

**Г.Г.Чернышов  
В.Б.Мордынский**

**СПРАВОЧНИК  
МОЛОДОГО  
ЭЛЕКТРОСВАРЩИКА  
ПО РУЧНОЙ  
СВАРКЕ**

**МАШИНОСТРОЕНИЕ**

**Г.Г.Чернышов  
В.Б.Мордынский**

# **СПРАВОЧНИК МОЛОДОГО ЭЛЕКТРОСВАРЩИКА ПО РУЧНОЙ СВАРКЕ**

**Одобрено Ученым советом  
Государственного комитета СССР  
по профессионально-техническому образованию  
в качестве справочного пособия  
для средних профессионально-  
технических училищ**



**МОСКВА  
« МАШИНОСТРОЕНИЕ »**

**1987**

Рецензенты: А. А. Грошев и Я. М. Флакс

**Чернышов Г. Г., Мордынский В. Б.**

Ч-49 Справочник молодого электросварщика по ручной сварке: Справ. пособие для средних ПТУ.— М.: Машиностроение. 1987.—112 с.: ил. (В обл.): 55 к.

Рассмотрены сущность и виды ручной дуговой сварки, основные физико-химические процессы, протекающие в зоне дуги и свариваемом металле. Приведены сведения о сварочных материалах, современном оборудовании, показаны особенности технологии сварки различных металлов и сплавов. Рассмотрены возможные дефекты сварных соединений, способы их предупреждения, контроля и устранения. Даны сведения по технике безопасности.

Может быть использовано при профессиональном обучении рабочих на производстве.

Ч 270406000-277 277-87  
038(01)-87

ББК 34.64

СПРАВОЧНОЕ ПОСОБИЕ

**Георгий Георгиевич Чернышов,  
Виталий Брониславович Мордынский**

**СПРАВОЧНИК МОЛОДОГО ЭЛЕКТРОСВАРЩИКА ПО РУЧНОЙ СВАРКЕ**

Редактор **Т. Е. Черешнева**. Художественный редактор **И. К. Капралова**  
Обложка художника **И. Г. Фурман**. Технический редактор **Н. В. Тимофеевко**  
Корректоры **Т. В. Багдасарян, И. М. Борейша**

ИБ № 5038

Сдано в набор 09.01.87. Подписано в печать 14.07.87. Т-14892. Формат 70×100<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная № 2. Гарнитура литературная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 9,03. Усл. кр.-отт. 9,51. Уч.-изд. л. 10,65. Тираж 228 000 экз. Заказ 21. Цена 55 к.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Машиностроение», 107076, Москва, Стромынский пер., 4

Московская типография № 4 Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли  
129041, Москва, ул. Б. Переяславская, 46.

© Издательство «Машиностроение», 1987

## ВВЕДЕНИЕ

Сварка является одним из наиболее распространенных технологических процессов как в машиностроении, так и в строительстве. Основное применение находит сварка металлов и их сплавов при сооружении новых конструкций, ремонте различных изделий, машин и механизмов. Сварку можно выполнять на земле и под водой в любых пространственных положениях, в космосе.

Мысль о возможности практического применения «электрических искр» для плавления металлов впервые высказал в 1753 г. академик Российской Академии наук Г. Р. Рихман при исследованиях атмосферного электричества. В 1802 г. профессор Санкт-Петербургской военно-хирургической академии В. В. Петров открыл явление электрической дуги и указал возможные области ее практического применения.

Для практического осуществления электрической сварки металлов потребовались многие годы совместных усилий физиков и техников, направленных на создание электрических генераторов. Важную роль сыграли открытия и изобретения в области магнетизма и электричества.

Наши соотечественники первыми в мире во многих странах запатентовали способ дуговой сварки. В 1882 г. Н. Н. Бенардос предложил способ электрической дуговой сварки угольным электродом, а в 1888 г. Н. Г. Славянов предложил способ электрической дуговой сварки металлическим электродом. Они же изобрели и ряд других процессов и вариантов сварки, в частности устройство для механизми-

рованной подачи электрода в дугу, применение дробленого стекла в качестве флюса для защиты сварочной ванны от воздуха и др.

В дальнейшем в Швеции в 1907 г. Д. Кельберг предложил применять толстое покрытие на электродах с целью защиты сварочной ванны и стабилизации дуги.

В нашей стране в середине двадцатых годов начались довольно интенсивные исследования в различных областях сварки: во Владивостоке (В. П. Вологдин, Н. Н. Рыкалин, Г. К. Татур, С. А. Данилов), в Москве (Г. А. Николаев, К. К. Хренов, К. В. Любавский), в Ленинграде (В. П. Никитин, А. А. Алексеев, Н. О. Окерблом). Особую роль в развитии и становлении сварки в СССР сыграл академик Е. О. Патон, организовавший в 1929 г. лабораторию, а затем Институт электросварки АН УССР, в котором в конце 30-х годов и позднее были разработаны многие процессы механизированной сварки под флюсом, создан метод электрошлаковой сварки и электрошлакового переплава металла и др. Этот институт, являющийся ныне в СССР головным институтом по сварке, координирует всю работу по развитию, широкому внедрению и дальнейшему исследованию сварки в масштабе всей страны.

Все время развиваясь и совершенствуясь, ручная дуговая сварка не утратила своего ведущего положения и в настоящее время. Цель книги — оказание помощи при изучении теоретических основ дуговой сварки и особенностей технологии сварки различных материалов.



**Газовая сварка** основана на плавлении свариваемого и присадочного металлов высокотемпературным газокислородным пламенем. В качестве горючего для сгорания в кислороде применяют ацетилен, водород, пропан-бутановую смесь, пары керосина, бензина, природный, светильный, нефтяной, коксовый и другие газы.

**Термитная сварка** состоит в том, что свариваемые детали помещают в огнеупорную форму, а в установленный сверху тигель засыпают термит — порошкообразную смесь алюминия с железной окалиной. При горении термита развивается высокая температура (более 2000 °С), образуется жидкий металл, который при заполнении формы оплавляет кромки свариваемых изделий, заполняет зазор, образуя сварной шов.

**Электрошлаковая сварка** основана на плавлении свариваемого и присадочного металлов теплотой, выделяемой при прохождении электрического тока через расплавленный шлак в период установившегося процесса сварки.

В начале процесса возникает дуга, которая, расплавив небольшое количество флюса, шунтируется, прекращается горение дуги и начинается прохождение тока через расплавленный шлак.

Электрошлаковую сварку классифицируют по виду электрода, наличию колебаний электрода, числу электродов с общим подводом сварочного тока.

По виду электрода электрошлаковая сварка делится на сварку проволочным, пластинчатым электродом и плавящимся мундштуком; по наличию колебаний электрода — без колебаний и с колебаниями электрода; по числу электродов с общим подводом сварочного тока — одноэлектродную, двухэлектродную и многоэлектродную.

**Плазменная сварка** основана на пропуске электрического тока большой плотности через газовую среду, находящуюся под некоторым давлением, в результате чего газ получает ионизированное состояние, называемое плазмой. Температура плазменной струи достигает 50 000 °С. Плазменную сварку можно выполнять с поперечными, продольными и сложными колебаниями плазменной

струи, а также без колебаний плазменной струи.

**Электронно-лучевую сварку** выполняют в камерах с разрежением до  $133 \times (10^{-4}—10^{-6})$  Па. Теплота выделяется в результате бомбардировки поверхности металла электронами, имеющими большие скорости; анодом служит свариваемая деталь, катодом — вольфрамовая спираль.

Электронно-лучевую сварку можно выполнять без колебаний и с колебаниями электронного луча. По направлению колебаний различают электронно-лучевую сварку с продольными, поперечными, вертикальными и сложными колебаниями электронного луча.

**Лазерная сварка** осуществляется мощным световым лучом, получаемым от специальных твердых и газовых излучателей. Вакуум при сварке лазером не нужен, и ее можно выполнять на воздухе даже на значительном расстоянии от генератора.

**Контактная сварка** состоит в разогреве и расплавлении места соединения теплотой, выделяемой при прохождении электрического тока через контактируемые места свариваемых деталей; при приложении в этом месте сжимающего усилия образуется сварное соединение. По форме сварного соединения различают точечную, шовную, стыковую, рельефную, шовно-стыковую контактную сварку. Точечная сварка в свою очередь подразделяется на одно-, двух- и много-точечную. Стыковая сварка по характеру протекания процесса делится на сварку с прерывистым и непрерывным оплавлением и сварку сопротивлением.

Контактную сварку можно выполнять постоянным, переменным и пульсирующим током. По виду источника энергии контактная сварка подразделяется на конденсаторную, энергией, накопленной в магнитном поле и в мотор-генераторной системе и др.

**Диффузионную сварку** осуществляют в вакууме за счет взаимной диффузии атомов контактирующих частей при относительно длительном воздействии повышенной температуры и при незначительной пластической деформации.

**Газопрессовая сварка** основана на нагреве концов стержней или труб по всей длине окружности многопламенными горелками до пластического состояния или плавления и последующего сдавливания стержней внешним усилием.

**Ультразвуковая сварка** основана на совместном воздействии на свариваемые детали механических колебаний ультразвуковой частоты и небольших сжимающих усилий.

**Сварку трением** осуществляют при вращении одного из стержней и соприкосновении его торца с торцом закрепленного стержня; концы стержней разогреваются и с приложением осевого усилия свариваются.

**Холодная сварка** основана на способности схватывания металла при значительном давлении.

## § 2. ОСНОВНЫЕ ТИПЫ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Сварным соединением называют участок конструкции, в котором отдельные ее элементы соединены с помощью сварки. В сварное соединение входят сварной шов, прилегающая к нему зона основного металла со структурными и другими изменениями в результате термического действия сварки (зона термического влияния) и примыкающие к ней участки основного металла.

Сварной шов представляет собой закристаллизовавшийся металл, который в процессе сварки находился в расплавленном состоянии.

Свойства сварного соединения опреде-

ляются свойствами металла самого шва и зоны основного металла, прилегающего к шву, — зоны термического влияния. Необходимо учитывать и некоторую часть основного металла, прилегающую к зоне термического влияния и определяющую концентрацию напряжений в месте перехода от металла шва к основному металлу и пластических деформаций в зоне термического влияния, что отражается на характере и распределении усилий, действующих в сварном соединении.

По форме сопряжения свариваемых элементов можно выделить следующие основные типы сварных соединений: стыковые (рис. 1, *а*), тавровые (рис. 1, *б, в*), угловые (рис. 1, *г*), нахлесточные (рис. 1, *д*).

Сварные швы подразделяют по форме поперечного сечения на стыковые (рис. 2, *а*) и угловые (рис. 2, *б*). Разновидностью этих типов являются швы пробочные (рис. 2, *в*) и прорезные (рис. 2, *г*), выполняемые в нахлесточных соединениях. По форме в продольном направлении различают швы непрерывные и прерывистые.

С помощью стыковых швов образуют в основном стыковые соединения (см. рис. 2, *а*), с помощью угловых швов — тавровые, крестовые, угловые и нахлесточные соединения (см. рис. 1, *б—д*), с помощью пробочных и прорезных швов могут быть образованы нахлесточные и иногда тавровые соединения.

Стыковые швы, как правило, выполняют непрерывными; отличительным признаком для них обычно служит форма разделки кромок соединяемых деталей в

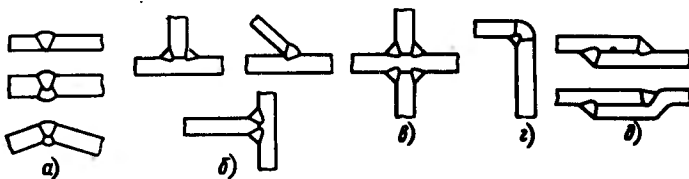
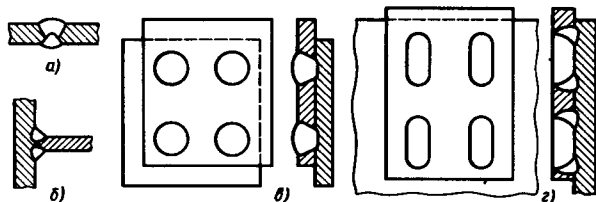


Рис. 1. Основные типы сварных соединений:

*а* — стыковые; *б, в* — тавровые; *г* — угловые; *д* — нахлесточные

Рис. 2. Основные типы сварных швов:

*а* — стыковые; *б* — угловые; *в* — пробочные; *г* — прорезные



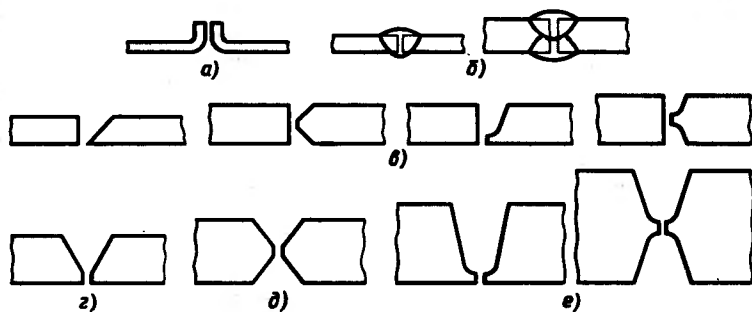


Рис. 3. Подготовка кромок стыковых швов:

*a* — с отбортовкой кромок; *b* — без разделки кромок; *в* — с разделкой одной кромки; *г* — с односторонней разделкой двух кромок; *д* — с X-образной разделкой двух кромок; *е* — с U-образной разделкой

поперечном сечении. По этому признаку различают следующие основные типы стыковых швов: с отбортовкой кромок (рис. 3, *a*); без разделки кромок — односторонние и двусторонние (рис. 3, *б*); с разделкой одной кромки — односторонней, двусторонней; с прямолинейной или криволинейной формой разделки (рис. 3, *в*); с односторонней разделкой двух кромок; с V-образной разделкой (рис. 3, *г*); с двусторонней разделкой двух кромок; X-образной разделкой (рис. 3, *д*). Разделка может быть образована прямыми линиями (скос кромок) либо иметь криволинейную форму (U-образная разделка, рис. 3, *е*).

Угловые швы различают по форме подготовки свариваемых кромок в поперечном сечении и плоскости шва по длине.

По форме поперечного сечения швы могут быть без разделки кромок (рис. 4, *a*), с односторонней разделкой кромки (рис. 4, *б*), с двусторонней разделкой кромок (рис. 4, *в*). По протяженности угловые швы могут быть непрерывными и преры-

вистыми, с шахматным и цепным расположением отрезков шва. Тавровые, нахлесточные и угловые соединения могут быть выполнены отрезками швов небольшой протяженности — точечными швами.

Пробочные швы по своей форме в плане (вид сверху) обычно имеют круглую форму и получаются в результате полного проплавления верхнего и частичного проплавления нижнего листов — их часто называют электрозаклепками, либо путем проплавления верхнего листа через предварительно проделанное в верхнем листе отверстие.

Прорезные швы, обычно удлиненной формы, получают путем приварки верхнего (накрывающего) листа к нижнему угловым швом по периметру прорези. В отдельных случаях прорезь может заполняться и полностью.

Подготовку кромок при ручной сварке регламентирует ГОСТ 5264—80. Форму разделки кромок и их сборку под сварку характеризуют четыре основных конструктивных элемента (рис. 5): зазор *b*, притупление *c*, угол скоса кромки  $\beta$  и

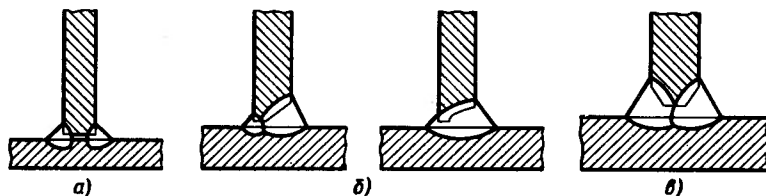


Рис. 4. Подготовка кромок угловых швов тавровых соединений:

*a* — без разделки; *б* — с односторонней разделкой; *в* — с двусторонней разделкой

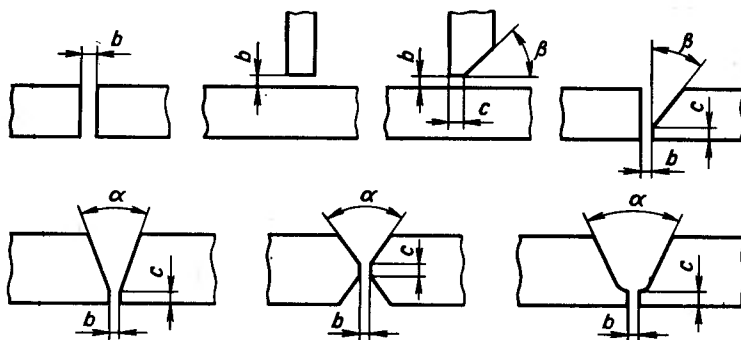


Рис. 5. Конструктивные элементы разделки кромок и сборки кромок под сварку

угол разделки кромок  $\alpha$ , равный  $\beta$  или  $2\beta$ .

Существующие способы дуговой сварки без разделки кромок позволяют сваривать металл ограниченной толщины (при односторонней сварке ручной до 4 мм, механизированной под флюсом до 18 мм). Поэтому при сварке металла большой толщины необходимо разделять кромки. Угол скоса кромки обеспечивает определенную величину угла разделки кромок, что необходимо для доступа дуги в глубь соединения и полного проплавления кромок на всю их толщину.

Стандартный угол разделки кромок в зависимости от способа сварки и типа соединения изменяется в пределах от  $45 \pm 2^\circ$  до  $12 \pm 2^\circ$ . Тип разделки и величина угла разделки кромок определяют количество необходимого дополнительного металла для заполнения разделки, а значит, производительность сварки. Так, например, X-образная разделка кромок по сравнению с V-образной позволяет уменьшить объем наплавленного металла в 1,6—1,7 раза. Уменьшается время на обработку кромок. Правда, в этом случае возникает необходимость вести сварку с одной стороны шва в неудобном потолочном положении или кантовать свариваемые изделия.

Притупление  $c$  обычно составляет  $2 \pm 1$  мм. Его назначение — обеспечить правильное формирование шва и предотвратить прожоги в корне шва. Зазор  $b$  обычно равен 1—2 мм, так как при принятых углах разделки кромок наличие зазора необходимо для провара корня шва.

Элементы геометрической формы сварного шва: при стыковых соединениях —

ширина и высота шва, при угловых, тавровых и нахлесточных соединениях — ширина, высота и катет шва.

Для всех типов швов весьма важны полный провар кромок соединяемых элементов и внешняя форма шва как с лицевой, так и с обратной стороны. В стыковых, особенно односторонних, швах трудно проваривать кромки притупления на всю их толщину без специальных приемов, предупреждающих прожог и обеспечивающих хорошее формирование обратного валика.

Важное значение также имеет образование плавного перехода металла лицевого и обратного валиков к основному металлу, так как это обеспечивает высокую прочность соединения при динамических нагрузках. В угловых швах также бывает трудно проварить корень шва на всю его толщину (см. рис. 1, б—г), особенно при сварке наклонным электродом. Для этих швов рекомендуется вогнутая форма поперечного сечения шва с плавным переходом к основному металлу, что снижает концентрацию напряжений в месте перехода и повышает прочность соединения при динамических нагрузках.

Сварные соединения на чертежах обозначают по ГОСТ 2.312—72. При этом указывают ГОСТ, тип соединения, метод и способ сварки, катет шва, длину или шаг, особые обозначения. На рис. 6 приведено

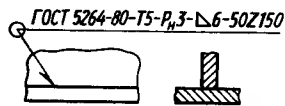


Рис. 6. Условное обозначение шва таврового соединения

**Таблица 2. Условные обозначения швов для ручной дуговой сварки по ГОСТ 5264—80 «Ручная дуговая сварка. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры»**

Соединение	Толщина свариваемых деталей, мм	Условные обозначения швов
Стыковое	1—175	C1—C40
Тавровое	2—100	T1—T9
Нахлесточное	2—60	H1—H2
Угловое	1—100	У1—У10

обозначение шва таврового двустороннего соединения с двумя симметричными криволинейными скосами одной кромки, выполненного по замкнутому контуру ручной дуговой сваркой в защитном газе неплавящимся электродом. Шов прерывистый, с шахматным расположением участков. Катет шва 6 мм, длина проваренного участка 50 мм, шаг 150 мм.

Соединения обозначают: С — стыковое, У — угловое, Т — тавровое, Н — нахлесточное. Цифры возле букв, например С33, Т4, указывают порядковый номер шва в ГОСТе, вид соединения и шва, а также форму разделки кромок (табл. 2).

### § 3. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ СВАРКЕ

При сварке происходит ряд достаточно сложных физико-химических процессов, определяющих качество сварного соединения. Источники сварочного нагрева оказывают тепловое и химическое воздействие на основной и присадочный металл, от чего зависят состав и свойства металла шва и околшовной зоны. В процессе сварки металл плавится, образуя сварочную ванну, а затем затвердевает в виде сварного шва. В зоне сварки происходит взаимодействие жидкого металла с окружающей средой (шлаком и газом). Названные процессы являются общими для всех способов сварки плавлением.

**Плавление и перенос электродного металла.** От этого процесса зависят производительность сварки, потери металла, формирование шва, устойчивость горения дуги и другие факторы. Плавление электрода происходит главным образом

за счет тепловой энергии дуги. Основной характеристикой плавления электрода являются линейная скорость его расплавления в единицу времени, которая зависит от состава электрода, покрытия, режима сварки, плотности и полярности тока.

В общем случае скорость плавления электрода возрастает с увеличением силы тока примерно по линейной зависимости и определяется условиями выделения и передачи теплоты в анодной и катодной областях и зависит от полярности тока.

При плавлении на торце электрода образуется капля жидкого металла. Большая удельная поверхность и высокие температуры капель способствуют интенсивному взаимодействию металла с окружающей средой. Поэтому характер переноса электродного металла оказывает значительное влияние на кинетику физико-химических процессов.

Характер переноса электродного металла зависит от соотношения сил, действующих на каплю металла на торце электрода, основными из которых является сила тяжести, сила поверхностного натяжения, электромагнитная сила, сила реактивного давления, паров, аэродинамическая сила и др. Значения отдельных сил и направление их равнодействующих зависят от режима сварки, полярности тока, состава электродного металла и газовой среды, состояния поверхности и диаметра электрода.

*Сила тяжести* оказывает существенное влияние лишь при сварке на малых токах и ее роль проявляется в стремлении капли под действием собственного веса переместиться вниз. При сварке в нижнем положении сила тяжести играет положительную роль при переносе капли в сварочную ванну; при сварке в вертикальном и особенно в потолочном положениях она затрудняет процесс переноса электродного металла.

*Сила поверхностного натяжения* вызвана стремлением жидкости уменьшить свою поверхность под действием молекулярных сил, стремящихся придать ей такую форму, которая бы обладала минимальным запасом энергии (сфера). Поэтому сила поверхностного натяжения придает капле расплавленного металла

форму шара и сохраняет ее до момента соприкосновения с поверхностью расплавленной ванны или отрыва капли от конца электрода без соприкосновения. Сила поверхностного натяжения способствует удержанию жидкого металла ванны при сварке в потолочном положении и создает условия для формирования шва. В общем случае увеличение поверхностного натяжения способствует увеличению размеров капель, образующихся на торце электрода и переносимых через дуговой промежуток.

*Электромагнитная сила* обусловлена взаимодействием проводника с током и магнитного поля, создаваемого этим током. Эта сила стремится деформировать проводник в радиальном направлении, и ее величина пропорциональна квадрату силы тока.

Одна из важных сил, оказывающих влияние на характер переноса металла, — *реактивное давление паров*. Испарение металла с поверхности капли и химическое взаимодействие жидкого металла со шлаком или газовой фазой, вызывающее образование и выделение газа, приводят к возникновению реактивных сил. Испарение металла происходит главным образом в области активных пятен, перемещение которых вызывает изменение положения места приложения реактивных сил и значительную подвижность капель. Величина реактивных сил зависит от размеров активных пятен, плотности тока в них, от теплофизических свойств материала электрода. Поскольку плотность тока в катодном пятне значительно выше, чем в анодном, влияние реактивного давления в большей мере проявляется на прямой полярности. Сжатие дуги приводит к увеличению плотности тока в пятнах, что вызывает повышение реактивного давления паров. В металлах с высоким давлением паров (магний, цинк, кадмий) отталкивание капель реактивными силами наблюдается на обеих полярностях, а в металлах с низким давлением паров — главным образом на прямой полярности.

Роль *аэродинамической силы* проявляется в тех случаях, когда возникают мощные плазменные (газовые) потоки.

Величина аэродинамической силы определяется аэродинамическим торможением капли в газовом потоке и магнитокинетическими силами, обусловленными несбалансированностью гидростатического давления внутри капли и на поверхности раздела жидкость — газ. Сила аэродинамического торможения пропорциональна плотности газа, его скорости и эффективной площади сечения капли, спроектированной на направление газового потока.

В зависимости от соотношения сил, действующих на каплю, характер переноса электродного металла может существенно изменяться. При сварке покрытиями электродами наблюдается несколько типов переноса: крупнокапельный, мелкокапельный, туманообразный. Тип переноса зависит от состава и толщины покрытия, режима сварки, рода тока и полярности.

Для электродов с основным покрытием характерен крупнокапельный перенос металла в широком диапазоне режимов сварки. Такой характер переноса обусловлен высоким поверхностным натяжением металла на границе со шлаком, поскольку и шлак, и металл хорошо раскислены действием электромагнитной силы.

При малом напряжении (короткая дуга) перенос металла может осуществляться путем коротких замыканий, поскольку свободный рост капель затруднен. В момент коротких замыканий происходит перетекание металла с торца электрода в ванну. С удлинением дуги масса переносимых капель увеличивается, так как создаются условия для свободного роста капли на торце электрода. Дальнейшее удлинение дуги вызывает окисление металла и снижение его поверхностного натяжения. Изменение состава основного покрытия не оказывает существенного влияния на характер переноса (типы покрытия рассмотрены в § 8).

Для сварки электродами с кислым и рутиловым покрытиями характерен мелкокапельный перенос. Малый размер капель обусловлен сравнительно низким межфазным натяжением на границе металла со шлаком, поскольку шлак и металл содержат значительное количество

кислорода. Размер капель при этом существенно зависит от силы тока. При низких плотностях тока металл переносится сравнительно крупными каплями. С увеличением плотности тока масса переносимых капель резко уменьшается, уменьшается также время взаимодействия капли с окружающей средой (шлаком, газовой фазой). Этому способствуют более высокая температура капель и сравнительно низкое межфазное натяжение на границе металла со шлаком. При высоких плотностях тока наблюдается чрезвычайно мелкокапельный (так называемый туманообразный) перенос металла.

Изменение напряжения дуги в практически целесообразных диапазонах не оказывает существенного влияния на перенос металла у электродов с рутиловым и кислым покрытиями.

У электродов с кислым и рутиловым покрытием при увеличении толщины покрытия наблюдается повышение содержания кислорода в каплях и уменьшение их размеров. Уменьшению размеров капель способствуют также аэродинамические силы. У электродов с основным покрытием содержание кислорода в каплях с увеличением толщины покрытия снижается, что способствует увеличению размеров капель. Таким образом, влияние толщины покрытия определяется в основном содержанием кислорода в каплях, которое оказывает большое влияние на силы поверхностного натяжения, удерживающие каплю на торце электрода.

**Формирование и кристаллизация сварочной ванны.** В сварочной ванне расплавленные основной и, если используют, дополнительный металлы перемешиваются. По мере перемещения источника теплоты вслед за ним перемещается и сварочная ванна. В результате потерь теплоты на излучение, теплоотвод в изделие в хвостовой части ванны происходит понижение температуры расплавленного металла, который, затвердевая, образует сварной шов. Форма и объем сварочной ванны зависят от способа сварки и основных параметров режима.

Кристаллизация металла сварочной ванны начинается от частично оплавлен-

ных зерен основного или ранее наплавленного металла в виде дендритов, растущих в направлении, обратном теплоотводу. В различные этапы кристаллизации металла сварочной ванны и роста дендритов состав кристаллизующегося жидкого металла не одинаков. Первые порции металла менее загрязнены примесями, чем последние. В результате образуется зональная и внутридендритная химическая неоднородность металла, которая зависит от его химического состава, формы сварочной ванны, скорости кристаллизации и способа сварки.

Металл швов, выполненных сваркой плавлением, имеет столбчатое строение. Столбчатые кристаллиты отличаются сравнительно крупными размерами и легко различимы при изучении макроструктуры (при небольших увеличениях).

**Образование и строение зоны термического влияния.** Теплота, выделяемая при сварке, распространяется вследствие теплопроводности в основной металл. В каждой точке околошовной зоны температура вначале нарастает, достигая максимума, а затем снижается. Чем ближе точка расположения к границе сплавления, тем быстрее происходит нагрев металла в данном участке и тем выше максимальная температура, достигаемая в нем. Поэтому структура и свойства основного металла в различных участках сварного соединения различны. Зону основного металла, в которой под воздействием термического цикла при сварке произошли фазовые и структурные изменения, называют *зоной термического влияния* (ЗТВ). Характер этих превращений и протяженность зоны термического влияния зависят от состава и теплофизических свойств свариваемого металла, способа и режима сварки, типа сварного соединения и т. п.

На рис. 7 приведены поперечное сечение стыкового сварного соединения при однослойной сварке низкоуглеродистой стали, кривая распределения температур по поверхности сварного соединения в момент, когда металл шва находится в расплавленном состоянии, и структуры различных участков зоны тер-

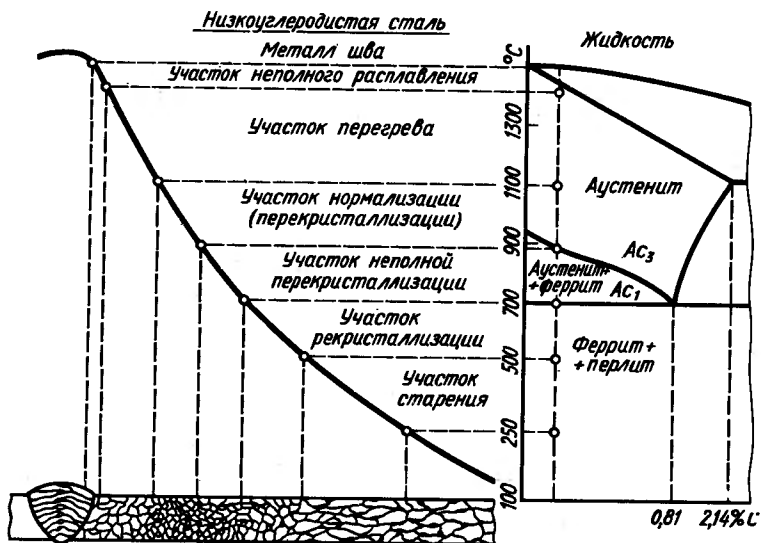


Рис. 7. Схема строения зоны термического влияния сварного соединения при дуговой сварке низкоуглеродистой стали

мического влияния шва после сварки, образованные в результате воздействия термического цикла сварки.

