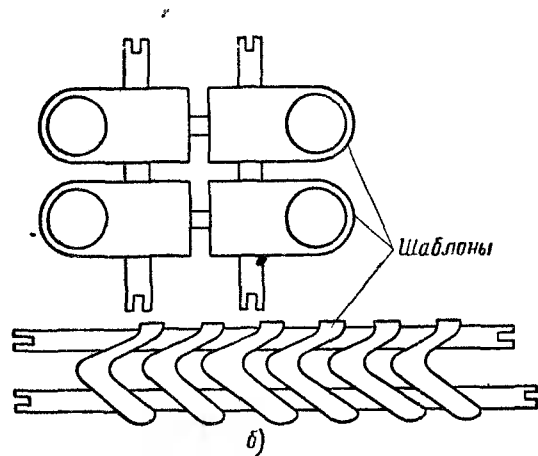
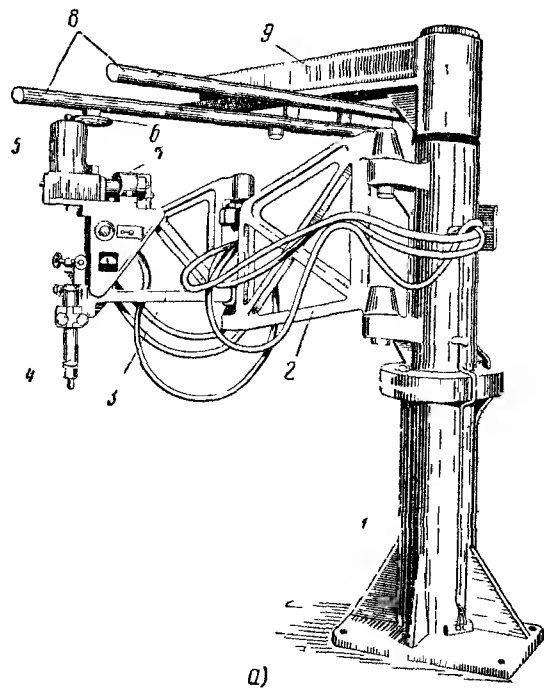


Рис 171 Машина АСШ 2 шарнирного типа для точной кислородной резки

а — общий вид, б — наборные комбинированные шаблоны

ся с заданной скоростью прямолинейно по двум направляющим рельсам станины машины

На рис 171, а показана машина АСПИ-2 шарнирного типа, предназначенная для массовой вырезки однотипных деталей по шаблону методом копирования контура магнитным направляющим роликом. На массивной колонне машины 1 укреплены шарнирные рычаги 2 и 3, легко вращающиеся на шариковых подшипниках. В верхней части наружного рычага 3 установлены электродвигатель 7 и ведущая головка, на которой расположена магнитная катушка 5. Внутри катушки может вращаться стальной палец с рифленным концом. Этот палец при прохождении тока по обмотке катушки намагничивается и, притягиваясь к кромке стального шаблона 6, катится по ней, описывая фигуру шаблона.

Шаблоны крепятся к штангам 8, находящимся на хоботе машины 9. В нижней части шарнирного рычага 3 укреплен резак 4, воспроизводящий на поверхности разрезаемого листа фигуру, которая по своим размерам и очертаниям соответствует форме и размерам шаблона 6. Струя кислорода вырезает эту фигуру из листа, уложенного на столе перед машиной горизонтально. Машина АСПИ-2 позволяет вырезать из листов детали размером 750—1500 мм любой формы при толщине листа до 100 мм. Точность резки очень высокая и достигает $\pm 0,3—0,5$ мм от заданного размера.

В процессе эксплуатации машины АСПИ-2 на ряде заводов с целью экономии времени и уменьшения отходов металла при вырезке мелких однотипных деталей стали применять наборные комби-

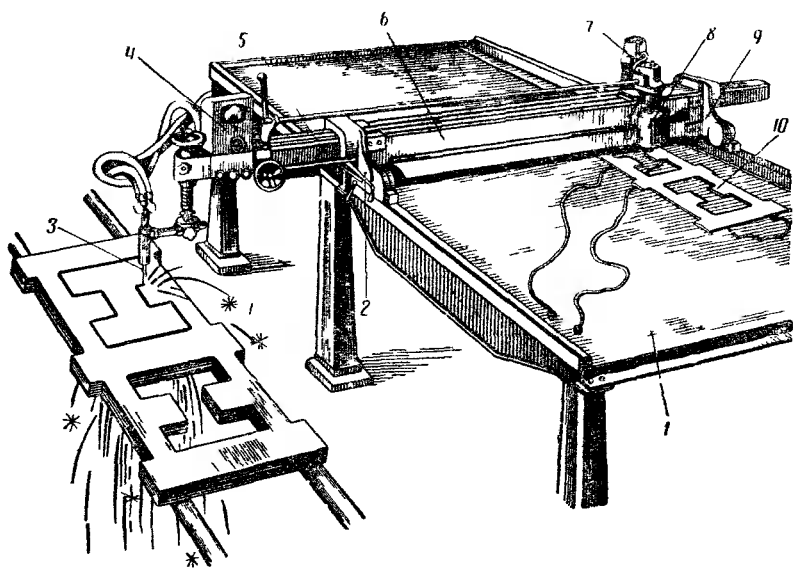


Рис 172 Машина АСПИ-1 прямоугольно координатного типа для кислородной резки

нированные шаблоны. Использование таких шаблонов (рис. 171, б) исключает необходимость передвижения их или листа при вырезке каждой новой детали.

Машиной прямоугольно-координатного типа МРК является резательная машина АСП-1, устройство которой показано на рис. 172. Основой машины является стол 1, на котором установлен шаблон 10, соответствующий по форме и размерам вырезаемой детали. Ведущая головка машины снабжена магнитной катушкой 8, внут-

ри которой помещается магнитный палец, приводимый во вращение от электродвигателя 7 через систему зубчатых колес передаточного механизма, заключенного в корпусе ведущей головки. Движение магнитного пальца по плоскости стола в точности повторяется резакон 3, укрепленным на суппорте второго конца штанги 5. Эта штанга с помощью двух продольных кареток 2 и 9 и поперечной каретки 6 может перемещаться в любом направлении относительно положения шаблона на столе 1.

Ведущие и опорные ролики кареток и штанги снабжены шарикоподшипниками для максимального снижения сопротивления сил трения в этих узлах. Для управления работой машины служит щиток 4, на котором расположены выключатели элект-

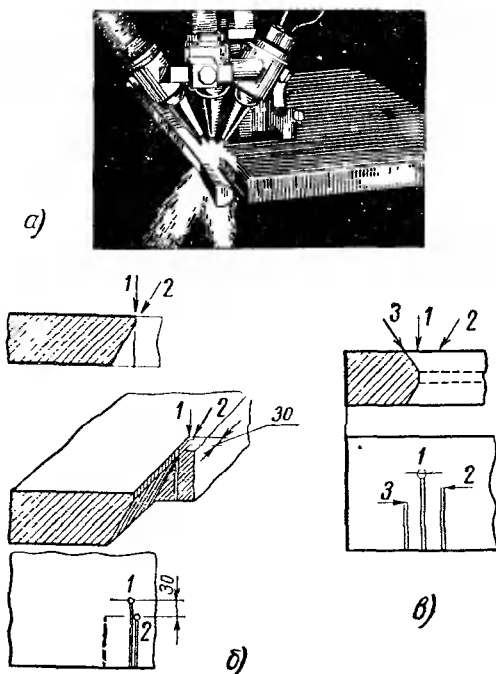


Рис. 173. Обрезка кромок одновременно несколькими резаками:

а — процесс резки, б — обрезка и скос кромок с одной стороны одновременно двумя резаками, в — обрезка и скос кромок с двух сторон одновременно тремя резаками

родвигателя, указатель скорости перемещения резака, а также рычаги и маховички для ручного управления процессом резки.

Машиной АСП-1 можно вырезать детали из стальных листов толщиной от 5 до 200 мм при ширине листов до 1500 мм. Длина линии разреза в направлении, параллельном продольной оси станка, ограничивается только длиной направляющих рельсов. Машина АСП-1 может оснащаться суппортом с несколькими резаками. В этом случае ею можно резать полосы, а также выполнять односторонний и двухсторонний скос кромок под сварку, совмещая

эту операцию с разделительной резкой листа или обрезкой его кромок.

На рис. 173 показан процесс резки кромок двумя и тремя резаками одновременно; цифрами и стрелками указано расположение резаков. Если все три резака расположены вертикально, то на машине можно одновременно вырезать три одинаковые детали, работая с одним шаблоном. При использовании на этих машинах наборных шаблонов процесс резки листа значительно ускоряется и производительность режущего станка во много раз возрастает за счет сокращения времени, затрачиваемого на вспомогательные операции, связанные с передвижкой шаблонов или листа при вырезке следующей детали.

Машиной АСП-1 также вырезаются детали по разметке, причем направление реза изменяется посредством ручного управления. В этом случае на поперечной каретке 6 машины устанавливается механическая головка, снабженная рифленным ведущим роликом, который катится по поверхности стола 1 и перемещает каретки 6, 2 и 9 с укрепленным на штанге 5 резаком 3 в нужном направлении. Для изменения направления перемещения резака изменяют направление плоскости качения ведущего ролика. При этом каретка и резак перемещаются в том направлении, в котором катится ведущий ролик. В табл. 73 приводятся режимы резки машиной АСП-1.

Таблица 73

Режимы резки машиной АСП-1

Показатели	Режимы резки стали толщиной, мм									
	5	10	20	30	40	60	80	100	150	200
Номер мундштука	1	1	2	3	3	4	4	4	5	6
Давление кислорода, <i>ати</i>	3,5	4,5	4,5	4,5	5,5	6	7,5	10,5	10,5	10,5
Скорость резки, <i>мм/мин</i>	620	550	440	375	325	260	215	190	140	120
Расход кислорода, <i>л/пог. м</i>	65	95	160	250	335	560	820	1180	2250	3920
Расход ацетилена, <i>л/пог. м</i>	12	15	23	27	34	42	54	62	95	125

Для разделительной резки в стационарных условиях ВНИИАв-тогеном разработана также машина СГУ-1-58, имеющая следующую техническую характеристику:

Типоразмер машины по ГОСТ	5614—58	МРК-2
Размер обрабатываемых листов, мм:		
ширина	до 2000	
длина	до 6000 (и более)	
Толщина разрезаемого металла, мм	от 5 до 300	
Скорость резки, <i>мм/мин</i>	от 50 до 1500	
Количество одновременно работающих резаков	4	

Расход газов на 1 резак, $\text{м}^3/\text{час}$:	
кислорода	1,5—35,0
ацетилен	0,2—1,4
Рабочее давление газов:	
кислорода, кгс/см^2	до 10,0
ацетилена, мм вод. ст.	не менее 100
Потребляемая мощность, квт	0,5
Напряжение тока (трехфазный, переменный), в	220
Габариты, мм	$7630 \times 4830 \times 2000$
Общий вес, кг	1670

Завод-изготовитель—Одесский завод автогенного машиностроения.

Современные стационарные машины для кислородной резки также снабжаются специальными головками для фотоэлектронного копирования. В этом случае при резке на автомате вместо шаблона можно использовать чертеж детали, выполненный тушью на белом листе бумаги. Фотоэлектронная головка перемещается над чертежом и благодаря имеющемуся в ней следующему устройству с фотоэлементом автоматически движется точно вдоль нанесенной на чертеже черной линии, а резак повторяет контур фигуры чертежа, вырезая деталь заданной формы. Применение фотоэлектронного привода значительно упрощает и удешевляет изготовление шаблонов для резки, что имеет особое значение при индивидуальном или мелкосерийном производстве и резке деталей больших габаритов.

По этому принципу строятся также масштабные машины, позволяющие иметь шаблон небольшого размера, по которому можно вырезать деталь, превышающую размеры шаблона в несколько раз. Применяются также стационарные режущие машины с программным управлением, выполняющие весь процесс резки детали автоматически в соответствии с заданной программой работ, записанной на специальной ленте командного механизма.

На рис. 174 приведена принципиальная схема резательной машины с программным управлением, построенной английскими фирмами «Бритиш оксиджен компани» и «Ферранти». Контур вырезаемой детали вычерчивается на листе бумаги в прямоугольных координатах. Затем составляется программная таблица резки с указанием скорости резки, длительности начального подогрева и пр., а также координат точек контура реза. После этого программная таблица кодируется условным цифровым шифром, который переносится на ленту путем пробивки на ней отверстий (перфорации).

Сочетание пробитых на ленте отверстий соответствует зашифрованным данным таблицы процесса резки. Затем перфорированная лента поступает в программирующее устройство, которое превращает условные знаки шифра в электрические импульсы. Эти импульсы передаются в счетно-решающую машину, которая определяет координаты линии реза, записываемые на магнитную пленку. Пленка поступает в расшифровывающее устройство, находящееся

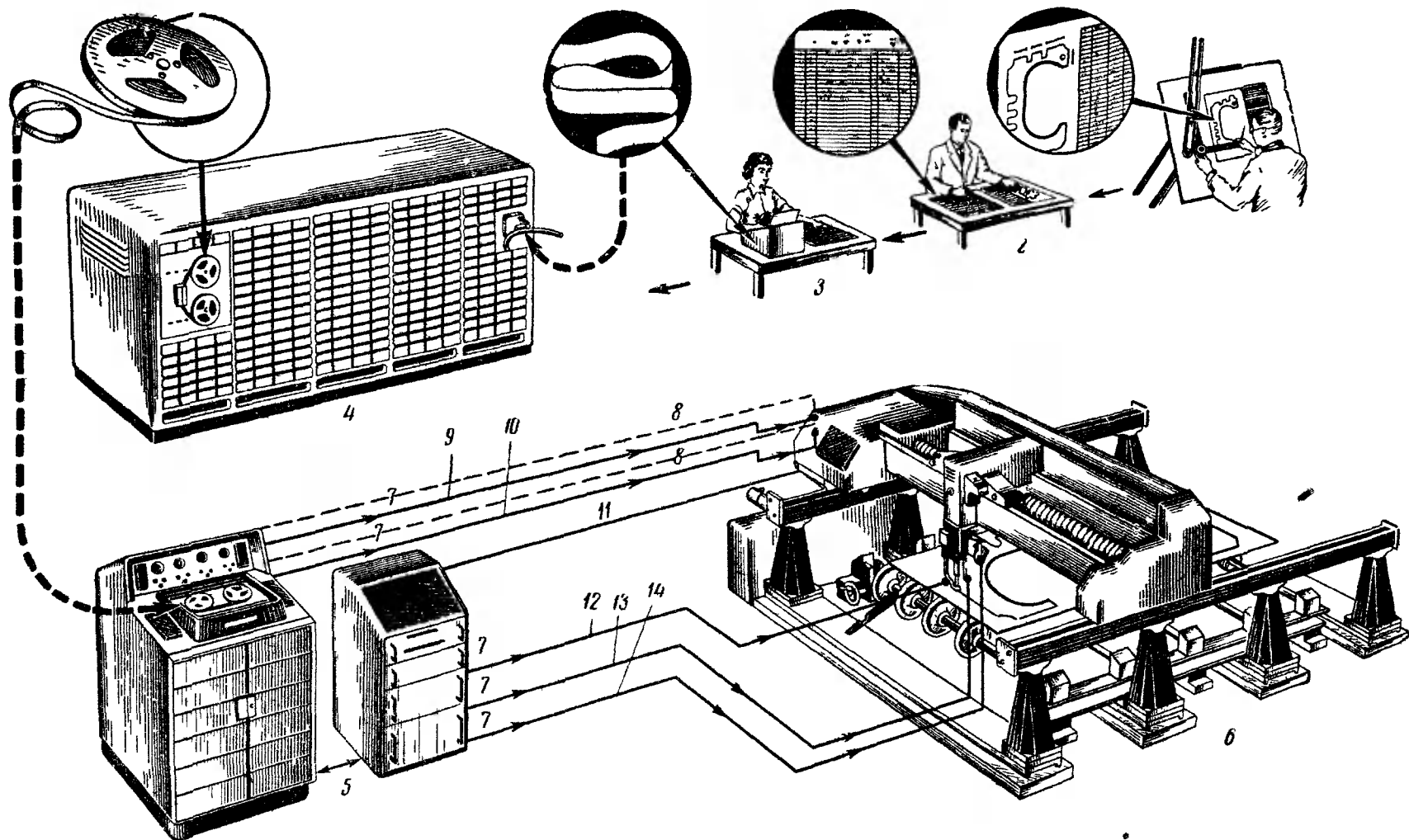


Рис. 174. Схема процесса использования резательной машины-автомата с программным управлением:

1 — вычерчивание контура детали. 2 — составление программы. 3 — кодирование (т. е. изображение в условном шифре) программы. 4 — счетно-решающая машина. 5 — управляющее устройство. 6 — резательная машина-автомат. 7 — линия связи для передачи команды. 8 — линия для обратной связи. 9 — продольное движение машины. 10 — поперечное движение машины. 11 — регулировка газа. 12 — регулировка расстояния режущего сопла от металла. 13 — автоматическое зажигание подогревающего пламени. 14 — контроль за горением пламени.

ся на газорезательной машине и представляющее собой магнитную головку с усилителем, подающую сигналы соответствующим сервомоторам, установленным в движущихся каретках механизмов. Эти механизмы расположены на координатных осях машины.

В данной машине автоматизированы процессы зажигания и гашения пламени, пуск и прекращение режущей кислородной струи, подвод резака к начальной точке, а также регулирование параметров резки: расстояния сопла от металла, скорости резки, мощности и состава подогревающего пламени и пр. Режущие машины с программным управлением также разработаны и изготавливаются в СССР.

§ 5. Поверхностная кислородная резка

При поверхностной резке струю кислорода направляют под небольшим углом к поверхности металла так, что она делает на ней лишь продольную полукруглую канавку (рис. 175). Чем боль-

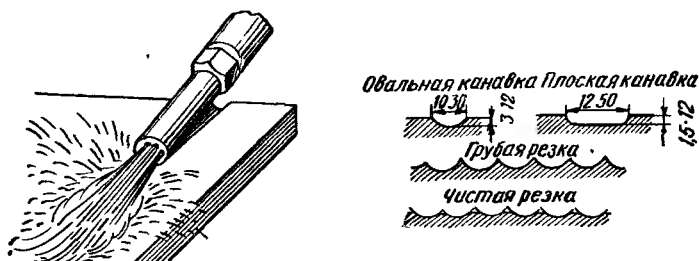


Рис. 175 Схема процесса поверхностной кислородной резки

ше диаметр струи и угол ее наклона, тем больше будет ширина и глубина канавки. Угол наклона струи к горизонтальной плоскости обычно равен $15\text{--}20^\circ$. Скорость истечения струи при поверхностной резке должна быть ниже, а скорость перемещения резака — выше, чем при разделительной резке.

С помощью поверхностной резки удаляют различные пороки наружных слоев стальных слитков и литья — трещины, шлаковые включения, поры, дефектыковки и штамповки, дефектные места сварных швов, вырезают корни сварных швов для их последующей подварки и пр.

Наряду с ручной применяется механизированная поверхностная резка одним или несколькими резаками, установленными параллельно. Эти резаки делают в металле одновременно несколько параллельных канавок, перекрывающих друг друга. Таким образом можно снимать с поверхности металла целый слой толщиной от 2 до 10 мм. Такие установки с серией резаков для поверхностной кислородной резки используются на металлургических заводах при очистке стальных болванок от внешних пороков перед прокаткой.

§ 6. Подводная кислородная резка

Для подводной резки применяют резаки (рис. 176), работающие на газообразном горючем (водороде) и на жидком горючем (бензине).

По центральному каналу мундштука 1 идет режущий кислород, а по кольцевому каналу между мундштуками 1 и 2 идет водородно-кислородная смесь, образующая подогревательное пламя. Снаружи мундштука 2 имеется колпак 3, через который проходит сжатый воздух, образующий предохранительный пузырь вокруг горящего подогревающего пламени, защищающий его от соприкосновения с водой. Пламя резака зажигается над водой, затем в мундштук подается сжатый воздух и резак опускают под воду.

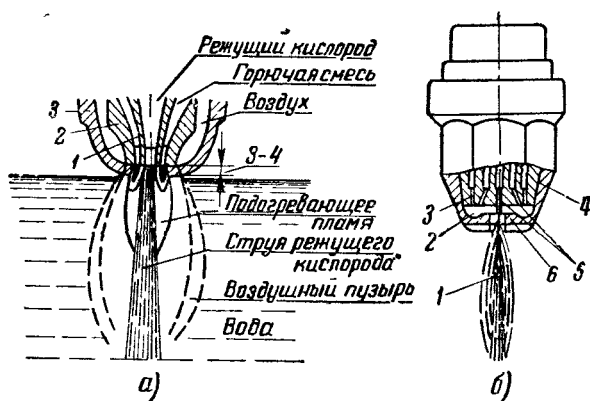


Рис 176 Головки резаков для подводной резки:

а — водородно-кислородный резак, *б* — бензино кислородный резак

Головка бензино-кислородного резака изображена на рис. 176, б. Она имеет распылитель 4, через отверстие 5 которого в камеру 2 подается кислород, а через отверстие 3 — бензин. Бензин, испаряясь, образует в камере с кислородом горючую смесь, которая выходит через отверстие в доннышке 6 камеры и сгорает. Режущая струя кислорода 1 подается через центральное отверстие. Газообразные продукты сгорания своим давлением оттесняют воду от пламени и не дают ему погаснуть.

Водородно-кислородным резаком можно разрезать сталь толщиной до 70 мм под водой на глубине до 30 м. При этом наибольшее давление подаваемых газов составляет: кислорода 6,6 *ати*, водорода 5,5 *ати* и воздуха 5 *ати*.

Бензино-кислородным резаком можно разрезать сталь толщиной

до 100 мм под водой на глубине до 30 м. Бензин подается под давлением до 10 атм, кислород под давлением до 15 атм. Бензин подается сжатым азотом.

§ 7. Кислородно-флюсовая резка

Высоколегированные хромистые и хромоникелевые стали плохо режутся одним кислородом ввиду того, что образующиеся окислы хрома являются тугоплавкими и не могут удаляться из места разреза в жидком виде. Пленка этих окислов, покрывая частицы металла, препятствует его сгоранию в струе кислорода.

Для резки высокохромистых и хромоникелевых сталей кислородом советские специалисты А. Н. Шашков, Г. Б. Евсеев, С. Г. Гузов и др. разработали особый способ, известный под названием кислородно-флюсовой резки. При этом способе в струю режущего кислорода непрерывно вводится порошкообразный флюс, который, сгорая в кислороде, выделяет большое количество дополнительного тепла, расплавляющего пленку окислов хрома, разжижающего эти окислы и переводящего их в шлаки. Процесс резки протекает с нормальной скоростью, а поверхность разреза получается чистой. Приемы резки остаются в основном такими же, как и при резке обычной малоуглеродистой стали.

В качестве флюса используется железный порошок с зернами 0,1—0,2 мм, в который добавляют: порошкообразный феррофосфор, алюминиевый порошок, техническую буру, окалину и кварцевый песок.

Схема установки УРХС конструкции ВНИИАвтогена для кислородно-флюсовой резки показана на рис. 177.

Ацетилен и кислород поступают в резак 1 по шлангам 2 и 3 из баллонов 4 и 5 через редукторы 14 и 6. Часть кислорода от шланга 3 направляется в дополнительный редуктор 7, откуда через вентиль 12 поступает в инжектор 10, в который попадает также порошкообразный флюс из бункера 8 флюсопитателя. Струя кислорода, пройдя инжектор 10, засасывает флюс и подает его по шлангу 9 в резак, где флюс поступает через соответствующие каналы головки резака непосредственно в струю режущего кислорода. В головке резака также имеется инжектор, через который проходит режущая струя кислорода, подсасывающая кислородно-флюсовую смесь, поступающую в резак по шлангу из инжектора флюсопитателя.

Регулирование количества флюса производится с помощью маховичка 11, перемещающего дозирующую иглу инжектора 10. Для уравнивания давления в бачке и инжекторе служит вентиль 13, через который кислород может подаваться в бункер 8.

Кислородная резка чугуна без флюса также затруднена, так как температура плавления чугуна ниже температуры горения железа в кислороде и чугун начинает плавиться раньше, чем может начать гореть в кислороде. Наряду с этим содержащийся в

чугуне кремний при соприкосновении с кислородом дает тугоплавкую пленку окиси, которая, так же как и пленка окислов хрома, препятствует нормальному протеканию процесса резки. При сгорании углерода, содержащегося в значительном количестве в чугуне, образуется газообразная окись углерода, которая за-

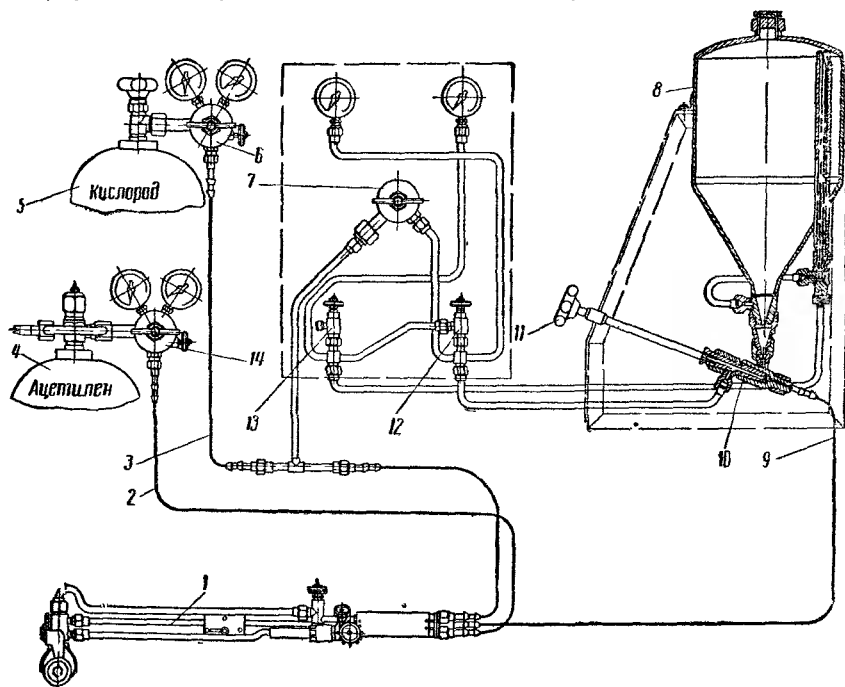


Рис. 177 Схема установки УРХС для кислородно-флюсовой резки

грязнит режущий кислород и препятствует процессу окисления железа в месте разреза.

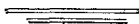
Цветные металлы (медь, латунь) обладают высокой теплопроводностью и, кроме того, при их окислении кислородом выделяется количество тепла, недостаточное для дальнейшего развития процесса горения металла в месте реза. Кроме того, при резке этих металлов кислородом образуются тугоплавкие окислы, препятствующие процессу резки. Поэтому кислородная резка чугуна и цветных металлов возможна только с применением флюсов.

При кислородно-флюсовой резке этих металлов выделяется дополнительное тепло от сгорания флюса в кислороде, которое повышает температуру в месте реза. Вследствие этого образующиеся тугоплавкие окислы остаются в жидком состоянии и, будучи разбавлены продуктами сгорания флюса, дают жидкотекучие шлаки, легко удаляющиеся с места разреза и не препятствующие процес-

су резки. При резке чугуна в качестве добавки к флюсу применяется феррофосфор. Скорость резки чугуна на 50—55% ниже резки нержавеющей стали.

При резке меди и бронзы во флюс добавляют феррофосфор и алюминий. Резку производят с предварительным подогревом до 200—400°.

При резке латуни выделяется большое количество паров окиси цинка, вредных для здоровья людей, поэтому резку цветных металлов следует вести в защитной маске (респираторе).



ГЛАВА XXIV

КОНТРОЛЬ СВАРНЫХ ШВОВ

§ 1. Виды контроля при сварке

Контроль необходим для определения качества швов и предупреждения брака. При сварке осуществляются три основных вида контроля:

1. **Предварительный контроль** для предупреждения брака. Этот вид контроля заключается в проверке марки и состава основного металла, качества электродной и присадочной проволоки, флюсов, кислорода, карбида, ацетилена. При предварительном контроле проверяют качество заготовки и сборки деталей под сварку, правильность сборочных приспособлений, состояние и работу контрольно-измерительных приборов, инструментов, квалификацию сварщиков. Предварительный контроль имеет важное значение как средство своевременного предупреждения брака и осуществляется в случае необходимости с помощью заводской лаборатории.

2. **Контроль в процессе сварки** состоит в систематической проверке исправности используемой сварочной аппаратуры и приспособлений. Кроме того, производится проверка правильности принятого режима сварки и соблюдения сварщиком установленной технологии процесса; контроль осуществляется мастером или контролером ОТК.

3. **Контроль готового узла, детали или изделия** выполняется контролерами ОТК или мастером. Этот вид контроля включает наружный осмотр и обмер швов, испытание на плотность (для швов сосудов), механические испытания сварных образцов, просвечивание швов, если таковое предусмотрено техническими условиями на сварку. Наиболее сложные операции данного вида контроля выполняются с привлечением заводской лаборатории.

§ 2. Дефекты сварных швов

Внешние дефекты

Отклонения по ширине и высоте швов. Причинами этого дефекта являются:

1) неправильная подготовка кромок, вследствие чего расстояния между ними получаются различными и сварщику приходится заполнять эти уширения наплавленным металлом;

2) неравномерное передвижение электрода или горелки и проволоки сварщиком вдоль шва, вследствие чего высота и ширина шва получаются неодинаковыми;

3) несоблюдение установленного режима сварки.

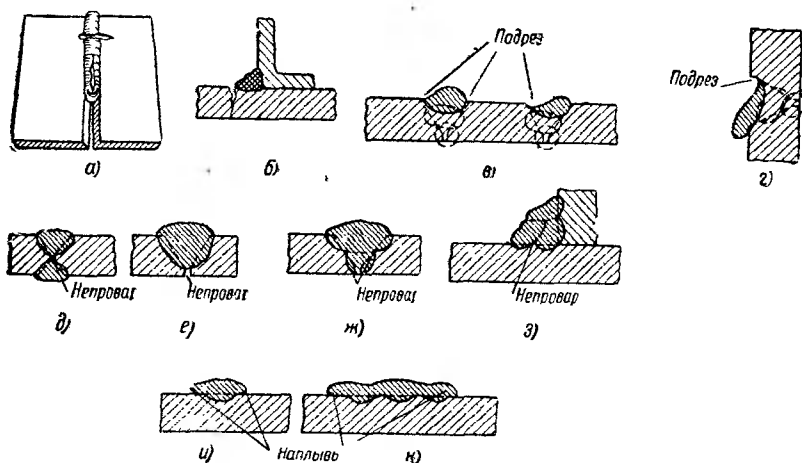


Рис. 178. Дефекты сварных швов:

а, б — наружные трещины, в, г — подрезы, д, е — непровар корня шва, ж, з — непровар кромок, и, к — наплывы

Швы с таким дефектом имеют неопрятный внешний вид. Кроме того, неравномерное распределение наплавленного металла по шву и неравномерная его усадка могут привести к короблению или образованию трещин. Выявляется этот дефект наружным осмотром и проверкой ширины и высоты шва шаблоном; устраняются отклонения по ширине и высоте шва подваркой ослабленных мест и срубанием излишка металла.

Трещины (рис. 178, а, б) бывают продольные и поперечные как в наплавленном, так и в основном металле. В последнем случае они обычно расположены около шва, в зоне термического

влияния. Причиной образования трещин являются напряжения, возникающие в металле вследствие неравномерного нагревания и охлаждения, усадки, изменения величины и расположения зерен металла под влиянием нагрева при сварке и пр.

Некоторые марки стали склонны к закалке. Вследствие изменения строения металла в закаленной зоне на границе между основным и наплавленным металлом могут возникать мелкие, так называемые волосяные трещины. Появлению таких трещин способствует наличие в данном месте дефектов: пор, непровара, включений шлака и т. п. Особенно часто трещины появляются в процессе остывания металла после сварки. Возможность их образования тем вероятнее, чем хуже сваривается данный металл. Трещины в сварных швах являются серьезным дефектом.

Наружные трещины устанавливаются внешним осмотром с помощью лупы. Участки швов с трещинами вырубают и заваривают вновь.

Подрезы представляют собой уменьшение толщины основного металла в месте перехода к наплавленному металлу (рис. 178, в, г). Этот дефект получается при сварке излишне большим током или горелкой слишком большой мощности, в результате чего выплавляется часть основного металла и у края шва получают углубления (подрезы), являющиеся опасным местом. В этом месте прочность сварного соединения понижается. Выявляется этот дефект внешним осмотром. Подрезы устраняют заваркой с предварительной расчисткой завариваемого места.

Незаплавленные углубления (кратеры), остатки шлака и неровная поверхность шва являются следствием недостаточной квалификации сварщика или небрежного выполнения работ. Если сварщик неправильно ведет сварку, применяет не соответствующие данным условиям диаметр электрода, ток и мощность горелки, нетвердо держит электрод, горелку и проволоку в руке, одновременно расплавляет основной и присадочный металл, поверхность шва получается неровной. На поверхности остаются следы от брызг наплавленного металла, включений, окислов в виде точек и пленки, незаплавленные участки металла. Выявляют подобные дефекты наружным осмотром. Швы с большим количеством дефектов обычно обладают пониженной прочностью, поэтому дефекты следует вырубать до основного металла и заваривать вновь.

Наплывы (рис. 178, и, к) образуются при слишком быстром плавлении электрода и натекании жидкого металла на недостаточно нагретую поверхность основного металла. Наплывы могут быть расположены в отдельных местах или иметь большую протяженность. Они часто сопровождаются непроваром основного металла. Наплывы необходимо срубить и проверить, нет ли в этом месте непровара.