На участке неполного расплавления металл находится в твердо-жидком состоянии, что приводит к оплавлению зерен металла. Пространство между нерасплавившимися зернами заполнено жидкими прослойками, связанными с металлом сварочной ванны. Состав и структура металла в этой зоне зависят также от диффузии элементов, которая может проходить как из основного нерасплавившегося металла в жидкий металл, так и наоборот. Этот участок по существу и является местом сварки. Его протяженность зависит от состава и свойств металла, способа сварки и обычно не превышает 0,5 мм, но свойства металла в нем могут оказывать решающее влияние на свойства всего сварного соединения.

На участке перегрева металл нагревается от 1100—1150°C до температуры плавления. Здесь происходит рост зерна, размеры которого увеличиваются тем больше, чем выше температура металла. Даже непродолжительное пребывание металла при температурах свыше 1100°C приводит к значительному увеличению размера зерен. Крупнозернистая структура металла на участке

перегрева после охлаждения может привести к снижению механических свойств соединения. Металл следующего участка имеет мелкозернистую структуру с высокими механическими свойствами.

Металл, нагретый в интервале температур 500—720°C (участок рекристаллизации), по структуре значительно отличается от основного. Если до сварки металл подвергался пластической деформации, то при нагреве в нем происходит сращивание раздробленных зерен основного металла — рекристаллизация. При значительной выдержке при этих температурах может произойти рост зерен. Механические свойства металла этого участка могут несколько снизиться вследствие разупрочнения из-за снятия наклепа.

При нагреве металла в интервале температур 100—500°C (участок старения) его структура в процессе сварки не претерпевает видимых изменений. Однако в некоторых сталях, содержащих повышенное количество кислорода и азота (обычно кипящих), их нагрев при температурах 150—350°C сопровождается резким снижением ударной вязкости и сопротивлением хрупкому разрушению.

**Металлургические процессы при сварке.** Высокотемпературное взаимодействие фаз, т. е. переход вещества из од-



ной фазы в другую, приводит к изменению металла и, значит, изменению свойств сварного соединения. При сварке плавлением взаимодействующими фазами являются жидкий и твердый металл, газ и жидкий шлак. Выделяют две основные зоны или стадии взаимодействия расплавленного металла с газами и шлаком — торец электрода с образующимися на нем каплями и сварочную ванну. В зависимости от условий взаимодействия (температуры, времени, исходных концентраций) на этих стадиях полнота протекания реакций и их направление могут быть различными.

Процессы взаимодействия фаз в зоне сварки протекают одновременно, однако для удобства рассмотрим сначала взаимодействие металла с газовой фазой, а затем со шлаком.

*Взаимодействие расплавленного металла с газами.* Одной из главных задач при сварке плавлением является предупреждение вредного воздействия воздуха на металл. Обычно эта задача решается с помощью газовой или шлаковой защиты зоны сварки, благодаря чему предупреждается доступ воздуха и взаимодействие составляющих его азота, кислорода и водорода с жидким металлом. Эти газы при взаимодействии с металлом могут в нем растворяться или же образовывать с ним химические соединения.

В жидких металлах водород растворяется, тогда как азот и кислород вступают с ними в химическое взаимодействие. В газовой фазе они находятся в молекулярном состоянии  $H_2$ ,  $N_2$ ,  $O_2$ . Наиболее вероятным состоянием в жидком металле перечисленных газов является растворение в диссоциированном на атомы (ионы) виде, например, по реакции  $H_2 \rightleftharpoons 2 [H]$ .

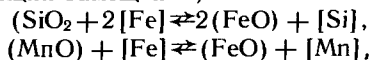
Зависимость растворимости этих газов от температуры имеет сложный характер. В основном с повышением температуры растворимость возрастает, за исключением температур плавления и кипения металлов, где растворимость снижается. При температуре кипения металла атмосфера над ним полностью состоит из паров металла, поэтому в кипящем металле водород и другие газы

практически не растворяются. При температуре плавления металла наблюдается резкое изменение растворимости газа, что при неблагоприятных условиях может сопровождаться образованием пор, так как при затвердевании металла газ из него удаляется.

Большинство промышленных металлов взаимодействуют с кислородом и азотом с образованием химических соединений, которые или растворяются в металле, ухудшая его качество, или удаляются в шлак. Кроме кислорода воздуха жидкий металл может окисляться водяным паром, диоксидом углерода и другими кислородосодержащими газами, присутствующими в зоне сварки. В ряде случаев состав газовой фазы может изменяться из-за испарения металла.

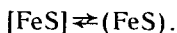
Особенно тщательной должна быть защита воздуха при сварке химически активных металлов (титана, алюминия и их сплавов).

*Взаимодействие жидких шлака и металла.* Несмотря на относительную кратковременность, эти реакции при сварке плавлением проходят довольно интенсивно, что обусловлено прежде всего высокими температурами металла и шлака. Реакции взаимодействия между жидким шлаком и металлом являются или реакциями замещения, т. е. вытеснения из шлака в металл одного элемента другим, или реакциями распределения элемента между металлом и шлаком. Например, реакции восстановления кремния и марганца из шлака железом (реакции замещения):



где символами в квадратных скобках обозначена металлическая фаза, в круглых — шлаковая фаза. Стрелки в уравнениях показывают, что взаимодействие может идти в обоих направлениях. При высоких температурах реакции протекают преимущественно слева направо (восстановление кремния и марганца из шлака). При снижении температуры равновесие этих реакций смещается справа налево, т. е. марганец и кремний окисляются из металлов в шлак.

Реакции распределения записываются так:



т. е. сера распределяется между шлаком и металлом путем перехода через межфазную границу молекул сульфида железа. Такой характер распределения серы наблюдается при взаимодействии с жидкой сталью кислого шлака.

Таким образом, с практической точки зрения металлургические процессы позволяют регулировать и обеспечивать постоянство химического состава металла шва и стабильность качества сварного соединения за счет изменения состава электродного металла и входящих в покрытие компонентов.

Важная роль металлургических процессов проявляется также в образовании неметаллических включений в сварных швах. Основная причина образования этих дефектов — уменьшение растворимости примесей (загрязняющих элементов) при снижении температуры. Наряду с неметаллическими включениями (оксиды, сульфиды, соединения фосфора, нитриды и др.) в сварном шве могут образовываться шлаковые включения — достаточно крупные частицы шлака, попавшие в металл шва вследствие разных нарушений технологического процесса сварки.

#### § 4. НАПРЯЖЕНИЯ И ДЕФОРМАЦИИ ПРИ СВАРКЕ

В результате местного (неравномерного) нагрева металла, обусловленного воздействием концентрированного источника теплоты, в сварной конструкции возникают временные и остаточные сварочные напряжения. Временные сварочные напряжения наблюдаются только в определенный момент сварки в процессе изменения температуры. Напряжения, существующие после окончания сварки конструкции и полного ее остывания, называют остаточными сварочными напряжениями или сварочными напряжениями. Они возникают в результате затруднений расширения и сжатия металла при его нагреве и остывании.

• Затрудненность расширения и сжатия

металла обусловлена тем, что нагретый участок со всех сторон окружен холодным металлом, размеры которого не претерпевают никаких изменений. Реактивные остаточные напряжения возникают в связи с дополнительным закреплением свариваемых деталей (в приспособлении, при жестком закреплении и т. п.), также препятствующим нормальному протеканию процессов расширения и сжатия.

Структурные напряжения возникают в конструкции вследствие структурных превращений участков металла околошовной зоны, нагретых в процессе сварки до температуры выше критических точек. Значительные по величине структурные напряжения возникают при сварке закаливающихся сталей, при охлаждении которых после сварки в околошовной зоне образуются мартенситные структуры, имеющие наибольший удельный объем.

Различают сварочные напряжения трех родов. В сварных конструкциях из низкоуглеродистых и низколегированных сталей в основном развиваются сварочные напряжения первого рода. Они действуют и уравниваются в значительных, соизмеримых с размерами конструкции или отдельных ее деталей, объемах. При определенных условиях возможно возникновение сварочных напряжений второго и третьего родов — действующих и уравнивающихся в пределах отдельных зерен металла.

В зависимости от пространственного расположения и взаимодействия различают сварочные напряжения: линейные или одноосные, действующие только по одной оси в одном направлении, плоскостные или двухосные, действующие в двух направлениях, объемные или трехосные, действующие в трех направлениях. По направлению действия различают продольные и расположенные поперек оси шва линейные сварочные напряжения.

Практика эксплуатации сварных конструкций показывает, что в большинстве случаев сварочные напряжения не снижают несущей способности конструкций. Однако, если металл находится в хруп-

ком состоянии, т. е. не способен к пластическому деформированию, наличие даже линейных сварочных напряжений может привести к снижению несущей способности конструкции.

Технологию сварки, сборки конструкции следует разрабатывать с учетом обеспечения минимальной величины сварочных напряжений и там, где это диктуется условиями работы конструкции, предусматривать снятие этих напряжений. При этом следует учитывать, что снятие сварочных напряжений — весьма трудоемкая и сложная операция и к ней следует прибегать только при действительной, технически обоснованной необходимости. Если значения сварочных напряжений достигнут предела текучести металла, они вызовут его пластическую деформацию, а следовательно, и изменения размеров и формы свариваемой конструкции, т. е. ее деформацию (коробление).

Возникающие при сварке деформации разделяют на временные, существующие только во время сварки конструкции, и остаточные, остающиеся после завершения сварки и остывания конструкции. Важное значение для практики имеют остаточные сварочные деформации. В зависимости от характера, формы и размеров свариваемых деталей различают деформацию в плоскости и деформацию из плоскости соединяемых элементов. Деформация в плоскости проявляется в изменении (уменьшении) размеров конструкции, с чем необходимо считаться при заготовке деталей и сборке под сварку, предусматривая припуск на изменение размеров.

Деформация из плоскости (угловая деформация) проявляется в образовании выпучин («хлопунов»), местном изгибе листов, в так называемом грибовидном изгибе пояса при сварке элементов тавровых и двутавровых сечений, а также в других изменениях формы изделий. Величина и характер остаточных деформаций в значительной степени определяются толщиной и свойствами основного металла, режимом сварки, последовательностью наложения швов, конструктивными формами свариваемых деталей

и формой шва. При увеличении толщины свариваемого металла деформации снижаются, что связано с большей жесткостью конструкции.

Изменение размеров и формы сварной конструкции в некоторых случаях снижает ее работоспособность и портит ее внешний вид. Если остаточные деформации достигают заметной величины, они могут привести к неисправимому браку. При разработке технологии сборки и сварки конструкции следует учитывать необходимость снижения остаточных деформаций до величины, при которой они не отражаются на работоспособности и внешнем виде конструкции и не затрудняют сборку отдельных элементов. Если величина остаточных деформаций выходит за допускаемые пределы, следует проводить правку конструкции. Правка конструкции — весьма трудоемкая операция, требующая высокой квалификации рабочих, и ее так же, как и снятие сварочных напряжений, следует проводить только в случае действительной необходимости.

## § 5. СПОСОБЫ СНИЖЕНИЯ СВАРОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ

Если меры предотвращения образования сварочных напряжений и деформаций оказываются недостаточными, появляется необходимость в устранении (снятии) возникших напряжений и деформаций.

**Отпуск.** Для снятия напряжений сварные соединения подвергают термообработке. С этой целью при сварке углеродистых конструкционных сталей проводят общий высокий отпуск конструкции (нагрев до 630—650°C с выдержкой при этой температуре в течение 2—3 мин на 1 мм толщины металла). Охлаждение должно быть медленным для того, чтобы при этом снова не возникали напряжения. Режим охлаждения в основном зависит от химического состава стали. Чем больше содержание элементов, способствующих закалке, тем меньше должна быть скорость охлаждения. Во многих случаях деталь охлаждают до температуры 300°C с печью, а затем на спокойном воздухе.

При высоком отпуске сварочные напряжения снимаются вследствие того, что при температуре 600°C предел текучести металла близок к нулю и материал практически не оказывает сопротивления пластической деформации, в процессе которой происходит снижение (релаксация) сварочных напряжений.

В ряде случаев можно ограничиться высоким отпуском отдельных элементов конструкции. Так, при изготовлении сферических резервуаров для хранения различных продуктов ограничиваются только отпуском лепестков с приваренными люками. Отпуск отдельных узлов применяют также при изготовлении сварных рам тележек вагонов и локомотивов. Такие операции значительно проще, чем отпуск всей конструкции, и, как показал опыт, обеспечивают требуемую эксплуатационную надежность.

Высокий отпуск является дорогой операцией, удлиняющей технологический процесс изготовления конструкции, и его следует применять в действительно необходимых случаях. Если механическая обработка проводится на детали, не прошедшей отпуска, то в связи с перераспределением напряжений может произойти изменение ее размеров. В большинстве случаев при сварке изделий из стали с повышенным содержанием углерода и легирующих элементов можно ограничиться только предварительным местным или общим подогревом и не проводить последующей термообработки.

**Аргонодуговая обработка.** Расплавление участка перехода от шва к основному металлу неплавящимся электродом в аргоне нарушает равновесие внутренних сил напряженного поля вследствие перехода части металла в жидкое и пластическое состояние. Естественно, что при кристаллизации расплавленного металла будут вновь возникать напряжения, однако они сравнительно малы, так как количество этого металла во много раз меньше, чем количество металла шва. Расплавление небольшого количества основного металла и металла шва приводит к уменьшению напряжений на 60—70%. Получаемый при этом плавный переход от шва к основному

металлу способствует значительному повышению прочности сварных соединений особенно при переменных нагрузках.

**Проковка металла шва и околошовной зоны.** Сварочные напряжения могут быть сняты почти полностью, если в шве и околошовной зоне создать дополнительные пластические деформации. Это достигается проковкой швов. Проковку проводят в процессе остывания металла при температурах 450°C и выше либо от 150°C и ниже. В интервале температур 400—200°C в связи с пониженной пластичностью металла при его проковке возможно образование надрывов. Специальный нагрев сварного соединения для выполнения проковки, как правило, не требуется. Удары наносят вручной молотком массой 0,6—1,2 кг с закругленным бойком или пневматическим молотком с небольшим усилием. При многослойной сварке проковывают каждый слой, за исключением первого, в котором от удара могут возникнуть трещины. Этот прием применяют для снятия напряжений при заварке трещин и замыкающих швов в жестких конструкциях. Проковка сварного соединения также способствует повышению усталостной прочности конструкции.

**Термическая правка.** При термической правке нагрев проводят газоокислородным пламенем либо электрической дугой неплавящимся электродом. Температура нагрева деформированного участка при термической правке составляет 750—850°C. Нагретый участок стремится расширяться, однако окружающий его холодный металл ограничивает возможность расширения, в результате чего возникают пластические деформации сжатия. После охлаждения линейные размеры нагретого участка уменьшаются, что приводит к уменьшению или полному устранению деформаций.

Для правки сварных конструкций требуется определенный навык. Поэтому, если в производственных условиях неизбежна правка конструкций, то для выполнения термической правки необходимо специально обучать рабочих. В случае деформации тонкого листа, прива-

ренного к массивной раме, правку можно осуществлять путем нагрева в симметрично расположенных точках с выпуклой стороны листа. Нагрев следует начинать от центра выпуклости.

**Механическая правка.** Для устранения деформации механическую правку можно осуществлять на прессах или при толщине металла до 3 мм вручную ударами молотка. Этот вид правки менее целесообразен, чем термическая правка, и его применение следует ограничивать. При механической правке образуется местный наклеп, повышающий предел текучести металла. Пластические свойства металла резко снижаются, особенно у кипящей стали. Вызываемая наклепом неоднородность механических свойств сказывается отрицательно на статической прочности конструкции и при эксплуатации конструкции под переменными нагрузками.

## § 6. СВАРИВАЕМОСТЬ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Под свариваемостью понимают совокупность технологических характеристик основного металла, определяющих его реакцию на термический цикл сварки, и способность при принятии технологическом процессе обеспечивать надежное и долговечное в эксплуатации сварное соединение. Свариваемость не является неотъемлемым свойством металла или сплава, подобным физическим свойствам, она определяется способом и режимом сварки, составом присадочного металла и сварочных материалов, конструкцией сварного узла и условиями эксплуатации изделия.

Отношение металла к конкретному способу сварки и режиму принято считать *технологической* свариваемостью. *Физическая* свариваемость определяется процессами, протекающими в зоне сплавления свариваемых металлов, в результате которых образуется неразъемное сварное соединение.

В зависимости от марки основного металла и условий эксплуатации конструкции изменяется и совокупность показателей, определяющих понятие свариваемости. Например, под хорошей

свариваемостью низкоуглеродистой стали понимают возможность получения сварного соединения, равнопрочного с основным металлом, без трещин в металле шва и без снижения пластичности в околошовной зоне; при сварке легированных сталей, применяемых для изготовления химической аппаратуры, — кроме указанных выше подразумевают также обеспечение специальных свойств (коррозионной стойкости, прочности при высоких или низких температурах); при наплавке деталей, работающих на истирание, — стойкость металла против изнашивания.

Свариваемость, как правило, оценивают не по абсолютным величинам, а по сравнению со свойствами ранее применявшихся материалов или со свойствами основного металла. Результаты испытания на свариваемость признают удовлетворительными в том случае, если они соответствуют нормативам, установленным техническими условиями на данный вид продукции.

Ввиду того, что свариваемость определяется многими показателями, не удается создать единую методику испытания, позволяющую однозначно описать эту комплексную технологическую характеристику. Поэтому для оценки свариваемости применяют ряд испытаний. Выбор методов испытания обусловлен назначением конструкции и свойствами основного металла или сплава.

В процессе кристаллизации металла шва под воздействием возникающих при сварке растягивающих напряжений возможно образование кристаллизационных трещин, являющихся весьма серьезным дефектом. Стойкость металла шва против кристаллизационных трещин — один из важнейших показателей свариваемости. В металле шва возможно образование и холодных трещин.

Под воздействием применяемого при сварке источника теплоты в околошовной зоне изменяется структура основного металла, что может привести к образованию околошовных холодных трещин. Стойкость металла околошовной зоны против образования трещин является вторым показателем свариваемости.

При сварке в металле сварного соединения происходят процессы, которые могут привести к снижению стойкости его против перехода в хрупкое состояние. Поэтому проводят испытания стойкости металла околошовной зоны и шва, а также сварного соединения в целом против перехода в хрупкое состояние.

Обычно металл шва по химическому составу и структуре заметно отличается от основного металла. Заметные изменения происходят также в металле околошовной зоны. Это может привести к существенному отличию прочностных и других специальных характеристик металла шва и околошовной зоны от свойств основного металла. Поэтому в комплекс определения свариваемости входит проверка механических свойств металла шва и сварного соединения при различных температурах, а также стойкости против коррозии, износостойкости и других специальных характеристик.

**Основные методы определения свариваемости.** Применяемые на практике методы определения свариваемости используют для проверки свойств основного металла и выяснения пригодности данной технологии сварки или сварочных материалов для изготовления конструкции, соответствующей требованиям эксплуатации. Методы определения показателей свариваемости весьма разнообразны и многочисленны.

**Горячие (кристаллизационные) трещины** при сварке — хрупкие межкристаллитные разрушения металла шва и околошовной зоны, возникающие в твердой фазе в процессе кристаллизации, а также при высоких температурах в твердом состоянии. Характерные виды горячих трещин представлены на рис. 8.

Для определения стойкости против кристаллизационных трещин используют технологические пробы и машинные методы.

При использовании лабораторных проб определяют большое число критериев. Наиболее обоснован критерий — критический размер образца пробы, приводящий к образованию трещин при его сварке. Он определяется при сварке образ-

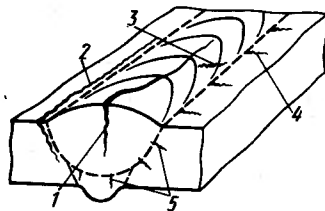


Рис. 8. Горячие трещины в сварных соединениях:

1, 2 — продольные в шве и околошовной зоне; 3, 4 — поперечные в шве и околошовной зоне; 5 — поперечные по толщине свариваемого металла

цов проб МВТУ-ЛТП, а также ИМЕТ и Лихайской пробы (рис. 9, а—в), в которых специально повышены деформации изгиба в плоскости образца.

Оценка по наличию, частоте образования и длине трещин предусматривает сварку образцов жестких проб (рис. 9, г—е), выявление наличия трещин, определение их частоты в шве или околошовной зоне, а также протяженности с целью оценки сварочных материалов или режимов сварки.

С помощью этих проб можно отбраковать как сплавы, так и технологические режимы сварки. Недостаток всех проб этой группы — большая металлоемкость и трудоемкость, а также малая чувствительность к образованию горячих трещин.

Оценка по критическому режиму сварки предусматривает сварку одного из образцов жестких проб с последовательным возрастанием скорости сварки, что неизбежно приводит к образованию горячих трещин для большинства сплавов. Значение скорости, при которой для данного сплава возникают трещины, принимается за критерий (критическая скорость сварки).

При машинных испытаниях получают количественные характеристики склонности металла к образованию горячих трещин. Критерием оценки служит критическая скорость деформации. Метод предусматривает сварку на неизменном режиме серии образцов в условиях растяжения кристаллизующегося шва. Скорость растяжения оценивают по относительному движению захватов машины и изменяют ее дискретно от образ-

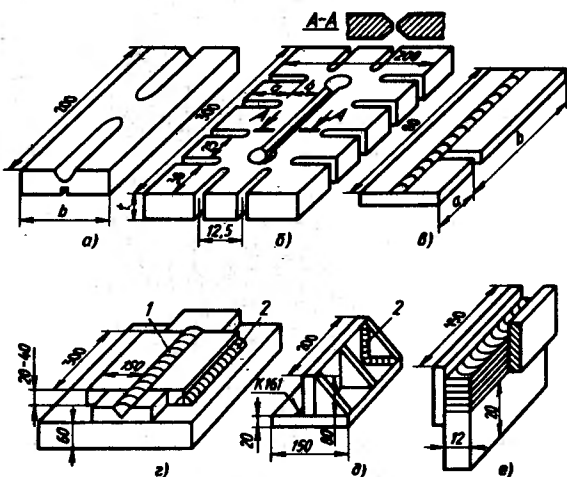


Рис. 9. Образцы для определения склонности сплавов к образованию горячих трещин при сварке:

а — проба ЛТП МВТУ; б — Лихайская проба; в — проба ИМЕТ; г — жесткий стык; д — жесткий тавр; е — с многослойной наплавкой

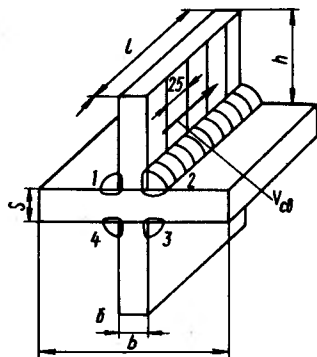


Рис. 10. Технологическая проба для определения склонности металла к образованию холодных трещин

ца к образцу с целью выявления критического значения, при котором исчерпывается пластичность шва и появляются горячие трещины. Чем больше эта скорость, тем выше стойкость металла шва против трещин.

Холодные трещины в отличие от горячих (кристаллизационных) образуются при остывании сварных соединений ниже температуры  $200^{\circ}\text{C}$ . Холодные трещины, как правило, образуются в околосшовной зоне при сварке среднеуглеродистых, высоколегированных и среднелегированных сталей.

Наиболее часто для определения склонности металла к холодным трещинам используют специальные образцы, имитирующие реальные сварные соединения.

На рис. 10 приведен один из типов образцов («крестовая проба») с указанием размеров в табл. 3.

Наряду с лабораторными и отраслевыми (целевого назначения) пробами проводят также испытания машинными методами (ЛТП2-3, ЛТП2-5, ЛТП2-6 и др.).

**Классификация сталей по свариваемости.** По свариваемости стали подразделяют на четыре группы: первая группа — хорошо сваривающиеся; вторая — удовлетворительно сваривающиеся; третья — ограниченно сваривающиеся; четвертая группа — плохо сваривающиеся.

Основные признаки, характеризующие свариваемость сталей, — склонность к образованию трещин и механические свойства сварного соединения.

К первой группе относят стали, сварка которых может быть выполнена по обычной технологии, т. е. без подогрева до сварки и в процессе сварки и без последующей термообработки. Однако применение термообработки для

Таблица 3. Размеры образца, мм

$\delta$	$l$	$b$	$h$	Катет шва	Начальная температура, $^{\circ}\text{C}$
$\leq 15$	150	150	75	6—8	—40, —20, 20, 75, 125,
$> 15$	300	300	150	8—10	150, 200, 250

снятия внутренних напряжений не исключается.

Ко второй группе относят в основном стали, при сварке которых в нормальных условиях производства трещин не образуется. В эту группу входят стали, которые для предупреждения образования трещин необходимо предварительно нагревать, а также подвергать предварительной и последующей термообработке.

К третьей группе относят стали, склонные в обычных условиях сварки к обра-

зованию трещин. При сварке их предварительно подвергают термообработке и подогревают. Кроме того, большинство сталей, входящих в эту группу, подвергают термообработке после сварки.

К четвертой группе относят стали, наиболее трудно поддающиеся сварке и склонные к образованию трещин. Эти стали свариваются ограниченно, поэтому сварку их выполняют с обязательной предварительной термообработкой, с подогревом в процессе сварки и последующей термообработкой.

## Глава 2

# СВАРОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

### 7. СВАРОЧНАЯ ПРОВОЛОКА

Для плавящихся электродов при дуговой сварке плавлением наиболее распространенным материалом является холоднотянутая калиброванная проволока диаметром 0,3—12 мм, а также горячекатаная или порошковая проволока, электродные ленты и электродные пластины.

Стальную сварочную проволоку изготовляют по ГОСТ 2246—70 и специальным техническим условиям. По ГОСТ 2246—70 сварочную проволоку разделяют на низкоуглеродистую, легированную и высоколегированную. Всего выпускается 75 марок проволоки. Условное обозначение легирующих элементов в проволоке приведено в табл. 4.

При содержании в проволоке менее 1% легирующих элементов ставят только букву этого элемента; если содержание легирующего элемента превышает 1%, то после буквы указывают содержание этого элемента в целых единицах.

Условные обозначения марок проволоки состоят: из индекса Св — сварочная и следующих за ним цифр, показывающих содержание углерода в сотых долях процента, и буквенных обозначений элементов, входящих в состав проволоки. Буква А в конце условных обозначений марок низкоуглеродистой и легиро-

ванной проволоки указывает на повышенную чистоту металла по содержанию серы и фосфора.

По виду поверхности низкоуглеродистая и легированная проволока подразделяется на неомедненную и омедненную. Последнюю поставляют по особому требованию заказчика. Кроме того, по особому требованию заказчика изготовляют проволоку из стали, выплавленной элек-

Таблица 4. Условные обозначения легирующих элементов

Элемент	Химический символ	Условное обозначение в марке стали
Марганец	Mn	Г
Кремний	Si	С
Хром	Cr	Х
Никель	Ni	Н
Молибден	Mo	М
Вольфрам	W	В
Селен	Se	Е
Алюминий	Al	Ю
Титан	Ti	Т
Ниобий	Nb	Б
Ванадий	V	Ф
Кобальт	Co	К
Медь	Cu	Д
Бор	B	Р
Азот	N	А*
Цирконий	Zr	Ц

\* В обозначениях высоколегированных сталей буква А не ставится.



трошляковым, вакуум-дуговым или вакуум-индукционным методом.

Различные виды проволоки имеют условное обозначение: Э — для изготовления электродов; О — омедненная; Ш — полученная из стали, выделенной электрошлаковым переделом; ВД — полученная из стали, выплавленной вакуум-дуговым переделом; ВИ — полученная из стали, выплавленной в вакуумно-индукционной печи.

Примеры условных обозначений проволоки сварочной диаметром 3 мм, марки Св-08А, предназначенной для сварки (наплавки), с немедленной поверхностью: Проволока 3Св-08А ГОСТ 2246—70;

проволоки сварочной диаметром 4 мм, марки Св-04Х19Н9, предназначенной для изготовления электродов: Проволока 4 Св-04Х19Н9—Э ГОСТ 2246—70;

проволоки сварочной диаметром 2 мм, марки Св-30Х25Н16Г7, предназначенной для сварки (наплавки), из стали, выплавленной электрошлаковым переделом: Проволока 2 Св-30Х25Н16Г7—Ш ГОСТ 2246—70;

проволоки сварочной диаметром 2,5 мм, марки Св-08ХГСМФА, предназначенной для изготовления электродов, из стали, выплавленной в вакуумно-индукционной печи, с омедненной поверхностью: Проволока 2,5 Св-08ХГСМФА-ВН-Э-О ГОСТ 2246—70.

Проволоку поставляют потребителю в мотках, по согласованию с поставщиком — в мотках прямоугольного сечения, намотанную на катушки, а также в кассетах.

Поверхность проволоки должна быть чистой (без окалины, ржавчины, грязи и масла). ГОСТ 2246—70 предусматривает выпуск проволоки диаметром 0,3—12 мм.

Сварочная проволока для сварки алюминия и его сплавов выпускается 25 различных диаметров (0,8—12,5 мм).

Пример условного обозначения сварочной проволоки тянутой (В) из алюминиевого сплава марки АМц в нагартованном состоянии (Н), диаметром 5 мм, в бухте (БТ): Проволока В. СвАМц. Н 5,00×БТ ГОСТ 7871—75.

Для сварки меди и ее сплавов применяют проволоку из меди и сплавов на медной основе (ГОСТ 16130—85) марок М1; М1р; МСр1; МНЖ5-1; МНЖКТ5-1-0,2-0,2; бронзовые — марок БрКМц3-1; БрОЦ4-3; БрАМц9-2; БрОФ6,5—0,15; БрАЖМц10-3-1,5; БрХ0,7; БрХНТ; БрНЦр; БрАЖМц10-3-1,5; Бр ОЦ4-3; Бр ОФ6,5-0,15; латунные — марок Л63; ЛЮ60-1; ЛК62-0,5; ЛКБ062-0,2-0,4-0,5

и прутки М1р; М2р; ЛМц58-2; ЛОК59-1-0,3.

В обозначениях приняты следующие сокращения: способ изготовления: Д — холоднодеформированные (тянутые), Г — горячедеформированные (прессованные); форма сечения КР — круглая; состояние: М — мягкое, Т — твердое; длина: БТ — мотки, бухты, КТ — катушки, БР — барабаны, СР — сердечники, НД — немерной длины.

Пример условного обозначения проволоки сварочной, холоднодеформированной, твердой, диаметром 2 мм, в мотках, из сплава марки Бр ОЦ4-3: Проволока сварочная ДКРТ 2,0 БТБрОЦ4-3 ГОСТ 16130-85.

Для сварки титана используют сварочную проволоку из сплава ВТ1, ВТ5, ВТ5-1 и др.

При сварке чугуна применяют в зависимости от назначения прутки следующих марок: ПЧ1, ПЧ2, ПЧ3, ПЧН1, ПЧН2, ПЧИ, ПЧВ.

Чугунные прутки для сварки и наплавки выпускают согласно ГОСТ 2671—80 диаметром 4; 6; 8; 10; 12; 14; 16 мм, длиной 250, 350 и 450 мм.

Пример условного обозначения чугунного прутка марки ПЧ1 диаметром 12 мм: Пруток 12ПЧ1 ГОСТ 2671—80.

Прутки с одного торца маркируют несмываемой краской различных цветов: ПЧ1 — черной; ПЧ2 — белой; ПЧ3 — красной; ПЧН1 — синей; ПЧН2 — коричневой; ПЧИ — желтой; ПЧВ — зеленой.

## § 8. КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРОДОВ

Электроды классифицируют по следующим признакам: материалу, из которого они изготовлены; назначению для сварки определенных сталей; по толщине покрытия, нанесенного на стержень; видам покрытия; характеру шлака, образующегося при расплавлении покрытия; техническим свойствам металла шва; допустимым пространственным положениям сварки или наплавки; роду и полярности применяемого при сварке или наплавке тока.

Применение электродов должно обеспечивать следующие необходимые технологические условия: легкое зажигание и устойчивое горение дуги, равномерное расплавление покрытия, равномерное по-

крытие шва шлаком, легкое удаление шлака после сварки, отсутствие непроваров, пор, трещин в металле шва.

Стальные электроды изготавливают в соответствии с ГОСТ 9466—75, ГОСТ 9467—75, ГОСТ 10051—75, ГОСТ 10052—75. В ГОСТ 9466—75 электроды подразделяют на группы в зависимости от свариваемых материалов: углеродистых и низкоуглеродистых конструкционных сталей — У (условное обозначение); легированных конструкционных сталей — Л; легированных теплоустойчивых сталей — Т; высоколегированных сталей с особыми свойствами — В; для наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами — Н.

По толщине покрытия в зависимости от отношения диаметра электрода к диаметру стержня  $D/d$  электроды изготовляют: с тонким покрытием ( $D/d \leq 1,20$ ) — М; со средним покрытием ( $1,20 \leq D/d \leq 1,45$ ) — С; с толстым покрытием ( $1,45 < D/d \leq 1,80$ ) — Д; с особо толстым покрытием ( $D/d > 1,80$ ) — Г.

Общее назначение электродных покрытий — обеспечение стабильности горения сварочной дуги и получение металла шва с заранее заданными свойствами (прочность, пластичность, ударная вязкость, стойкость против коррозии и др.). Стабильность горения сварочной дуги достигается снижением потенциала ионизации воздушного промежутка между электродом и свариваемой деталью. Покрытия выполняют следующие функции.

*Газовая защита* зоны сварки и расплавленного металла, образующаяся при сгорании газообразующих веществ и предохраняющая расплавленный металл от воздействия кислорода и азота. Газообразующие вещества вводят в покрытие в виде органических соединений: древесной муки, целлюлозы, хлопчатобумажной ткани.

*Раскисление металла* сварочной ванны элементами, обладающими большим сродством с кислородом, чем железо, и связывающими кислород, находящийся в шлаке. К ним относятся марганец, титан, молибден, хром, кремний, алюминий, графит, которые, находясь в рас-

плавленном металле сварного шва, легче вступают в химические соединения с кислородом и, будучи сами нерастворимыми в стали или имея ограниченную растворимость, в виде оксидов всплывают на поверхность сварочной ванны. Большинство раскислителей вводят в покрытие не в чистом виде, а в виде ферросплавов.

*Шлаковая защита* для защиты расплавленного металла от воздействия кислорода и азота воздуха путем образования шлаковых оболочек на поверхности капель электродного металла, переходящих через дуговой промежуток, и для образования шлакового покрова на поверхности расплавленного металла шва. Шлаковое покрытие уменьшает скорость охлаждения и затвердения металла шва, способствуя выходу из него газовых и неметаллических включений. Шлакообразующими компонентами покрытий являются: титановый концентрат, марганцевая руда, каолин, мрамор, мел, кварцевый песок, доломит, полевой шпат и др.

*Легирование металла* шва для придания специальных свойств наплавленному металлу (в основном для повышения механических свойств, износостойкости, жаростойкости, сопротивления коррозии). Наиболее часто применяют такие легирующие компоненты, как хром, никель, молибден, вольфрам, марганец, титан и др. Легирование металла шва иногда выполняют специальной проволокой, содержащей необходимые элементы. Чаще металл шва легируют введением элементов в покрытие электрода. Легирующие компоненты — ферросплавы, иногда чистые металлы.

Для повышения производительности, т. е. для увеличения количества наплавленного металла в единицу времени, в электродные покрытия иногда вводят железный порошок. Введенный в покрытие железный порошок улучшает технологические свойства электродов (облегчает повторное зажигание дуги, уменьшает скорость охлаждения наплавленного металла, что благоприятно сказывается при сварке в условиях низких температур).

Для закрепления покрытия на стержне электрода используют, например, жидкое стекло, которое имеет также и стабилизирующие свойства.

При наличии в составе покрытия более 20% железного порошка к обозначению вида покрытия следует добавлять букву Ж.

По видам покрытия электроды подразделяются:

А — с кислым покрытием, содержащим оксид железа, марганца, кремния, иногда титана. Металл шва отличается повышенной окисленностью, плотностью и позволяет выполнять сварку на постоянном (прямой и обратной полярности) и переменном токе;

Б — с основным покрытием, имеющим в качестве основы фтористый кальций (плавиковый шпат) и карбонат кальция (мрамор, мел). Сварку электродами с основным покрытием осуществляют на постоянном токе при обратной полярности. Вследствие малой склонности металла шва к образованию кристаллизационных и холодных трещин электроды с этим покрытием используют для сварки больших сечений;

Ц — с целлюлозным покрытием, основные компоненты которых создают газовую защиту дуги и образуют при плавлении тонкий шлак. Электроды с целлюлозным покрытием применяют, как правило, для сварки стали малой толщины;

Р — с рутиловым покрытием, основной компонент которых — рутил ( $TiO_2$ ). Для шлаковой и газовой защиты в покрытия этого типа вводят соответствующие минеральные и органические компоненты, а для повышения производительности процесса иногда добавляют железный порошок. При сварке на постоянном и переменном токе разбрызгивание металла незначительно. Устойчивость горения дуги высокая, формирование швов во всех пространственных положениях хорошее;

П — прочие виды покрытий.

При покрытии смешанного вида используют соответствующее двойное условное обозначение.

По допустимым пространственным положениям сварки или наплавки электро-

ды подразделяют: 1 — для всех положений; 2 — для всех положений, кроме вертикального сверху вниз; 3 — для нижнего, горизонтального на вертикальной плоскости и вертикального снизу вверх; 4 — для нижнего и нижнего «в лодочку».

По роду и полярности применяемого при сварке или наплавке тока, а также по номинальному напряжению холостого хода используемого источника питания сварочной дуги переменного тока частотой 50 Гц электроды обозначают: 0 — только для постоянного тока обратной полярности; 1, 2, 3 — для напряжения холостого хода источника переменного тока  $50 \pm 5$  В соответственно любой, прямой и обратной полярности; 4, 5, 6 — то же, для  $70 \pm 10$  В; 7, 8, 9 — то же,  $90 \pm 5$  В.

ГОСТ 9467—75 классифицирует электроды для сварки углеродистых, легированных конструкционных и легированных теплоустойчивых сталей в зависимости от механических свойств металла шва и сварного соединения, выполненного этими электродами, на несколько типов. Каждому типу может соответствовать одна или несколько марок электродов. Марка электродов характеризуется определенным составом покрытия, маркой электродного стержня, технологическими свойствами, свойствами металла шва.

Общие требования к электродам, правила приемки, методы испытаний швов и сварных соединений, условия маркировки и упаковки, документация на электроды регламентированы ГОСТ 9466—75.

Условное обозначение электродов для сварки конструкционных сталей состоит из обозначения марки электрода, его типа, диаметра стержня, типа покрытия и номера ГОСТа. Например, условное обозначение электрода  $\frac{Э46А-УОНИ-13/45-3,0-УД2}{Е432(5)-Б10}$  ГОСТ 9466—75.

По ГОСТ 9467—75 это расшифровывается следующим образом: Э46А — тип электрода по ГОСТ 9467—75 (Э — электрод для дуговой сварки; 46 — минимальный гарантируемый предел прочности металла шва в кгс/мм<sup>2</sup>—460 МПа; А — гарантируется получение повышенных пластических свойств металла шва); УОНИ-13/45 — марка электрода, 3,0 — диаметр; У — электроды для сварки углеродистых и низколегированных сталей; Д2 — с толстым покрытием второй группы; Е — электрод; 432(5) — установленная по ГОСТ 9467—75 группа индексов, указыва-

Таблица 5. Электроды металлические для дуговой сварки конструкционных сталей (ГОСТ 9467—75)

Тип электрода	Механические свойства при нормальной температуре (не менее)					Основное назначение
	металла шва или наплавленного металла			сварного соединения, выполненного электродами диаметром менее 3 мм		
	Временное сопротивление, МПа	Относительное удлинение, %	Ударная вязкость, Дж/см <sup>2</sup>	Временное сопротивление, МПа	Угол изгиба α°	
Э38	380	14	30	380	60	Сварка углеродистых и низколегированных конструкционных сталей с временным сопротивлением до 500 МПа
Э42	420	18	80	420	150	
Э46	460	18	80	460	150	
Э50	500	16	70	500	120	
Э42А	420	22	150	420	180	
Э46А	460	22	140	460	180	
Э50А	500	20	130	500	150	
Э55	550	20	120	550	150	
Э60	600	18	100	600	120	
Э70	700	14	60	—	—	
Э85	850	12	50	—	—	
Э100	1000	10	50	—	—	
Э125	1250	8	40	—	—	
Э150	1500	6	40	—	—	

Примечание. Для электродов типа Э70, Э85, Э100, Э125, Э150 механические свойства указаны после термообработки соответственно паспорту на электрод.

ющих характеристики наплавленного металла и металла шва; 43 — временное сопротивление разрыву — не менее 430 МПа; 2 — относительное удлинение не менее 22%; 5 — ударная вязкость не менее 34,5 Дж/см<sup>2</sup> при температуре минус 40°С; Б — основное покрытие; 1 — для сварки во всех пространственных положениях; О — на постоянном токе обратной полярности.

**Электроды для сварки углеродистых и низколегированных конструкционных сталей.** Для сталей обычной прочности предназначены электроды Э38, Э42, Э46, Э50, Э42А, Э46А, Э50А, Э55 и Э60; для конструкционных сталей повышенной и высокой прочности — электроды Э70, Э85, Э100, Э125, Э150. Механические свойства швов и сварных соединений при применении электродов для сварки конструкционных сталей должны соответствовать нормам, приведенным в табл. 5. Основные марки электродов для ручной сварки и их характеристики приведены в табл. 6.

**Электроды для сварки легированных теплоустойчивых сталей.** Эти стали сваривают электродами девяти типов по ГОСТ 9467—75, которые классифицируют по механическим свойствам и химическому составу наплавленного металла. Буквы, стоящие после буквы Э, показывают гарантированное содержание легирующих элементов в наплавленном металле. Марки и характеристики электродов для сварки теплоустойчивых сталей приведены в табл. 7 и 8.

**Электроды для сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами (ГОСТ 10052—75).** Для сварки коррозионно-стойких, жаропрочных и жаростойких высоколегированных сталей мартенситного, мартенсито-ферритного, ферритного, аустенито-ферритного и аустенитного классов существует 49 типов электродов (табл. 9).

Таблица 6. Электроды для сварки углеродистых и низколегированных конструкционных сталей

Марка электрода	Условное обозначение по ГОСТ 9466—75 и ГОСТ 9467—75	Диаметр, мм	Сварочный ток, А	Коэффициент наплавления, г/(А·ч)	Режим прокладки	Расход на 1 кг наплавленного металла, кг
СМ-11	Э42А-СМ-11-Ø-УД	3	100—140	10	320 °С, 1 ч	1,7
	Е43 2(5)-Б16	4	160—220			
УОНИ-13/45	Э42А-УОНИ-13/45-Ø-УД	2	30—50	8,5	250 °С, 1 ч	1,5
		2,5	60—80			
	3	80—100				
АНО-5	Э42-АНО-5-Ø-УД	4	100—160	11	180 °С, 1 ч	1,6
		5	140—200			
	4	160—230				
АНО-6	Э42-АНО-6-Ø-УД	5	190—300	10	180 °С, 1 ч	1,7
		4	180—200			
ОЗС-23	Э42-ОЗС-23-Ø-УД	5	180—270	8,5	140 °С, 0,7 ч	1,6
		2	40—60			
ВСЦ-4	Э42-ВСЦ-4-Ø-УС	3	90—120	9,5	100 °С, 1 ч	1,5
		4	120—160			
АНО-4	Э46-АНО-4-Ø-УД	3	100—140	8,5	180 °С, 1 ч	1,6
		4	170—200			
	5	190—270				
АНО-14	Э46-АНО-14-Ø-УД	3	90—140	8,5	200 °С, 1 ч	1,6
		4	150—200			
	5	180—270				
АНО-18	Э46-АНО-18-Ø-УД	4	140—230	10,5	180 °С, 1 ч	1,7
		5	150—300			
	4	140—230				
ОЗС-4	Э46-ОЗС-4-Ø-УД	3	90—100	9	140 °С, 0,7 ч	1,6
		4	160—180			
	5	200—250				
ОЗС-6	Э46-ОЗС-6-Ø-УД	3	90—150	10	160 °С, 1 ч	1,5
		4	150—210			
	5	210—300				
	6	300—400				
ОЗС-12	Э46-ОЗС-12-Ø-УД	2	50—60	8,5	160 °С, 0,5 ч	1,7
		2,5	70—80			
	3	90—110				
	4	130—160				
МР-3	Э46-МР-3-Ø-УД	5	160—200	7,5	180 °С, 1 ч	1,7
		3	90—120			
	4	160—180				
ОЗС-21	Э46-ОЗС-21-Ø-УД	5	170—230	8,5	140 °С, 0,7 ч	1,7
		6	280—320			
	3	90—120				
ВН-48	Э46А-ВН-48-Ø-УД	4	160—200	11	260 °С, 1 ч	1,6
		5	200—250			
	3	70—90				
УОНИ-13/55К	Э46А-УОНИ-13/55К-Ø-УД	3	100—130	9,5	260 °С, 1 ч	1,6
		4	140—180			
	5	190—240				
	6	250—280				
	3	80—100				
УОНИ-13/55К	Е 43 3-Б20	4	120—160	9,5	260 °С, 1 ч	1,6
		5	170—210			
		4	120—160			

Марка электрода	Условное обозначение по ГОСТ 9466—75 и ГОСТ 9467—75	Диаметр, мм	Сварочный ток, А	Коэффициент наплавления, г/(А·ч)	Режим прокладки	Расход на 1 кг наплавленного металла, кг
ОЗС-22Р	Э46А-ОЗС-22Р-Ø-УД	3	120—140	10	220 °С, 1,5 ч	1,6
	Е 43 2(3)-БРЖ14	4	180—200			
		5	240—260			
ОЗС-17Н	Э46-ОЗС-17Н-Ø-УД	4	150—160	9,5	160 °С, 0,7 ч	1,5
	Е 43 0-РЖ45	5	200—230			
		6	260—290			
ОЗС-22Н	Э46-ОЗС-22Н-Ø-УД	5	190—200	9,5	220 °С, 1,5 ч	1,6
	Е 43 2(3)-БРЖ44	6	240—260			
УОНИ-13/55	Э50А-УОНИ-13/55-Ø-УД	2	40—70	9	350 °С, 1 ч	1,5
		2,5	50—80			
		3	60—100			
		4	110—160			
		5	140—200			
АНО-11	Э50А-АНО-11-Ø-УД	3	90—140	9,5	300 °С, 1 ч	1,5
	Е 51 5-Б26	4	130—200			
		5	160—270			
ТМУ-21У	Э50А-ТМУ-21У-Ø-УД	3	80—110	9,5	400 °С, 1,5 ч	1,5
		4	130—170			
		5	170—200			
ЦУ-5	Э50А-ЦУ-5-Ø-УД	2,5	75—90	9,5	400 °С, 1 ч	1,6
	Е 51 3(0)-Б20	4	160—220			
ДСК-50	Э50А-ДСК-50-Ø-УД	4	160—220	10	360 °С, 1 ч	1,6
	Е 51 5-Б16	5	180—280			
ОЗС-25	Э50А-ОЗС-25-Ø-УД	2,5	50—75	9,5	260 °С, 1 ч	1,6
		3	80—100			
		4	130—160			
		5	180—210			
		5	180—210			
ОЗС-18	Э50А-ОЗС-18-Ø-УД	3	90—110	9,5	260 °С, 1 ч	1,5
	Е 51 0-Б20	4	150—170			
		5	170—190			
СК2-50	Э50А-СК2-50-Ø-УД	3	120—140	9,5	400 °С, 1 ч	1,6
		4	160—220			
		5	180—280			
ВСЦ-4	Э50-ВСЦ-4-Ø-УС	3	90—110	9,5	100 °С, 1 ч	1,4
	Е 51 0(3)-Ц14	4	120—170			
УОНИ-13/55У	Э55-УОНИ-13/55У-Ø-УД	4	150—200	10	260 °С, 1 ч	1,6
		5	250—330			
		6	300—450			
УОНИ-13/65	Э60-УОНИ-13/65-Ø-УД	2	40—60	9,5	260 °С, 1 ч	1,6
		2,5	60—100			
		3	80—110			
		4	130—160			
		5	160—210			
ОЗС-24	Э60-ОЗС-24-Ø-УД	3	90—110	9,5	390 °С, 1 ч	1,7
	Е-06ГСНЗ-7-Б20	4	140—150			
ВФС-65У	Э60-ВФС-65У-Ø-ЛД	3	100—120	9,5	350 °С, 1 ч	1,4
	Е-11ГМ-5-Б20	4	150—180			
ВСЦ-60	Э60-ВСЦ-60-Ø-ЛС	5	180—200	10	100 °С, 1 ч	1,5
	Е-11ГМН-3-Ц14	6	240—260			
ВФС-75У	Э70-ВФС-75У-Ø-ЛД	4	150—190	9	350 °С, 1 ч	1,4
	Е-11ГМФ-3-Б20					

Марка электрода	Условное обозначение по ГОСТ 9466—75 и ГОСТ 9467—75	Диаметр, мм	Сварочный ток, А	Коэффициент наплавки, г/(А·ч)	Режим прокладки	Расход на 1 кг наплавленного металла, кг
ВФС-85	Э85-ВФС-85-Ø-ЛД	3	90—130	9,5	400 °С, 1 ч	1,4
	Е-09Г2Н1МХ-3-В20					
УОНИ-13/85	Э85-УОНИ-13/85-Ø-ЛД	2	50—80	10	270 °С, 1 ч	1,6
	Е-12Г2СМ-0-В20	2,5	70—100			
		3	90—120			
		4	140—170			
НИАТ-3М	Э85-НИАТ-3М-Ø-ЛД	5	180—220	9,5	270 °С, 1 ч	1,6
		2	50—80			
	Е-13Г1ХМ-0-В20	2,5	60—100			
		3	90—130			
		4	150—180			
ОЗШ-1	Э100-ОЗШ-1-Ø-ЛД	5	200—250	8,5	350 °С, 2 ч	1,4
		2	50—60			
	Е-16Г2С1Х1М-0-В20	2,5	60—70			
		3	80—100			
		4	110—140			
		5	150—200			

**Электроды для наплавки поверхностных слоев.** ГОСТ 10051—75 устанавливает 44 типа покрытых металлическими электродами для этой цели (табл. 10). Химический состав электродного стержня оказывает значительное влияние на химический состав наплавленного металла и его механические свойства. Диаметр электродного стержня определяет технологическую применимость электрода и диапазоны допустимых значений сварочного тока, а следовательно, и температуру нагрева свариваемого изделия, размеры и жидкотекучесть сварочной ванны.

### § 9. РАСЧЕТ РАСХОДА ЭЛЕКТРОДОВ

Основные величины, характеризующие процесс сварки и наплавки, — коэффициенты расплавления  $\alpha_p$ , наплавки  $\alpha_n$  и потерь  $\varphi$ . От их значений зависит производительность сварки.

Коэффициент расплавления  $г/(А·ч)$

$$\alpha_p = G_p / It,$$

где  $G_p$  — масса расплавленного электродного металла, г;  $I$  — сварочный ток, А;  $t$  — время, ч.

Коэффициент наплавки,  $г/(А·ч)$ ,

$$\alpha_n = G_n / It,$$

где  $G_n$  — масса наплавленного металла, г.

Коэффициент наплавки обычно меньше коэффициента расплавления на 3—5  $г/(А·ч)$ , так как часть расплавленного электродного металла теряется на окисление, испарение и разбрызгивание.

Коэффициент наплавки  $\alpha_n$  характеризует производительность процесса сварки и наплавки. Чем больше величина  $\alpha_n$ , тем больше производительность сварки. Производительность сварки,  $г/ч$ ,

$$P_{св} = \alpha_n I.$$

Коэффициент потерь, %,

$$\varphi = (\alpha_p - \alpha_n) 100 / \alpha_p.$$

Расход покрытых электродов  $G_{эл}$  определяют по расходу проволоки  $G_{пр}$  или наплавленному металлу  $G_n$ :

$$G_{эл} = G_{пр}(1 + k_1) = G_{пр}(1 + 0,9k);$$

$$G_{пр} = G_n / \alpha_n = \lambda G_n / (1 - \varphi),$$

где

$$G_n = \rho F_n L.$$

Следовательно,

$$G_{эл} = (1 + k_1) \lambda G_n / (1 - \varphi) = (1 + 0,9k) \lambda G_n / (1 - \varphi).$$

где  $k$  — коэффициент массы покрытия;  $k_1$  — отношение массы покрытия к массе всего электродного стержня;  $\alpha_n$  — коэффициент использования стержня;  $\rho$  — плотность наплавленного металла,  $г/см^3$ ; при сварке толстопокрытыми электродами

Таблица 7. Технологическая характеристика электродов для сварки теплоустойчивых сталей

Тип	Марка	Коэффициент наплавления, г/(А·ч)	Диаметр электрода, мм	Допускаемая сила тока в нижнем положении, А	Расход электродов на 1 кг наплавленного металла, кг	Род тока, полярность	Пространственное положение	Технология процесса сварки	Основное назначение			
Э-09МХ	ЦЛ-14	10,5	4	180	1,6	Постоянный, обратной полярности и переменный	Любое	Сварка с предварительным подогревом изделия до 300 °С для сталей 20МХ-Л и до 200 °С для стали 12МХ. После сварки высокий отпуск при 710 °С	Для сварки трубопроводов и деталей турбин из сталей 12МХ, 15МХ, 20МХ-Л, работающих при температуре до 550 °С. Толщина свариваемых деталей до 20—30 мм			
										»	Сварка с предварительным и сопутствующим подогревом до 200 °С короткой дугой. После сварки высокий отпуск при 710 °С. Отсыревшие электроды прокалить при 350 °С в течение 1 ч	Для сварки сталей 30ХМ, 34ХМ, 20Х3МВФ, толщиной до 100 мм с повышенным требованием к прочности
										Нижнее и вертикальное	Сварка с предварительным и сопутствующим подогревом стали 34ХМ до 350 °С, 20Х3МВФ — до 450 °С. Необходима прокатка электродов перед сваркой при 350 °С в течение 1 ч	То же
Э-09МХ	ГЛ-14	8	3	120 180 220	1,5	Постоянный, обратной полярности	»	Сварка с предварительным и сопутствующим подогревом до 200 °С короткой дугой. После сварки высокий отпуск при 710 °С. Отсыревшие электроды прокалить при 350 °С в течение 1 ч	Для сварки сталей 30ХМ, 34ХМ, 20Х3МВФ, толщиной до 100 мм с повышенным требованием к прочности			
			3							»	Сварка с предварительным и сопутствующим подогревом до 200 °С короткой дугой. После сварки высокий отпуск при 710 °С. Отсыревшие электроды прокалить при 350 °С в течение 1 ч	То же
			4							»	Сварка с предварительным и сопутствующим подогревом до 200 °С короткой дугой. После сварки высокий отпуск при 710 °С. Отсыревшие электроды прокалить при 350 °С в течение 1 ч	
Э-09МХ	ЦЛ-30	10,4	4	160 210	1,6	То же	Нижнее и вертикальное	Сварка с предварительным и сопутствующим подогревом стали 34ХМ до 350 °С, 20Х3МВФ — до 450 °С. Необходима прокатка электродов перед сваркой при 350 °С в течение 1 ч	То же			
			5							»	Сварка с предварительным и сопутствующим подогревом до 200 °С короткой дугой. После сварки высокий отпуск при 710 °С. Отсыревшие электроды прокалить при 350 °С в течение 1 ч	



Э-09Х1МФ	ЦЛ-20	10,3	4	160	1,6	Постоян- ный, обрат- ной поляр- ности	Любое	Сварка с предваритель- ным и сопутствующим по- догревом. Обязательна защитка кромок перед сваркой. Сварка корот- кой дугой с последующим высоким отпуском при 700—740 °С в течение 3 ч. Перед сваркой элект- роды прокалить при 330— 350 °С в течение 45 мин	Для сварки ответствен- ных конструкций из ста- лей 20ХМФ, 20ХМФ-Л, 12Х1НФ, работающих при 500—700 °С
			5						
Э-10Х3М1БФ	ЦЛ-26М	10,5	3	130	1,6	»	Любое	Перед сваркой рекомен- дуется полная термооб- работка. Сварка с пред- варительным и сопутству- ющим подогревом до 350—400 °С. После свар- ки следует высокий от- пуск при 740—760 °С в течение 5 ч. Сварка ко- роткой дугой. Перед свар- кой электроды прокалить при 330—350 °С в тече- ние 1 ч	Для сварки конструкций из жаропрочных сталей перлитного класса типа 15ХМФКР и 12Х2МФБ, работающих при 600 °С. Возможно применение для сварки тонкостенных изделий из всех теплоус- тойчивых перлитных ста- лей
			5						
Э-10Х5МФ	ЦЛ-17—63	10,5	3	120	1,6	»	»	Возможна сварка корот- кой дугой по зазорам. Необходим предваритель- ный и сопутствующий по- догрев изделий до 300— 400 °С. После сварки вы- сокий отпуск при 760 °С в течение 3 ч. Далее медленное охлаждение до 500 °С, а затем на воз- духе. Перед сваркой электроды прокалить при 300—350 °С в течение 45 мин	Для сварки ответствен- ных конструкций из ста- лей Х5М, 15Х5МФА, ра- ботающих в условиях до 450 °С
			5						

Таблица 8. Электроды для сварки легированных теплоустойчивых сталей

Марка электрода	Условные обозначения по ГОСТ 9466—75 и ГОСТ 9467—75 или ТУ	Диаметр, мм	Сварочный ток, А	Коэффициент на плавки, г/(А·ч)	Режим проковки	Расход на 1 кг наплавленного металла, кг
ТМЛ-4В	<u>Э-09Х1М-ТМЛ-4В-Ø-ТД</u> Е-04-Б20	3	80—110	9,5	400 °С, 1,5 ч	1,6
		4	130—170			
		5	170—200			
ТМЛ-1У	<u>Э-09Х1М-ТМЛ-IV-Ø-ТД</u> Е-04-Б20	3	80—110	9	370 °С, 1,5 ч	1,5
		4	130—170			
		5	170—200			
ЦЛ-39	<u>Э-09Х1МФ-ЦЛ-39-Ø-ТД</u> Е-06-Б20	2,5	70—90	9,5	400 °С, 1 ч	1,6
ТМЛ-3У	<u>Э-09Х1МФ-ТМЛ-3У-Ø-ТД</u> Е-06-Б20	3	80—110	9,5	400 °С, 1,5 ч	1,5
		4	130—170			
		5	170—200			
ОЗС-11	<u>Э-09МХ-ОЗС-11-Ø-ТД</u> Е-03-РБ23	3	90—110	8,5	180 °С, 0,5 ч	1,8
		4	130—150			
		5	160—210			

Таблица 9. Электроды для сварки высоколегированных сталей и сплавов

Марка электрода	Условные обозначения по ГОСТ 9466—75 и ГОСТ 10052—75 или ТУ	Диаметр, мм	Сварочный ток, А	Коэффициент на плавки, г/(А·ч)	Режим проковки	Расход на 1 кг наплавленного металла, кг
<u>УОНИ-13/НЖ</u> 12Х13	<u>Э-12Х13<sup>УОНИ-13/НЖ</sup> 12Х13-Ø-ВД</u> Е-000-Б20	2	40—60	11	200 °С, 1 ч	1,7
		2,5	60—90			
		3	80—100			
		4	110—140			
		5	140—170			
ОЗЛ-22	<u>Э-02Х21Н10Г2-ОЗЛ-22-Ø-ВД</u> Е-2006-П10	3	65—85	13	200 °С, 1 ч	1,8
		4	110—130			
ОЗЛ-14А	<u>Э-04Х20Н9-ОЗЛ-14А-Ø-ВД</u> Е-2006-Р20	3	50—70	11	320 °С, 1 ч	1,6
		3	80—90			
ОЗЛ-36	<u>Э-04Х20Н9-ОЗЛ-36-Ø-ВД</u> Е-2006-РБ20	4	140—160	13,5	200 °С, 1,5 ч	1,5
		5	170—180			
		5	170—180			
ОЗЛ-8	<u>Э-07Х20Н9-ОЗЛ8-Ø-ВД</u> Е-2004-Б20	2	30—50	13	200 °С, 1 ч	1,6
		2,5	40—60			
		3	50—70			
		4	110—130			
		5	150—170			
ОЗЛ-7	<u>Э-08Х20Н9Г2Б-ОЗЛ-7-Ø-ВД</u> Е-2005-Б20	2	30—50	12	200 °С, 1 ч	1,6
		2,5	40—50			
		3	60—70			
		4	110—130			
		5	140—160			