Поры образуются вследствие поглощения расплавленным металлом газов (водорода, окиси углерода и др.), которые не успевают выделиться при быстром застывании металла и остаются в нем в виде газовых пузырьков. Поверхностные поры могут образовываться из-за плохой очистки кромок шва от масла, ржавчины, краски, окалины и других загрязнений, которые сгорают, образуя водяной пар и газы. Водяной пар и газы вспенивают металл и придают ему пористость. Поры могут образоваться также в результате выкрашивания каплеобразных включений металла и шлаков. В этом случае мелкие капли металла с пленкой окислов попадают в ванну и поэтому не сплавляются с металлом шва. Поры делают шов проницаемым для газов и жидкостей. Уплотнение пористого шва при газовой сварке достигается проковкой в процессе сварки при соответствующей температуре нагрева.

Если поры частично выходят на поверхность шва, то их можно обнаружить наружным осмотром с помощью лупы. Для обнаружения внутренних пор необходимо испытание изделия под давлением водой, сжатым воздухом, смачиванием керосином или просвечиванием рентгеновскими или гамма-лучами. Если по условиям работы данного изделия шов должен быть плотным, то пористые участки вырубают и заваривают вновь.

Шлаковые включения и окислы, так же как и поры, ослабляют сечение шва. Они попадают в металл при сварке длинной дугой и окислительным пламенем.

Непровар корня шва (рис. 178, *д, е*) — весьма серьезный дефект. Он выражается в несплавлении наплавленного металла с основным в корне шва. В месте непровара прочность шва резко снижается и соединение становится ненадежным. Кроме того, в непроваренных участках сосредоточиваются (концентрируются) напряжения, которые еще более понижают сопротивляемость шва внешним нагрузкам.

Причиной непровара обычно бывает недостаточный ток или малая мощность горелки, или слишком быстрое перемещение электрода и горелки, ведущие к недостаточному прогреву свариваемого металла, который в данном месте не доводится до расплавления. Попадание в шов пленки окислов или слоя шлака также может вызывать непровар. Непровар появляется и в том случае, если кромки скошены под слишком малым углом и нагрев металла в корне шва затруднен. Неудовлетворительная зачистка кромок при их подготовке под сварку может тоже вызвать непровар.

Обнаружить непровар корня шва можно внешним осмотром его с обратной стороны. Непровар удаляют вырубкой дефектного участка шва и заваркой его вновь.

Непровар кромок (рис. 178, *ж, з*) образуется при использовании недостаточного сварочного тока или горелки недо-

статочной мощности, а также при слишком быстром перемещении электрода или горелки вдоль кромки свариваемого металла. Наплавленный металл попадает на недостаточно нагретую поверхность свариваемого металла и надлежащего сплавления (провара) не получается. Сила сцепления между основным и наплавленным металлом в данном месте будет незначительна и валик шва может легко отделяться от кромки свариваемого листа.

В изломе шва непровар всегда заметен, он проходит темной полосой на границе между наплавленным и основным металлом. Обнаружить непровар кромки можно просвечиванием шва рентгеновскими или гамма-лучами. Обнаруженный непровар удаляют вырубкой дефектного места зубилом или выплавкой газовым резком и повторной заваркой.

Внутренние трещины возникают по тем же причинам, что и наружные. Продольные внутренние трещины часто образуются также у корня шва. Обнаружить внутренние трещины можно просвечиванием шва рентгеновскими или гамма-лучами. Участки шва с трещинами вырубает и заваривают.

Перегрев характеризуется ростом зерен металла, если он нагрет выше определенной температуры. Чем крупнее зерна, тем меньше поверхность сцепления между ними и тем выше хрупкость металла. Поэтому перегретый металл шва обладает повышенной хрупкостью и плохо сопротивляется ударным нагрузкам. Крупнозернистый перегретый металл шва можно исправить последующей термической обработкой (нормализацией).

Пережог характеризуется наличием в структуре окисленных с поверхности зерен металла, обладающих благодаря присутствию на них пленки окислов очень малым взаимным сцеплением. Поэтому пережженный металл очень хрупок и не поддается исправлению. Пережог металла возникает, если сварка ведется пламенем с избытком кислорода. Пережженные участки шва следует полностью вырубать до здорового металла и вновь заваривать.

§ 3. Способы контроля сварных швов и изделий

Наружный осмотр и проверка размеров шва. Цель такого контроля заключается в выявлении внешних дефектов швов: неровности по ширине и высоте, подрезов, неполномерности, непровара корня шва, трещин, шлаковых включений, крупных пор. С помощью лупы можно заметить мелкие волосяные трещины и поры шва.

Если предполагается, что в данном месте шва имеются трещины, то металл на исследуемом участке промывают спиртом и затем травят 10%-ным водным раствором азотной кислоты до появления матовой поверхности. Перед травлением поверхность металла следует зачистить личным напильником и наждачной бумагой. Лупа должна давать увеличение в 10—20 раз. После осмотра поверхность

металла зачищают наждачной бумагой и протирают денатурированным спиртом для удаления остатков кислоты.

Размеры шва (ширину и высоту валика, размеры подварки с обратной стороны и пр.) проверяют соответствующими шаблонами или универсальными измерителями (см. гл. III).

Испытание механических свойств наплавленного металла и сварного соединения. Для проведения такого испытания одновременно со сваркой шва сваривают пробные пластины из того же металла, той же толщины, что и основное изделие, и с теми же режимами сварки. Из пластин вырезают и изготавливают на станках образцы установленной стандартом формы и размеров. Эти образцы подвергают испытаниям в лаборатории с целью определения механических свойств наплавленного металла и сварного соединения: временного сопротивления разрыву (предела прочности), относительного удлинения, ударной вязкости, а также твердости.

Для испытания механических свойств наплавленного металла из него вытачивают круглый образец (рис. 179, а), который испытывают на растяжение с помощью разрывной машины. При этом определяется усилие в килограммах, при котором образец разрывается, относя это усилие к 1 мм^2 площади первоначального поперечного сечения образца. Чем больше это усилие, тем прочность наплавленного металла выше.

При данном испытании одновременно определяют относительное удлинение образца, выражаемое в процентах от его первоначальной длины и характеризующее пластичность наплавленного металла.

Для испытания механических свойств сварного соединения из пробной пластины вырезают плоский образец, форма и размеры которого указаны на рис. 179, б. Усилие шва на образце сострагивают с обеих сторон. Образец подвергается испытанию на разрывной машине. Прочность сварного соединения определяют нагрузкой в килограммах, приходящейся в момент разрыва образца на 1 мм^2 его первоначального поперечного сечения.

Чтобы установить пластичность металла шва, определяют также угол загиба образца. Для этого испытания изготовляют образец, изображенный на рис. 179, в. Образец укладывают на две опоры и подвергают изгибу под прессом. Угол α , при котором на поверхности шва возникает трещина (рис. 179, г), характеризует также пластичность наплавленного металла: чем больше угол, тем выше пластичность металла сварного шва и лучше качество сварного соединения. Лучшим считается шов, образец которого обеспечивает угол загиба, равный 180° .

Ударную вязкость металла сварного шва определяют на квадратных образцах сечения $10 \times 10 \text{ мм}$ с надрезом (рис. 179, д). Эти образцы разрушают на специальной машине путем изгиба с приложением удара. Образец при этом ломается в месте расположения надреза. Чем большую работу необходимо затра-

тить на излом такого образца, тем выше будет его ударная вязкость, измеряемая в $\text{кгс} \cdot \text{м}/\text{см}^2$.

Засверливание шва. Применяют для определения непровара корня шва или кромок в отдельных, наиболее сомнительных местах. В исследуемом месте шов засверливают сверлом или конической фрезой (шарошкой), диаметр которых на 3 мм больше ши-

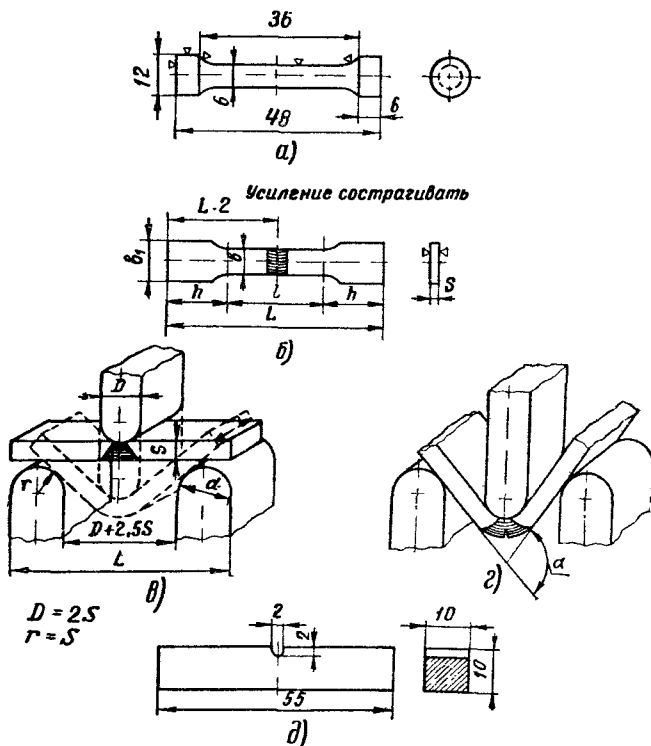


Рис. 179. Образцы для механических испытаний по ГОСТ 6996—54:

а — образец для механического испытания наплавленного металла, *б* — плоский образец для механических испытаний сварного соединения *б* — ширина образца, *S* — толщина образца, *l* — длина, по которой определяется удлинение образца при растяжении, *L* — общая длина образца (при *S* до 4,5 мм, *b* = 15 мм, *l* = 60 мм; при *S* = 4,5–10 мм, *b* = 20 мм, *l* = 60 мм; при *S* = 10–25 мм, *b* = 35 мм, *l* = 100 мм; при *S* = 25–50 мм, *b* = 40 мм, *l* = 160 мм), *в* — образец для испытания на загиб, *г* — образец после изгиба, *д* — образец для испытания на ударную вязкость

рины шва. Угол заточки сверла или шарошки должен быть равен углу раскрытия шва. Поверхность засверленного места протравливают 10—12%-ным водным раствором двойной соли хлористой меди и аммония. При этом непровар становится хорошо видимым. После испытания засверленное место заваривают.

Исследование макро- и микроструктуры. Структура металла, видимая невооруженным глазом на отшлифованной и протравленной специальным раствором поверхности образца, называется **макроструктурой**. Шлиф делают на образцах, вырезанных из шва или из пробных пластин. При этом можно выявить непровары, шлаковые включения, раковины, поры, трещины, несплавление и пр.

Микроструктурой называется строение основного или наплавленного металла, видимое под микроскопом при увеличении в 100—1000 раз. Поверхность шлифа должна быть тщательно отполирована и протравлена 5%-ным спиртовым раствором азотной кислоты. Микроструктура позволяет обнаружить в шве перегрев и пережог металла, наличие окислов по границам зерен, изменение состава металла вследствие выгорания при сварке отдельных его элементов, микроскопические трещины, поры и пр.

Исследования макро- и микроструктуры проводят в лаборатории и по их результатам судят о правильности применяемого режима сварки. Эти испытания позволяют также установить причины дефектов в шве и предупредить их появление в процессе сварки.

Гидравлические и пневматические испытания резервуаров и сосудов. Цель пневматических испытаний — проверка плотности шва. Гидравлические испытания, помимо проверки плотности швов, дают возможность определить прочность резервуара и сосуда в целом на наибольших нагрузках.

При гидравлическом испытании сваренный сосуд наполняют водой и с помощью гидравлического насоса создают в нем давление, превышающее максимальное рабочее давление для данного изделия*. Под пробным давлением сосуд выдерживают 5 мин. Затем давление снижают до рабочего и при этом давлении швы слегка обстукивают на расстоянии 15—20 мм от кромок закругленным молотком весом 1 кг, после чего тщательно осматривают швы. Места, в которых обнаружены при осмотре течь или потение, отмечают мелом и после снятия давления вырубают и заваривают вновь.

Пневматическое испытание производится сжатым воздухом только при рабочем давлении сосуда. Плотность швов проверяют, обмазывая их мыльным раствором или погружая в воду, если габариты сосуда позволяют это. В местах пропуска воздуха образуются пузыри. В целях безопасности пневматическое испытание следует производить только после предварительного гидравлического испытания сосуда.

Плотность шва. Проверяют при помощи керосина, который способен проникать в самые мелкие поры и трещины. Для этого шов с одной стороны обмазывают мелом, разведенным на воде. После высыхания мела шов с обратной стороны промазывают керо-

* См § 1 гл X

сином. При наличии неплотностей, пор и трещин керосин просачивается через них, и на меловой покраске появляются хорошо заметные пятна. Этот способ применяется при проверке плотности швов резервуаров и сосудов, не работающих под давлением.

Плотность шва можно проверить также способом С. Т. Назарова. Для этого шов снаружи оклеивают полосками бумаги, пропитанной 5%-ным раствором азотнокислой ртути, а проверяемый сосуд испытывают на рабочее давление сжатым воздухом с примесью 1% аммиака. Аммиак проникает через поры и трещины шва и вызывает заметное потемнение на полоске бумаги против дефектного места.

Просвечивание швов. Способ просвечивания позволяет обнаружить в швах внутренние дефекты — трещины, непровары, поры, шлаковые включения. Этим способом проверяют швы ответственных изделий, например сосудов, работающих под давлением. Для просвечивания применяют рентгеновские лучи или излучение радиоактивных элементов (гамма-лучи*). Эти лучи, не видимые человеческим глазом, способны проникать через толщу металла, действуя на светочувствительную фотопленку, приложенную к шву с обратной стороны. В тех местах шва, где имеется дефект (поры, трещины и др.), поглощение лучей металлом будет меньше, и они окажут более сильное воздействие на чувствительную к лучам эмульсию пленки. Поэтому в данном месте на пленке после ее проявления будет более темное пятно, соответствующее по размерам и форме имеющемуся дефекту. Снимок шва, сделанный на пленку, носит название рентгенограммы или гаммограммы шва. Обычно просвечивают 10—15% общей длины шва.

Для просвечивания сварных швов применяют рентгеновские аппараты, состоящие из специального трансформатора с выпрямителем и особой лампы — рентгеновской трубки. При прохождении через электроды трубки выпрямленного тока высокого напряжения (150 000—180 000 в) в трубке возникают особые, так называемые рентгеновские лучи.

В качестве источников гамма-лучей используют следующие радиоактивные вещества: при тонком металле от 1 до 10 мм — радиоактивный туллий-170, для просвечивания трубопроводов — радиоактивный цезий-134, при толщине металла до 50 мм — радиоактивный иридий-192, при толщине до 200 мм — радиоактивный кобальт-60. Небольшое количество радиоактивного вещества помещают в стеклянную ампулу.

Рентгеновские и гамма-лучи при больших дозах облучения вредны для организма, поэтому рентгено трубку или ампулу с радиоактивным веществом помещают в свинцовую оболочку. Свинец не пропускает рентгеновские и гамма-лучи и делает процесс

* Гамма-лучи испускаются естественными (природными) радиоактивными веществами (радием, мезоторием) и искусственными радиоактивными изотопами кобальта, цезия, иридия, европия, туллия и других элементов

просвечивания швов безопасным для обслуживающего персонала. В свинцовой оболочке рентгеновской трубки делают только узкую щель, через которую лучи могут падать на просвечиваемый участок шва. Амбулу с радиоактивным веществом в момент просвечивания временно вынимают из свинцового футляра, в котором она постоянно хранится.

Просвечивание швов рентгеновскими и гамма-лучами выполняется только специально обученным персоналом. Схемы просвечивания сварного шва показаны на рис. 180. После проявления пленки шов на ней обозначается в виде светлой полосы. Темные точки на светлой полосе шва указывают места расположения пор или шлаковых включений. Если шов имеет непровар или трещину, то они дают на пленке темные линии.

ГОСТ 7512—55 установлены следующие условные обозначения дефектов швов, обнаруживаемых при расшифровке рентгено-и гаммограмм:

П — газовые включения (поры);
Ш — шлаковые включения;
Н — непровары;
Нс — непровар сплошной;
Тп — трещины поперечные;
Тпр — трещины продольные;
Тр — трещины радиальные.

По характеру распределения дефекты делятся на следующие группы: А — отдельные дефекты; Б — цепочка дефектов; В — скопление дефектов. Например, если на рентгенограмме имеется следующая запись: ПБ-1-15; Тп-4-1; Ш-0; Н-0; длина снимка 100, то это означает, что на участке шва длиной 100 мм выявлены: цепочка пор размером 1 мм на протяжении 15 мм; одна поперечная трещина длиной 4 мм; шлаковых включений и непроваров не обнаружено.

Ультразвуковой и магнитный методы контроля швов. Ультразвуковой метод основан на способности высокочастотных (свыше 20 000 гц) колебаний, не воспринимаемых человеческим ухом, проникать в металл шва и отражаться от поверхности пор, трещин и других дефектов. Ультразвуковые колебания получают обычно с помощью кварцевой пластинки, которая является источником этих колебаний, если к пластинке подвести переменный ток повышенной частоты (0,8—2,5 мгц). Отраженные ультразвуковые колебания улавливаются искателем (шупом) и затем преобразуются в электрические импульсы, дающие на соответствующий прибор сигнал о наличии дефекта в данном месте сварного шва

Ультразвуковой метод может применяться только для контроля швов металла толщиной не менее 8 мм. Этим способом можно предварительно определить местонахождение скрытого дефекта, а затем просветить это место рентгеновскими или гамма-лучами для более точного выявления размеров и характера дефекта.

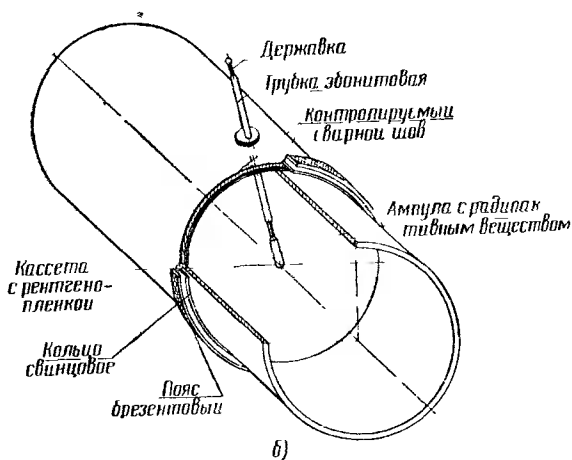
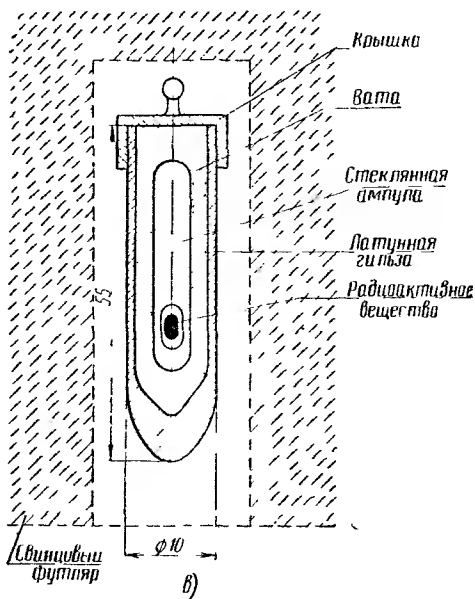
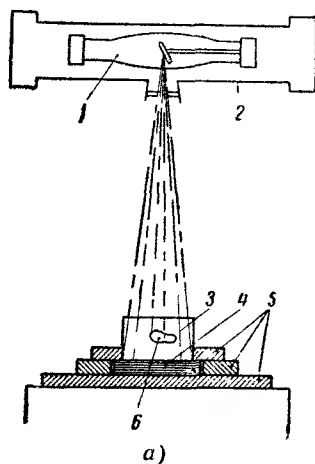


Рис 180 Схема просвечивания шва рентгеновскими и гамма-лучами*

а — просвечивание рентгеновскими лучами 1 — рентгеновская трубка, 2 — футляр со свинцовой оболочкой, 3 — просвечиваемый металл, 4 — фотопленка в черной бумаге (кассете) 5 — свинцовые пластины 6 — дефект в металле, б — просвечивание шва трубы гамма лучами, в — ампула с радиоактивным веществом

При магнитном методе сварной шов стального изделия покрывают смесью из масла и магнитного железного порошка. Затем изделие намагничивают с помощью постоянного сварочного

электрического тока до 200 а, пропускаемого по обмотке из нескольких витков провода, окружающего изделие. Под действием магнитного силового поля, возникающего в свариваемом изделии, частицы железного порошка располагаются гуще около мест, где имеются дефекты: непровар, включение шлака, трещина и пр. Это объясняется образованием в этих местах местных магнитных полюсов, притягивающих частицы магнитного порошка. Магнитным методом можно выявить в стальных изделиях мелкие внутренние трещины, непровары и другие дефекты на глубине до 5—6 мм. Дефекты на большей глубине этим методом не выявляются. Этот метод широкого практического применения не находит.

Институтом ВНИИСТ (бывш. ВНИИстройнефть) разработан и внедрен магнитографический метод контроля сварных швов стальных трубопроводов. Дефекты шва, обнаруженные этим способом, отмечаются (фиксируются) на специальной ферромагнитной пленке подобной применяемой для звукозаписывающих установок. Вследствие неоднородности металла шва в месте расположения дефекта магнитная проницаемость его изменяется, поэтому меняется и степень намагничивания пленки на этом участке. Наличие дефекта, например трещины, увеличивает остаточную намагниченность пленки. Если пленку пропустить затем через аппарат для воспроизведения магнитной звукозаписи, а получаемые импульсы передавать на осциллограф*, то по величине и форме отклонения луча на экране осциллографа можно судить о величине и характере дефекта шва.

Магнитографический метод контроля достаточно прост и точен, им можно проверять швы, находящиеся в различных пространственных положениях, он безвреден для обслуживающего персонала. Этот метод может применяться для проверки стали толщиной не более 12 мм. Им широко пользуются при контроле стыков трубопроводов, свариваемых в полевых условиях. На рис. 181 схематически показан способ контроля магнитографическим методом, а на рис. 182 — форма кривых, получаемых на экране осциллографа при различных дефектах шва.

Контроль с помощью электронно-оптического преобразователя. Схема устройства электронно-оптического преобразователя показана на рис. 183. Шов 1 просвечивается рентгеновскими лучами, которые, пройдя стеклянную стенку вакуумной трубки, вызывают свечение слоя 3 флуоресцирующего вещества, нанесенного на алюминиевый экран 2. На экране возникает изображение шва.

* Осциллографом называется электронный прибор, применяемый для наблюдения и регистрирования переменных электрических токов высокой частоты. Наблюдение производится с помощью специального экрана, на котором колеблющийся луч образует сплошную кривую, соответствующую частоте и величине колебаний. Колебания могут регистрироваться также на фотопленке.

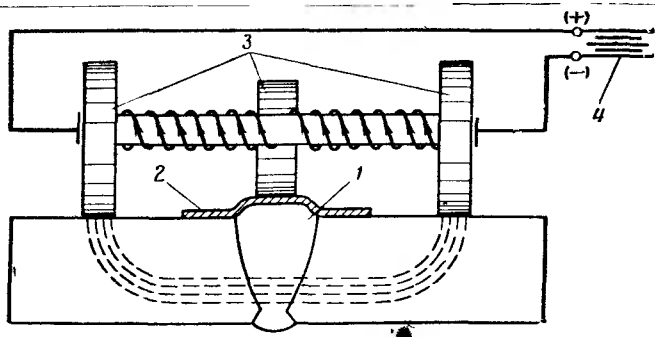


Рис. 181. Схема магнитографического метода контроля:
1 — контролируемый шов, 2 — ферромагнитная пленка, 3 — электромагнит, 4 — источник постоянного тока

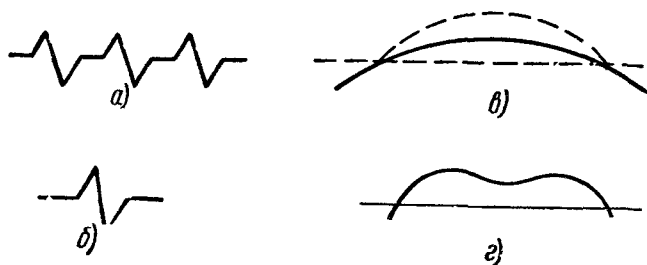


Рис. 182. Характер кривых на экране осциллографа при различных дефектах, обнаруживаемых магнитографическим методом:

а — продольные трещины, б — поперечные трещины, в — непровары (выпуклость кривой увеличивается с увеличением глубины непровара), г — газовые поры и шлаковые включения

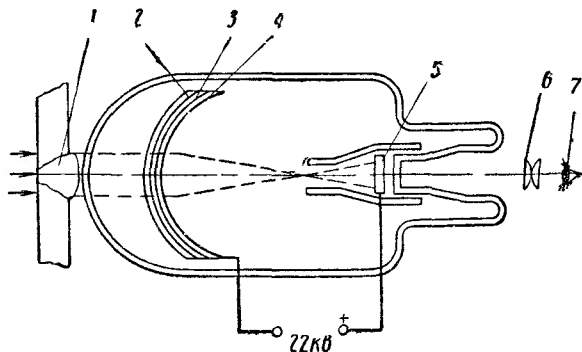
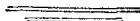


Рис 183. Схема электронно-оптического преобразователя для контроля сварных швов

Непосредственно на флуоресцентный экран 5 нанесен фотока-
тод 4. Свечение экрана освобождает электроны фотокаатода, число
которых в каждой его точке будет пропорционально яркости све-
чения экрана и интенсивности лучей, прошедших через шов. Ос-
вобожденные электроны ускоряются высоким напряжением от
внешнего источника питания и попадают на анод—флуоресцентный
экран 5, вызывая его свечение, яркостью в 1000 раз большей, чем
экрана 3. На экране 5 возникает уменьшенное изображение шва,
которое наблюдатель 7 рассматривает через оптическую увеличи-
тельную линзу 6. Этим методом можно просматривать все сварные
швы, выявляя скрытые в них дефекты.



ГЛАВА XXV

ОРГАНИЗАЦИЯ И НОРМИРОВАНИЕ СВАРОЧНЫХ РАБОТ

§ 1. Организация труда и рабочего места сварщика и резчика

Сварщик и резчик должны быть загружены работой на полный рабочий день, имея к началу работы наряд и необходимую техническую документацию — чертежи, технологические карты и пр.

В карте дается эскиз расположения швов, их размеры, режим сварки и другие сведения, необходимые для правильного ведения процесса. Мастер должен проинструктировать сварщика о порядке сварки и режиме работ. Кроме того, сварщика нужно обеспечить необходимым запасом сварочной аппаратуры, кабелем, электрододержателем, электродами, проволокой, кислородом и карбидом или ацетиленом на полный рабочий день. Вся сварочная аппаратура и оборудование должны быть исправны, периодически проверяться и ремонтироваться.

Подачу кислорода и ацетилена к постоянным постам для сварки и резки целесообразнее всего производить по трубопроводам от центральных распределительных рам и ацетиленовых генераторов или баллонов.

Постоянное рабочее место должно быть оборудовано шкафом для хранения инструмента, электродов и чертежей, сборочно-сварочными приспособлениями, сварочными столами. Если свариваются мелкие детали, то сварщик должен иметь стол и табурет. Должны быть предусмотрены ограждения (кабины) для защиты окружающих от лучей сварочной дуги. Необходимо, чтобы все инструменты располагались в определенном порядке и находились под рукой.

Рабочее место для сварки тяжелых изделий следует оборудовать подъемными приспособлениями и кантователями.

В зависимости от размеров свариваемых изделий и характера сварочных работ рабочее место может быть расположено в отдельной кабине или в цехе у сварочного стенда, или на монтажной площадке. Размеры кабины обычно равны в плане 2×2 или $2 \times 2,5$ м. Если кабина расположена в цехе на поточной линии или на кон-

вейере, то в ее боковых стенках делаются проемы для прохождения конвейера со свариваемыми деталями. Проемы закрываются дверцами или брезентовыми шторами.

В небольших сварочных цехах при расстоянии сварочных постов от машинного отделения до 40 м источники питания сварочным током целесообразно размещать в специально выделенном для них машинном отделении. В средних и крупных цехах применяется групповое размещение сварочного оборудования по 3—6 машин или трансформаторов в группе. Машины каждой группы помещают в специальных будках или на отгороженной площадке с таким расчетом, чтобы они занимали возможно меньше полезной производственной площади цеха (используя места около колонн, в углах и пр.).

Индивидуальное расположение сварочных аппаратов в непосредственной близости от сварочных стенов применяют при установках для автоматической сварки, а также при ручной сварке в том случае, если сварочные посты рассредоточены по цеху, или при массовом производстве мелких изделий с применением сварки.

В случае группового расположения источников питания сварочным током сварочные посты включаются через специальный коммутатор, позволяющий быстро переключать сварочный пост для работы с одного источника питания на другой или включать несколько аппаратов или машин для параллельной работы на один пост. Коммутатор снабжается вольтметром и амперметром для контроля режима сварки при любых комбинациях включения постов.

При сварке в условиях монтажа рабочее место, в случае необходимости, должно быть защищено от ветра, дождя, снега и иметь ограждения. При частой смене места работы необходимы приспособления для быстрого перемещения источника сварочного тока, провода, запаса электродов и сварочного инструмента (тележки, ящики для инструмента и электродов, ящики для сбора огарков и пр.). К местам сварки должны быть сделаны безопасные подходы (лестницы), снабженные соответствующими ограждениями. Для работы в зимних условиях на открытом воздухе сварщики должны быть снабжены теплой спецодеждой. Вблизи места работ необходимо оборудовать теплое помещение для периодического обогрева рабочих. На рис. 184 показана одна из конструкций подвесной люльки для сварщика, применяемых при сварке узлов каркаса здания.

При монтаже ответственных конструкций (кожухов доменных печей, резервуаров, высотных и мостовых конструкций) создаются специализированные сварочные участки. Монтажной сварке таких объектов предшествует разработка проекта организации сварочно-монтажных работ. В проекте предусматривается расположение сварочного оборудования, определяется потребность в сварочном, подъемно-транспортном оборудовании и материалах, установ-

ливается график и очередность выполнения сварочных работ на объекте, определяется потребность в сварщиках, составляется технологический процесс сварки, где указываются способы сварки, режимы и требуемые приспособления.

Если объем сварочно-монтажных работ невелик, то организация работ упрощается. В этом случае сваркой руководит произво-

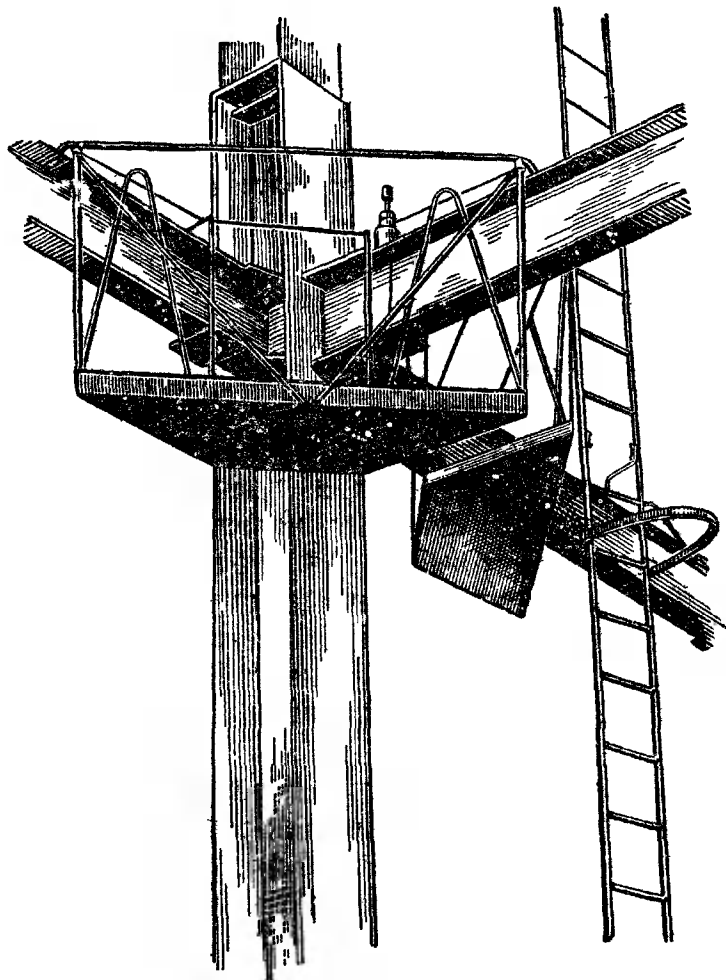


Рис. 184. Подвесная люлька для сварщика

дитель стройработ и монтажный мастер. Специальный мастер по сварке выделяется только при числе сварщиков 8—10 человек.

§ 2. Приспособления для сборки и сварки

Использование различных приспособлений для установки, закрепления элементов свариваемой конструкции или изделия при их сборке, прихватке и сварке значительно уменьшает трудоемкость сборочно-сварочных работ, повышает точность сборки и качество сварки, снижает деформации и коробления при сварке,

сокращает длительность производственного цикла и снижает себестоимость изделия. Поэтому при современном уровне организации сварочных работ использование приспособлений является обязательным. Сборка и сварка без приспособлений допускается только в отдельных случаях, когда это диктуется необходимостью и местными условиями (ограниченными сроками работ, простотой формы конструкции и др.).

Приспособления бывают сборочные и сборочно-сварочные. В приспособлениях первой группы производится только сборка изделий, а в приспособлениях второй группы — сборка и сварка. Чаще применяются сборочно-сварочные приспособления, так как они не требуют снятия изделия после сборки. Какие приспособления являются наиболее целесообразными в том или ином случае — следует определять с учетом типа сварной конструкции и организации производственного процесса.