Марка электрода	Условные обозначения по ГОСТ 9466—75 и ГОСТ 10052—75 или ТУ	Диаметр, мм	Сварочный ток, А	Коэффициент наплавки, г/(А·ч)	Режим прокатки	Расход на 1 кг наплавленного металла, кг			
ЦЛ-11	<u>Э-08Х20Н9Г2Б-ЦЛ-11-Ø-ВД</u> Е-2005-Б20	2	40—55	11	200 °С, 1 ч	1,7			
		2,5	55—65						
		3	70—90						
		4	130—150						
		5	150—180						
ЦТ-15	<u>Э-08Х19Н10Г2Б-ЦТ-15-Ø-ВД</u> Е-2453-Б20	2	50—70	10,5	200 °С, 1 ч	1,7			
		2,5	70—90						
		3	80—100						
		4	110—140						
		5	150—180						
ЦЛ-9	<u>Э-10Х25Н13Г2Б-ЦЛ-9-Ø-ВД</u> Е-2005-Б20	3	80—100	11	200 °С, 1 ч	1,7			
		4	130—150						
		5	150—170						
		5	150—170						
АНВ-20	<u>АНВ-20-Ø-ВД</u> Е-000-РБ20	3	80—110	11	200 °С, 1 ч	1,5			
		4	110—140						
ОЗЛ-20	<u>Э-02Х20Н14Г2М2-ОЗЛ-20-Ø-ВД</u> Е-2001-1110	3	65—85	13,5	200 °С, 1 ч	1,8			
		4	110—130						
<u>НИАТ-1</u> <u>04Х19Н9</u>	<u>Э-08Х17Н8М2-<sup>НИАТ-1</sup> 04Х19Н9-Ø-ВС</u> Е-2005-БР20	2	30—50	10,5	200 °С, 1 ч	1,6			
		2,5	40—70						
		3	50—80						
		4	100—140						
		5	130—170						
НЖ-13	<u>Э-09Х19Н10Г2М2Б-НЖ-13-Ø-ВС</u> Е-2005-Б20	3	70—90	13	150 °С, 2 ч	1,8			
		4	120—140						
		5	160—180						
		6	180—200						
		3	60—80				12	200 °С, 1 ч	1,6
		4	110—130						
5	140—170								
ОЗЛ-17У	<u>ОЗЛ-17У-Ø-ВД</u> Е-400-БР20	3	110—130	14	200 °С, 1 ч	1,7			
		4	130—160						
ОЗЛ-37-1	<u>ОЗЛ-37-1-Ø-ВД</u> Е-400-БР20	3	110—130	13,5	310 °С, 0,75 ч	1,7			
		4	130—160						
ОЗЛ-21	<u>Э-02Х20Н60М15В3-ОЗЛ-21-3,0-ВД</u> Е-000-П20	3	80—100	16	200 °С, 1 ч	1,6			
		3	80—100						
ОЗЛ-23	<u>ОЗЛ-23-3,0-ВД</u> Е-000-П20	3	80—100	17	200 °С, 1 ч	1,6			
		3	80—100						
ОЗЛ-25Б	<u>Э-10Х20Н70Г2М2Б2В-ОЗЛ-25Б-3,0-ВД</u> Е-087-Б20	3	60—80	14	200 °С, 1 ч	1,4			
		3	60—80						
ОЗЛ-6	<u>Э-10Х25Н13Г2-ОЗЛ-6-Ø-ВД</u> Е-2975-Б20	3	60—80	11,5	200 °С, 1 ч	1,6			
		4	120—140						
		5	140—160						
КТИ-7А	<u>Э-27Х15Н35В3Г2Б2Т-КТИ-7А-Ø-ВД</u> Е-096-Б20	3	80—100	10	200 °С, 1 ч	1,6			
		4	110—130						
ОЗЛ-31	<u>ОЗЛ-31-Ø-ВД</u> Е-097-Б20	3	80—100	10	200 °С, 1 ч	1,8			
		4	100—130						
ОЗЛ-9А	<u>Э-28Х24Н16Г6-ОЗЛ-9А-Ø-ВД</u> Е-097-РБ20	2,5	40—70	13,5	190 °С, 1 ч	1,7			
		3	70—90						

Марка электрода	Условные обозначения по ГОСТ 9466—75 и ГОСТ 10052—75 или ТУ	Диаметр, мм	Сварочный ток, А	Коэффициент наплавки, г/(А·г)	Режим прокатки	Расход на 1 кг наплавленного металла, кг
ВИ-ИМ-1	<u>ВИ-ИМ-1-Ø-ВД</u> Е-000-Б30	4	110—130	12	200 °С, 1 ч	1,6
		2	30—60			
		2,5	40—75			
		3	60—90			
ЦТ-28	<u>Э-08Х14Н65М15В4Г2-ЦТ-28-Ø-ВД</u> Е-000-Б20	4	100—130	10,5	200 °С, 1 ч	1,5
		3	80—100			
		4	110—140			
ИМЕТ-10	<u>Э-04Х10Н60М24-ИМЕТ-10-Ø-ВД</u> 5-086-БР30	2,5	40—75	15	200 °С, 1 ч	1,3
		3	60—100			
ОЗЛ-2	<u>ОЗЛ-2-Ø-ВД</u> Е-5060-Б20	3	60—80	12	200 °С, 1 ч	1,6
		4	110—130			
		5	140—160			
ОЗЛ-5	<u>Э-12Х24Н14С2-ОЗЛ-5-Ø-ВД</u> Е-0075-Б20	3	60—80	12,5	200 °С, 1 ч	1,5
		4	110—130			
		5	140—160			
ГС-1	<u>ГС-1-Ø-ВД</u> Е-0077-Б20	3	70—90	10,5	200 °С, 1 ч	1,7
		4	110—130			
		5	140—160			
ОЗЛ-29	<u>Э-10Х17Н13С4-ОЗЛ-29-Ø-ВД</u> Е-0085-Б20	3	80—90	15,5	200 °С, 1 ч	1,5
ОЗЛ-25	<u>Э-10Х20Н70Г2М2В-ОЗЛ-25-Ø-ВД</u> Е-008-Е20	3	80—100	11	200 °С, 1 ч	1,5
ОЗЛ-35	<u>ОЗЛ-35-Ø-ВД</u> Е-009-Б20	3	90—100	13	200 °С, 1 ч	1,6
		4	120—130			
ОЗЛ-27	<u>ОЗЛ-27-Ø-ВД</u> Е-000-РБ25	2,5	60—90	10	200 °С, 1 ч	1,9
		3	90—100			
ОЗЛ-28	<u>ОЗЛ-28-Ø-ВД</u> Е-0000-РБ25	2,5	60—80	10	200 °С, 1 ч	1,9
		3	90—100			
АНЖР-1	<u>АНЖР-1-Ø-ВД</u> Е-001-Б20	3	85—95	15	200 °С, 1 ч	1,7
		4	110—125			
		5	130—145			
АНЖР-2	<u>АНЖР-2-Ø-ВД</u> Е-001-Б20	3	85—95	14,5	200 °С, 1 ч	1,6
		4	110—125			
		5	140—160			
АНЖР-3У	<u>АНЖР-3У-Ø-ВД</u> Е-001-БР20	3	85—95	10	200 °С, 1 ч	1,7
		4	110—125			
		5	130—145			
ОЗЛ-19	<u>ОЗЛ-19-Ø-ВД</u> Е-2070-РБ20	3	70—80	12,5	200 °С, 1 ч	1,7
		4	110—130			
НИИ-48Г	<u>Э-10Х20Н9Г6С-НИИ-48Г-Ø-ВС</u> Е-0050-Б10	3	100—130	11,5	200 °С, 1 ч	1,7
		4	140—180			
		5	190—200			
НИАТ-5	<u>Э-11Х15Н25М6АГ2-НИАТ-5-Ø-ВД</u> Е-000-Б20	2	30—50	12,5	250 °С, 1 ч	1,6
		2,5	40—70			
		3	60—100			
		4	100—140			
		5	130—170			

Таблица 10. Наиболее распространенные типы и марки электродов для наплавки и основные области их применения

Тип	Марка	Область применения
Э-10Г2 Э-11Г3 Э-12Г4 Э-15Г5 Э-30Г2ХМ	ОЗН-250У ОЗН-300У ОЗН-350У ОЗН-400У НР-70	Детали, работающие в условиях интенсивных ударных нагрузок (оси, валы, автосцепки, железнодорожные крестовины, рельсы)
Э-16Г2ХМ Э-35Г6 Э-30В8Х3 Э-35Х12В3СФ Э-90Х4М4ВФ	ОЗШ-1 ЦН-4 ЦШ-1 Ш-16 ОЗН-3	Штампы для горячей штамповки
Э-37Х9С2 Э-70Х3СМТ Э-24Х12 Э-20Х13 Э-35Х12Г2С2 Э-100Х12М Э-120Х12Г2СФ Э-10М9Н8К8Х2СФ	ОЗШ-3 ЭН-60М ЦН-5 48Ж-1 НЖ-3 ЭН-Х12М Ш-1 ОЗШ-4	Штампы для холодной штамповки
Э-80В18Х4Ф Э-90В10Х5Ф2 Э-105В6Х5М3Ф3 Э-10К18В11М10Х3Ф Э-300Х28Н4С4 Э-225Х10Г10С Э-110Х14В13Ф2 Э-175Б8Х6СТ	ЦИ-1М ЦИ-2У И-1 ОЗИ-5 ЦС-1 ЦН-11 ВСН-6 ЦН-16	Металлорежущий инструмент, а также штампы для горячей штамповки в тяжелых условиях (осадка, вытяжка, прошивки) Детали, работающие в условиях интенсивного абразивного изнашивания с ударными нагрузками
Э-08Х17Н8С6Г Э-09Х16Н9С5Г2М2ФТ Э-09Х31Н8АМ2 Э-13Х16Н8М5С5Г4Б Э-15Х15Н10С5М3Г Э-15Х28Н10С3ГТ Э-15Х28Н10С3М2ГТ Э-200Х29Н6Г2 НЭ-190К62Х29В5С2	ЦН-6М, ЦН-6Л ВПИ-1 УОНИ-13/Н1-БК ЦН-12М, ЦН-12Л ЦН-18 ЦН-19 ЦН-20 ЦН-3 ЦН-2	Уплотнительные поверхности арматуры для котлов, трубопроводов и нефтеаппаратуры
Э-65Х11Н3 Э-65Х25ПЗН3	ОМГ-Н ЦНИИН-4	Изношенные детали из высокомарганцовистых сталей типов 110Г13 и 110Г13Л
Э-95Х7Г5С Э-30Х5В2Г2СМ	12АН/ЛИВТ ТКЗ-Н	Детали, работающие в условиях интенсивных ударных нагрузок с абразивным изнашиванием
Э-80Х4С Э-320Х23С2ГТР Э-320Х25С2ГР Э-350Х26Г2Р2СТ	13КН/ЛИВТ Т-620 Т-590 Х-5	Детали, работающие преимущественно в условиях абразивного изнашивания

ми принимают  $\rho = 7,8 \text{ г/см}^3$ ;  $L$  — длина шва, мм;  $F_n$  — площадь наплавки мм<sup>2</sup>;  $\lambda$  — отношение длины стержня электрода к длине расплавляемой его части;  $\varphi$  — коэффициент потерь.

Коэффициенты  $k$  и  $k_1$  определяют по формулам:

$$k = (G_s - mL_s) / mL_0 \quad k_1 = (G_s - mL_s) / mL_s,$$

2 Зак. 21

где  $G_s$  — масса электрода, г;  $L_s$  — длина электрода, см;  $m$  — масса 1 см электродной проволоки данного диаметра, г/см;  $L_0$  — длина покрытой части электрода, см.

Коэффициент потерь  $\varphi$  для разных электродов различен (потери 6—25%); его обычно принимают 1,1—1,25.

## ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ ДЛЯ ДУГОВОЙ СВАРКИ

## § 10. СВАРОЧНАЯ ДУГА

Сварочная дуга представляет собой электрический дуговой разряд в ионизированной смеси газов, паров металла и компонентов, входящих в состав электродных покрытий, флюсов и т. д.

Если ионизированный воздушный промежуток находится в электрическом поле, то подвижные газовые ионы приходят в движение и создают электрический ток. Однако при вязкой ионизации наступает динамическое равновесие, заключающееся в том, что в каждую единицу времени восстанавливается столько же молекул из ионов (молизация, рекомбинация), сколько распадается. Таким образом, как только прекращается действие ионизирующих факторов, исчезает электропроводимость и ток прекращается.

Для возбуждения дугового разряда при сварке для получения начальной ионизации обычно два электрода сводят до соприкосновения (электрод и деталь), а затем их быстро разводят. При достаточно большом токе при соприкосновении электродов в промежутке между концами электродов выделяется большое количество теплоты. Ток между электродами проходит через мелкие неровности на торцах и разогревает их до расплавления. При быстром разведении электродов расплавленные мостики растягиваются и сужаются, вследствие чего плотность тока доходит в них в момент разрыва до такой величины, что обращает их в пар. При высокой температуре паров металла ионизация промежутка получается настолько значительной, что при сравнительно небольшой разности потенциалов между концами электродов возникает дуговой разряд. Разряд поддерживается далее как стационарная устойчивая дуга в том случае, если сохраняются факторы, поддерживающие ионизацию дугового промежутка.

При нагреве концов электродов имеющиеся всегда в металле электроны полу-

чают такое приращение кинетической энергии, что становятся в состоянии вылететь за пределы поверхности катода. Это явление носит название термоэлектронной эмиссии. Если между электродами имеется достаточно сильное электрическое поле (достаточная разность потенциалов), то полет заряженных частиц ориентируется полем и устанавливается стабильная дуга. В момент зажигания дуги промежуток еще недостаточно нагрет и для его ионизации необходима увеличенная кинетическая энергия, которая может быть получена усилением электрического поля, т. е. некоторым повышением напряжения между электродами по сравнению с тем напряжением, которое требуется для поддержания дуги в установившемся состоянии.

При увеличении силы тока в дуге с возрастанием его плотности возрастает и электропроводимость газа, т. е. уменьшается сопротивление дугового промежутка, вследствие чего та часть общего напряжения цепи, которая приходится на дуговой промежуток, падает. Таким образом, для поддержания большего тока в дуге требуется меньшее напряжение, чем для поддержания меньшего тока. Опытным путем установлено, что указанная зависимость существует при токах в дуге до 50 А, когда зависимость между силой тока в дуге и напряжением дугового промежутка является однозначной при определенных неизменяемых условиях (длина столба дуги, состав газовой среды, свойства электродов). С увеличением силы тока напряжение дуги падает. Однако для больших токов (выше 50 А), которые используются обычно при дуговой сварке, напряжение дуги постоянной длины сохраняется практически постоянным. Это явление объясняется тем, что электропроводимость дугового промежутка при увеличении силы тока до 50 А возрастает быстрее силы тока, а более 50 А электро-

проводимость возрастает прямо пропорционально силе тока.

Ток в сварочной дуге обусловлен в основном упорядоченным движением свободных электронов. За положительное направление тока в дуге, как это принято в физике и электротехнике, принимают перемещение частиц, несущих положительный заряд, равный по абсолютной величине заряду электрона. Положительное направление тока противоположно направлению свободных электронов, движущихся между изделием и торцом электродной проволоки под действием сил электрического поля.

Области дуги, в которых температура столба дуги снижается до температуры расплавленного или нагретого металла, называют **приэлектродными областями** дуги. В них протекают процессы, резко отличающиеся от процессов в столбе дуги.

Энергия, выделяющаяся в этих областях, расходуется на плавление металла изделия и плавящегося электрода или на плавление металла и нагрев вольфрамового электрода. В приэлектродных областях скапливаются заряженные частицы и возникают пространственные (объемные) заряды. В катодной области скапливаются положительные ионы, а в анодной — электроны. В связи с этим в приэлектродных областях создаются условия для резкого возрастания напряженности электрического поля. Напряженность в приэлектродных областях порядка  $(1-2) \times 10^6$  В/см (в столбе дуги 10—35 В/см).

При горении дуги в катодной области возникает положительный объемный заряд и растет напряженность электрического поля у катода. Эмиссия электронов возникает в первую очередь с тех мест поверхности катода, где работа выхода электронов меньше. Эти места называют **активными пятнами**.

Активное пятно на катоде (катодное пятно) непрерывно перемещается (блуждает) по поверхности его торца. Перемещение катодного пятна вызывает пространственное изменение расположения столба дуги, так как оно является основанием дуги. Падение напряжения в катодной области обычно преобладает в

общем напряжении дуги, а его величина зависит от конкретных физических условий. Мощность, выделяемая в катодной области, расходуется на нагрев и плавление электрода, т. е. непосредственно на процесс сварки. Часть теплоты, приобретенной катодом, уходит в его массу путем теплоотдачи.

В анодной области при горении дуги создается отрицательный объемный заряд. Электроны, поступающие из столба дуги в анодную область, нейтрализуются у поверхности анода, отдают энергию при воссоздании нейтральных атомов вещества анода и вызывают увеличение его температуры. Кроме того, часть электронов задерживается в пространственном заряде. Так как максимальная температура анода не может превышать температуру кипения материала анода, которая меньше температуры столба дуги, то из столба идет интенсивный теплоотвод в сторону анода. В анодной области ионизация практически не происходит. Величина анодного падения напряжения практически не зависит от сварочного тока. Для дуг с плавящимся электродом анодное падение напряжения равно  $2,5 \pm 1$  В. Мощность, выделяемая в анодной области при прямой полярности, расходуется на плавление металла анода.

Напряжение дуги есть сумма падений напряжений в анодной ( $U_a$ ), катодной ( $U_k$ ) областях и столбе дуги  $U_c$ :

$$U_d = U_a + U_c + U_k.$$

Для дуг с плавящимся электродом при нормальных режимах

$$U_k > U_a, U_a + U_k > U_c.$$

Зависимость напряжения дуги от сварочного тока называют статической (вольт-амперной) характеристикой дуги (рис. 11, а).

При малых значениях силы тока в электроде (область I) статическая характеристика дуги падающая. При средних значениях силы тока (при ручной и автоматизированной дуговой сварке под флюсом) напряжение дуги не зависит от силы тока (область II, жесткая характеристика). В этом случае с достаточной точностью статическая характеристика может быть выражена уравнением

$$U_d = a + bI_d,$$

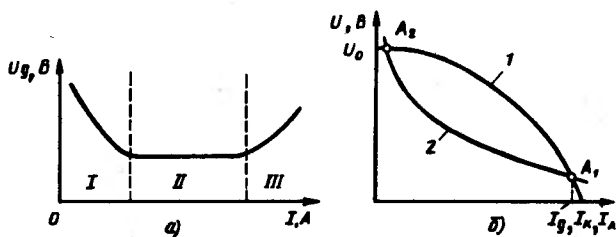


Рис. 11. Общий вид статической (вольт-амперной) характеристики дуги ( $A$ ) и устойчивости системы: источник питания — дуга ( $b$ ):

$1$  — внешняя характеристика источника питания;  $2$  — статическая характеристика дуги

где  $a$ ,  $b$  — постоянные коэффициенты, зависящие от материала электрода, давления и свойств газовой среды;  $l_d$  — длина дуги, мм. Из уравнения следует, что напряжение дуги при всех прочих равных условиях зависит от длины столба дуги.

Возрастающая статическая характеристика дуги (область III) получается при большой силе тока (при автоматизированной сварке под флюсом на больших плотностях или при сварке в среде защитных газов).

**Устойчивость системы источник питания — дуга.** Свойства источника определяются его внешней характеристикой, представляющей собой зависимость изменения напряжения источника (кривая 1, рис. 11, б) от сварочного тока. Свойства дуги также определяются зависимостью изменения напряжения дуги (кривая 2) от сварочного тока, т. е. ее статической характеристикой.

Система источник питания — дуга должна находиться в установившемся состоянии, которое определяется точками  $A_1$  и  $A_2$ . Пересечение внешней характеристики с осью ординат определяет напряжение холостого хода источника  $U_0$ , а с осью абсцисс — силу тока короткого замыкания  $I_k$ .

Точка  $A_2$  называется точкой зажигания дуги, а точка  $A_1$  — точкой устойчивого горения. Только в этих двух точках при данной внешней характеристике источника тока имеются условия, при которых дуга может гореть. Однако дуга всегда автоматически будет переходить в нижнюю рабочую точку, в которой только и возможно ее устойчивое горение. Если по какой-либо причине сила тока уменьшится, напряжение источника превысит установившееся напряжение

дуги, ток дуги увеличится и будет соответствовать точке  $A_1$ . Наоборот, при случайном увеличении силы тока напряжение источника будет меньше напряжения дуги, ток уменьшится и режим горения дуги восстановится.

Если статическая характеристика дуги падающая, то для устойчивого горения дуги внешняя характеристика источника питания в рабочей точке должна быть более крутопадающей, чем статическая характеристика дуги.

**Особенности сварочной дуги переменного тока.** Вследствие того, что мгновенные значения переменного тока переходят через нуль 100 раз в 1 с, меняет свое положение катодное пятно, являющееся источником электронов, ионизация дугового промежутка менее стабильна и сварочная дуга менее устойчива по сравнению с дугой постоянного тока.

Если дуга включена в цепь переменного тока последовательно с активным сопротивлением, то мгновенные значения напряжения источника и сварочного тока совпадают по фазе, так как в сварочной цепи имеются только активные сопротивления (дугу рассматривают так же, как чисто активное сопротивление). В каждый полупериод дуга затухает и вновь зажигается (восстанавливается), когда напряжение источника повышается до некоторой величины, называемой напряжением зажигания дуги.

Зажигание дуги характеризуется началом прохождения тока в сварочной цепи. В каждый полупериод имеется перерыв в прохождении тока при затухании дуги (время погасания дуги). Момент погасания происходит при несколько меньшем мгновенном значении напряжения источника, чем момент зажигания. Время погасания дуги зависит от амплитудного



значения напряжения источника тока, напряжения зажигания дуги и частоты переменного тока. Время восстановления дуги сокращается при повышении напряжения холостого хода, использовании повышенных частот, а также при снижении напряжения зажигания. Из указанных мер стабилизации дуги наибольшее распространение получило снижение напряжения зажигания, что достигается применением электродов с ионизирующими покрытиями, элементы которых имеют низкие потенциалы ионизации.

Увеличение амплитудных значений синусоиды напряжения ограничивается правилами техники безопасности, по которым допускается максимальное эффективное значение напряжения источника переменного тока для питания сварочных постов не выше 80 В (ГОСТ 95—77Е).

Производство сварочных работ на повышенных частотах осложняется необходимостью применения вместо обычных сварочных трансформаторов, включаемых в заводские электросети, специальных генераторов переменного тока, рассчитанных на нестандартные частоты. В некоторых специальных случаях применяют также способ сварки дугой двойного питания. Общепринятой мерой повышения стабилизации сварочной дуги переменного тока является включение в сварочную цепь последовательно с дугой индуктивного сопротивления. Последовательное включение в сварочную цепь катушек со стальным сердечником (дросселей) позволяет вести сварочные работы металлическими электродами на переменном токе при напряжении сварочного трансформатора порядка 60—65 В при нормальной частоте при условии содержания в покрытии электродов достаточного количества ионизирующих элементов.

Включение в сварочные цепи переменного тока дросселей позволяет поддерживать стабильность дуги и регулировать сварочный ток изменением индуктивного сопротивления.

Напряжение зажигания зависит от ряда факторов, в первую очередь от силы тока дуги. С увеличением сварочного тока напряжение зажигания дуги снижается. Для сварки открытой дугой напряжение зажигания  $U_z$  и напряжение горения  $U_d$  дуги имеют следующую зависимость:

$$U_z = (1,3 \div 2,5) U_d.$$

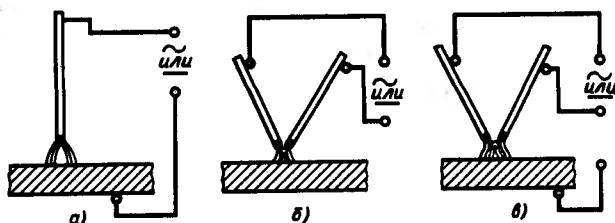
**Типы сварочных дуг.** В зависимости от типа применяемого электрода дуга может возбуждаться между плавящимся (металлическим) и неплавящимся (угольным, вольфрамовым и др.) электродами и изделием. По принципу работы дуги бывают прямой, косвенной и комбинированной действия (рис. 12).

Дугой прямого действия называют дуговой разряд, происходящий между электродом и изделием. Косвенная дуга представляет собой дуговой разряд между двумя электродами (атомно-водородная сварка). Комбинированная дуга — это сочетание дуги прямого и косвенного действия. Примером комбинированной дуги служит трехфазная дуга, у которой две дуги электрически связывают электроды с изделием, а третья горит между двумя электродами, изолированными друг от друга.

Температура в столбе сварочной дуги зависит от состава газовой среды, диаметра электрода, плотности тока и т. п. и колеблется в диапазоне 5000—10 000°С. При определенных условиях температура на оси столба может быть и выше. На поверхностях электродов в области электродных пятен температура обычно близка к температуре кипения материала электродов.

Рис. 12. Электрическая сварочная дуга:

а — прямого; б — косвенного; в — комбинированного действия



**Магнитное дутье.** В сварочной дуге столб дуги можно рассматривать как гибкий проводник, по которому проходит электрический ток и который под действием электромагнитного поля может изменять свою форму. Если будут созданы условия для взаимодействия электромагнитного поля, возникающего вокруг сварочной дуги, с посторонними магнитными полями, с собственным полем сварочной цепи, а также с ферромагнитными материалами, то в этом случае произойдет отклонение дугового разряда от первоначальной собственной оси. При этом может нарушаться и сам процесс сварки. Это явление получило название магнитного дутья.

Большое влияние на это явление оказывает угол наклона электрода, который вызывает отклонение дуги. Сильное действие на отклонение дуги оказывают ферромагнитные массы: массивные сварные изделия (ферромагнитные массы) имеют большую магнитную проницаемость, чем воздух, а магнитные силовые линии всегда стремятся пройти по той среде, которая имеет меньшее сопротивление, поэтому дуговой разряд, расположенный ближе к ферромагнитной массе, всегда отклоняется в ее сторону. Влияние магнитных полей и ферромагнитных масс можно устранить путем изменения места токоподвода, угла наклона электрода, временного размещения ферромагнитного материала для создания симметричного поля и заменой постоянного тока переменным.

На столб сварочной дуги действует также несимметричное магнитное поле, которое создается током, протекающим в изделии; столб дуги при этом будет отклоняться в сторону, противоположную токоподводу.

## **§ 11. ТРЕБОВАНИЯ К ИСТОЧНИКАМ ПИТАНИЯ СВАРОЧНОЙ ДУГИ И ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ**

Устойчивость горения дуги зависит от соответствия форм внешней характеристики источника заданной форме статичес-

кой характеристики дуги. Внешняя характеристика источника питания, как и характеристика дуги, может быть падающей, жесткой или возрастающей.

Для ручной дуговой сварки, когда статическая характеристика дуги жесткая, внешняя характеристика источника питания должна быть крутопадающей. Чем больше крутизна падения внешней характеристики источника, тем меньше колебания тока при изменении длины дуги. При таких характеристиках напряжение холостого хода источника питания всегда больше напряжения дуги, что облегчает первоначальное и повторные зажигания дуги, особенно при сварке на переменном токе. Кроме того, при крутопадающей внешней характеристике ограничивается ток короткого замыкания, который находится в пределах 1,25—2 рабочего тока.

Источники питания сварочной дуги должны обеспечить возможность настройки различных режимов сварки, т. е. устанавливать оптимальную силу тока при заданном напряжении дуги. Для этого источник питания должен иметь регулирующее устройство, позволяющее в определенном диапазоне регулирования получать несколько внешних характеристик, которые обеспечивают устойчивое горение дуги при заданных напряжении и токе.

Наиболее распространенный способ настройки режима сварки — комбинированное регулирование, заключающееся в том, что весь диапазон регулирования по току разбит на ряд ступеней (грубое регулирование), а в пределах каждой ступени возможно плавное регулирование.

При изменении ступеней напряжение холостого хода источника питания может оставаться постоянным или изменяться в зависимости от значения устанавливаемого сварочного тока. При этом необходимо учитывать, что при переходе на малые силы тока нежелательно снижать напряжение холостого хода источника питания.

Каждый источник питания рассчитывают на определенную нагрузку, при которой он работает, не перегреваясь выше

допустимых норм. Ток и напряжение источника, при которых он работает в данном режиме не перегреваясь, называются номинальными.

Номинальное значение сварочного тока различно при разных режимах работы источника питания (перемежающийся или повторно-кратковременный режимы). Режим работы характеризуется отношением длительности сварки к сумме длительности сварки и длительности холостого хода и выражается в процентах. Перемежающийся режим характеризуется относительной продолжительностью нагрузки за время цикла (ПН), а повторно-кратковременный режим характеризуется продолжительностью включения (ПВ). В последнем случае источник питания во время пауз в работе отключается от сети (рис. 13):

$PВ\% \text{ или } ПН\% = t_{св} 100 / (t_{св} + t_n)$ ,  
где  $t_{св}$  — время сварки;  $t_n$  — время пауз;  
 $t_u = t_{св} + t_n$  — время цикла. Понятно, что чем больше ПН, тем тяжелее режим работы и тем меньше должно быть номинальное значение сварочного тока.

За номинальный режим работы однопостовых сварочных генераторов, трансформаторов и выпрямителей принят режим при ПН = 20,35 или 60% и многопостовых источников питания — при ПН = 100%.

Помимо указанных основных требований, общих для всех источников питания, к сварочным генераторам постоянного тока предъявляют специальные требования в отношении динамических свойств, под которыми понимают способность источника питания быстро восстанавливать в цепи дуги соответствие напряжения изменившемуся току (при разрыве дуги

напряжение должно быстро восстанавливаться до величины напряжения холостого хода, а при коротком замыкании электродов быстро падать до нуля).

Время восстановления напряжения от нуля до напряжения горения дуги у сварочных генераторов не должно превышать 0,03 с (ГОСТ 304—82Е).