При сборке и сварке в качестве приспособлений используют прихватки, стяжки, плиты, распорки. Находят широкое применение и более сложные приспособления — кондукторы, поворотные столы (манипуляторы), кантователи, роликовые стенды и др. Более сложные приспособления выгодны при массовом и крупносерийном производстве однотипных сварных изделий. Приспособления для сборки и сварки можно разбить на следующие типы.

Опорные. К ним относятся плиты, стеллажи, сборочно-сварочные стенды. Плиты для сборки выполняются из чугуна литыми с пазами для закладок головок болтов, закрепляющих изделия. Кроме того, они имеют дополнительные отверстия для установки различных упоров.

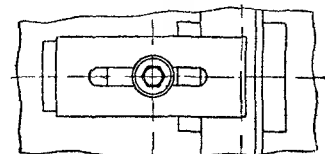
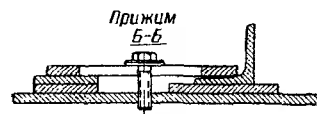
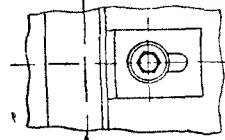
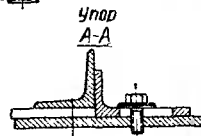
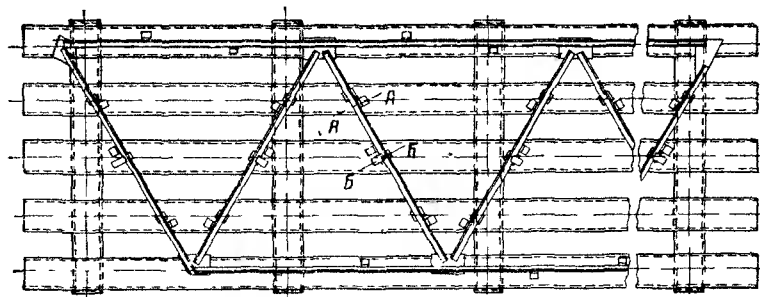
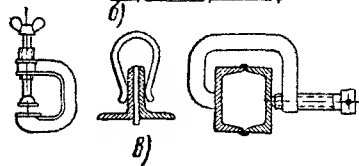
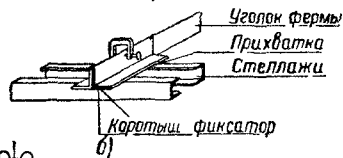
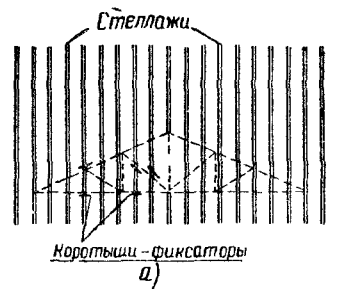
Постоянные сварочно-сборочные стенды изготовляют из двутавровых балок, швеллеров или рельсов с продольными пазами для крепящих болтов. Изготовление чугунных плит обходится дороже, но они имеют то преимущество, что к их поверхности не привариваются капли металла.

Для сборки решетчатых конструкций применяют стеллажи, располагаемые на козлах или столбах, вдоль которых сверху укладывают балки или рельсы.

На рис. 185, а показан стеллаж для сборки и сварки решетчатых стропильных ферм из угловой стали, а также различные стяжные и упорные приспособления для закрепления элементов фермы на стеллаже.

При сварке стыковых швов плоских листов из стали применяют также магнитные стенды. Магнитные стенды не препятствуют перемещению листов в результате усадки металла под действием внутренних напряжений, но предупреждают их коробление в процессе сварки в плоскости, перпендикулярной плоскости шва.

Упорные и зажимные. В качестве упоров используют фиксаторы из отрезков уголков, шпильки и др. (рис. 185, б и г). Зажимные болты изготовляют с квадратной или прямоугольной головкой,



г)

Рис. 185. Приспособления для сборки и сварки решетчатых стропильных ферм:

а — стеллажи, б — приспособленне для установки, в и г — приспособления для закрепления элементов фермы на стеллаже

вставляемой в пазы стеллажа. Для стягивания листов и деталей применяются трубины и скобы различных размеров и конструкций (рис. 185, *в*).

Широко используются быстродействующие пневматические зажимные устройства, приводимые в действие сжатым воздухом давлением 4—5 *атм*, подача которого в зажимное устройство и выпуск из него производится поворотом распределительного крана.

Стяжки и распоры. Эти приспособления применяют для стягивания листов между собой или распора их изнутри, например, при сварке цилиндрических обечаек.

Простейшим видом стяжек являются два уголка, временно прихватываемые к поверхности листов и стягиваемые с помощью болта с гайкой. После прихватки уголки срубают, а место их приварки зачищают. Распорные приспособления состоят из двух или нескольких болтов, ввертываемых в общую стяжку или кольцо; вращая болты, распирают обечайку изнутри. Обычно этими приспособлениями пользуются при сварке поперечных швов обечаек (рис. 186).

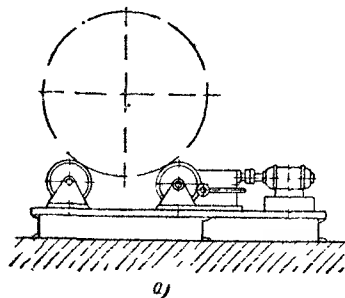
При монтаже и сварке резервуаров для стягивания и выравнивания кромок листов используют сборочно-клиновые приспособления, устройство и применение которых показано на рис. 187, *а*.

Для повышения точности сборки и сварки продольных швов резервуаров применяют трубины со стяжными винтами, изображенные на рис. 187, *б*.

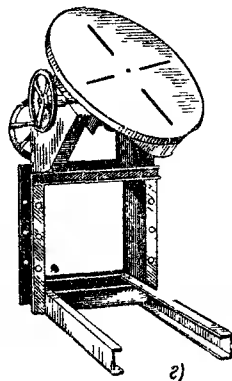
Поворотные. Крупные цилиндрические изделия (котлы, цистерны и т. д.) в процессе сварки поворачивают при помощи роликов, имеющих редукторный привод для вращения от электродвигателя (рис. 188, *а*).

Автоматическую сварку колонн, балок, опор и других изделий из листовой стали выполняют с помощью различных кантователей (рис. 188, *б*) с электроприводом или гидроприводом грузоподъемностью до 15 *т* и более. Кантователь поворачивает всю свариваемую конструкцию в сборе на опорных роликах и позволяет вести сварку всех швов в нижнем, т. е. наиболее удобном положении. При сварке колонн и балок используются также цепные кантователи (рис. 188, *в*), кантователи с челюстными захватами и др.

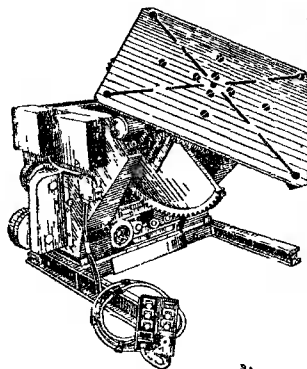
В качестве универсальных поворотных приспособлений при сварке машиностроительных конструкций применяют поворотные столы или манипуляторы и позиционеры (рис. 188, *г* и *д*), которые могут поворачиваться в пределах до 360° и наклоняться под углом до 180°. Столы делают как с ручным приводом (рис. 188, *г*), так и с приводом от электродвигателя (рис. 188, *д*). В последнем случае движениями стола управляют с помощью кнопок. Существуют манипуляторы с гидравлическим, пневматическим (сжатым воздухом) или комбинированным гидро- и пневмоэлектрическим приводом. Грузоподъемность применяемых в промышленности манипуляторов



а)



г)



д)

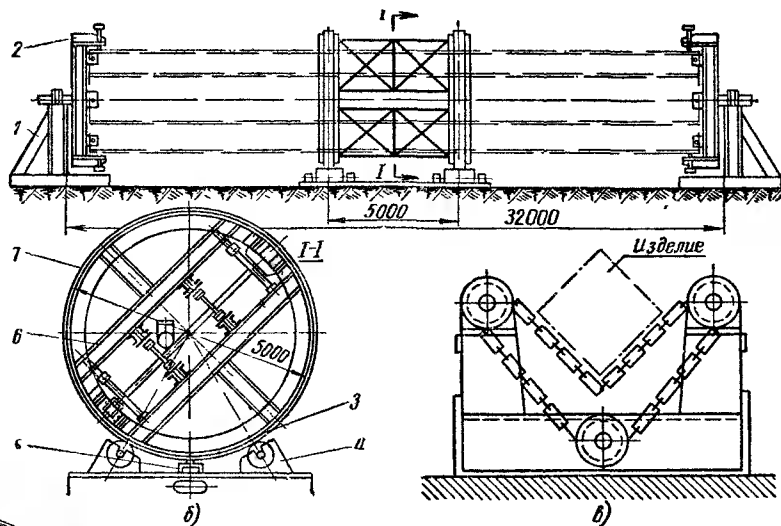


Рис 188. Устройства для поворота изделий при сварке

а — ролики с электроприводом для вращения обечаек; б — кантователь для балок 1 — стойки, 2 — опорные плиты для закрепления концов свариваемой балки, 3 — нижние опорные полуколыца, 4 — опорные ролики, 5 — стопор, 6 — свариваемая балка, 7 — верхние опорные полуколыца; в — цепной кантователь, г — поворотный стол (манипулятор) с ручным приводом, д — манипулятор с электрическим приводом

и позиционеров составляет от 0,5 до 10 т, а в отдельных случаях достигает 25, 50 и даже 100 т.

Свариваемое изделие крепится болтами к плите стола непосредственно или через опорную раму. Сварщик поворачивает стол в нужном направлении нажимом кнопки, включающей соответствующий электродвигатель манипулятора.

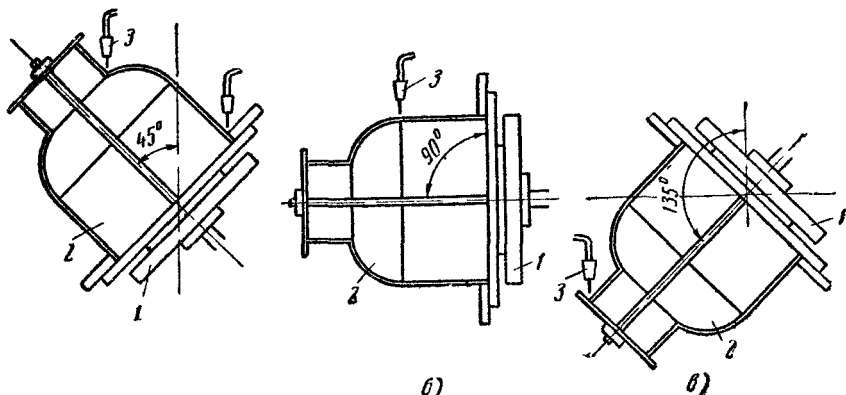


Рис. 189. Схема положений изделия при сварке на манипуляторе:

а — сварка угловых швов в лодочку, *б* — сварка стыковых швов в нижнем положении, *в* — сварка потолочных угловых швов в лодочку, *1* — планшайба манипулятора; *2* — свариваемое изделие; *3* — держатели электродов

На рис. 189 схематически показаны несколько положений изделия на столе манипулятора при сварке круговых швов. Манипулятор позволяет все эти швы сваривать в наиболее удобном положении — нижнем или в лодочку. Использование манипуляторов и позиционеров в $1\frac{1}{2}$ –2 раза сокращает время, затрачиваемое

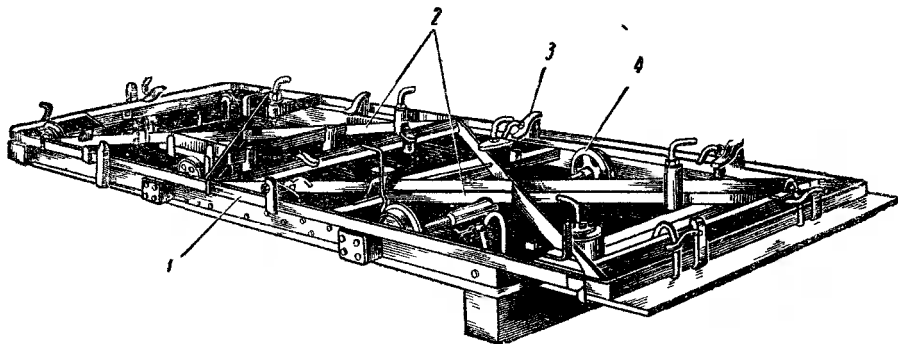


Рис 190 Кондуктор для сварки рамы:

1 — каркас кондуктора, *2* — свариваемая рама, *3* — винтовые зажимы; *4* — катки

на вспомогательные операции, облегчает труд сборщиков и сварщиков, повышает производительность труда на 15—20% и улучшает качество швов.

Манипуляторы могут использоваться не только при сварке изделия, но также при операциях по сборке, контролю, очистке, покраске и отделке изделия до и после сварки.

Кондукторы. Это приспособления, предназначенные для сборки и сварки какого-либо одного определенного узла или изделия. Кондукторы устанавливают взаимное расположение отдельных частей изделия, ускоряют сборку, обеспечивают необходимую точность, а также уменьшают коробление детали при сварке. Они обычно состоят из рамы-каркаса с расположенными на нем упорами и зажимами для закрепления деталей. В случае необходимости кондукторы делают поворотными. Применяются также кондукторы и приспособления, в которых закрепление свариваемых деталей производится с помощью электромагнитов. В качестве примера на рис. 190 показан кондуктор для сборки и сварки рамы, элементы которой, нарезанные из углового профиля, укладываются в кондуктор и закрепляются имеющимися на нем винтовыми зажимами; затем элементы прихватываются друг к другу и свариваются. Кондуктор может перемещаться по рельсовому пути конвейера, для чего у него предусмотрены специальные катки.

§ 3. Механизация и автоматизация сварочного производства

Механизация и автоматизация являются основой дальнейшего технического развития современного производства вообще и в том числе сварочного. Развитие и внедрение автоматической и полуавтоматической сварки под флюсом, сварки в среде защитных газов, электрошлаковой, контактной и газопрессовой сварки, механизированной кислородной резки и др. обеспечивают высокий уровень автоматизации и механизации собственно сварочного процесса, достигающий в ряде случаев 70—80% от числа выполняемых операций.

Наибольший уровень автоматизации сварки и резки дает применение сварочных установок и резательных машин с программным управлением. Программное управление обеспечивает автоматизацию не только самого процесса резки, но и связанных с ним вспомогательных операций: зажигание и гашение пламени резака, пуск и включение струи режущего кислорода, подвод головки к листу и отвод и др. Таким образом программное управление почти полностью заменяет оператора сварщика и резчика, за которыми остаются только функции наблюдения протекающего автоматически процесса резки и сварки. Внедряется программное управление также и в сварочные установки, выполняющие дуговую и контактную сварку.

Тем не менее механизация и автоматизация только самих процессов сварки и резки еще не решает полностью проблемы механизации и автоматизации сварочного производства в целом на данном участке или предприятии. Необходима также механизация и автоматизация вспомогательных трудоемких, тяжелых а иногда и вредных работ: подготовки металла под сварку, транспортировки заготовок, перемещения изделий при сборке и сварке на стенде, очистки швов от шлака и др. Некоторые из перечисленных видов работ выполняются с помощью различных механизмов общего или специального назначения: грузоподъемных мостовых кранов, автопогрузчиков, электрокар, тельферов, кранов-укосин, лебедок, рельсовых тележек, роlikоопор, кантователей, манипуляторов и многих других.

При подготовке и очистке металла перед сваркой применяется травление металла, очистка металлическими щетками, приводимыми в действие от электродвигателя через гибкий вал; аналогичные переносные машинки с гибким валом используются также для механизации работ по зачистке швов после сварки с помощью наждачного круга.

Наибольший технико-экономический эффект дает комплексная механизация и автоматизация сварочного процесса в целом, особенно при организации линий непрерывного поточного производства. В линии поточного производства механизмируются и автоматизируются почти все операции, включая подачу металла со склада, подготовку его, раскрой, сборку и сварку, испытание после сварки, покраску и отделку, подачу на склад готовой продукции. В поточном производстве объем механизации и автоматизации производства может достигать 80—90%, а в отдельных случаях — 100%. Поточные линии целесообразно организовывать только в условиях массового производства.

Основой для комплексной механизации и автоматизации сварочного производства является применение:

- 1) машинной газокислородной резки;
- 2) полуавтоматической и автоматической сварки;
- 3) универсальной технологической оснастки с быстродействующими зажимными устройствами, допускающей легкую переналадку при изменении размеров изделия;
- 4) механизированных стендов для сборочно-сварочных работ, оснащенных механическими, электропневматическими и гидравлическими приводами;
- 5) автоматов с электроприводами, с магнитными усилителями для плавной регулировки режимов сварки;
- 6) монорельсов, манипуляторов, кантователей, приводных роlikоопор, транспортеров и пр.;
- 7) механизированных методов изготовления заготовок (штамповки, гибки), обеспечивающих более точные размеры и сокращающих объем работ по подгонке деталей при сборке.

Поточные линии проектируются с учетом общего характера производства на данном предприятии. При этом сварка производится не в специальных сварочных цехах, а сварочные агрегаты включаются в общую поточную линию. Такой принцип построения процесса с использованием сварки сейчас наиболее широко распространен в условиях массового производства.

Автоматические сборочно-сварочные линии с максимальной механизацией и автоматизацией процессов созданы и работают, например, на многих трубосварочных заводах, выпускающих сварные трубы со спиральным или продольным швом, на автомобилестроительных, вагоностроительных, судостроительных и других предприятиях массового производства.

На рис. 191, 192 и 193 показаны поточные механизированные линии, организованные на заводе «Компрессор» для изготовления цилиндрических корпусов трубчатых аппаратов и резервуаров диаметром от 500 до 1200 мм*.

К поточной линии изготовления заготовок обечаек (рис. 191) листы, просушенные после травления, подаются на тележке 1 в пакетах по 10 шт. и мостовым краном укладываются на питатель 2. Пневматическим толкателем верхний лист пакета сдвигается на 50 мм, захватывается эксцентриковой скобой и с помощью лебедки подается на транспортер, откуда толкателями перемещается в девятивалковые правильные вальцы 3. С вальцев пневмомагнитные досылатели подают лист на поперечный транспортер, который перемещает его на накопитель 4. Накопитель выдает по одному листу на стенд 5 к портальной газорежущей машине ПР-3,5, осуществляющей продольную обрезку листа на заданную ширину заготовки одновременно двумя резаками. Толщина листов составляет от 6 до 16 мм.

На стенде 6 заготовки машиной СГУ-58-1 разрезаются поперек. Раскроенные листы лебедкой перетягиваются на второй накопитель 7.

Немерные листы, оставшиеся от раскроя, подаются на стенд 8, где подвергаются автоматической сварке до размеров обечайки. Этот стенд оборудован магнитными прижимами листов и пневмофлосовой подушкой. Для сварки используется автомат АДС-1000-2. С накопителя 7 листы подаются на поворотную пневматическую тележку 9, которая подвозит их к гидравлическому прессу 10, подгибающему кромки листов перед вальцовкой. По наклонному стеллажу 11 заготовка далее поступает на последний агрегат линии — вальцы 12, придающие ей цилиндрическую форму.

На поточной линии сборки и сварки обечаек (рис. 192) сначала гидравлической скобой производится стягивание кромок и при-

* В. А. Борович, К. В. Звегинцева, К. С. Мороз. Организация показательного сварочного производства на заводе «Компрессор». «Сварочное производство», 1961, № 2.

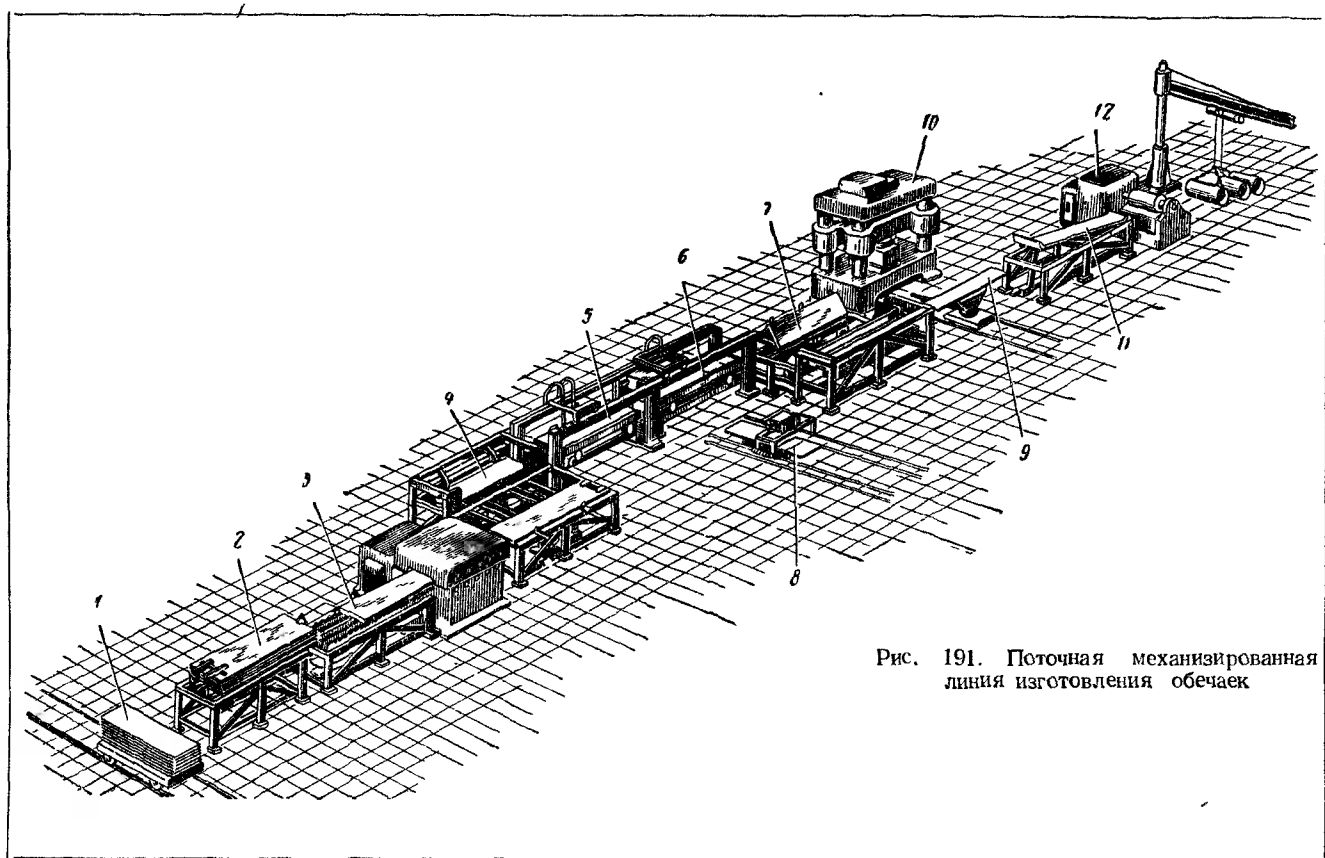


Рис. 191. Поточная механизированная линия изготовления обечаек

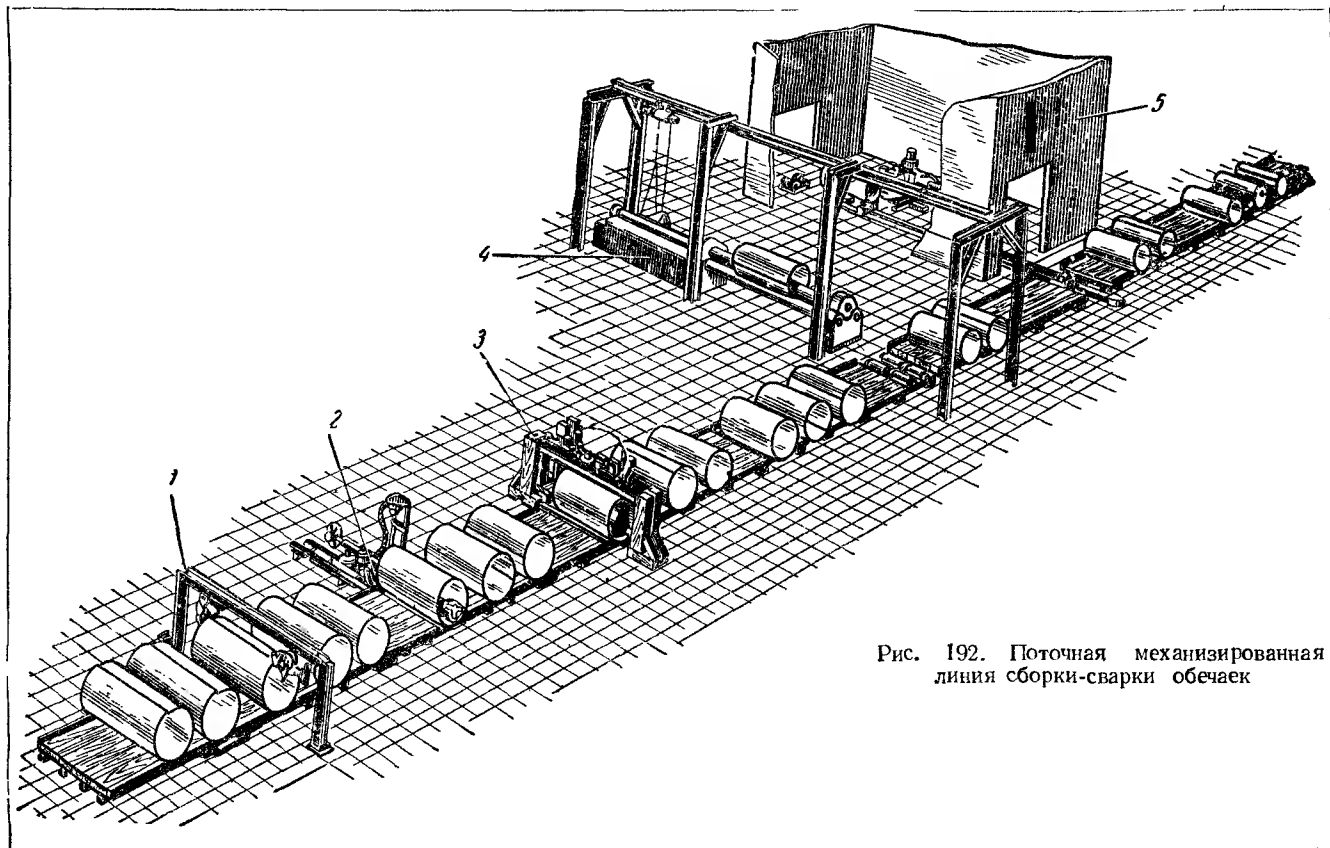


Рис. 192. Поточная механизированная линия сборки-сварки обечаек

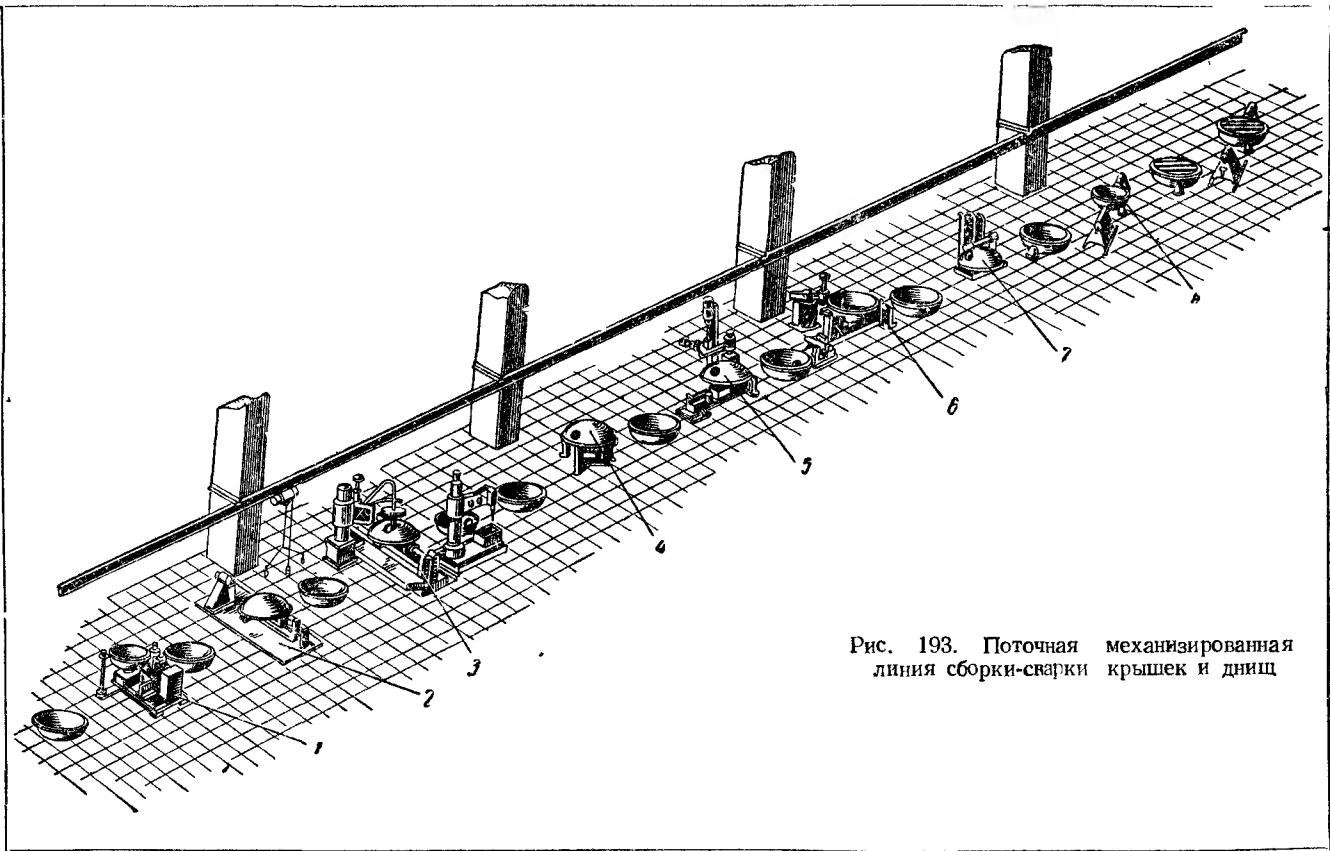


Рис. 193. Поточная механизированная линия сборки-сварки крышек и днищ

хватка их на стенде 1, а также приварка выводных планок. Между отдельными стендами обечайки перемещаются скатыванием по наклонным стеллажам. На стенде 2 обечайка сваривается изнутри под флюсом на автомате АДС-2000-2, снабженном удлинителем. Стенд имеет механизм поворота для установки обечайки швом вниз и пневмофлюсовую подушку.

После сварки внутреннего шва обечайка пневматическим устройством выталкивается на промежуточный стеллаж, откуда попадает на стенд 3, где производится ее сварка снаружи на специальной портальной сварочной установке, по рельсам которой перемещается автомат АДС-2000-2. Для удаления остатков флюса на всех установках применяются флюсоотсосы.

На следующем рабочем месте от обечайки отрезаются выводные планки и она поступает на калибровочные вальцы 4. В камере 5 обечайки подвергаются рентгеноконтролю. Предварительно швы обечаек отбраковываются магнитным дефектоскопом. Готовые обечайки подаются при помощи подвесного цепного конвейера на сборку аппаратов.

В поточной линии для сборки-сварки крышек и днищ (рис. 193) на стенде 1 производится газокислородная обрезка кромок днищ. Затем по монорельсу днище передается на стенд 2, где размечаются и накерниваются отверстия. На установке 3 производится автоматическая газокислородная вырезка отверстий, после чего днище поступает на стенд 4 для сборки и прихватки фланца. На стенде 5 полуавтоматом А-537, установленным стационарно, сваривается в среде углекислого газа внутренний шов, соединяющий фланец с днищем, а на стенде 6 сваривается наружный шов под флюсом сварочным трактором ТС-17МУ. На стенде 7 производится установка патрубков, а на стенде 8 — перегородок. Привариваются перегородки к днищу в среде углекислого газа полуавтоматом А-537. После контроля качества сварки крышка подается на участок механической обработки, откуда по рольгангу поступает в камеру подготовки к окраске, а затем пневматическим подъемным столом подается на подвесной конвейер, который транспортирует крышки в окрасочную и сушильную камеры. Готовые крышки поступают на линию сборки кожухотрубной аппаратуры.

Применение поточных линий значительно повысило производительность труда на заводе. Так, на участке сборки-сварки обечаек съем продукции с 1 м² производственной площади увеличился в четыре раза.

§ 4. Нормирование работ по сварке и резке

• **Определение нормы времени на сварку и резку.** Норма времени складается из следующих элементов:

а) подготовительно-заключительного времени; оно дается на партию изделий и включает время на получение задания, инструк-

таж, ознакомление с работой, подготовку приспособления, подготовку сварочного трансформатора, горелки, сдачу работы;

б) основного времени, которое дается на данную деталь или на 1 м шва или реза; под ним понимается время, идущее только на процесс сварки или резки, включая время на разогрев металла в начале работы;

в) вспомогательного времени, учитывающего затраты на смену электродов, промер и осмотр шва, очистку кромок, очистку швов от шлака и брызг, установку и уборку изделия, клеймение швов, переходы сварщика или резчика с одного места сварки на другое, отдых сварщика и др.;

г) дополнительного времени на обслуживание рабочего места, включающего затраты на раскладку и уборку инструмента, установку и смену баллонов, подключение шлангов, регулирование тока, давление газов, зажигание, регулирование и охлаждение горелки.

Основное время зависит от вида и толщины свариваемого металла, тока, мощности горелки, способа сварки, положения шва в пространстве и квалификации сварщика. При резке основное время зависит от толщины разрезаемого металла.