Источники питания сварочной дуги, выпускаемые отечественной промышленностью, классифицируют по следующим признакам:

роду тока — источники переменного (сварочные трансформаторы) и постоянного тока (преобразователи, агрегаты и выпрямители);

внешней характеристике — источники с крутопадающими, жесткими, возрастающими и смешанными вольт-амперными характеристиками;

числу одновременно питаемых постов — источники однопостовые и многопостовые;

характеру привода — источники с электрическим приводом и независимым приводом (от двигателя внутреннего сгорания);

особенности горения дуги — источники для сварки свободно горящей дугой и сжатой;

способу установки и монтажа — стационарные и передвижные;

принципу действия и конструктивному оформлению — сварочные трансформаторы с нормальным магнитным рассеянием (с отдельной реактивной обмоткой и на общем магнитопроводе), увеличенным магнитным рассеянием (с подвижным магнитным шунтом и подвижными обмотками); сварочные выпрямители с кремниевыми или селеновыми вентилями; преобразователи с независимой намагничивающей обмотками, расщепленными полюсами; агрегаты-генераторы с двигателями внутреннего сгорания (бензиновые карбюраторного типа и дизели);

назначению — источники питания для ручной дуговой сварки, автоматизированной и механизированной сварки под флюсом, сварки в защитных газах, плазменной резки и сварки, электрошлаковой сварки и источники питания током спе-

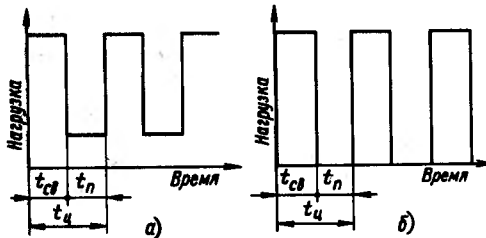


Рис. 13. Изменение нагрузки во времени при перемежающемся (а) и повторно-кратковременном (б) режимах работы источника питания

циального назначения (для трехфазной сварки, многодуговой).

Согласно единой структуре обозначения электросварочного оборудования обозначение оборудования состоит из буквенной и цифровой частей. Первая буква — тип изделия (В — выпрямитель, Т — трансформатор, Г — генератор, У — установка), вторая буква — вид сварки (Д — дуговая, П — плазменная), третья — способ сварки (Г — в защитных газах, Ф — под флюсом, У — универсальные источники), отсутствие третьей буквы обозначает ручную дуговую сварку электродами, четвертая буква — назначение источника (М — для многопостовой сварки, И — импульсной сварки). Две или одна цифра после букв — номинальный сварочный ток в сотнях ампер, две последующие цифры — регистрационный номер изделия, следующие буквы — климатическое исполнение (Т — для эксплуатации в районах с тропическим климатом, У — в районах с умеренным климатом, ХЛ — с холодным климатом), следующая цифра — категория размещения (1 — на открытой площадке, 2 — прицепы, кузова автомобилей, 3 — помещения с естественной вентиляцией, 4 — с отоплением и принудительной вентиляцией; 5 — с повышенной влажностью).

Например, расшифровывая источники питания ВДГМ-1601Т2, получим: выпрямитель для дуговой сварки в защитных газах, многопостовый, сварочный ток 1600 А, регистрационный номер изделия 01, для работы в районах с тропическим климатом, категория размещения 2.

## § 12. ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Основные источники питания для сварки на переменном токе — сварочные трансформаторы. Их подразделяют на две группы: трансформаторы с нормальным магнитным рассеянием и дополнительной реактивной катушкой — дросселем (трансформаторы типа СТЭ сняты с производства) и трансформаторы с повышенным магнитным рассеянием (типа ТД). По способу регулирования индук-

тивного сопротивления трансформаторы второй группы можно разделить на три основных типа: с магнитными шунтами, подвижными обмотками и витковым (ступенчатым) регулированием.

К трансформаторам с магнитными шунтами относятся трансформаторы типа СТШ, которые выполнены с развитым (повышенным) магнитным рассеянием, регулируемым подвижными шунтами с помощью ходового винта. Трансформаторы этого типа (СТШ-250, 300, 500-80) сняты с производства, но они еще имеются в эксплуатации на ряде предприятий.

Сварочные трансформаторы с подвижными обмотками (типа ТД) предназначены для питания электрической дуги при ручной дуговой сварке, резке и наплавке металлов однофазным переменным током частотой 50 Гц. Трансформаторы этого типа однопостовые. Магнитное рассеяние у них регулируют изменением расстояния между первичной и вторичной обмотками. Вторичное напряжение трансформаторов несколько зависит от расстояния между обмотками: напряжение холостого хода при сдвинутых обмотках больше, при раздвинутых — меньше. Магнитопровод трансформатора стержневого типа. Первичная обмотка неподвижна и закреплена у нижнего ярма, вторичная обмотка подвижная, она перемещается вверх и вниз вручную с помощью винта, проходящего через верхнее ярмо. Значение сварочного тока увеличивается при сближении обмоток и уменьшается при увеличении расстояния между ними. У трансформаторов типа ТД уменьшены масса и размеры, повышены технологичность конструкции, удобство обслуживания и надежность работы. Уменьшение массы и размеров достигнуто благодаря применению двухдиапазонного плавного регулирования тока: в диапазоне больших токов первичная и вторичная обмотки включаются попарно параллельно, в диапазоне малых токов — последовательно. При переключении на малые токи часть витков первичной обмотки отключается и напряжение холостого хода повышается, что обеспечивает стабильность горения дуги на малых токах. Для включения и

Таблица 11. Технические характеристики сварочных трансформаторов для ручной дуговой сварки

Параметр	ТД-102У2	ТД-306У2	ТДМ-317У2	ТДМ-401У2	ТДМ-503-У2, ТДМ-503-1У2, ТДМ-503-2У2, ТДМ-503-3У2
Номинальный сварочный ток, А	160	250	315	400	500
Пределы регулирования сварочного тока, А	60—175	100—300	60—360	80—460	230—580* 75—230**
Продолжительность работы при цикле 5 мин, ПВ, %	20	25	60	60	60
Номинальное рабочее напряжение, В	26,4	30	32,6	36	40
Напряжение холостого хода, В	80	80	80	80	65* 75**
Номинальная потребляемая мощность, кВт	11,4	19,4	21	27	36
КПД, %	70	75	83	84	85
Габаритные размеры, мм	542×300× ×530	308×345× ×585	585×555× ×818	585×555× ×848	585×555× ×888
Масса, кг	37	67	130	145	175

Примечание. ТДМ-503-1У2 и ТДМ-503-3У2 снабжены устройством снижения напряжения холостого хода УСНТ-06У2, ТДМ-503-2У2 и ТДМ-503-3У2 — конденсатором КСТС-0,38-9,4У2 для повышения коэффициента мощности ( $\cos \varphi$ ).

\* В диапазоне больших токов.

\*\* В диапазоне малых токов.

отключения служит переключатель, смонтированный внутри трансформатора.

Сварочный трансформатор, предназначенный для строительных работ, должен быть заключен в жесткий кожух, обладать возможностью дистанционного регулирования сварочного тока, иметь небольшую массу и размеры. На базе трансформатора ТД-300 разработан сварочный трансформатор ТД-304 с приставкой дистанционного регулирования сварочного тока, которая размещена на крышке кожуха трансформатора. Дистанционное регулирование тока осуществляется по сварочному кабелю без применения дополнительных проводов, что обеспечивает большое удобство в работе сварщика. Основные технические характеристики сварочных трансформаторов приведены в табл. 11.

Неисправности трансформаторов могут приводить к сильному гудению. Гудение происходит по двум причинам: из-за механического расстройства крепления магнитопровода и механизма перемещения обмоток (дребезжание кожуха также может повысить гудение) и замыкания

в первичной обмотке (при этом трансформатор потребует из сети большой ток и сильно нагревается).

В первом случае необходимо устранить имеющиеся перекосы в устройстве перемещения обмоток, а также подтянуть шпильки. Во втором случае следует разобрать отключенный от сети трансформатор, устранить витковое замыкание и, если понадобится, отремонтировать или перемотать обмотку вновь. В последнем случае нужно строго следить за тем, чтобы было сохранено прежнее число витков в обмотках.

Признаком виткового замыкания во вторичной обмотке является нагрев и даже расплавление части обмотки, замкнувшейся накоротко. Устраняют эту неисправность так же, как при замыкании в первичной обмотке трансформатора.

Нарушение контакта в соединениях характеризуется повышенным нагревом соединений и поэтому требует немедленно устранения. Трансформатор следует отключить, разобрать поврежденное сое-

динение, зачистить контактные поверхности, плотно пригнать их и до отказа затянуть зажимы. Перегрев обмоток и контактов может быть вызван также недопустимой перегрузкой трансформатора.

Чрезмерный нагрев магнитопровода и скрепляющих его шпилек происходит из-за нарушения изоляции его листов и изоляции шпилек. Необходимо восстановить изоляцию.

Повреждение изоляции между обмоткой и корпусом (корпус оказывается под напряжением) происходит сравнительно редко. Такая неисправность особенно опасна для сварщика, если трансформатор не заземлен. Необходимо срочно отключить трансформатор от сети, снять кожух и с помощью мегаомметра отыскать место повреждения.

### § 13. ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА

*Сварочные генераторы* постоянного тока подразделяют:

по числу питаемых постов — на однопостовые для питания одной сварочной дуги и многопостовые для одновременного питания нескольких сварочных дуг;

по способу установки — на стационарные и передвижные;

по форме внешних характеристик — с падающими, жесткими, возрастающими или с пологопадающими внешними характеристиками;

по роду привода — генераторы с электрическим приводом и генераторы с двигателями внутреннего сгорания;

по способу исполнения — однокорпусные (сварочный генератор и элект-

родвигатель на одном валу в одном корпусе) и отдельные (сварочный генератор и электродвигатель выполнены на общей раме, а их валы соединены через специальные муфты).

Генераторы с независимым возбуждением и размагничивающей последовательной обмоткой (рис. 14, а) имеют две обмотки возбуждения. Обмотка независимого возбуждения создает поток независимого возбуждения  $\Phi_n$ . Эта обмотка получает питание от постороннего источника постоянного тока. Сила тока в цепи независимого возбуждения регулируется реостатом. Вторая обмотка возбуждения — серийная (противокомпаундная), включена последовательно в цепь сварочного тока, вследствие чего магнитный поток  $\Phi_p$  зависит от сварочного тока. Как показано стрелками на рис. 14, обмотки возбуждения, намотанные встречно, создают своими противоположными магнитодвижущими силами встречные потоки. При холостом ходе, когда сварочная цепь разомкнута, действует только поток независимого возбуждения, вследствие чего ЭДС генератора  $E = c \Phi_n$ , где  $c$  — постоянная генератора.

При сварке, когда сварочный ток проходит через последовательную обмотку, создается поток  $\Phi_p$ , который направлен навстречу потоку  $\Phi_n$ . Результирующий поток  $\Phi_{рез}$  и  $E$  будут уменьшаться. Одновременно будет падать и напряжение на зажимах генератора.

Сварочный ток генераторов этого типа регулируют реостатом в цепи обмотки независимого возбуждения и секционированием последовательной обмотки.

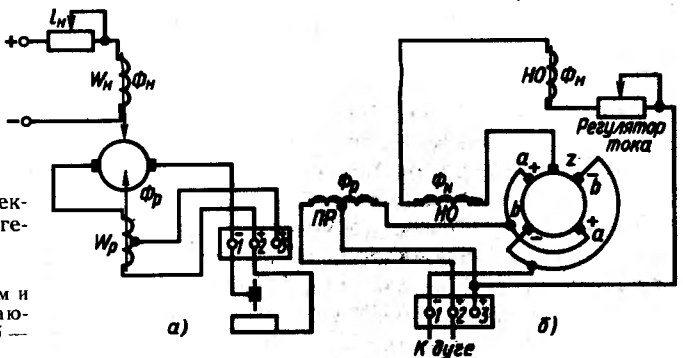


Рис. 14. Принципиальная электрическая схема сварочного генератора:

а — с независимым возбуждением и последовательно размагничивающей обмоткой (типа ГСО); б — ГС-500 с самовозбуждением

Генераторы с намагничивающей параллельной и размагничивающей последовательной обмотками возбуждения являются генераторами с самовозбуждением (рис. 14, б). Обмотки возбуждения *НО* питаются от основной щетки и вспомогательной щетки *z*, расположенной между основными щетками, примерно под серединой полюсной дуги. Размагничивающая (последовательная) обмотка *ПР* включена последовательно в цепь якоря. Обмотки *НО* и *ПР* могут быть размещены каждая на всех полюсах или раздельно. Для облегчения коммутации вспомогательной щетки *z* в дуге основных полюсов сделаны вырезы в зоне коммутации этой щетки.

Падающая внешняя характеристика получается в основном за счет размагничивающего действия обмотки *ПР*. Обмотка *НО* питается напряжением, действующим на части обмотки якоря между щетками *a* и *z*. Это напряжение обуславливается половиной результирующего потока основного полюса в воздушном пространстве и половиной поперечного потока реакции якоря. С увеличением тока нагрузки первый поток уменьшается вследствие влияния размагничивающего действия серийной обмотки, а второй поток увеличивается. Окончательно результирующий поток, проходящий между щетками *a* и *z* и создающий ЭДС на этих щетках, остается практически постоянным. Щетки *a* и *z* питают обмотки самовозбуждения генератора. Одновременно ЭДС и напряжение на главных щетках падают, так как результирующий поток, пронизывающий проводники якоря, падает вследствие размагничивающего действия обмотки *ПР* и поперечной реакции якоря.

Сварочный ток у таких генераторов можно регулировать реостатом в цепи возбуждения. Возможно также добавочное регулирование переключением витков серийной обмотки возбуждения, что часто используют в генераторах с размагничивающими обмотками. Схема допускает четырехполюсное использование генераторов, которое имеет ряд преимуществ вследствие простоты конструкции и уменьшения ее массы.

Таблица 12. Технические характеристики преобразователей и генераторов для ручной дуговой сварки

Параметр	ПД-305У2	ПД-502У2	ПСО-300-2У2	ПСГ-500-1У3	ГД-304У3	ГД-502У2	ГСО-300-5У2	ГСМ-500У2	УДЗ-101У3
Номинальный сварочный ток при ПВ=60%, А	315	500	315	500	315	500	315	315 (одного поста)	125
Пределы регулирования сварочного тока, А	40—350	75—500	115—315	60—500	15—350	15—500	100—315	50—630	15—135
Номинальное рабочее напряжение, В	32	40	32	40	32,6	40	32	55	25
Напряжение холостого хода, В	90	80	90	80	100	90	90	70	—
Номинальная мощность, кВт·А	17,4	30	13	31	—	—	9,6	27,5	7,5 (потребляемая)
Габаритные размеры, мм	1200×580×845 ×280	1065×650×935 ×550	1069×620×822 ×435	1050×1620×840 ×460	676×622×698 ×260	950×500×750 ×400	630×520×625 ×218	1017×636×585 ×680	1140×490×645 ×230
Масса, кг									

Технические характеристики современных сварочных преобразователей приведены в табл. 12.

*Эксплуатация преобразователей.* От правильного ухода за сварочными преобразователями во многом зависит их срок службы.

При пуске в эксплуатацию впервые или после длительного перерыва необходимо проверить сопротивление изоляции всех обмоток преобразователя, которое должно быть не ниже 0,5 мОм.

Коллектор генератора требует систематического ухода и наблюдения. При правильной эксплуатации генератора на коллекторе должны отсутствовать следы нагара. Его поверхность должна иметь коричневатый цвет с синеватым отливом. Исправный коллектор требует только систематического удаления пыли путем протирки его чистой тряпкой, смоченной в бензине.

Щетки генераторов должны соответствовать данным инструкции на эксплуатацию преобразователя. Применять щетки других видов запрещается. Щеточный механизм следует регулярно осматривать. Изношенную или поврежденную щетку нужно заменять новой.

Так как смазочный материал шарикоподшипников с течением времени портится, то 1—2 раза в год его следует менять. Удалив загрязнения, гнезда необходимо промыть бензином, после чего наполнить свежим смазочным материалом на  $1/3$ — $1/2$  свободного объема.

Уменьшение сопротивления изоляции обмоток преобразователя происходит вследствие проникания влаги, особенно при длительном бездействии машины на открытом воздухе или в сыром неотопляемом помещении. В этом случае перед пуском в работу обмотки следует просушить. Мелкая металлическая пыль, осаждающаяся внутри машины, также может вызвать снижение сопротивления изоляции отдельных обмоток машины. Поэтому преобразователь необходимо периодически продувать и протирать. Следует иметь в виду, что перегрузки преобразователя сильно сокращают срок службы изоляции. Недопустима эксплуатация преобразователей в сырых помещениях, содержа-

щих едкие пары или частицы веществ, вредно действующих на изоляцию.

*Возможны следующие основные неисправности генераторов.*

Асинхронный двигатель не запускается: значительно снижено подводимое напряжение — увеличить подводимое напряжение; обрыв в одной из фаз обмотки статора (сильное гудение) — устранить обрыв; неправильно соединены фазы обмотки — соединить концы согласно схеме. Перегрев обмотки статора электродвигателя с сильным запахом горелой изоляции: пробой на корпус — изолировать обмотку от корпуса в месте пробоя; витковое или междуфазовое соединение в обмотке статора — устранить соединение.

Генератор не дает напряжения: обрыв в цепи возбуждения — найти обрыв и устранить его; сильное загрязнение коллектора — прочистить коллектор; неправильное направление вращения — переменить направление вращения.

Перегрев обмоток генератора: нагрузка генератора выше номинальной — снизить нагрузку до номинального значения; перегрев коллектора генератора: сильное загрязнение или ненормальное искрение коллектора — прочистить коллектор.

Искрение щеток, сопровождаемое нагаром на всех коллекторных пластинах: щетку «заело» в щеткодержателе или, наоборот, щетка болтается в обойме (нагар по следу неисправной щетки) — установить правильно щетку; выступает слюда между пластинами — выбрать слюду; загрязнен коллектор — протереть коллектор чистой тряпкой, смоченной бензином.

Искрение щеток, сопровождаемое нагаром отдельных пластин: разошелся коллектор, т. е. выступают отдельные пластины — при малом дефекте отшлифовать коллектор, при большом — перебрать и проточить.

*Сварочные агрегаты.* Используют при выполнении строительного-монтажных работ, когда отсутствует электроэнергия. Агрегат состоит из электросварочного генератора постоянного тока и соединенного с ним эластичной муфтой двигателя внутреннего сгорания. Генератор и двига-



тель обычно монтируют на общей металлической раме.

Однопостовые электросварочные генераторы характерны тем, что при коротком замыкании у них резко возрастает нагрузка, а при холостом ходе сильно падает. Поэтому в сварочных агрегатах необходимо регулирование скорости вращения вала двигателя внутреннего сгорания. Для этой цели двигатели внутреннего сгорания снабжены автоматическими регуляторами оборотов, которые обеспечивают постоянную скорость вращения и быстрое восстановление ее при переходе от короткого замыкания к холостому ходу. При зажигании дуги в связи с возрастанием нагрузки скорость вращения вала двигателя уменьшается, но при этом срабатывает регулятор, который устанавливает требуемую скорость вращения. При горении дуги и холостом ходе, когда нагрузка резко снижается, регулятор поддерживает меньшую скорость вращения. Технические данные современных сварочных агрегатов приведены в табл. 13.

*Сварочные выпрямители* собирают из полупроводниковых элементов, которые проводят ток только в одном направлении. Наибольшее применение в этих установках получили селеновые и кремниевые полупроводниковые элементы. В сварочных выпрямителях используют трехфазную мостовую схему выпрямления, дающую меньшую импульсацию выпрямленного напряжения, более равномерную нагрузку питающей сети переменного тока и лучшее использование трансформатора, питающего выпрямитель.

Сварочные выпрямители имеют высокие динамические свойства вследствие меньшей электромагнитной инерции. Ток и напряжение при переходных процессах изменяются практически мгновенно. Отсутствие вращающихся частей делает установки более простыми и надежными в эксплуатации, чем генераторы постоянного тока.

В настоящее время нашли применение две типовые схемы полупроводниковых выпрямителей: трехфазная мостовая схема двухполупериодного выпрямления и шестифазная схема выпрямления с

уравнительным реактором.

Сварочные выпрямители с падающими внешними характеристиками предназначены для ручной дуговой сварки, резки и наплавки, а также для механизированной и автоматизированной сварки. Промышленность выпускает выпрямители типа ВД-306 на номинальный ток 315 А.

Эти выпрямители выполнены передвижными, рассчитаны на перемежающийся режим работы при принудительном охлаждении. Выпрямитель ВД-306УЗ имеет плавноступенчатое регулирование сварочного тока. Две ступени регулирования обеспечиваются одновременным переключением фаз первичных и вторичных обмоток сварочного трансформатора со звезды на треугольник с помощью переключателя. При переключении со звезды на треугольник пределы изменения тока увеличиваются в 3 раза. Плавное регулирование в пределах каждой ступени достигается изменением расстояния между обмотками. При сближении обмоток индуктивность рассеяния и их индуктивное сопротивление уменьшаются, сварочный ток возрастает. При увеличении расстояния между обмотками — наоборот. Первичные обмотки подвижные, а вторичные неподвижные и закреплены у верхнего ядра магнитопровода трансформатора.

Универсальные сварочные выпрямители типа ВДУ предназначены для однопостовой механизированной сварки в углекислом газе и под флюсом, их используют также для ручной дуговой сварки электродами.

Плавное регулирование сварочного тока при падающих внешних характеристиках и напряжения при жестких характеристиках осуществляется на дистанционном пульте управления. Для получения падающих внешних характеристик используется обратная связь по току. В качестве датчика сварочного тока применен магнитный усилитель. Рабочие обмотки магнитного усилителя включены последовательно с однофазным выпрямительным мостом. Для получения жестких внешних характеристик использована обратная связь по выходному напряжению.

Таблица 13. Технические характеристики агрегатов

Параметр	АСБ-300-7У1	АСБ-300МУ1	АСД-300МУ1	АДД-303У1	АДД-304У1	АДД-305У1
Номинальный сварочный ток при ПВ=60%, А	315	315	315	315	315	315
Номинальное рабочее напряжение, В	32	32	32	32	32	32
Пределы регулирования сварочного тока, А	100—315	100—315	45—315	100—315	100—315	100—315
Напряжение холостого хода, В	≤90	≤90	≤100	≤100	≤85	≤90
Номинальная мощность, кВт	22	22	15	15	18	29
Габаритные размеры, мм	660×890× ×1685	870×1670× ×1070	1915×895× ×1400	1915×895× ×1450	1900×880× ×1450	1915×895× ×1140
Масса, кг	640	550	920	940	850	900

Примечание. Агрегаты предназначены: АДД-502У2 — для ручной сварки на двух постах и одно сварки на воздухе и под водой; ПАС-400.6У1 имеет регулятор, снижающий напряжение холостого хода;

\* ПВ=65%.

\*\* ПВ=100%.

Таблица 14. Технические характеристики

Параметр	ВД-201У3	ВД-306У3	ВД-401У3	ВДГ-303У3	ВДГ-601У3	ВДГИ-302У3
Номинальный сварочный ток, А	200	315	400	315	630	315
Пределы регулирования сварочного тока, А	30—200	45—315	50—450	50—315	100—700	40—325
Продолжительность работы при цикле 5 мин, ПВ, %	60	60	60	60 (при цикле 10 мин)	60	60
Номинальное рабочее напряжение, В	28	32	36	40	66	35
Напряжение холостого хода, В	64—71	61—70	80	60	90	—
Номинальная потребляемая мощность, кВт·А	15	24	32	21	69	17,3
КПД, %	57	70	69	73	82	74
Габаритные размеры, мм	716×547× ×857	785×780× ×795	772×770× ×785	735×605× ×950	1250×900× ×1155	720×593× ×938
Масса, кг	120	174	200	230	560	250

Примечания: 1. ВД-201У3, ВД-306У3, ВД-401У3—выпрямители с механическим регулированием

2. ВДГ-303У3 предназначены для комплектации полуавтоматов для механизированной сварки в углекислом газе. Выпрямитель тиристорный, имеет жесткие внешние характеристики и дистанционное пере-

4. ВДГИ-302У3 предназначен для комплектации полуавтоматов для импульсно-дуговой сварки пла-

5. ВДУ-505У3, ВДУ-506У3, ВДУ-601У3 и ВДУ-1201У3—тиристорные выпрямители. Включение на-

6. ВДМ-1001УХЛ4 и ВДМ-1601У3 предназначены для питания семи и девяти сварочных постов

7. ВДУМ-4Х401У3 предназначен для питания четырех сварочных постов при механизированной внешние характеристики.

\* При жестких внешних характеристиках.

\*\* При падающих внешних характеристиках.

для ручной дуговой сварки в полевых условиях

АДД-502У1 при соединении постов		АСУМ-400.ОМ5	АСДП-500Г-У1	АДД-3112У1	АДБ-2502У1	АДБ-3120У1	ПАС-400.6У1	ПАС-400.8У1
раздельном	параллельном							
315 32	500 40	400* 70	500** 55	315 32	250** 30	315 32	500 40	500 40
60—330	250—500	100—400	50—315 (для одного поста)	30—350	40—300	15—350	120—600	120—600
—	—	≤100	—	≤75—80	—	≤75—80	—	—
37	—	42	27,5	29	7,5	29	48	48
2550×1200× ×1270		1660× ×560× ×920	6600× ×2500× ×2850	1900× ×900× ×1200	1550× ×950× ×1120	1900× ×900× ×1200	2950× ×900× ×1550	2950× ×900× ×1550
1600	1600	915	5020	905	480	690	1990	1990

постовый под флюсом АСУМ-400У1 — для ручной и механизированной сварки; ПАС-400—для ручной прочие — для ручной сварки, наплавки и резки.

стикн выпрямителей для дуговой сварки

ВДУ-505У3	ВДУ-506У3	ВДУ-601У3	ВДУ-1201У3	ВДМ-1001УХЛ4	ВДМ-1601У3	ВДМ-4×401У3
500	500	630	1250	315	315 (одного поста)	400
60—500* 50—500**	60—500* 50—500**	65—630* 60—630**	300— 1250*:**	—	—	100—400*:**
60	60	60	100	60	60	60
18—50* 22—46** 85	50* 46** 85	56* 52* 92	56* 56** 100	60 100	60 100	45* 36** 100
40	40	60	135	88	96	87
84* 82,5**	79	75	84,5** 83**	90	90	75
800×700× ×920 300	620×820× ×1000 310	1250×800× ×1300 400	1400×850× ×1250 750	1050×700× ×900 420	1050×820× ×1500 0	1350×850 ×1200 790

сварочного тока.

кислом газе, выполнен с дросселями насыщения, имеет бесступенчатую автоматическую подстройку

3. ВДГ-601У3 предназначен для комплектации полуавтоматов для механизированной сварки в углекислом газе.

включаемым электродом в защитных газах.

регулирование сварочного тока (напряжения) осуществляется дистанционно.

ручной дуговой сварки. Имеют жесткие внешние характеристики.

сварке в углекислом газе и ручной дуговой. Выпрямитель тиристорный, имеет жесткие и падающие

Многостовые сварочные выпрямители типа ВКСМ, ВДМ, ВДУМ, выпускаемые серийно, рассчитаны на номинальные длительные токи 1000—5000 А. Число постов определяют по номинальной силе тока одного поста и коэффициенту одновременности нагрузки, равному 0,6—0,7.

Сварочные выпрямители имеют жесткую внешнюю характеристику. Получение падающей внешней характеристики и регулирование силы сварочного тока поста осуществляют балластными реостатами РБ-300, поставляемыми комплектно с выпрямителями. Выпрямители многостовые состоят из следующих основных элементов: силового трехфазного понижающего трансформатора, выпрямительного кремниевого блока с вентилятором, пускорегулирующей и защитной аппаратуры. Технические характеристики современных отечественных сварных выпрямителей приведены в табл. 14.

Во время эксплуатации выпрямитель должен подвергаться плано-предупредительному контролю. Один раз в два месяца необходимо очищать кремниевые вентили от пыли и грязи сжатым воздухом и тщательно проверять затяжку контактных соединений. При получении нового выпрямителя следует проверить сопротивление изоляции относительно корпуса. Сопротивление изоляции первичного контура должно быть не ниже 1 МОм, а вторичного — не ниже 0,5 МОм. В случае снижения сопротивления изоляции выпрямитель необходимо просушить (внешним нагревом, обдувом теплым воздухом). Температура обмоток при сушке должна быть не выше 100°C.

Выпрямители, хранившиеся более одного года перед эксплуатацией, следует включать на 20 мин на напряжение, равное половине номинального значения, а затем на 4 ч — на номинальное переменное напряжение без нагрузки. Это требуется для подформовки селеновых элементов.

За работой вентилятора необходимо внимательно следить: при перегорании предохранителя в одной из фаз первичной цепи установки двигатель вентилятора, оставшись подключенным к сети

лишь двумя фазами, может перегреться и даже сгореть.

При работе выпрямителей возможны следующие неисправности. Выпрямитель не дает напряжения: а) не работает вентилятор или воздух засасывается не со стороны жалюзи — проверить работу вентилятора; изменить направление вращения так, чтобы воздух засасывался сверху, для чего необходимо поменять местами любые два провода, питающих электродвигатель вентилятора; б) неисправно реле контроля вентиляции — проверить работу реле; в) вышел из строя один из вентилях выпрямительного блока — снять ошиновку, соединяющую выпрямительный блок. Проверить все вентили с помощью тестера. Сопротивление вентиля в прямом и обратном направлениях должно резко различаться. Проверить отсутствие замыкания между корпусом вентиля и радиатором. Заменить неисправный вентиль.

Электродвигатель вентилятора не запускается и гудит: сгорел один из предохранителей в цепи двигателя — проверить и заменить предохранители; обрыв в цепи одной из фаз двигателя — проверить целостность цепи и включить его в соответствии со схемой.

Сильный нагрев или даже расплавление части обмотки трансформатора: витковое замыкание в обмотках — разобрать установку, ликвидировать витковое замыкание.

Неисправности у трансформатора выпрямителя и способы их устранения аналогичны тем, которые встречаются у сварочных трансформаторов (см. § 12).

#### § 14. СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ СВАРОЧНОЙ ДУГИ И УСТАНОВКИ

К специализированным относятся источники питания дуги, обладающие технологическими свойствами, обеспечивающими устойчивое горение дуги как постоянного, так и переменного тока, при ручной, механизированной и автоматизированной сварке плавящимся и неплавящимся электродами легких металлов и сплавов, коррозионно-стойких сталей, меди и других металлов, а также изделий из тонких и особо тонких материалов.

В схемах специализированных источников широко применяют различные вспомогательные устройства: осцилляторы, импульсные стабилизаторы горения дуги переменного тока, устройства для плавного снижения сварочного тока в конце сварки (заварка кратера), регуляторы тока и напряжения и др.

*Осцилляторы* применяют при сварке неплавящимся электродом в среде защитных газов для первоначального возбуждения дуги бесконтактным способом. Напряжение холостого хода источника питания (60—80 В) недостаточно для того, чтобы вызвать электрический разряд или даже искру в промежутке между изделием и электродом, хотя промежуток может составлять лишь доли миллиметра. Для возникновения в промежутке свободных электронов и возбуждения дуги необходим кратковременный импульс напряжения, который обеспечил бы пробой и последовательное развитие искрового разряда вплоть до дугового. Такой импульс может быть обеспечен осциллятором.