Для того чтобы найти общее время на сварку, нужно найти сначала основное время, а затем прибавить к нему дополнительные затраты времени по пунктам «а», «в», «г». Чем лучше организация труда и рабочего места, тем меньше будут эти дополнительные затраты времени и тем выше производительность труда сварщика.

Основное время в часах при дуговой сварке определяется двумя основными величинами: количеством наплавленного металла в граммах и коэффициентом наплавки K_n в г/а · час. Для определения скорости сварки пользуются формулой

$$v = \frac{K_n \cdot I}{7,85 \cdot F} \text{ см/час.} \quad (1)$$

Если обозначить длину шва в сантиметрах через L , а время сварки его в часах через t , то скорость сварки (v) будет также равна:

$$v = \frac{L}{t} \text{ см/час,} \quad (2)$$

откуда время сварки в часах равно $t = \frac{L}{v}$. Подставив сюда значение v из формулы (1), получим:

$$t = \frac{7,85 \cdot F \cdot L}{K_n \cdot I} \quad (3)$$

Произведение площади шва в квадратных сантиметрах (F) на длину шва (L) в сантиметрах и удельный вес наплавленного ме-

талла ($7,85 \text{ г/см}^3$) есть не что иное, как общий вес наплавленного металла шва (G) в граммах:

$$G = 7,85 \cdot F \cdot L. \quad (4)$$

Тогда формула (3) для сварки швов в нижнем положении примет вид:

$$t = \frac{G}{K_n \cdot I}. \quad (5)$$

Количество наплавленного металла G подсчитывается по таблицам, соответственно сечению швов и их длине. Площади поперечного сечения швов подсчитывают по чертежам сварных соединений. В практике нормирования для этого обычно пользуются готовыми таблицами, в которых заранее подсчитаны веса наплавленного металла для 1 пог. м шва при различных способах разделки кромок под сварку и разных толщинах свариваемого металла.

Полученное по формуле (5) время t нужно увеличить на 25% при сварке вертикального шва; на 30% для горизонтального и на 60% для потолочного шва.

Подготовительно-заключительное, вспомогательное и дополнительное время при ручной дуговой сварке составляет в процентах от основного времени: для сварки в условиях цеха—от 30 до 50%; для монтажной сварки на строительстве—от 40 до 60%.

При автоматической сварке под флюсом основной величиной является скорость сварки (v), которая задается выбранным режимом сварки.

Из формулы (2) время автоматической сварки шва длиной L будет равно:

$$t = \frac{L}{v} \text{ час.}$$

Вспомогательное время при автоматической сварке (на регулирование режима, установку и снятие изделия и пр.) подсчитывается отдельно для каждой операции с помощью нормировочных таблиц, составленных по данным хронометража этих операций. Оно может составлять от 10 до 30% основного времени сварки.

Основное время при газовой сварке подсчитывают по формуле

$$t = K \cdot s \text{ мин/пог. м,}$$

где s — толщина свариваемого металла, мм;

K — коэффициент, зависящий от рода свариваемого металла.

Значения коэффициента K принимают следующими:

для малоуглеродистой стали $K = 4 \div 5$;

для легированной стали, чугуна, латуни и бронзы $K = 6$;

для меди $K = 3,5$;

для алюминия и его сплавов $K = 4$.

Основное время при сварке малоуглеродистой стали можно брать также по табл. 74.

Основное время сварки малоуглеродистой стали

Вид сварки	Основное время сварки (мин) листов толщины, мм								
	0,5	1	2	3	4	5	6	8	10
С отбортовкой кромок, без присадочного металла	4	—	—	—	—	—	—	—	—
В стык без скоса кромок, односторонний	—	9	10	11	12	14	—	—	—
В стык, угол скоса кромок 35°, односторонний	—	—	—	—	—	20	25	30	50

Для других условий и видов сварки цифры табл. 74 нужно умножить на следующие коэффициенты:

для вертикальных швов	1,2
» потолочных швов	1,6
» правой сварки	0,85
» легированных сталей	1,2
» меди	0,85
» латуни и бронзы	0,7
» алюминия и его сплавов	0,6

Основное время при кислородной резке подсчитывают по формуле

$$t = \frac{L}{v} \text{ мин,}$$

где L — длина резки, мм;
 v — скорость резки, мм/мин.

Скорость резки берется по данным табл. 68, 69 и 70 в зависимости от способа ее выполнения.

Время, затрачиваемое на подогрев металла в начальной точке у края листа при использовании в качестве горючего ацетилена, составляет: для стали толщиной 10—20 мм 5—10 сек, для стали 20—100 мм 7—25 сек, для стали 100—200 мм 25—40 сек. При работе на керосине это время нужно увеличить на 30%, а при работе на газах — заменителях ацетилена — на 40—60%.

§ 5. Определение расхода электроэнергии, электродов, флюсов и газов

Расход электроэнергии. При дуговой сварке расход электроэнергии подсчитывается по количеству наплавленного металла. В зависимости от типа агрегата, применяемого для питания сварочных постов, примерный расход энергии на 1 кг наплавленного металла составляет:

При ручной сварке однофазным переменным током от однопостового сварочного трансформатора	3,5—3,8
При сварке под флюсом одной проволокой на переменном токе	3—3,5
При однопостовой сварке трехфазной дугой	2,65—3
При сварке постоянным током от однопостового преобразователя при 60 в	8—9
То же, при 40 в	5—5,5

Расход электродов и проволоки. При дуговой сварке весовая потребность в электродах определяется по общему весу наплавленного металла шва, к которому прибавляется 20—30% для электродов с тонким покрытием и 40—60% для электродов с толстым покрытием. Количество потребных электродов в штуках подсчитывается делением общего веса электродов на вес одного электрода с учетом веса покрытия.

При сварке под флюсом расход электродной проволоки можно подсчитать следующим образом: сначала подсчитывают вес наплавленного металла, исходя из геометрических размеров шва, затем к полученной величине прибавляют 2%, учитывающие потери проволоки при наладке режима, на вывод кратера шва и пр.

Для упрощения подсчета количества наплавленного металла швов, выполненных в стык, можно пользоваться следующей формулой

$$G = C \cdot s^2,$$

где G — вес наплавленного металла в граммах на 1 м шва;

C — коэффициент;

s — толщина свариваемого металла, мм.

Значения коэффициента C берут по данным табл. 75.

При газовой сварке для определения общего расхода проволоки к полученному значению C прибавляют 10—15% на потери от уга-
ра и разбрызгивания.

Например, нужно сварить медные листы толщиной $s=10$ мм односторонним швом с V-образной подготовкой кромок; угол скоса 40° . Из табл. 75 находим значение $C = 14$. Тогда $G = 14 \times 10^2 = 1400$ г на 1 м шва, или 1,4 кг на 1 м шва.

Учитывая потери на угар и разбрызгивание в размере 10%, получаем общий расход присадочной проволоки:

$$1,4 \times 1,1 = 1,54 \text{ кг/м.}$$

Сварщик и резчик должны экономить кислород, ацетилен (карбид) или другой горючий газ присадочную проволоку, не допускать их перерасхода против установленных норм, обеспечивая в то же время высокое качество выполнения работ по сварке и резке.

Значение коэффициента C при сварке в стык

Металл	Толщина, мм	Подготовка шва	Коэффициент C
Сталь	До 5	Без скоса	12,0
»	Свыше 5	Скос 45°	10,0
»	» 5	» 35°	8,0
»	» 5	» 30°	7,0
Медь	До 4	Без скоса	18,0
»	Свыше 4	Скос 45°	14,0
Латунь	До 4	Без скоса	16,0
»	Свыше 4	Скос 45°	13,0
Алюминий	До 4	Без скоса	6,5
»	Свыше 4	Скос 45°	4,5

Расход флюса при сварке принимают равным $(1 \div 1,5) G$, где G — вес расплавленной проволоки.

Расход газов. При газовой сварке расход газов определяется по мощности наконечника и времени сварки. Для подсчета расхода ацетилена на 1 м шва нужно величину мощности наконечника в л/час разделить на 60, а затем полученный результат умножить на основное время сварки в минутах и на коэффициент 1,05, учитывающий дополнительный расход ацетилена на зажигание и регулирование горелки, прихватки и пр.

Например, для сварки латуни толщиной 10 мм мощность горелки равна: $10 \times 100 = 1000$ л ацетилена в час.

В минуту это составит:

$$\frac{1000}{60} = 16,6 \text{ л/мин.}$$

Основное время на сварку 1 м шва по табл. 74 будет равно $50 \times 0,7 = 35$ мин. Следовательно, расход ацетилена составит:

$$16,6 \times 35 \times 1,05 = 610 \text{ л/пог. м,}$$

Чтобы подсчитать расход кислорода, нужно полученный расход ацетилена умножить на коэффициент 1,4, считая, что расход кислорода при сварке латуни на 40% больше расхода ацетилена.

В нашем примере расход кислорода равен:

$$1,4 \times 610 = 854 \text{ л/пог. м.}$$

Расход кислорода и ацетилена на резку определяют по таблицам режимов резки для металла данной толщины (см. табл. 68, 69 и 70).

ГЛАВА XXVI

ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ СВАРКЕ И РЕЗКЕ

В социалистическом обществе забота о здоровье трудящихся и создании безопасных условий труда на производстве является одной из главных задач. Советские законы о труде и технике безопасности — самые передовые в мире, они обеспечивают максимальную охрану здоровья трудящихся и создают безопасные условия труда.

В капиталистических же странах число несчастных случаев на производстве очень велико; например, в США оно превышает 2 миллиона случаев в год. Капиталисты не заинтересованы в затрате средств на оздоровление условий труда, так как многомиллионная армия безработных обеспечивает возможность быстрой замены рабочих, потерявших трудоспособность.

В нашей стране охрана труда и техника безопасности находятся под неослабным наблюдением партии и правительства. Для контроля за соблюдением действующего законодательства о труде и технике безопасности профессиональные союзы имеют штат специальных технических инспекторов.

Государственная санитарная инспекция наблюдает за санитарно-гигиеническим состоянием предприятий. Общественный контроль в области охраны труда на предприятиях осуществляется комиссиями по охране труда и общественными инспекторами местных профсоюзных организаций.

Ответственность за обеспечение безопасных условий работы и соблюдение действующих норм по технике безопасности несет администрация предприятия.

§ 1. Опасности, связанные с выполнением сварочных работ

Вредное влияние излучений электрической дуги. Невидимые ультрафиолетовые лучи, испускаемые сварочной дугой, вредно действуют на сетчатую и роговую оболочки глаз. Если смотреть незащищенными глазами на свет дуги в течение 5—10 мин, то спустя 1—2 час после этого появляются сильные боли в глазах,

спазмы век, слезотечение, светобоязнь и воспаление глаз. В этом случае нужно обратиться к врачу.

Другие невидимые лучи (инфракрасные), также испускаемые электрической дугой, вызывают при длительном действии серьезные заболевания глаз.

Для защиты зрения сварщика применяют щитки и шлемы с защитными стеклами. Эти стекла совершенно не пропускают ультрафиолетовых лучей, а инфракрасные лучи пропускают лишь в пределах от 0,1 до 3% от общего их количества. Марки и характеристики защитных стекол для электросварщика приведены в главе II.

Для предохранения от действия лучей сварочной дуги людей, работающих по соседству, места сварки ограждаются светонепроницаемыми щитами, ширмами или кабинами из фанеры и брезента высотой 1,8 м. Для улучшения вентиляции внутри кабины стенки не доводят до пола на 25—30 см. Чтобы уменьшить разность в яркости света, стенки кабин лучше окрашивать в матовые светлые цвета (серый, голубой, зеленый, желтый) и увеличивать искусственную освещенность рабочего места.

Загрязнение воздуха пылью, вредными парами и газами. При сварке образуется пыль от окисления паров металла. Около факела сварочной дуги количество пыли может достигать 130 мг* на 1 м³ воздуха. В сварочных помещениях содержание пыли не должно превышать 5 мг на 1 м³ воздуха. Содержание окислов азота в воздухе не должно превышать 3 мг на 1 м³.

Кроме окислов азота, при сварке образуется окись углерода, содержание которой не должно превышать 10—20 мг на 1 м³ воздуха.

Для удаления пыли и вредных газов (окислов меди, марганца, фтористых соединений и пр.) над постоянными местами сварки делают местные отсосы с установкой вентиляционных зонтов.

Количество воздуха, отсасываемого от каждого сварочного поста, должно быть от 4000 до 6000 м³ на 1 кг расходуемых электродов. Особенно вредной является сварка внутри резервуаров, где скапливается много пыли и вредных газов. В этом случае для вентиляции в резервуар подается свежий воздух. Лучше всего вентиляционный воздух подавать непосредственно в зону дыхания сварщика, подводя воздух по шлангу в щиток, имеющий полую ручку и двойные стекла.

При горячей сварке необходимо устраивать вытяжные зонты для удаления продуктов горения из подогревательных ям и горнов. Сварку цинка, латуни, свинца необходимо вести в масках (респираторах) для предохранения от вдыхания выделяющихся окислов и паров цинка, меди и свинца.

Поражение электрическим током. Предельное напряжение холостого хода при сварке не должно превышать, как правило, 70 в.

* мг — миллиграмм — 0,001 грамма.

Особенно опасно поражение током при сварке внутри резервуаров, где сварщик соприкасается с металлическими поверхностями, находящимися под напряжением по отношению к электрододержателю. Токоведущие части сварочных машин и аппаратов должны быть хорошо изолированы и их корпуса заземлены. Провода не должны иметь поврежденной изоляции. Сварщик должен располагаться внутри резервуара на резиновом коврике и надевать на голову резиновый шлем. Исправность изоляции проводов должна регулярно проверяться.

Основные опасности, возникающие при газовой сварке и резке. Основными источниками опасности при газовой сварке и резке могут быть взрывы ацетилено-воздушной смеси при неправильном обращении с ацетиленовыми генераторами, карбидом кальция и горелками, при обратном ударе пламени. Возможны также случаи воспламенения клапанов кислородных редукторов при попадании на них следов масел или при резком открывании вентиля баллона. Наиболее опасен взрыв кислородного баллона, находящегося под высоким давлением.

Неосторожное обращение с пламенем горелки может явиться причиной ожога сварщика и пожара в помещении. При вытяжной вентиляции от мест газовой сварки и резки отсос воздуха должен составлять 1000—1500 м³ на 1 м³ расходуемого ацетилена.

§ 2. Основы техники безопасности при дуговой и газовой сварке

К выполнению сварочных работ могут допускаться только рабочие, сдавшие техминимум по правилам техники безопасности.

Запрещается производить сварочные работы в непосредственной близости от огнеопасных и легко воспламеняющихся материалов (бензина, керосина, пакли, стружки и пр.).

Сварка внутри резервуаров, котлов и в тесных закрытых пространствах должна вестись с систематическими перерывами и выходом рабочих на свежий воздух. Снаружи резервуара должен неотлучно находиться второй человек — наблюдающий. Для искусственного освещения применяют лампы на 12 в.

Сварочные работы, систематически выполняемые и не носящие временного характера, должны производиться в отдельных надлежащим образом вентилируемых помещениях. Площадь помещения должна определяться из расчета не менее 4 м² на сварочный пост, между сварочными постами должны быть свободные проходы не менее 0,8 м. Площадь отдельного сварочного помещения должна быть не менее 10 м². При этом площади, свободной от оборудования и материалов, должно быть не менее 5 м² на каждый сварочный пост.

Все сварочные установки должны эксплуатироваться под наблюдением ответственных лиц, имеющих необходимую техническую и практическую подготовку в области сварочного дела.

Дуговая сварка. При работе от нескольких трансформаторов схема их включения должна исключать возможность получения двойной величины напряжения между изделием и электродом. Корпуса всех сварочных машин и трансформаторов должны быть надежно заземлены.

Все наладочные операции на автоматических головках для сварки под слоем флюса должны производиться при отключенном трансформаторе. Сварочная головка в этом случае не должна находиться под напряжением. Сварочный трансформатор должен включаться только на время сварки.

Все рукоятки и маховички управления головкой должны быть изготовлены из изоляционного материала, чтобы сварщик во время сварки не касался металлических частей головки. Для защиты от брызг расплавленного металла электросварщик должен быть одет в брезентовый костюм, иметь на руках брезентовые рукавицы, а на голове — головной убор (см. гл. II).

При поражении током пострадавшему должна быть оказана немедленная помощь. Если пораженный током еще держится за провод, то нужно немедленно выключить ток или заземлить этот провод, или приподнять пострадавшего с земли. При этом лица, оказывающие помощь пострадавшему, должны иметь на руках резиновые перчатки и надежно изолировать себя от земли (стоя на сухой доске, резину, надеть калоши и пр.). После отключения пострадавшего от электрической цепи необходимо немедленно вызвать врача.

Газовая сварка и резка. При газовой сварке и резке металлов на зрение вредно действуют следующие лучи: на сетчатую и сосудистую оболочку глаз — видимые лучи; на роговицу и хрусталик глаза — невидимые инфракрасные лучи. Если длительное время смотреть незащищенными глазами на газовое пламя, то возможна временная потеря зрения и образование катаракты (помутнение хрусталика глаза).

Опасность для глаз представляют также искры, образующиеся при нагревании, плавлении и окислении металла, а также брызги расплавленных шлаков.

Для защиты глаз от лучей пламени применяют очки со светофильтрами из стекла Г-1, Г-2 или Г-3 в зависимости от мощности пламени (ГОСТ 9497—60). При выполнении вспомогательных работ в сварочных цехах применяются очки со стеклами В-2 или Г-1. Данные о назначении защитных стекол различных марок, применяемых при газовой сварке и резке, приведены в табл. 76.

Для защиты глаз от пыли и частиц металла используются защитные очки с простыми прозрачными стеклами. Этим стеклом целесообразно сверху прикрывать и стекла светофильтров для защиты их от порчи брызгами металла. Защитные очки используются закрытого типа с чешуйчатой оправой моделей № 1395 или СО-32 или специальные очки с откидной рамкой. Последние удобнее,

**Типы защитных стекол (светофильтров) для очков
при газовой сварке и резке (по ГОСТ 9497—60)**

Обозначение	Классификационный номер светофильтра	Цвет стекла светофильтра	Рекомендация применения
Г-1	4	Темное стекло	Для газосварщиков и для вспомогательных рабочих при электросварке на открытых площадках
Г-2	5	То же	Для газосварщиков (газовая сварка и резка средней мощности)
Г-3	6	»	Для газосварщиков (мощная газовая сварка и резка)

так как не требуют передвижки очков на лоб во время перерыва в работе или в тех случаях, когда сварщику нужно рассмотреть чертеж, деталь и др. Вместо тесемки для укрепления очков на голове лучше использовать резиновую полоску. Существуют также конструкции очков, укрепляемых на специальном устройстве; такие очки не давят на лицо сварщика.

К ацетиленовому аппарату с открытым огнем не следует подходить ближе чем на 10 м. Генератор должен быть установлен в вентилируемом помещении, имеющем объем не менее 60 м³. Температура помещения должна быть не ниже +5° во избежание замерзания воды в аппарате.

Нужно следить за тем, чтобы водяной затвор всегда был наполнен водой до надлежащего уровня и периодически проверять его, открывая пробный кран затвора. После пуска воды в реторту с карбидом следует продувать ее первыми порциями газа, выпуская их наружу. Запрещается работать без включения водяного затвора или при неисправном водяном затворе.

Нельзя переполнять карбидом секции загрузочных коробок или применять карбид не той грануляции, которая указана в техническом паспорте генератора. Необходимо следить за тем, чтобы корпус генератора и резервуар, из которого подается вода в камеры, всегда были заполнены достаточным количеством воды. Открывать камеры для перезарядки следует только тогда, когда из пробного крана камеры будет выходить вода. Перед открыванием крышки нужно снизить давление в камере, выпустив газ через пробный кран. Нельзя перегружать генератор, работая с расходом ацетилена выше установленного предела. Запрещается к одному водяному затвору присоединять несколько горелок или резаков. Следует тщательно промывать генератор от известкового ила не реже двух раз в месяц при ежедневной работе генератора.

Если необходимо произвести заварку дефектов генератора, который уже был в работе, то предварительно следует тщательно очистить его от остатков засохшего известкового ила и несколько раз промыть, заполняя водой, а все работы по сварке производить на открытом воздухе.

Во время перевозки баллонов с газом на них должен быть навернут защитный колпак для предохранения вентиля от повреждения или загрязнения. Перевозить баллоны без колпака не разрешается. Баллоны следует переносить на носилках или перевозить на специальных тележках. Падение баллона с газом может вызвать взрыв, поэтому запрещается переносить их на плечах.

При перевозке баллонов, а также при их погрузке и выгрузке необходимо принимать все меры предосторожности против падения и ударов баллонов друг о друга.

Наполненные баллоны должны храниться в вертикальном положении закрепленными или в специальных стойках, устраняющих возможность их падения. Порожние баллоны можно складывать в штабеля высотой не более четырех рядов.

Хранить кислородные баллоны на месте сварки или резки разрешается только при монтажных и строительных работах. При этом баллоны нужно располагать на расстоянии не менее 5 м от сварочной горелки или резака. Запрещается устанавливать или укладывать баллоны около печей, отопительных приборов и других источников тепла. Для хранения партии наполненных баллонов на стройплощадках должен быть построен временный склад из огнестойкого материала или листовой стали.

На каждом передвижном сварочном посту разрешается иметь только два кислородных баллона: один, находящийся в работе, другой — запасной.

Если сварочных постов более десяти, должно быть организовано централизованное снабжение их газами по трубопроводу.

Кислородные баллоны и их вентили необходимо предохранять от попадания масел, которые способны самовоспламеняться в среде сжатого кислорода, что при известных условиях может послужить причиной взрыва баллона. Особенно опасным по этой причине является попадание масла внутрь кислородного баллона, а также попадание в баллон горючих газов, которые образуют с кислородом взрывоопасные смеси.

При сварке можно применять только редукторы с исправными манометрами. Кислородные редукторы должны предохраняться от попадания на них масел. Кислород в редуктор следует впускать постепенно, медленно открывая вентиль баллона и полностью ослабляя регулирующий винт редуктора. При впуске газа нельзя становиться перед редуктором. Необходимо следить за герметичностью редуктора и его соединений с вентилем баллонов и шлангами.

При резке керосинорезом следует на входном штуцере его (кислородном) устанавливать предохранительный клапан, препят-

ствующий обратному удару пламени в кислородный шланг. Бачок для жидкого горючего должен заполняться не более чем на $\frac{3}{4}$ его емкости. Давление кислорода перед керосинорезом должно поддерживаться несколько более высоким, чем давление в бачке с керосином для предупреждения возможности попадания керосина в кислородный шланг. Следует осторожно обращаться с керосином, не проливать его на пол цеха или разрезаемый лист металла во избежание возможного загорания керосина. В случае загорания керосина для гашения пламени следует применять не воду, а песок, пенный или углекислотный огнетушитель, брезент или войлок.

Ремонт редукторов и устранение пропусков газа в них необходимо поручать только специально обученному персоналу.

С горелкой и резаком необходимо обращаться осторожно, предохраняя их от повреждений и загрязнений, следить за плотностью всех соединений горелки, не допуская пропусков газа и немедленно устраняя замеченные дефекты. Перед зажиганием горелки или резака нужно предварительно продуть ацетиленом шланг, соединяющий горелку или резак с водяным затвором. При тушении пламени горелки, хлопке или обратном ударе пламени надо быстро закрывать сначала ацетиленовый вентиль, а затем кислородный. При работе горелкой нужно всегда направлять пламя так, чтобы оно не могло задеть другого рабочего, шланг, баллон или горючий материал.

ЛИТЕРАТУРА

Алексеев Е. К., Мельник В. И. Сварочное дело. Госстройиздат, 1959.

Глиزمانенко Д. Л. Газовая сварка и резка. Трудрезервиздат, 1957.

Гузов С. Г., Стрижевский И. И. Техника безопасности при газопламенной обработке металлов. Изд. 2-е, Машгиз, 1961.

Демянцевич В. П., Думов С. И. Технология электрической дуговой сварки. Машгиз, 1959.

Новожилов Н. М., Суслов В. Н. Сварка плавящимся электродом в углекислом газе. Машгиз, 1958.

Руководство по электродуговой сварке под флюсом. Под ред. Б. Е. Патона. Машгиз, 1957.

Рыбаков В. М., Вощанов К. П. Технология ручной дуговой сварки. Машгиз, 1953.

Справочник по сварке. Под ред. инж. Е. В. Соколова, т. 1 и 2. Машгиз, 1960.

Цегельский В. Л. Электросварщик. Профтехиздат, 1960.

Черняк В. С., Вощанов К. П. Справочник молодого сварщика. Изд. 2-е, Профтехиздат, 1961.



СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

Введение	3
Глава I. Основные понятия о сварке металлов	
§ 1. Общие сведения	6
§ 2. Развитие сварки и ее значение	7
§ 3. Классификация способов сварки	10
Глава II. Общие сведения о типовом оборудовании для ручной дуговой сварки и его обслуживании	
§ 1. Электросварочный пост ручной сварки	14
§ 2. Понятие об устройстве сварочного преобразователя	16
§ 3. Включение, регулирование и выключение сварочного преобразователя	16
§ 4. Понятие об устройстве сварочного трансформатора и регулятора (дресселя)	18
§ 5. Включение, регулирование и выключение сварочного трансформатора	20
§ 6. Принадлежности и инструмент сварщика	21
Глава III. Сварные соединения	
§ 1. Виды сварных соединений и швов	25
§ 2. Обозначение сварных швов на чертежах	31
§ 3. Подготовка металла под сварку	35
§ 4. Сборка изделий под сварку	36
Глава IV. Электрическая сварочная дуга	
§ 1. Основные сведения о сварочной дуге	40
§ 2. Горение дуги	44
§ 3. Плавление и перенос металла в дуге	49
Глава V. Металлургические процессы при сварке	
§ 1. Особенности металлургических процессов при сварке	53
§ 2. Основные реакции в зоне сварки	54
§ 3. Строение сварного шва	62
Глава VI. Электроды для дуговой сварки	
§ 1. Электродная проволока	69
§ 2. Электродные покрытия	72
§ 3. Способы нанесения покрытий на электроды	82
§ 4. Порошковая проволока	84
§ 5. Угольные и графитированные электроды	85
Глава VII. Техника ручной дуговой сварки	
§ 1. Выбор сварочного тока	87
§ 2. Возбуждение дуги и поддержание ее горения	88

§ 3. Наплавка валика	89
§ 4. Сварка стыковых швов	91
§ 5. Сварка угловых швов	92
§ 6. Сварка вертикальных, горизонтальных и потолочных швов	94
§ 7. Сварка многослойных швов	95
§ 8. Сварка тонколистовой стали	96
§ 9. Сварка с глубоким проплавлением	99
§ 10. Сварка погруженной дугой	102
§ 11. Сварка наклонным и лежащим электродами	103
§ 12. Сварка несколькими электродами	106
§ 13. Сварка ванным способом	107
§ 14. Сварка трехфазной дугой	110

Глава VIII. Деформации, напряжения и термообработка при сварке

§ 1. Основные понятия. Связь между напряжением и деформациями. Виды напряжений	114
§ 2. Расчет швов на прочность	119
§ 3. Тепловые (термические) деформации и напряжения	122
§ 4. Причины возникновения напряжений и деформаций при сварке	124
§ 5. Основные мероприятия по уменьшению напряжений и деформаций при сварке	126
§ 6. Термическая обработка сварных изделий	132
§ 7. Влияние низких и высоких температур на свойства сварных соединений	134

Глава IX. Технология ручной дуговой сварки стали

§ 1. Понятие о свариваемости стали	137
§ 2. Влияние химического состава на свариваемость стали	138
§ 3. Сварка низколегированных конструкционных сталей	139
§ 4. Сварка низколегированных молибденовых и хромомолибденовых теплоустойчивых сталей	142
§ 5. Сварка хромокремнемарганцевых сталей (хромансиль)	143
§ 6. Сварка марганцовистых сталей	146
§ 7. Сварка хромистых сталей	147
§ 8. Сварка хромоникелевых аустенитных сталей	150
§ 9. Сварка жаропрочных сплавов	152

Глава X. Особенности сварки некоторых конструкций

§ 1. Сварка резервуаров и сосудов	156
§ 2. Сварка трубопроводов	160
§ 3. Сварка стропильных и машиностроительных конструкций	166

Глава XI. Автоматическая и полуавтоматическая сварка под флюсом

§ 1. Преимущества механизации и автоматизации дуговой сварки	170
§ 2. Электродная проволока для сварки под флюсом	173
§ 3. Флюсы для сварки	174
§ 4. Технология автоматической сварки под флюсом	180
§ 5. Автоматическая сварка под флюсом легированных сталей	190
§ 6. Шланговая сварка, полуавтоматическая и автоматическая	193
§ 7. Многодуговая сварка под флюсом	198
§ 8. Автоматическая сварка под флюсом трехфазной дугой	200
§ 9. Автоматическая сварка электрозаклепками	201
§ 10. Сварка с намагничивающимся флюсом	204
§ 11. Электрошлаковая сварка	206

Глава XII. Сварка в среде инертных защитных газов

- § 1. Принцип, преимущества и области применения сварки в среде защитных газов 212
- § 2. Газы, электроды и аппаратура для сварки 213
- § 3. Технология аргоно-дуговой сварки различных металлов. . . 219

Глава XIII. Сварка в среде углекислого газа

- § 1. Особенности процесса сварки в среде углекислого газа . . . 227
- § 2. Требования, предъявляемые к углекислому газу 230
- § 3. Аппаратура и оборудование для сварки 231
- § 4. Технология сварки в среде углекислого газа 243

Глава XIV. Дуговая сварка чугуна

- § 1. Особенности сварки чугуна 248
- § 2. Сварка чугуна без предварительного подогрева 249
- § 3. Сварка чугуна с предварительным подогревом 256

Глава XV. Дуговая сварка цветных металлов и их сплавов

- § 1. Сварка меди 260
- § 2. Сварка бронзы, латуни и медноникелевых сплавов 263
- § 3. Сварка алюминия и его сплавов 268
- § 4. Сварка магния и его сплавов 272
- § 5. Сварка титана и циркония 274

Глава XVI. Наплавка твердыми сплавами и металлами

- § 1. Твердые сплавы 276
- § 2. Технология наплавки 280

Глава XVII. Дуговая резка. Сварка и резка под водой

- § 1. Дуговая резка угольным и металлическим электродами . . . 286
- § 2. Воздушно-дуговая резка 287
- § 3. Газодуговая резка проникающей дугой 289
- § 4. Сварка и резка под водой электрической дугой 290

Глава XVIII. Трансформаторы для сварки переменным током

- § 1. Основные требования к сварочным трансформаторам и их внешние характеристики 293
- § 2. Трансформаторы с отдельным регулятором 294
- § 3. Трансформаторы со встроенным регулятором 296
- § 4. Осцилляторы. Импульсные возбудители дуги 300
- § 5. Параллельное включение сварочных трансформаторов . . . 303
- § 6. Многопостовые сварочные трансформаторы 304
- § 7. Трансформаторы для сварки трехфазной дугой 306
- § 8. Обслуживание сварочных трансформаторов 307

Глава XIX. Сварочные преобразователи для сварки постоянным током

- § 1. Основные требования к сварочным преобразователям 309
- § 2. Многопостовые преобразователи 311
- § 3. Однопостовые преобразователи 315
- § 4. Сварочные выпрямители 321
- § 5. Применение многопостовых и однопостовых преобразователей . 323
- § 6. Работа параллельно включенных сварочных генераторов . . . 324
- § 7. Обслуживание сварочных преобразователей 325
- § 8. Области применения сварочных трансформаторов и преобразователей 325

Глава XX. Оборудование для автоматической сварки

§ 1. Общие сведения	327
§ 2. Сварочные головки	328
§ 3. Сварочные тракторы	329
§ 4. Трансформаторы для автоматической сварки	334

Глава XXI. Материалы и оборудование для газовой сварки и резки

§ 1. Газы, присадочная проволока и флюсы для газовой сварки	337
§ 2. Ацетиленовые генераторы и водяные затворы	341
§ 3. Баллоны, редукторы, шланги	346
§ 4. Сварочные горелки	350

Глава XXII. Технология газовой сварки

§ 1. Сварочное пламя	355
§ 2. Техника газовой сварки	357
§ 3. Сварка листов	362
§ 4. Сварка труб	363
§ 5. Сварка стали	364
§ 6. Сварка чугуна	368
§ 7. Сварка меди	370
§ 8. Сварка латуни	372
§ 9. Сварка бронзы	375
§ 10. Сварка алюминия и его сплавов	376
§ 11. Сварка магниевых сплавов	377
§ 12. Наплавка твердых сплавов	378
§ 13. Сварка пластмасс	380

Глава XXIII. Кислородная резка

§ 1. Сущность процесса кислородной резки	381
§ 2. Газы и аппаратура для кислородной резки	382
§ 3. Технология разделительной кислородной резки	387
§ 4. Механизированная кислородная резка	388
§ 5. Поверхностная кислородная резка	398
§ 6. Подводная кислородная резка	399
§ 7. Кислородно-флюсовая резка	400

Глава XXIV. Контроль сварных швов

§ 1. Виды контроля при сварке	403
§ 2. Дефекты сварных швов	404
§ 3. Способы контроля сварных швов и изделий	407

Глава XXV. Организация и нормирование сварочных работ

§ 1. Организация труда и рабочего места сварщика и резчика	417
§ 2. Приспособления для сборки и сварки	419
§ 3. Механизация и автоматизация сварочного производства	426
§ 4. Нормирование работ по сварке и резке	432
§ 5. Определение расхода электроэнергии, электродов, флюсов и газов.	435

Глава XXVI. Техника безопасности при сварке и резке

§ 1. Опасности, связанные с выполнением сварочных работ	438
§ 2. Основы техники безопасности при дуговой и газовой сварке	440

Литература	444