Осциллятор представляет собой генератор затухающих по амплитуде знакопеременных импульсов высокого напряжения ( $\sim 3$  кВ) и высокой частоты (100—3000 кГц). При подаче импульсов на промежуток между изделием и электродом происходит пробой промежутка искрой и появляются свободные электроды. Кратковременный искровой разряд развивается в дуговой, создавая условия для горения сварочной дуги, питаемой от основного источника питания.

С источниками питания постоянного тока осцилляторы применяют для первоначального возбуждения дуги; с источниками переменного тока — как для первоначального возбуждения дуги, так и для возбуждения дуги после смены полярности (после перехода тока через нуль). Используют осцилляторы параллельного и последовательного включения.

*Импульсный стабилизатор горения дуги (ИСГД)* применяют при сварке переменным током неплавящимся электродом изделий из легких сплавов в среде защитного газа. Параметры импульса — амплитуда  $\sim 600$  В, длительность 60—

80 мкс — устанавливают в соответствии с требованиями технологии. Пик тока импульса может достигать 60—800 А.

Установки УДГ-301 и УДГ-501 применяют для сварки переменным током неплавящимся (вольфрамовым) электродом изделий из легких металлов и сплавов в среде аргона.

Трансформатор имеет две ступени регулирования сварочного тока: ступень больших токов — при параллельном соединении секций обмоток и ступень малых токов — при их последовательном соединении. В пределах каждой ступени плавное регулирование сварочного тока осуществляется подмагничиванием шунта. Магнитный усилитель служит для управления током подмагничивания шунта, который регулируется резистором в цепи обмотки управления магнитного усилителя. Время заварки кратера регулируется от 0 до 30 с. После заварки кратера сварочный ток автоматически отключается.

Технические данные установок УДГ-301 и УДГ-501 приведены в табл. 15.

Установка УДГ-101 предназначена для сварки неплавящимся электродом изделий из коррозионно-стойких сталей постоянным током в среде аргона. Сварочный трехфазный трансформатор имеет жесткую внешнюю характеристику. Для получения падающей внешней характеристики и плавного изменения сварочного тока на двух ступенях регулирования во вторичную цепь включен магнитный усилитель. Выпрямительный блок собран по трехфазной мостовой схеме на селеновых вентилях. Линейный дроссель в цепи выпрямленного тока уменьшает броски тока при возбуждении дуги. Сварочный ток задается резистором.

Установка передвижная состоит из шкафа с аппаратурой, пульта дистанционного управления и водоохлаждаемой горелки со сменными цангами для электродов диаметром 0,5—2 мм; она оборудована также педальной кнопкой включения сварочного тока, измерительными приборами, газовым клапаном, ниппелями для подключения воды и аргона. Подается за 1—2 с до начала сварки и прекращается через 10 с после оконча-

Таблица 15. Технические данные специализированных установок

Параметр	Тип установки			
	УДГ-301	УДГ-501	УДГ-101	УПС-301
Нижний предел температуры окружающего воздуха, °С	+1	+1	-40	+1
Номинальный сварочный ток, А	315	500	50	315
Пределы регулирования тока, А	15—315	40—500	2—80	25—315
Номинальное рабочее напряжение, В	20	20	12	40
Напряжение холостого хода, В	75	75	70	80
Номинальное напряжение сети, В	200; 380	380	200; 380	220, 380
Потребляемая мощность, кВт·А	25	40	7	30
Габаритные размеры, мм	900×730×1620		940×650×905	634×925×760
Масса, кг, не более	400	500	250	350

Примечания: 1. ПН = 60%.

2. Климатическое исполнение, категория размещения — УХЛ4.

ния. Пульт дистанционного управления может находиться на расстоянии до 10 м от шкафа с аппаратурой. На пульте установлены резисторы для регулирования сварочного тока и времени заварки кратера, переключатель ступеней регулирования сварочного тока, кнопки проверки работы газового клапана и осциллятора. Технические данные установки приведены в табл. 15.

Установки серии УПС предназначены для плазменной сварки неплавящимся электродом постоянным током прямой и обратной полярности (табл. 15). На прямой полярности выполняют сварку изделий из меди и ее сплавов, а также коррозионно-стойких сталей, на обратной полярности — изделий из легких сплавов. Установка УПС-301 предназначена для ручной дуговой сварки в непрерывном и импульсном режимах, установка КПС-501 — для механизированной сварки в непрерывном режиме.

Установка УПС-301 содержит источник питания ВДУ-305, блок управления и плазмотрон. Установки серии УПС обеспечивают возбуждение дежурной дуги между электродом и соплом с помощью осциллятора; возбуждение основной сварочной дуги между электродом плазмотрона и изделием; плавное нарастание сварочного тока после возбуждения основной дуги; плавное снижение сварочного тока в режиме заварки кратера; работу газового клапана по заданному временному циклу.

Установка УПС-301 обеспечивает работу в точечном режиме с циклом сварки до 10 с и в импульсном режиме с длительностью импульса и паузы, регулируемой в диапазоне 0,1—10 с.

Универсальный источник питания ТИР-300Д предназначен для дуговой сварки изделий неплавящимся электродом в аргоне постоянным или переменным импульсным током, а также для ручной сварки покрытыми электродами. Источник обеспечивает автоматический процесс сварки всех металлов, включая алюминий и магний, а также сплавов на их основе.

Источник — устройство питания параметрического типа и не имеет внешних обратных связей. В состав источника входят трансформатор с малым магнитным рассеянием, имеющий жесткую внешнюю характеристику; регулятор тока, представляющий собой дроссель насыщения, работающий в режиме вынужденного намагничивания и имеющий разделенные рабочие обмотки, коммутируемые тиристорами; импульсный стабилизатор горения дуги переменного тока; осциллятор; регулятор снижения сварочного тока в конце сварки; элементы управления, индикации и охлаждения.

Регулирование сварочного тока ступенчато-плавное. Сварочная дуга при питании от источника обладает высокой стабильностью горения как в установившемся, так и в переходном режимах. Источник поддерживает заданное значе-

ние сварочного тока в пределах рабочего участка внешней характеристики с точностью, определяемой крутизной характеристики, при относительно медленно изменяющихся возмущениях как со стороны дуги, так и со стороны питающей сети. При возбуждении дуги касанием изделия или с помощью осциллятора ток дуги плавно увеличивается с 5 А до заданного значения за время около 0,4 с. Спадание тока при гашении дуги происходит по линейному закону, что позволяет более равномерно снижать тепловложение в сварной шов. В источнике это реализовано достаточно простым путем из-за малой мощности, затрачиваемой на управление сварочным током в дросселе насыщения с отдельными рабочими обмотками благодаря тому, что коэффициент усиления по мощности у примененного дросселя равен 2000.

#### Техническая характеристика ТИР-300Д

Климатическое исполнение, категория размещения	УЗ
Нижнее значение температуры окружающего воздуха, °С	+5
Номинальный сварочный ток, А	300
Пределы регулирования сварочного тока, А:	
первая ступень	10—150
вторая ступень	40—300
Режим работы	Продолжительный
Номинальное рабочее напряжение, В	30
Напряжение холостого хода, В	65
Номинальное напряжение сети, В	380
Потребляемая мощность, кВт·А	25
КПД, %	75
Коэффициент мощности	0,5
Время гашения дуги при спадении тока, с	5
Габаритные размеры, мм	1230 × × 620 × × 1000
Масса, кг, не более	480

## Глава 4

### ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ СВАРОЧНОГО ПОСТА

В целях защиты рабочих от излучения дуги в постоянных местах сварки для каждого сварщика устанавливают отдельную кабину размером 2 × 2,5 м (рис. 15). Стенки кабины могут быть изготовлены из тонкого металла, фанеры, брезента. Фанера и брезент должны быть пропитаны огнестойким составом, например раствором алюмокалиевых квасцов. Каркас кабины изготовляют из стальной трубы или уголка. Пол в кабине должен быть выложен из огнестойкого материала (кирпича, бетона, цемента). Стены окрашивают в светло-серый цвет красками, хорошо поглощающими ультрафиолетовые лучи. Освещенность кабины должна быть не менее 80 лк. Кабину оборудуют местной вентиляцией с воздухообменом 40 м<sup>3</sup>/ч на каждого рабочего.

Детали сваривают на рабочем столе высотой 0,5—0,7 м. Крышку стола изготовляют из чугуна толщиной 20—25 мм. В ряде случаев на столе устанавливают

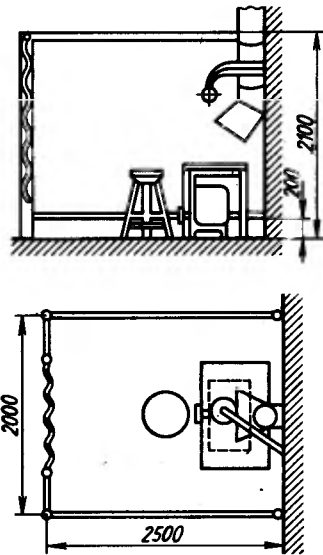


Рис. 15. Стационарный пост для ручной сварки

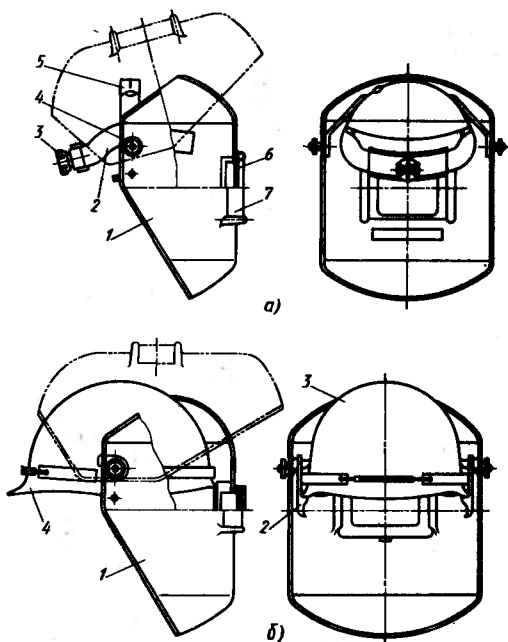


Рис. 16. Защитные щитки для электро-сварщиков:

*а* — щиток наголовный НП-С-701У1; *б* — щиток наголовный ШЭК-С-701У1, монтируемый на защитной каске «Дружба»

различные приспособления для сборки и сварки изделий. Если выполняются однотипные работы, то стол заменяют манипулятором, на котором изделие собирают и сваривают в удобном для сварщика положении. Сварочный пост оснащен генератором, выпрямителем или сварочным трансформатором.

Щитки (рис. 16) применяют для защиты глаз и лица электросварщика от прямого излучения электрической дуги, брызг расплавленного металла и искр. Их изготавливают по ГОСТ 12.4.035—78 из токонепроводящего нетоксичного и невоспламеняющегося материала. Стандарт не распространяется на специализированные щитки и маски, предназначенные для работы в труднодоступных местах, в помещениях с повышенной загазованностью и при других особых условиях работы.

Внутренняя сторона корпусов щитков и масок должна иметь матовую гладкую

поверхность черного цвета. Щиток имеет ручку овального сечения длиной не менее 120 мм, а маска снабжена устройством, удерживающим ее на наголовнике не менее чем в двух фиксированных положениях: опущенном (рабочем) и откинутом назад.

Щиток наголовный НН-С-701У1 (рис. 16) представляет собой конструкцию, состоящую из корпуса 1 и наголовника 2. В рамке 7, изготовленной за одно целое с корпусом щитка, вставлены стекла 6 (покровное, светофильтр и защитное), а также пластмассовые прокладки. Стекла закреплены металлическим прижимом. Корпус щитка прикреплен к наголовнику через амортизатор болтами и гайками 4. Для регулирования по высоте (теменная часть) в наголовнике имеются ремни 5, в которых расположены отверстия, определяющие точные позиции, позволяющие устанавливать по вертикали светофильтр и защитные стекла щитка в удобное положение относительно глаз сварщика. С помощью замка 3 возможна бесступенчатая надежная подгонка обруча наголовника 2 по голове любого периметра в пределах 540—700 мм без применения инструмента.

Щиток наголовный ННП-С-701У1 представляет собой конструкцию с открывающимся светофильтром и предназначен для сварки в стесненных местах. Рамка для светофильтра и защитных стекол состоит из двух частей. Покровное стекло и светофильтр помещены в крышке рамки, а защитное стекло — в корпусе щитка. При проведении сварочных работ с применением щитка не обязательно откидывать щиток назад. При подготовке изделия к сварке, а также при зачистке швов от шлака достаточно поднять крышку рамки вместе с покровным стеклом и светофильтром.

Щиток ручной РН-С-701У1 состоит из корпуса и ручки. Рамка, в которой размещены светофильтр и защитные стекла, отлита за одно целое с корпусом щитка. В рамке размещены покровное стекло, светофильтр, защитное стекло и две пластмассовые прокладки. Металлический прижим препятствует произвольному выпадению стекол из рамки. Ручной щит-



Таблица 16. Защитные щитки для электросварщиков

Наименование	Модель	Размер светофильтра, мм	Масса без стекла, кг	Размеры, мм
Наголовный щиток	НН-С-701У1	52×102	0,45	315×240×165
Наголовный щиток с увеличенным светофильтром	ННО-С-701У1	90×102	0,45	315×240×165
Ручной щиток				
Наголовный щиток, монтируемый на защитной каске	ЩЭК-С-701У1	52×102	0,45	315×240×165
Наголовный щиток с открывающимся светофильтром	ННП-С-701У1	52×102	0,60	315×240×190
Ручной щиток с увеличенным светофильтром	РНО-С-701У1	90×102	0,4	315×240×165

ток РНО-С-701У1 по конструкции аналогичен щитку РН-С-701У1, за исключением того, что рамка в корпусе сделана для светофильтра увеличенных размеров.

Для монтажных работ, в основном на строительных площадках в различных климатических условиях, защитные каски должны также обеспечивать защиту головы от удара, электрического тока, охлаждения, перегрева, воздействия атмосферных осадков и др. Для этих условий разработана конструкция щитка, которая легко монтируется на защитном головном уборе «Дружба» ЩЭК-С-701У1.

Щиток представляет собой конструкцию, состоящую из корпуса 1 и кронштейна 2, с помощью которого щиток крепится к головному убору — каске 3 со стороны, противоположной козырьку 4 (рис. 16, б). Угол поворота щитка вперед и назад регулируют ограничителем. Характеристики щитков приведены в табл. 16.

Для защиты от вредных излучений на производстве рекомендованы светофильтры типа С (ГОСТ 12.4.080.79) темно-зеленого цвета. Зеленый цвет светофильтров благоприятно действует на органы зрения, не утомляет глаза и улучшает общее самочувствие сварщиков. Вместо пяти ранее существовавших классов типа Э рекомендуются 13 классов типа С для сварки на токах 13—900 А, что позволяет точнее подобрать необходимую плотность светофильтра в зависимости от сварочного тока и вида сварки и обеспечить оптимальный яркостный контраст,

снизить напряжение и утомление зрения сварщика.

Щитки комплектуются покровным стеклом по ГОСТ 111—78 для защиты светофильтра от брызг металла и защитным стеклом из оргстекла, которое необходимо 2—3 раза в месяц заменять новым.

Электрододержатели (рис. 17) применяют для закрепления электрода и подвода к нему тока при ручной дуговой сварке.

В соответствии с ГОСТ 14651—78 основные параметры электрододержателей для ручной дуговой сварки должны соответствовать указанным в табл. 17.

В зависимости от механизма зажатия электрода существующие электрододержатели бывают пассатижного, винтового, пружинного, рычажного, эксцентрикового, клиншного и других типов.

Простейшие из перечисленных электрододержателей — пассатижные. **Техническая таблица 17. Основные параметры электрододержателей**

Номинальный сварочный ток, А	Максимальный сварочный ток, А, не более		Диаметр электрода, мм	Масса, кг, не более
	ПВ = 100%	ПВ = 35%		
125	100	160	1,6—3	0,35
200	160	250	2,5—4	0,4
250	200	315	3—5	0,45
315	250	400	4—6	0,5
400	315	500	5—8	0,65
500	400	630	6—10	0,75

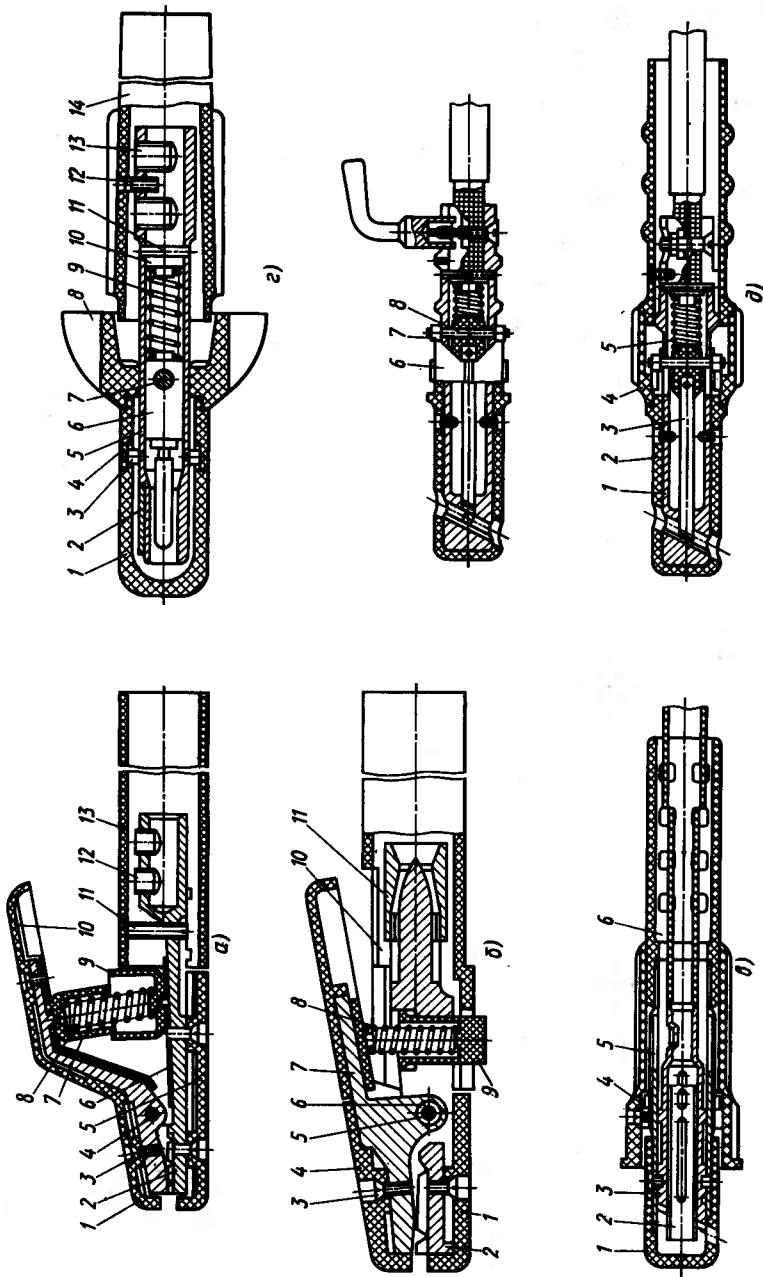


Рис. 17. Электродержатели:

а — типа ЭД; б — ЭД-3104У1; 1 — накладка нижняя; 2 — токопровод; 3 — вит; 4 — накладка верхняя; 5 — ось; 6 — втулка; 7 — рычаг; 8 — пружина; 9 — втулка; 10 — рукоятка; 11 — гайка; 12 — типа ЭВ с винтовым зажимом; 13 — ЭД-2001У1; 14 — типа ЭДС с защелочным зажимом

ческие характеристики электрододержателей, конструкции которых практически одинаковы, приведены в табл. 18.

Электрододержатели типа ЭД устроены и работают следующим образом. Токпроводящей частью электрододержателя служит контактная пластина 2 (рис. 17, а). В отверстие хвостовой части пластины устанавливаются и с помощью ключа крепятся двумя винтами 12 освобожденный от изоляции конец сварочного провода. Рычаг 10 имеет возможность поворачиваться на оси 4 и под действием цилиндрической пружины 8, защищенной от нагрева колпаками 7 и 9, обеспечивает зажим электрода. В контактной пластине предусмотрены направляющие канавки, позволяющие установить электрод как вдоль оси электрододержателя, так и под углами 90—120° к ней. Полная изоляция токопроводящих частей от случайного соприкосновения с ними руки сварщика или свариваемого изделия обеспечивается накладками 1, 5 и планкой 6. Накладки крепятся винтами 3. При соединении сварочного провода рукоятку 13 снимают, ослабляя отверткой крепящий винт 11, шлиц которого виден в отверстии.

Электрододержатель пассатижного типа имеет простую и надежную конструкцию, однако наличие рычага 10 ограничивает возможность выполнения сварки в труднодоступных местах, а также создает неудобство при манипуляциях инструментом из-за смещения центра тяжести относительно оси рукоятки.

С учетом недостатков электрододержателя типа ЭД с зажимом пассатижного

типа разработана новая конструкция ЭД-3104 с улучшенными эргономическими свойствами: рычаг зажатия электрода — меньшей высоты, рукоятка — удобной для удержания формы (рис. 17, б). Он рассчитан на сварку током 315 А, имеет массу 400 г.

Электрододержатели позволяют закреплять электрод в одном из трех положений под углом 0; 60 или 90° относительно продольной оси рукоятки, рассчитаны на токи 200—500 А с шагом 50 А. Это расширяет возможности выбора электрододержателя, наиболее соответствующего применяемому режиму сварки.

С учетом неудобства работы в труднодоступных местах и дополнительных статических нагрузок, создаваемых выступающим рычагом у электрододержателей пассатижного типа, разработаны конструкции электрододержателей винтового типа (ЭВ) трех модификаций: для сварки на токах 125, 315 и 500 А. Они предназначены для сварки швов в нижнем и вертикальном положениях. Электрод зажимается под углом 70° ползуном 2 к токоподводу 3 (рис. 17 в). В электрододержателе токоведущие части надежно изолированы колпачком 1, накладкой 4 и рукояткой 5, изготовленными из теплостойкой пластмассы. Соединение кабеля с электрододержателем разъемное и выполнено опрессовкой кабеля в токоподводе. Для снижения нагрева рукоятки электрододержателя имеется радиатор 6, который интенсивно отбирает теплоту, выделяемую в контакте при прохождении сварочного тока.

Таблица 18. Технические характеристики электрододержателей пассатижного типа

Параметр	ЭД-2002У1	ЭП-2	ЭД-3103У1	ЭД-4001У1	ЭД-5002У1	ЭП-3
Сварочный ток, А	200	250	315	400	500	500
Диаметр электрода, мм	1,6—4	До 5	2,5—6	3—8	4—10	6—8
Сечение сварочного кабеля, мм <sup>2</sup>	25; 35	50	35; 50	50; 70	70; 95	70
Габаритные размеры, мм	250×74×32	250×80×40	260×84	×36	290×92×40	325×95×37
Масса, кг	0,3	0,43	0,46	0,55	0,7	0,8

Электрододержатели с винтовым механизмом зажатия электрода удобны при сварке, имеют надежную электрическую изоляцию, но требуют более тщательного ухода. Для сварки токами 200 и 315 А разработаны электрододержатели ЭД-2001У1 и ЭД-3101У1 (рис. 17, з). Теплоподвод к электроду в электрододержателе ЭД-2001У1 осуществляется через токопроводящий корпус 5. В отверстие хвостовой части корпуса устанавливают и с помощью ключа винтом 13 крепят освобожденный от изоляции конец сварочного кабеля. Электрод устанавливают в отверстие корпуса перпендикулярно или под углом 120° к оси электрододержателя до упора в планку 2 и прижимают к корпусу стержнем 6 усилием, создаваемым пружиной 9, изолированной от штифта 11, ограничивающего ее перемещение вставкой 10. Поступательное движение прижима осуществляется с помощью муфты 8. При ее повороте ось 7 прижима, преодолевая усилие пружины, скользит по фигурным канавкам муфты до установки в фиксированном положении и этим отводит стержень в положение, при котором отверстие в корпусе открыто для установки электрода. Ось 7 скользит под действием пружины по канавкам муфты и подает стержень вперед, обеспечивая таким образом зажим электрода.

Для выброса огарка электрода достаточно вновь повернуть муфту, огарок выпадает под действием собственного веса, и электрододержатель снова подготовлен для установки электрода. Для обеспечения надежного зажима электрода в торце стержня выполнен вырез, ориентирующий электрод относительно оси электрододержателя. Для изоляции токопроводящего корпуса от случайного прикосно-

вения к нему руки сварщика или свариваемого изделия служат колпак 1 и втулка 4, выполненные из термостойкого и механически прочного изоляционного материала. Колпак крепится к корпусу штифтами 3, рукоятка 14 — винтом 12.

Электрододержатели ЭД-3101У1 надежны в эксплуатации, электрод прочно удерживается зажимным устройством, установка электрода и выброс огарка не вызывают затруднений. Благодаря налицу в электрододержателях упора для конца электрода уменьшается длина огарка, что снижает расход электродов.

Электрододержатель типа ЭДС предназначен для сварки швов в нижнем и вертикальном положениях токами 125 и 315 А. Особенность конструкции заключается в том, что устройство для крепления электрода снабжено поворотной втулкой с фигурными выступами, действующими на прижимной стержень. В передней части цилиндрического основания 1 с колпачком 2 расположен подпружиненный прижимной стержень 3 для закрепления электрода (рис. 17, д). Внутри муфты 4 закреплена поворотная втулка 6, которая одним торцом упирается в колпачок, а другим, на котором выполнены выступы, соприкасается с роликами 7, надетыми на штифт 8. Штифт проходит через продольные пазы и отверстия прижимного стержня, на конец которого опирается цилиндрическая пружина 5.

Для смены электрода поворотом муфты 4 прижимной стержень 3 отводят в заднее положение. Вместе с муфтой вращается поворотная втулка 6, которая своими выступами действует на ролики 7 и штифт 8. Последний, соеди-

Т а б л и ц а 19. Технические характеристики электрододержателей рычажного и винтового типов

Параметр	ЭР-1	ЭР-2	ЭВ-2	ЭВ-3	ЭВ-4	ЭУ-300
Сварочный ток, А	300	500	500	315	125	315
Диаметр электрода, мм	До 6	6; 8	6; 8	4—6	До 4	3—6
Сечение сварочного кабеля, мм <sup>2</sup>	50	70	70	50	35	50
Габаритные размеры, мм	220×48×80	260×50×85	—	—	—	192×42×80
Диаметр, мм	—	—	50	47	45	—
Масса, кг	0,52	0,72	0,5	0,37	0,27	0,42

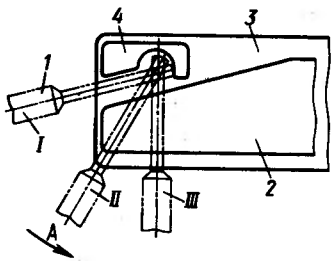


Рис. 18. Последовательность движения при закреплении электрода в электрододержателе типа ЭУ

ненный с прижимным стержнем 3, отводят от отверстия, огарок выпадает и в отверстие вставляют новый электрод. Придерживая одной рукой электрод, при незначительном повороте другой рукой муфты 4 высвобождают штифт 8, и прижимной стержень 3 под действием пружины 5 прижимает электрод к цилиндрическому основанию 1. Поворачивая муфту 4 в любую сторону, можно зажимать электрод и освобождать огарок. Сварочный кабель крепится в электрододержателе специальными винтами.

Электрододержатели типа ЭР имеют рычажный механизм зажатия электрода и предназначены для сварки в нижнем и вертикальном положениях. Электрододержатели типа ЭР рассчитаны на сварку токами 300 и 500 А (табл. 19).

В электрододержателе «Луч» типа ЭУ фиксация электрода осуществляется усилием цилиндрической пружины, расположенной параллельно оси рукоятки. Токоведущие части имеют надежную термостойкую электроизоляцию. Для закрепления электрода 1 (рис. 18) его вводят в открытый паз, образованный прижимом 4 и токоподводом 3 (положение I), и поворачивают вокруг кромки упора 2 по направлению стрелки А, при этом прижим отжимается, и электрод устанавливается в рабочее положение II или III. Огарок удаляется из электрододержателя при нажатии на него в направлении, обратном стрелке А.

Для сварки в замкнутых объемах, где требуется надежная изоляция токоведущих частей, разработаны электрододержатели на токи 200 и 315 А. В конструк-

Таблица 20. Площадь сечения сварочного провода в зависимости от силы тока

Сила тока, А	Площадь сечения провода, мм <sup>2</sup>	
	одинарного	двойного
200	20	2×10
300	50	2×16
450	70	2×25
600	95	2×35

циях этих электрододержателей отсутствует пружина, которая обычно применяется в качестве детали, создающей усилия для зажатия электрода.

На сварочном посту может находиться дополнительный инструмент с аршиком. Для присоединения провода к изделию применяют винтовые зажимы типа струбцин, в которые конец провода впаивают высокотемпературным припоем.

Зажимы должны обеспечивать плотный контакт со свариваемым изделием,

Для зачистки швов и удаления шлака применяют проволочные щетки — ручные и механизированные.

Для клеймения швов, вырубки дефектных мест, удаления брызг и шлака служат клейма, зубила и молотки.

Для хранения электродов при сварке на монтаже применяют брезентовые сумки длиной 300 мм, подвешиваемые к поясу сварщика. В цеховых условиях для этой цели используют стаканы, изготовленные из отрезка трубы диаметром 50—75 мм, длиной 300 мм, с приваренным донышком-подставкой.

Сварочные провода служат для подвода тока от сварочной машины или источника питания к электрододержателю и свариваемому изделию. Электрододержатели снабжаются гибким изолированным проводом ПРГДО или ПРГД, сплетенным из большого числа медных, отожженных и облуженных проволочек диаметром 0,18—0,2 мм. Рекомендуемые сечения сварочного провода приведены в табл. 20. Применять провод длиной более 30 м не рекомендуется, так как это вызывает значительное падение напряжения в сварочной цепи.

## ТЕХНОЛОГИЯ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ

## § 15. ПОДГОТОВКА ПОД СВАРКУ

Подготовка деталей под сварку заключается в правке, разметке, наметке, резке, подготовке кромок под сварку, холодной или горячей гибке.

Правку металла выполняют на станках или вручную. Листовой или полосовой металл правят на различных листопрямильных вальцах. Ручную правку металла, как правило, выполняют на чугунных или стальных правильных плитах ударами кувалды или ручным винтовым прессом. Угловую сталь правят на правильных вальцах (прессах). Двутавры и швеллеры правят на приводных или ручных правильных прессах.

Форма подготовки кромок металла под сварку зависит от его толщины. Основной металл и присадочный материал перед сваркой должны быть тщательно очищены от ржавчины, масла, окалины, влаги и различного рода неметаллических загрязнений. Наличие указанных загрязнений приводит к образованию в сварных швах пор, трещин, шлаковых включений, что ведет к снижению прочности и плотности сварного соединения.

Применяемые сборочно-сварочные приспособления должны обеспечивать доступность к местам установки деталей, рукояткам фиксирующих и зажимных устройств, а также местам прихваток и сварки. Эти приспособления должны быть также достаточно прочными и жесткими, обеспечивать точное закрепление деталей в требуемом положении и препятствовать их деформированию в процессе сварки. Они также должны обеспечивать наивыгоднейший порядок сборки и сварки.

## § 16. ТЕХНИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ШВОВ

Под техникой сварки понимают приемы манипулирования электродом или горелкой, выбор режимов сварки, приспособлений и способы их применения для полу-

чения качественного шва. Качество швов зависит не только от техники сварки, но и от других факторов, таких, как состав и качество применяемых сварочных материалов, состояние свариваемой поверхности, качество подготовки и сборки кромок под сварку и т. д.

В зависимости от формы и размеров изделия швы можно выполнять в различных пространственных положениях. Швы разделяют на нижние, вертикальные, потолочные и горизонтальные (рис. 19). Горизонтальные швы выполняют на вертикальной плоскости в горизонтальном направлении. В практике сварочного производства существуют еще понятия «сварка в полувертикальном положении» (угол между горизонтом и плоскостью листов равен  $30-60^\circ$ ), «сварка в полупотолочном положении» (угол между горизонтом и плоскостью листов равен  $120-150^\circ$ ).

Дуговая сварка металлическими электродами с покрытием в настоящее время остается одним из самых распространенных методов, используемых при изготовлении сварных конструкций. Это объясняется простотой и мобильностью применяемого оборудования, возможностью выполнения сварки в различных пространственных положениях и в местах, труднодоступных для механизированных способов сварки.

Существенный недостаток ручной дуговой сварки металлическим электродом, так же, как и других способов ручной сварки, — малая производительность

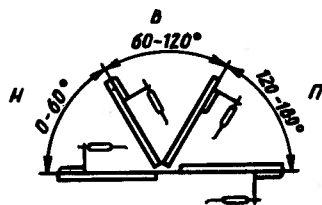


Рис. 19. Пространственное положение изделия при сварке:

Н — нижнее; В — вертикальное; П — потолочное

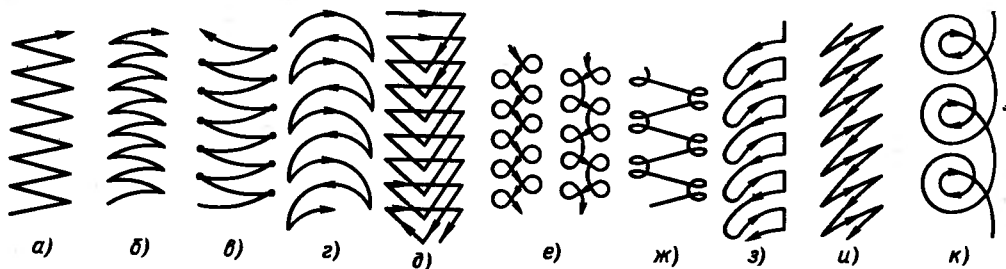


Рис. 20. Основные виды траекторий поперечных движений рабочего конца электрода при слабом (а — б), усиленном (в — ж) прогреве свариваемых кромок, усиленном прогреве одной кромки (з — u), прогреве корня шва (к)

процесса и зависимость качества сварного шва от практических навыков сварщика.

Перед зажиганием (возбуждением) дуги следует установить необходимое значение сварочного тока, которое зависит от марки электрода, пространственного положения изделия, типа сварного соединения и др. Зажигать дугу можно двумя способами. При одном способе электрод приближают перпендикулярно к поверхности изделия до касания металла и быстро отводят вверх на необходимую длину дуги. При другом — электродом вскользь «чиркают» по поверхности металла. Применение того или иного способа зажигания дуги зависит от условий сварки и от навыка сварщика.

Длина дуги зависит от марки и диаметра электрода, пространственного положения сварки, разделки свариваемых кромок и т. п. Нормальная длина дуги считается в пределах 0,5—1,1 диаметра электрода. Увеличение длины дуги снижает качество наплавленного металла шва ввиду его интенсивного окисления и азотирования, увеличивает потери металла на угар и разбрызгивание, уменьшает глубину проплавления основного металла, ухудшает внешний вид шва.

Во время ведения процесса сварщик обычно перемещает электрод не менее чем в двух направлениях: вдоль его оси в направлении наплавки или сварки для образования шва. В этом случае образуется узкий валик, ширина которого зависит от сварочного тока и скорости перемещения дуги по поверхности изделия. Узкие валики обычно накладывают при про-

варе корня шва, сварке тонких листов и тому подобных случаях.

При правильно выбранном диаметре электрода и сварочном токе скорость перемещения дуги имеет большое значение для качества шва. При повышенной скорости дуга расплавляет основной металл на малую глубину и возможно образование непроваров. При малой скорости вследствие чрезмерно большого ввода теплоты дуги в основной металл часто образуется прожог, и расплавленный металл вытекает из сварочной ванны. В некоторых случаях, например, при сварке на спуск, образование под дугой жидкой прослойки из расплавленного электродного металла повышенной толщины, наоборот, может привести к образованию непроваров.

Иногда сварщику приходится перемещать электрод поперек шва, регулируя тем самым распределение теплоты дуги поперек шва для получения требуемых глубины проплавления основного металла и ширины шва. Глубина проплавления основного металла и формирование шва главным образом зависят от вида поперечных колебаний электрода, которые обычно совершают с постоянными частотой и амплитудой относительно оси шва (рис. 20). Траектория движения конца электрода зависит от пространственного положения сварки, разделки кромок и навыков сварщика. При сварке с поперечными колебаниями получают уширенный валик, а форма проплавления зависит от траектории поперечных колебаний конца электрода, т. е. от условий ввода теплоты дуги в основной металл.

При окончании сварки — обрыве дуги следует правильно заваривать кратер. Кратер является зоной с наибольшим количеством вредных примесей ввиду повышенной скорости кристаллизации металла, поэтому в нем наиболее вероятно образование трещин. По окончании сварки не следует обрывать дугу, резко отводя электрод от изделия. Необходимо прекратить все перемещения электрода и медленно удлинять дугу до обрыва; расплавляющийся при этом электродный металл заполнит кратер. При сварке низкоуглеродистой стали кратер иногда выводят в сторону от шва — на основной металл. При случайных обрывах дуги или при смене электродов дугу возбуждают на еще не расплавленном основном металле перед кратером и затем проплавляют металл в кратере.

### § 17. ТЕХНИКА СВАРКИ В НИЖНЕМ ПОЛОЖЕНИИ

Это пространственное положение позволяет получать сварные швы наиболее высокого качества, так как облегчает условия выделения неметаллических включений, газов из расплавленного металла сварочной ванны. При этом также наиболее благоприятны условия формирования металла шва, так как расплавленный металл сварочной ванны удерживается от вытекания нерасплавившимися кромками.

Стыковые швы сваривают без разделки кромок или с V-, X- и U-образным скосом. Стыковые швы без разделки кромок в зависимости от толщины сваривают с одной или двух сторон. При этом концом электрода совершают поперечные колебания (рис. 20) с амплитудой, определяемой требуемой шириной шва. Необходимо тщательно следить за равномерным

расплавлением обеих свариваемых кромок по всей их толщине и особенно стыка между ними в нижней части (корня шва).

Однопроходную сварку с V-образной разделкой кромок обычно выполняют с поперечными колебаниями электрода на всю ширину, чтобы дуга выходила со скоса кромок на необработанную поверхность металла. Однако в этом случае очень трудно обеспечить равномерный провар корня шва по всей его длине, особенно при изменении величины приотупления кромок и зазора между ними.

При сварке шва с V-образной разделкой за несколько проходов обеспечить хороший провар первого слоя в корне разделки гораздо легче. Для этого обычно применяют электроды диаметром 3—4 мм и сварку ведут без поперечных колебаний. Последующие слои выполняют в зависимости от толщины металла электродом большего диаметра с поперечными колебаниями. Для обеспечения хорошего провара между слоями предыдущие швы и кромки следует тщательно очищать от шлака и брызг металла.

Заполнять разделку кромок можно швами с шириной на всю разделку или отдельными валиками (рис. 21). В многопроходных швах последний валик (II на рис. 21, в) для улучшения внешнего вида иногда можно выполнять на всю ширину разделки (декоративный слой).

Сварку швов с X- или U-образной разделкой кромок выполняют в общем так же, как и с V-образной. Однако для уменьшения остаточных деформаций и напряжений, если это возможно, сварку ведут, накладывая каждый валик или слой попеременно с каждой стороны. Швы с X- или U-образным скосом кромок по сравнению с V-образным имеют преимущества, так как в первом случае в

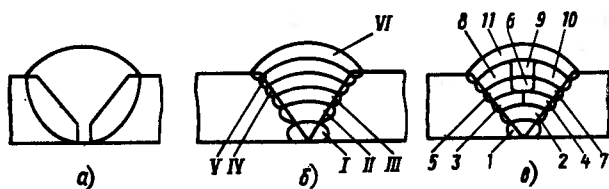


Рис. 21. Поперечные сечения стыковых швов:

*a* — однопроходных; *б* — много-  
слойных; *в* — многопроходных;  
*VI* — слои; *I—II* — проходы



1,6—1,7 раза уменьшается объем наплавленного металла (повышается производительность сварки). Кроме того, уменьшаются угловые деформации, а возможный непровар корня шва образуется в нейтральном по отношению к изгибающему моменту сечении. Недостаток U-образного скоса кромок — повышенная трудоемкость его получения.

Сварку стыковых швов можно выполнять различными способами (рис. 22).

При сварке на весу наиболее трудно обеспечить провар корня шва и формирование хорошего обратного валика по всей длине стыка. В этом отношении более благоприятна сварка на съемной медной или остающейся стальной подкладке. В медной подкладке для формирования обратного валика делают формирующую канавку. Однако для предупреждения вытекания расплавленного металла из сварочной ванны необходимо плотное поджатие подкладок к свариваемым крокам. Кроме того, остающиеся подкладки увеличивают расход металла и не всегда технологичны. При использовании медных подкладок возникают трудности точной установки кромок вдоль формирующей канавки.

Если с обратной стороны возможен подход к корню шва и допустима выпуклость обратной стороны шва, целесообразна (рис. 22, *г*) подварка корня швом небольшого сечения с последующей укладкой основного шва. В некоторых случаях при образовании непроваров в корне шва после сварки основного шва дефект в корне разделяют газовой, воздушно-дуговой строжкой или механическими ме-

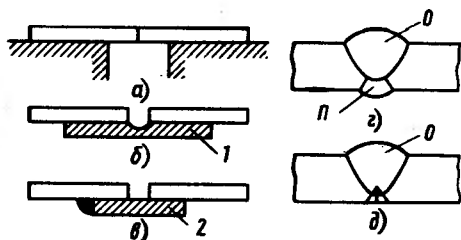


Рис. 22. Схема сварки стыковых швов:

*а* — на весу; *б* — на медной съемной подкладке; *в* — на остающейся стальной подкладке; *г* — с предварительным подварочным швом; *д* — удаление непровара в корне шва для последующей подварки; *1* — медная подкладка; *2* — остающаяся подкладка; *О* — основной шов; *П* — подварочный шов

тодами (рис. 22, *д*) с последующим выполнением подварочного шва.

Сварку угловых швов в нижнем положении можно выполнять двумя приемами. Сварка вертикальным электродом «в лодочку» (рис. 23, *а*) обеспечивает наиболее благоприятные условия для провара корня шва и его формирования. По существу этот прием напоминает сварку стыковых швов с V-образной разделкой кромок, так как шов формируется между свариваемыми поверхностями. Однако при этом способе требуется тщательная сборка соединения под сварку с минимальным зазором в стыке для предупреждения вытекания в него расплавленного металла.

При сварке наклонным электродом (рис. 23, *б—г*) трудно обеспечить провар шва по нижней плоскости (ввиду натекания на нее расплавленного металла) и предупредить подрез на вертикальной плоскости (ввиду стекания расплавлен-

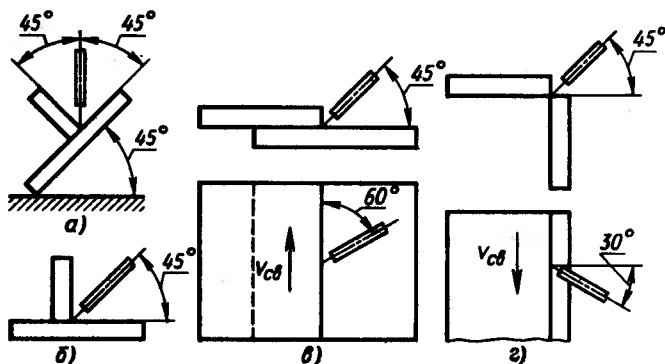


Рис. 23. Положение электрода и изделия при сварке:

*а* — в лодочку; *б* — таврового соединения; *в* — внахлестку; *г* — углового соединения

ного металла). Поэтому таким способом обычно сваривают швы с катетом до 6—8 мм. При сварке угловых швов наклонным электродом трудно также обеспечить глубокий провар в корне шва, поэтому в односторонних или двусторонних швах без разделки кромок может образоваться непровар, который при нагружении шва послужит началом развития трещин. Для предупреждения этого в ответственных соединениях при толщине металла 4 мм и более необходима односторонняя, а при толщине 12 мм и более — двусторонняя разделка кромок. При сварке наклонным электродом многопроходных швов первым выполняют шов на горизонтальной плоскости. Формирование последующего валика происходит с частичным удержанием расплавленного металла сварочной ванны нижележащим валиком. При сварке угловых швов применяют поперечные колебания электрода. Особенно важен правильный выбор их траектории при сварке наклонным электродом с целью предупреждения возникновения указанных выше дефектов.

### § 18. ТЕХНИКА СВАРКИ НА ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ И ПОТОЛОЧНОЙ ПЛОСКОСТЯХ

Сварка швов в положениях, отличающихся от нижнего, требует повышенной квалификации сварщика в связи с возможным под действием сил тяжести вытеканием расплавленного металла из сварочной ванны или падением капель электродного металла мимо сварочной ванны. Для предотвращения этого сварку следует вести по возможности наиболее короткой дугой, в большинстве случаев с поперечными колебаниями.

Расплавленный металл в сварочной ванне от вытекания удерживается в основном силой поверхностного натяжения. Поэтому необходимо уменьшать ее размер, для чего конец электрода периодически отводят в сторону от ванны, давая возможность ей частично закристаллизоваться. Ширину валиков также уменьшают до двух-трех диаметров электрода. Применяют пониженную на 10—20% силу тока и электроды уменьшенного диа-

метра (для вертикальных и горизонтальных швов не более 5 мм, для потолочных не более 4 мм).

Сварку вертикальных швов можно выполнять на подъем (снизу вверх, рис. 24, а) или на спуск. При сварке на подъем нижележащий закристаллизовавшийся металл шва помогает удержать расплавленный металл сварочной ванны. При этом способе облегчается возможность провара корня шва и кромок, так как расплавленный металл стекает с них в сварочную ванну, улучшая условия теплопередачи от дуги к основному металлу. Однако внешний вид шва — грубочешуйчатый. При сварке на спуск получить качественный провар трудно: шлак и расплавленный металл подтекают под дугу и от дальнейшей стекания удерживаются только силами давления дуги и поверхностного натяжения. В некоторых случаях их оказывается недостаточно, и расплавленный металл вытекает из сварочной ванны.

Сварка горизонтальных стыковых швов (рис. 24, в) более затруднена, чем вертикальных, из-за стекания расплавленного металла из сварочной ванны на нижнюю кромку. В результате возможно образование подреза по верхней кромке. При сварке металла повышенной толщины обычно делают скос только одной верхней кромки, нижняя помогает удерживать расплавленный металл в сварочной ванне. Сварка горизонтальных угловых швов в нахлесточных соединениях не вызывает трудностей и по технике не отличается от сварки в нижнем положении.

Сварка в потолочном положении (рис. 24, б) наиболее сложна и ее по воз-

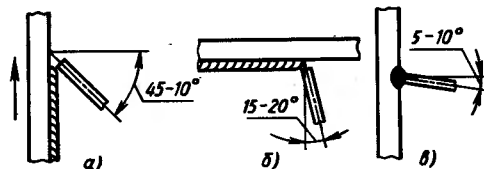


Рис. 24. Положение электрода при сварке швов:

а — вертикальных; б — потолочных; в — горизонтальных

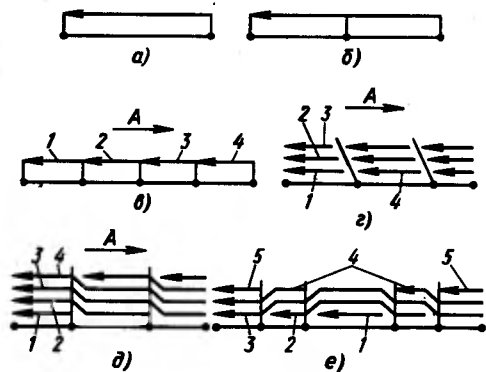


Рис. 25. Сварка швов:

*a* — напроход; *б* — от середины к концам; *в* — обратнo-ступенчато; *г* — блоками; *д* — каскадом; *е* — горкой; *A* — направление заполнения разделки; стрелками указаны последовательность и направление сварки в каждом слое (1—5)

возможности следует избегать. Сварку выполняют периодическими короткими замыканиями конца электрода на сварочную ванну, во время которых металл сварочной ванны частично кристаллизуется, что уменьшает объем сварочной ванны. В то же время расплавленный электродный металл вносится в сварочную ванну. При удлинении дуги образуются подрезы. При сварке этих швов ухудшены условия выделения из расплавленного металла сварочной ванны шлаков и газов.

Техника сварки пробочных и прорезных соединений практически не отличается от рассмотренной выше техники сварки стыковых или угловых швов.

В зависимости от протяженности шва, толщины и марки металла, жесткости конструкции применяют различные приемы последовательности сварки швов и заполнения разделки (рис. 25). Сварку напроход обычно применяют при сварке коротких швов (до 500 мм). Швы длиной до 1000 мм лучше сваривать от середины к концам или обратнo-ступенчатым способом. При последнем способе весь шов разбивают на участки до 150—200 мм, которые должны быть кратны длине участка, наплавляемого одним электродом. Сварку швов в ответственных конструкциях

большой толщины выполняют блоками, каскадом или горкой, что позволяет влиять на структуру металла шва и сварного соединения и его механические свойства.

## § 19. ВЫБОР СВАРОЧНОГО ТОКА И ДИАМЕТРА ЭЛЕКТРОДА

Сварочный ток выбирают в зависимости от марки и диаметра электрода, при этом учитывают положение шва в пространстве, вид соединения, толщину и химический состав свариваемого металла, а также температуру окружающей среды. При учете всех указанных факторов необходимо стремиться работать на максимально возможной силе тока.

Для подбора сварочного тока используют зависимости:

$$I_{св} = kd, \text{ или } I_{св} = (20 + 6d_3)d_3,$$

где  $k$  — коэффициент, значение которого 40—60; наибольшее его значение при сварке в нижнем положении, наименьшее — при сварке в потолочном и вертикальном положениях;  $d_3$  — диаметр электродного стержня, мм.

При сварке в нижнем положении, если толщина металла менее 1,5  $d_3$ , то  $I_{св}$  уменьшают на 10—15% по сравнению с расчетным. Если толщина металла более 3 $d_3$ , то  $I_{св}$  увеличивают на 10—15% по сравнению с расчетным. При сварке на вертикальной плоскости  $I_{св}$  уменьшают на 10—15%, в потолочном положении — на 15—20% по сравнению с нормально выбранной силой тока для сварки в нижнем положении (табл. 21 и 22).

При выполнении сварки качественными электродами силу тока следует устанавливать в соответствии с данными, указанными в паспортах или сертификатах на эти электроды.

Диаметр электрода выбирают в зависимости от толщины свариваемого металла, типа сварного соединения, положения шва в пространстве, размеров детали, состава свариваемого металла. При сварке встык металла толщиной до 4 мм применяют электроды

Таблица 21. Ориентировочные режимы ручной дуговой сварки

Толщина металла, мм	Число слоев или проходов в шве	Диаметр электрода, мм	Сила тока при сварке встык, А
0,5	1	1,6—2	10—20
1		2—2,5	20—50
2		2,5—3	40—100
3		3—4	80—120
4	90—120		
6—8	1—2	4—5	120—160
10	3		140—180
20	5—6	4—5—6	140—220

диаметром, равным толщине свариваемого металла. При сварке металла большой толщины применяют электроды диаметром 4—8 мм при условии обеспечения провара основного металла. В многослойных стыковых швах пер-

Таблица 22. Зависимость сварочного тока от диаметра электрода

Диаметр электрода, мм	Сварочный ток, А	Диаметр электрода, мм	Сварочный ток, А
1,5	25—40	6	280—360
2	60—70	7	370—450
3	100—140	8	450—560
4	160—200	10	750—850
5	220—280		

Примечание. При сварке тавровых соединений силу тока принимают на 10—15% больше, чем при сварке встык.

вый слой выполняют электродом диаметром 3—4 мм, последующие слои выполняют электродами большего диаметра.

Сварку в вертикальном положении проводят с применением электродов диаметром не более 5 мм. Потолочные швы выполняют электродами диаметром до 4 мм.

## Глава 6

### СПЕЦИАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ

#### § 20. ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫЕ МЕТОДЫ РУЧНОЙ СВАРКИ

Для повышения производительности труда известны различные методы, к которым относят сварку с глубоким проваром, лежачим и наклонным электродом, электродами больших диаметров, ванную и безогарковую сварку, сварку трехфазной дугой.

**Сварка с глубоким проваром.** Некоторые составы покрытий, нанесенные на стержень электрода более толстым слоем, чем обычно, повышают проплавливающее действие дуги и увеличивают глубину проплавления основного металла. В этом случае короткая дуга поддерживается автоматически за счет опирания покрытия на основной металл. Этот метод дает наиболее хорошие результаты при сварке угловых и тавровых соединений. Для сварки с глубоким

проплавлением применяют, например, электроды ЦНИЛСС-УКД, масса покрытий в которых составляет 60—80% массы стержня, отношение диаметра электрода к диаметру стержня 1,5—1,6.

**Сварка лежачим и наклонным электродами** широко применяется за рубежом (Япония, Австрия), хотя предложены были в СССР в конце 30-х годов с целью уменьшения вспомогательного времени и механизации процесса сварки. Электрод с покрытием укладывают в разделку шва. Длина дуги в процессе ее горения равна толщине слоя покрытия и практически не меняет этого значения. Для такого способа сварки используют электроды диаметром 6—10 мм. Длину электрода подбирают таким образом, чтобы она была равна длине шва, но не более 800—1000 мм. Для удержания электрода в разделке, а также для изоляции и защиты дуги

Таблица 23. Режимы сварки наклонным электродом тавровых и угловых соединений низкоуглеродистых и низколегированных сталей

Толщина металла, мм	Электрод		Режим сварки			Шов		
	Диаметр, мм	Длина расплавленной части, мм	Сварочный ток, А	Угол наклона, градус	Продолжительность горения дуги, с	Катет, мм	Длина максимальной, мм	Отношение длины расплавленной части электрода
4—5	4	375	150—160	75	115	4	500	1,34
				85	115	4	540	1,44
				90	115	3,5	600	1,60
				95	110	3	640	1,62
5—6	5	375	210—230	75	130	6	500	1,34
				85	130	6	540	1,44
				90	125	5	590	1,60
				95	120	5,5	600	1,62
5—8	5	525*	210—230	75	170	6	720	1,34
				85	165	5	790	1,44
				90	165	5	810	1,60
				95	160	5	820	1,62
6—8	6	525*	240—300	75	175	7	670	1,34
				85	170	6,5	780	1,44
				90	170	6	815	1,60
				95	160	6	830	1,62

\* Электроды ОЗС-17Н и ОЗС-22Н.

применяют медные накладки, выпускают электроды ОЗС-12 и ОЗС-17Н (табл. 23).

**Сварка электродами больших диаметров.** Для повышения производительности труда увеличивают диаметр электрода, что позволяет увеличивать значение сварочного тока. Для сварки этим методом применяют электроды диаметром 8, 10, 12 мм при токах 350, 450 и 600 А. Сварка электродами больших диаметров имеет следующие недостатки: из-за большого веса держателя с электродом резко увеличивается утомляемость сварщика; для снижения утомляемости применяют приспособления с противовесом для подвешивания держателя; электродами, имеющими сравнительно большой диаметр, трудно манипулировать в узких местах; при сварке на постоянном токе возникают значительные магнитные силы. В настоящее время на производстве применяют электроды диаметром не более 8 мм.

**Ванная сварка.** При этом методе сварки расплавление основного металла происходит главным образом за счет

теплоты, выделяющейся в ванне жидкого металла при прохождении электрического тока через расплавленный шлак. Ванную сварку широко применяют при соединении стержней арматуры железобетонных конструкций, железнодорожных рельсов как одним, так и несколькими электродами. Для ручной сварки одним электродом применяют электроды марки УОНИ-13/55У и УОНИ-13/85У и др. Сварку ведут на повышенном токе, что обеспечивает разогрев свариваемых элементов для создания большой ванны жидкого металла. Ванну жидкого металла удерживают специальной формой.

Сварку начинают в нижней части формы в зазоре между торцами стержней, передвигая электрод вдоль этого зазора.

В процессе всего цикла сварки наплавленный металл должен находиться в жидком состоянии. В момент, когда уровень жидкого металла будет выше середины сечения стержней, тепловое действие дуги уменьшают, для чего ее направляют в среднюю часть ванны.

Для получения необходимого качества сварного шва ванну наплавляют несколько выше поверхности стержней. Для ускорения охлаждения ванны в конце сварки периодически прерывают дугу. Иногда с целью экономии металла применяют разъемные формы, изготовленные из меди или керамики.

**Безогарковая сварка.** Сущность метода состоит в том, что электрод не закрепляют в держателе, а приваривают к нему торцом, что позволяет использовать весь металл электрода. Применение безогарковой сварки увеличивает производительность труда за счет уменьшения числа перерывов при смене электродов (смена которых происходит быстрее, чем при сварке обычными электродами) и позволяет увеличить сварочный ток на 10—15% против принятых норм. Недостатком метода является ухудшение манипулирования электродом из-за легкого изгиба его в месте приварки, а также необходимости охлаждения электрододержателя.

**Сварка трехфазной дугой.** Сущность процесса состоит в следующем: в держатель, имеющий два токоподвода, закрепляют электрод, представляющий собой два электродных стержня в общем покрытии, или два обычных электрода. К электродным стержням через токопроводы подводят две фазы сварочной цепи, третью фазу — к детали. В процессе сварки дуга горит между двумя электродами и между каждым электродом и изделием. Источниками тока для питания трехфазной дуги могут служить обычные однофазные сварочные трансформаторы, включенные между собой по специальной схеме, или специальные трехфазные трансформаторы.

Сварку трехфазной дугой применяют при изготовлении конструкций, требующих значительного объема наплавленного металла, наплавке твердых сплавов, исправлении дефектов в стальном литье, сварке соединений, требующих глубокого проплавления, и при сварке ванным методом стальной арматуры диаметром 60—120 мм и др.

В зависимости от взаимного расположения электродов и детали при-

меняют несколько схем сварки трехфазной дугой: электроды в двух держателях, расположенных под углом друг к другу; два электрода в одном держателе специальной конструкции, расположенные параллельно; один электрод, уложенный в разделке, второй — в обычном держателе.

К недостатку первой схемы относят неудобство ведения процесса сварки одновременно двумя держателями. Принцип сварки по первой схеме позволяет изменять угол между электродами и расположение этих электродов относительно свариваемого изделия. Изменение угла между электродами, а также любое расположение их относительно изделия позволяет изменять глубину проплавления и ширину валика. Сварка двумя параллельными электродами, закрепленными в специальном держателе, более проста и удобна.

## § 21. СВАРКА ПОД ВОДОЙ

Возможность получения устойчивого дугового разряда в жидкой среде — воде, масле и др. — установлена опытным путем еще в конце прошлого столетия. Дуга горит в газовом пузыре, образуемом и непрерывно возобновляемом за счет испарения и разложения окружающей жидкости тепловым действием дугового разряда.

Дуговая сварка под водой впервые осуществлена в 1932 г. в Советском Союзе К. К. Хреновым. Дуга постоянного тока при питании от обычного источника тока горит под водой устойчиво при условии, что электрод покрыт достаточно толстым слоем водонепроницаемого покрытия. Покрытие электрода расплавляется медленнее электродного стержня, поэтому на конце электрода образуется козырек, способствующий формированию и удержанию газового пузыря, необходимого для нормального горения дуги. Газ пузыря состоит из продуктов разложения воды (водорода и кислорода), растворяющихся в наплавленном металле и снижающих пластичность и вязкость металла. Поэтому необходима водонепроницаемость покрытия и отсутствие влаги

в нем. При удовлетворительном качестве электродов дуга почти так же устойчива, как и при работе на воздухе. Обычно сварка проводится на постоянном токе прямой полярности. Возможна работа и на переменном токе. На постоянном токе вполне устойчива и угольная дуга, но она пока не находит применения. Интенсивное расплавление металла дугой позволяет выполнять обычные формы сварных соединений во всех пространственных положениях.

В последние 15—20 лет значительно расширились области применения и объемы подводной сварки: строительство морских нефтепромысловых гидротехнических сооружений, подводных трубопроводов различного назначения, ремонт судов на плаву, восстановление дюкеров, шлюзовых затворов и другие объекты.

При обычных подводных работах

сварочный ток принимают в пределах 180—240 А, напряжение дуги 30—35 В, т. е. на 5—7 В больше, чем при сварке на воздухе из-за тепловых потерь.

Хотя ручная подводная сварка обладает исключительной маневренностью и простотой оборудования, низкой стоимостью сварочных работ, она имеет и серьезные недостатки; невозможность получения равнопрочных основному металлу соединений, требование высокой квалификации водолаза-сварщика, затрудненность сварки во всех пространственных положениях. Поэтому в нашей стране все большее применение находит механизированная подводная сварка самозащитной порошковой проволокой ППС-АН1 диаметром 1,2—2 мм с помощью полуавтомата А1660, разработанного в Институте электросварки им. Е. О. Патона.

## Глава 7

# СВАРКА УГЛЕРОДИСТЫХ И ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

### § 22. СВАРКА НИЗКОУГЛЕРОДИСТЫХ И НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

Низкоуглеродистые стали, содержащие до 0,25 % С, хорошо свариваются. Сварные соединения легко обрабатываются режущим инструментом.

К низколегированным сталям относят наиболее распространенные стали типа 15ХСНД. При сварке эти стали склонны к образованию закалочных структур.

Для предупреждения перегрева и образования закалочных структур рекомендуется многослойная сварка с большим интервалом времени между наложением слоев. Дуговую сварку металла толщиной 2 мм и более выполняют электродами УОНИ-13/45, УОНИ-13/65 на постоянном токе обратной полярности.

Для изделий толщиной более 15 мм после сварки необходима термооб-

работка — высокотемпературный отпуск (550—650 °С). Хромокремнемарганцовистые стали 20ХГСА, 25ХГСА, 30ХГСА и 35ХГСА относятся к среднелегированным конструкционным сталям повышенной прочности. При сварке они образуют закалочные структуры. В зависимости от толщины металла применяют однослойную и многослойную сварку с малыми интервалами времени между наложением слоев. Для сварки применяют электроды со стержнями Св-18ХГС, Св-18ХМА или низкоуглеродистую проволоку Св-08А с покрытием типа НИАТ-3М, ЦЛ-18-63, ЦЛ-30-63, ЦЛ-14, УОНИ-13/85. Орнентировочные режимы сварки приведены в табл. 21. Изделия, сваренные из стали 25ХГСА, нагревают до температуры 650—880 °С с выдержкой в течение 1 ч на каждые 25 мм толщины и охлаждают на воздухе или в горячей воде.

**Таблица 24. Марки электродов, применяемых при сварке низкоуглеродистых и низколегированных сталей**

Назначение электродов	Марки электродов	Примечание
Сварка низкоуглеродистых сталей	АНО-3, АНО-4, АНО-5, АНО-6, ЦМ-7, ОЗС-3, ОЗС-4, ОЗС-6, СМ-5, МН-1, РБУ-5, ЭРС-2, КПЗ-32Р	
Сварка низкоуглеродистых и низколегированных сталей	АНО-1, ДСК-50, ВСП-1, ВСЦ-2, К-5А, УОНИ-13/45, УП-2/45, СМ-11, ОЗС-2	Электроды: а) ДСК-50 для сталей низкоуглеродистых и 14ХГС, 15ХСНД; б) АНО-1 для низкоуглеродистых и 09Г2
Сварка ответственных конструкций из низкоуглеродистых сталей	МР-3, ЭРС-1	
Сварка ответственных конструкций из низкоуглеродистых и низколегированных сталей	УОНИ-13/45, УП-1/45, УП-1/55, УП-2-355, АН-7, Э-138/45Н, Э-138/50Н, ВСН-3, ДСК-50	Электроды: а) УОНИ-13/65 для сталей низкоуглеродистых и 14ХГС; б) Э-138/45Н, Э-138/50Н для низкоуглеродистых и низколегированных в судостроении; в) ВСН-3 для трубопроводов из стали 10Г2

Теплоустойчивые стали 12ХМ, 15ХМ, 20ХМ, 12Х1МФА, 15Х1М1Ф предназначены для изготовления деталей, работающих в условиях высоких температур (400—600 °С) и при давлении газа или пара до 30 МПа (трубчатые элементы паровых котлов, элементы нефтеперегонной и химической аппаратуры и т. п.). Эти стали имеют склонность к образованию трещин в зоне термического влияния. Поэтому требуется предварительный подогрев до температуры 200—300 °С и последующая термообработка (отпуск) по режиму: нагрев изделия до 710 °С, выдержка при этой температуре не менее 5 мин на 1 мм толщины металла с последующим медленным охлаждением. Иногда эти стали отжигают при температуре 670—800 °С. Для сварки сталей 12ХМ, 15ХМ и 20ХМЛ применяют электроды ЦУ-2ХМ, ЦЛ-38, ЗИО-20, УОНИ-13ХМ. Сварку выполняют на постоянном токе обратной полярности (см. также табл. 7, 8).

При сварке корневых швов в разделке на металле толщиной 10 мм и более используют электроды диаметром 3—4 мм. Рекомендуются для данной марки электрода значения сварочного тока, его род и полярность выбирают согласно паспорту электрода, в котором обычно приведены и его

сварочно-технологические свойства, типичный химический состав шва и механические свойства. Рядовые и ответственные конструкции из низкоуглеродистых сталей сваривают электродами типа Э42 и Э46 (табл. 24 и 25, а также табл. 6).

При сварке этих сталей обычно обеспечиваются достаточно высокие механические свойства сварного соединения и поэтому в большинстве случаев не требуются специальные меры, направленные на предотвращение образования в нем закалочных структур. Однако при сварке угловых швов на толстом металле и первого слоя многослойного шва для повышения стойкости

**Таблица 25. Соответствие марок электродов типу электродов**

Тип электрода по ГОСТ 9467—75	Марки электродов
Э42	ЦПЗ-32Р, АНО-1, АНО-5, АНО-6, ВСП-1, ВСЦ-2
Э42А	УОНИ-13/45, СМ-11, УП-1/45, УП-2/45, ОЗС-2
Э46	АНО-3, АНО-4, МР-1, МР-3, ОЗС-3, ОЗС-4, ОЗС-6, ЭРС-1, ЭРС-2, РБУ-4, РБУ-5
Э46А	Э-138/45Н
Э50	ВСН-3
Э50А	УОНИ-13/55, УП-1/55, УП-2/55, ДСК-50, Э-138/50Н



металла к кристаллизационным трещинам может потребоваться предварительный подогрев до температуры 120—150 °С.

Для сварки рядовых конструкций из низколегированных сталей обычно применяют электроды типа Э42А, а ответственных — типа Э50А, что обеспечивает получение металла с достаточной стойкостью к кристаллизационным трещинам и требуемыми прочностными и пластическими свойствами. Легирование металла шва за счет провара основного металла легирующими элементами, входящими в основной металл, и повышенные скорости охлаждения позволяют получить металл шва с более высокими, чем при сварке низкоуглеродистых сталей, прочностными показателями.

Техника заполнения швов и определяемый ею термический цикл сварки зависят от предварительной термообработки стали. Сварка толстого металла каскадом и горкой, с замедлением скорости охлаждения металла шва и околшовной зоны, предупреждает образование в них закалочных структур. Это же достигается при предварительном подогреве до температуры 150—200 °С. Поэтому эти способы дают благоприятные результаты на нетермоупрочненных сталях. При сварке термоупрочненных сталей для уменьшения разупрочнения стали в околшовной зоне рекомендуется сварка длинными швами по охлажденным предыдущим швам. Следует выбирать режимы сварки с малой погонной энергией. При этом достигается и уменьшение протяженности зоны разупрочненного металла в околшовной зоне. При исправлении дефектов в сварных швах низколегированных и низкоуглеродистых сталей повышенной толщины швами малого сечения вследствие значительной скорости охлаждения металл подварочного шва и его околшовной зоны обладает пониженными пластическими свойствами. Поэтому дефектные участки следует подваривать швами нормального сечения длиной не менее 100 мм или предварительно подогреть до температуры 150—200 °С.

## § 23. СВАРКА УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

К углеродистым сталям относятся среднеуглеродистые стали с содержанием 0,3—0,5% С и высокоуглеродистые с содержанием 0,5—1% С.

При сварке среднеуглеродистых сталей возможно образование трещин как в основном, так и в наплавленном металле. Для получения качественных соединений перед сваркой необходим подогрев изделия до 200—350 °С. После сварки изделие вновь помещают в печь, нагревают его до 675—700 °С, медленно охлаждают вместе с печью до 100—150 °С. Дальнейшее охлаждение изделия возможно на воздухе. При сварке среднеуглеродистых сталей применяют электроды марок УОНИ-13/55, УОНИ-13/65, УП-1/45, ОЗС-2, УП-2/45, ВСП-1, МР-1, ОСЗ-4 и др. Сварку электродами УОНИ-13/55, ОЗС-2, ВСП-3 можно выполнять только на постоянном токе обратной полярности. Применение электродов ВСП-1, МГ-1, ОЗС-4 позволяет использовать любой род тока. Перед сваркой электроды необходимо просушить при температуре 150—200 °С. При сварке желательны соблюдать следующие соотношения между диаметром электрода и значением сварочного тока:

Диаметр электродов, мм	2	2,5	3
Сварочный ток, А	40—60	50—75	80—100
Диаметр электродов, мм	4	5	6
Сварочный ток, А	130—150	170—200	200—280

Высокоуглеродистые стали используют при изготовлении режущего, бурильного и другого инструмента. Технология сварки этих сталей обязательно предусматривает предварительный подогрев до 350—400 °С, иногда сопутствующий подогрев и последующую термообработку (см. гл. 9). Сварку выполняют узкими валиками небольшими участками. Обязательно заправляют кратеры или выводят их на технологическую планку. Сварка при температуре окружающей среды ниже +5 °С и на сквозняках недопустима.

## § 24. СВАРКА ВЫСОКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

Высоколегированными называют стали на основе железа, легированные одним или несколькими элементами в количестве 5—55%. Их классифицируют в зависимости от систем легирования, структуры, свойств и назначения. Марки и типы электродов для сварки высоколегированных сталей приведены в табл. 9. Эти стали имеют высокие прочность, вязкость и пластичность. При сварке необходимо учитывать их пониженную электропроводимость и теплопроводность, что ведет к значительным короблениям, а также к межкристаллитной коррозии. Поэтому строгое соблюдение режимов сварки особенно важно. Сварку выполняют электродами ЗИО-3, ОЗЛ-8, ЦЛ-11, ЦТ-1 и др. на постоянном токе обратной полярности с применением медных подкладок или ускоренного охлаждения швов водой или сжатым воздухом.

Сварку окалиностойких сталей выполняют электродами ЦЛ-25, ОЗЛ-4, ОЗЛ-9А, ГС-1, ОЗЛ-5 и ЦТ-17 на постоянном токе обратной полярности. Для снятия напряжений после сварки стали подвергают термообработке (отпуск при 650 °С).

Хромистые стали 40Х9С2, 15Х5М, 10Х5МФ, 12Х13 с содержанием 4—14% Сг относят к мартенситному классу. Их применяют для изготовления кон-

струкций повышенной прочности в агрессивной среде (аппаратура нефтеперерабатывающей промышленности). Стали 15Х28, 15Х18СЮ с содержанием 18—30% Сг относят к ферритному классу. Они хорошо сопротивляются окислению при высоких температурах.

Склонность хромистых сталей к закалке на воздухе с образованием мартенситной структуры и рост зерен в зоне термического влияния составляют основные трудности при сварке этих сталей.

Сварку хромистых сталей необходимо выполнять с предварительным подогревом до 200—400 °С.

После сварки изделие охлаждают на спокойном воздухе до 150—200 °С, а затем подвергают высокому отпуску: нагрев в печи до 720—750 °С с выдержкой в течение 5 мин на 1 мм толщины металла, но не менее 1 ч, с последующим медленным охлаждением на спокойном воздухе. Стали с содержанием 7—10% Сг выдерживают в печи в течение 10 мин на 1 мм толщины металла. Сварку выполняют электродами ЦЛ-17-63, УОНИ-13/85 и др. на постоянном токе обратной полярности.

Высокомарганцовистые стали типа 110Г13Л, содержащие 11—16% Мп, относят к сталям аустенитного класса. Они обладают высокой износостойкостью, их применяют для изгото-

Таблица 26. Режимы ручной сварки покрытыми электродами высоколегированных сталей и сплавов

Марка электрода	Сила тока (А) при сварке в нижнем положении электродами диаметром, мм				Коэффициент $H$ наплавки, г/(А·ч)	Расход на 1 кг наплавленного металла, кг	Пространственное положение
	2	3	4	5			
ЦЛ-17-63	—	80—120	130—160	180—210	10,5	1,6	Любое
ЦЛ-33	—	80—110	100—140	160—200	13	1,5	
ЦЛ-11	40—55	70—90	110—130	140—160	12,5	1,8	»
ОЗЛ-6	30—50	60—80	120—140	140—160	11,5	1,6	
НИАТ-5	30—50	50—80	100—140	130—170	12,5	1,8	Нижнее и вертикальное
КТИ-7-62	—	80—100	110—130	140—160	11,2	1,6	
ЦТ-28	—	80—110	110—140	—	10,5	1,75	Любое

товления железнодорожных крестовин, зубьев экскаватора, ковшей землечерпалок и других деталей. Для сварки применяют электроды трех типов: никелемарганцовистые, содержащие 4—4,5% Ni, 11—13% Mn, 0,6—1% C. На стержни наносят покрытия основного типа: коррозионно-стойкие; низкоуглеродистые; покрытия, содержащие до 60—65% феррохрома. Сварку выполняют на постоянном токе обратной полярности. Сталь сваривают в закаленном состоянии.

Закалку проверяют с помощью магнита (закаленная сталь немагнитна).

Высоколегированные стали и сплавы вручную сваривают так же, как и обычные конструкционные стали. Вместе с тем имеется ряд специфических особенностей, главные из которых: преиму-

ущественное применение электродов с основным покрытием; сварка на постоянном токе обратной полярности, короткой дугой без поперечных колебаний, конца электрода, сравнительно короткими электродами на небольших токах.

Режимы сварки высоколегированных сталей и сплавов аустенитными электродами назначают с таким расчетом, чтобы отношение силы тока к диаметру электрода не превышало 25—30 А/мм (табл. 26). При сварке аустенитными электродами в вертикальном или потолочном положении силу тока уменьшают на 10—30% по сравнению с этим параметром при сварке в нижнем положении. Электроды перед сваркой во избежание образования пор в металле шва надлежит прокалывать при температуре 250—400 °С в течение 1—1,5 ч.

## Глава 8

### СВАРКА ЧУГУНА, ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И ИХ СПЛАВОВ

#### § 25. СВАРКА ЧУГУНА

В современном машиностроении, станкостроении, металлургической и других отраслях промышленности чугун получил широкое распространение в качестве конструкционного материала благодаря ряду преимуществ, среди которых простота и дешевая технология изготовления чугунных изделий, хорошие литейные свойства, высокая износостойкость, малая чувствительность к концентрации напряжений, способность гасить вибрацию, невысокая стоимость, хорошая обрабатываемость режущим инструментом. К недостаткам чугуна следует отнести низкую прочность серого чугуна и практически полное отсутствие пластичности.

**Состав и свойства.** Чугунами называют сплавы железа с углеродом, содержание которого превышает 2%. В этих сплавах присутствует также кремний и некоторое количество марганца, серы и фосфора, а иногда и другие элементы, вводимые в качест-

ве легирующих добавок для придания чугуну определенных свойств (никель, хром, магний и др.).

В зависимости от структуры чугуны подразделяют на белые и серые. В белых чугунах весь углерод связан в химическое соединение карбид железа  $Fe_3C$  — цементит. В серых чугунах значительная часть углерода находится в структурно-свободном состоянии в виде графита. Если серые чугуны хорошо поддаются механической обработке, то белые обладают очень высокой твердостью и режущим инструментом обрабатываться не могут. Поэтому белые чугуны для изготовления изделий применяют крайне редко, их используют главным образом в виде полупродукта для получения так называемых ковких чугунов.

В зависимости от структуры чугуны классифицируют на высокопрочные (с шаровидным графитом) и ковкие. По степени легирования чугуны подразделяют на простые, низколегированные (до 2,5% легирующих элементов), сред-

нелегированные (2,5—10% легирующих элементов) и высоколегированные (свыше 10% легирующих элементов). Шире всего используют простые и низколегированные серые литейные чугуны.

Чугун относится к группе материалов, обладающих плохой технологической свариваемостью. Основные трудности при сварке связаны с высокой склонностью его к отбеливанию, т. е. появлению участков с выделениями цементита той или иной формы в различном количестве, и образованию трещин в шве и околошовной зоне. Кроме того, интенсивное газовыделение из сварочной ванны, которое продолжается и на стадии кристаллизации, может приводить к образованию пор в металле шва, а повышенная жидкотекучесть затрудняет удержание расплавленного металла от вытекания и формирование шва. Вследствие окисления кремния на поверхности сварочной ванны возможно образование тугоплавких оксидов, что может приводить к непроварам.

**Способы сварки чугуна.** Сварку чугуна применяют при ремонтно-восстановительных работах и при исправлении дефектов в отливках. К сварным соединениям чугунных деталей в зависимости от типа и условий эксплуатации предъявляются самые разнообразные требования — от декоративной заварки наружных дефектов до получения соединений, равнопрочных с основным металлом.

Чугун можно сваривать дуговой сваркой металлургическим или угольным электродами, газовой сваркой, термитной сваркой, заливкой жидким чугуном, порошковой проволокой и т. д.

Наиболее часто способы сварки чугуна классифицируют по состоянию свариваемой детали. В зависимости от температуры предварительного подогрева различают сварку с подогревом до высокой температуры (горячая сварка), с небольшим подогревом (полугорячая сварка) и без подогрева (холодная сварка).

Выбор способа и метода сварки зависит от требований к сварному

соединению. При выборе метода сварки учитывают необходимость механической обработки металла шва и околошовной зоны после сварки, необходимость получения однородности металла шва с металлом свариваемых изделий, требования к плотности шва, а также нагрузки, при которых должны работать свариваемые детали.

**Горячая сварка чугуна.** Изделие подогревают до температуры 600—800 °С. Технологический процесс состоит из механической обработки под сварку, формовки свариваемых деталей, предварительного подогрева, сварки и последующего медленного охлаждения.

Подготовка под сварку зависит от вида исправляемого дефекта. Однако во всех случаях подготовка дефектного места заключается в тщательной очистке от загрязнений и в разделке для образования полостей, обеспечивающих доступность для манипулирования электродом. Для предупреждения вытекания жидкотекучего металла сварочной ванны, а в ряде случаев для придания наплавленному металлу соответствующей формы место сварки формируют. В зависимости от размеров и местоположения исправляемого дефекта формовку выполняют с помощью графитовых пластинок, скрепленных формочной массой, состоящей из кварцевого песка, замешанного на жидком стекле, или другими материалами, а также в опоках формочными материалами, применяемыми в литейном производстве.

Детали нагревают в специальных нагревательных печах, колодцах, горнах или с помощью индукционных нагревателей. Для сварки используют плавящиеся электроды и прутки чугуна (см. § 7).

Горячую сварку чугуна выполняют на больших сварочных токах без перерывов до конца заварки дефекта при большой сварочной ванне.

Диаметр электрода, мм	8	10
Сварочный ток, А	600—700	750—800
Диаметр электрода, мм	12	16
Сварочный ток, А	1000—1200	1500—1800

Для горячей сварки чугуна можно использовать дуговую сварку угольным электродом, которая занимает промежуточное положение между плавящимся электродом и газовой сваркой, на постоянном токе прямой полярности при диаметре электрода 8—20 мм.

Диаметр угольного электрода, мм . . . . .	8—10	10—12
Сварочный ток, А . . . . .	280—350	300—400
Диаметр угольного электрода, мм . . . . .	12—16	16—18
Сварочный ток, А . . . . .	350—500	350—600

Для защиты и раскисления ванны применяют флюсы на борной основе, чаще всего техническую безводную (прокаленную при температуре ~400°С) буру.

Основными недостатками горячей сварки чугуна являются большая трудоемкость и тяжелые условия труда сварщиков. Однако высокое качество металла делает этот способ в ряде случаев единственно возможным при исправлении дефектов.

**Полугорячая сварка.** Подогрев свариваемой детали до 300—400°С способствует замедленному охлаждению металла шва и прилегающих к нему зон после сварки. Замедленное охлаждение в значительной степени предотвращает получение отбеленных зон, что позволяет применять механическую обработку сварных соединений. Детали перед сваркой нагревают в термических печах, горнах или с помощью газовых горелок ацетилено-кислородным пламенем. При подогреве газовой горелкой необходимо следить за равномерностью нагрева подогреваемой поверхности.

Полугорячую сварку чугуна можно осуществлять низкоуглеродистыми стальными электродами с покрытиями типа МР-3, УОНИ-13, стальными электродами со специальным покрытием, чугунными электродами и ацетилено-кислородным пламенем с применением чугунных присадочных прутков. При сварке сквозных трещин или при заварке дефектов, находящихся на краю деталей, необходимо применять графитовые формы, предотвращающие вытекание жидкого металла из сварочной ванны.

Во время сварки следует непрерывно поддерживать значительный объем расплавленного металла в сварочной ванне и тщательно его перемешивать концом электрода или присадочного стержня. Для замедленного охлаждения заваренные детали засыпают мелким древесным углем или сухим песком.

**Холодная сварка.** Этот способ сварки имеет несколько разновидностей: стальными электродами, стальными электродами со специальными покрытиями, стальными электродами с помощью шпилек, чугунными электродами, медными электродами, электродами из монель-металла, электродами из никелевого аустенитного чугуна, газовая (ацетилено-кислородным пламенем).

Сварку стальными электродами применяют при ремонте неотвечественных чугунных изделий небольших размеров с малым объемом наплавки, не требующих после сварки механической обработки. Сварное соединение неоднородно по структуре, часто не обладает достаточной плотностью и имеет низкую прочность.

Сварку электродами с защитно-легирующими покрытиями выполняют с V- или X-образной разделкой кромок. Для устранения неравномерного разогрева детали сваривают отдельными участками вразбивку. Длина отдельных наплавленных участков сварного шва не должна превышать 100—120 мм. После наплавки отдельных участков им дают возможность остыть до температуры 60—80°С. Наилучшие результаты получают при сварке электродами с покрытием УОНИ-13/45 на постоянном токе обратной полярности.

Сварка с помощью шпилек требует специальной подготовки изделий под сварку. Этим способом восстанавливают ответственные изделия как малых, так и больших размеров (гидравлические и воздушные цилиндры, станины прессов, станков и др.), работающие при значительных нагрузках и не требующие обработки после сварки.

Для сварки чугуна получили распространение медно-железные, медно-никелевые и железоникелевые электроды.

Существует несколько типов электродов. Наиболее совершенные из них электроды марки ОЗЧ-2, представляющие собой медный стержень диаметром 4—5 мм, на который нанесено покрытие, состоящее из сухой смеси покрытия типа УОНИ-13 (50%) и железного порошка (50%), замешанных на жидком стекле. Сварку медно-железными электродами всех типов следует выполнять таким образом, чтобы не допускать сильного разогрева свариваемых деталей. После сварки выполняют проковку наплавленного металла в горячем состоянии для уменьшения уровня сварочных напряжений, снижения опасности образования трещин в околошовной зоне. Медно-железные электроды применяют для заварки отдельных несквозных дефектов или небольших несплошностей, создающих течи на отливках ответственного назначения, в том числе и работающих под давлением.

Медно-никелевые электроды применяют главным образом для заварки литейных дефектов, обнаруживаемых в процессе механической обработки чугуна на рабочих поверхностях, где местное повышение твердости недопустимо. Положительные свойства таких электродов в том, что никель и медь не растворяют углерод и не образуют структур, имеющих высокую твердость после нагрева и быстрого охлаждения. Отбеливание зоны частичного расплавления при небольших ее размерах практически отсутствует, так как медь и никель — элементы графитизаторы, проникая в этот участок, оказывают положительное действие: в то же время никель и железо обладают неограниченной растворимостью, способствуя надежному сплавлению.

Для изготовления электродов используют медно-никелевые сплавы: монель-металл (например, НМЖМц 28-2, 5-1,5), константан (МНМц 40-1,5), нихром (Х20Н80).

Недостатки этих сплавов — их высокая стоимость и дефицитность, а также большая усадка, приводящая к образованию горячих трещин. В связи с этим данные сплавы не рекомендуется применять для заварки трещин в изделиях,

которые несут силовую нагрузку. Заварка же отдельных мелких раковин позволяет получить хорошие результаты, так как обеспечивает возможность последующей механической обработки.

В промышленности находят применение электроды МНЧ-1 со стержнем из монель-металла и МНЧ-2 со стержнем из константана. Сварку выполняют электродами диаметром 3—4 мм ниточным швом короткими участками при возвратно-поступательном движении электрода, не допуская перегрева детали, для чего рекомендуются перерывы для охлаждения. Наплавленные валики в горячем состоянии следует тщательно проковывать ударами легкого молотка.

Для заварки отдельных небольших дефектов на обрабатываемых поверхностях отливок ответственного назначения из серого и высокопрочного чугуна, пороков, выявленных на механически обработанных поверхностях изделий и при ремонте оборудования из чугуна литья, используют также железоникелевые электроды со стержнем из сплава, содержащего 40—60% Ni и 60—40% Fe. При сварке такими электродами обеспечивается достаточно высокая прочность и некоторая вязкость металла шва. Железоникелевые электроды обладают определенными преимуществами, к числу которых, кроме высокой прочности, можно отнести меньшую, чем у медно-никелевых сплавов, литейную усадку, одноцветность наплавки с чугуном. Примером электродов такого типа могут служить электроды ЦЧ-3А со стержнем из проволоки Св-08Н50 и покрытием из доломита (35%), плавикового шпата (25%), черного графита (10%) и ферросилиция (30%), замешанных на жидком стекле.

Все электроды, содержащие никель, дефицитны и для сварки чугуна могут применяться ограниченно, например для заварки небольших раковин, вскрытых на последних операциях механической обработки, в деталях больших размеров и большой жесткости.

**Механизированные способы сварки.** В промышленности применяют сварку чугуна порошковыми проволоками

(ППЧ-1, ППЧ-2, ППЧ-3), контактную, электрошлаковую. Контактная сварка разработана главным образом для соединения труб из чугуна с мелким графитом. В качестве электродов при электрошлаковой сварке используют пластины и стержни, близкие по составу к основному металлу или имеющие несколько повышенное по сравнению с ним содержание элементов-графитизаторов.

## § 26. СВАРКА АЛЮМИНИЯ И ЕГО СПЛАВОВ

Технически чистый алюминий имеет сравнительно ограниченное применение вследствие низкой прочности и высокой пластичности. Большей частью применяют сплавы алюминия — дюралюмины и силумины.

Основные затруднения при сварке алюминия и его сплавов следующие: на поверхности расплавленного металла постоянно образуется тугоплавкая пленка оксида алюминия  $Al_2O_3$ , препятствующая сплавлению между собой частиц металла; высокая температура плавления оксида алюминия (2050 °C) и низкая температура плавления алюминия (658 °C) крайне затрудняют управление процессом сварки.

Высокая теплопроводность алюминия и его сплавов требует применения специальных технологических приемов, а при массивных деталях — предварительного подогрева.

Алюминий и его сплавы соединяют дуговой, аргонодуговой и газовой сваркой. Независимо от способа сварки алюминиевые изделия перед сваркой должны проходить специальную подготовку, заключающуюся в обезжиривании металла и удалении с его поверхности пленки оксида алюминия. Такой подготовке необходимо также подвергать присадочную проволоку и электродные стержни перед нанесением на них покрытия.

Поверхность металла обезжиривают растворителями (авиационным бензином, техническим ацетоном), затем механической зачисткой или химическим травлением удаляют оксидную пленку.

Химический способ удаления состоит из следующих операций: травление в течение 0,5—1 мин (состав: раствор едкого натра 45—55 г и фтористого натрия 40—50 г на 1 л воды), промывка в проточной воде, нейтрализация в 25—30%-ном растворе азотной кислоты в течение 1—2 мин, промывка в проточной воде, затем в горячей воде, сушка до полного удаления влаги. Обезжиривание и травление рекомендуется делать не более чем за 2—4 ч до сварки.

Ручную сварку угольным электродом на постоянном токе прямой полярности используют только для неответственных изделий. Сварку металла толщиной до 2 мм ведут без присадки и без разделки кромок, металл толщиной свыше 2 мм сваривают с зазором 0,5—0,7 толщины свариваемых листов или с разделкой кромок. Оксидную пленку удаляют с помощью флюса АФ-4А.

Ручную сварку покрытыми электродами применяют в основном при изготовлении малонагруженных конструкций из технического алюминия, сплавов типа АМц и АМг, силумина. Использование постоянного тока обратной полярности с предварительным подогревом (для средних толщин — 250—300 °C, для больших толщин — до 400 °C) обеспечивает требуемое проплавление при умеренных сварочных токах. В связи с тем, что алюминиевый электрод плавится в 2—3 раза быстрее стального, скорость сварки алюминия должна быть соответственно выше. Сварку рекомендуется выполнять непрерывно в пределах одного электрода, так как пленка шлака на кратере и конце электрода препятствует повторному зажиганию дуги. Для обеспечения устойчивого процесса при минимальных потерях на разбрызгивание рекомендуется принимать сварочный ток из расчета не более 60 А на 1 мм диаметра электрода. Перед сваркой электроды просушивают при температуре 150—200 °C в течение 2 ч.

Электроды с покрытием типа ЭА-1, на основе которого созданы отечест-

Таблица 27. Режимы ручной аргонодуговой сварки алюминия неплавящимся электродом

Тип соединения	Толщина, мм	Диаметр, мм		Сварочный ток, А	Расход аргона, л/мин
		вольфрамового электрода	присадочной проволоки		
С отбортовкой кромок	1	1	—	45—50	4—5
	1,5	1,5—2	—	70—75	5—6
	2	1,5—2	—	80—85	7—8
Встык, без разделки кромок, одностороннее	2	1,5—2	1—2	55—75	5—6
	3	3—4	2—3	100—120	7—8
	4	3—4	2—3	120—150	8—10
Встык, без разделки кромок, двустороннее	4	3—4	3—4	120—180	7—8
	5	4—5	3—4	200—250	8—10
	6	4—5	3—4	240—270	8—10
Встык, с разделкой кромок	6	4—5	3—4	220—280	7—8
	8	4—5	4—5	270—300	9—12
	10	5—6	4—5	270—300	9—12
Тавровое, угловое, нахлесточное	2—4	2—4	1,5—4	100—200	5—7
	4—8	4—5	3—4	200—300	7—8
	10	5—6	4—5	270—320	9—10

венные электроды (ОЗА-1, ОЗА-2), позволяют получать сварные соединения с удовлетворительными механическими и другими эксплуатационными свойствами.

Ручную аргонодуговую сварку выполняют неплавящимся вольфрамовым электродом в осушенном от влаги аргоне высшего или 1-го сорта на переменном токе (см. § 14). Для металла толщиной до 5—6 мм используют электроды диаметром 1,5—5 мм. Особые требования предъявляются к технике сварки. Угол между присадочной проволокой и электродом должен составлять  $\sim 90^\circ$ . Присадку следует подавать короткими возвратно-поступательными движениями. Недопустимы поперечные колебания вольфрамового электрода. Обеспечение эффективной защиты для каждого режима сварки достигается оптимальным расходом газа (табл. 27). Для уменьшения опасности окисления размеры сварочной ванны должны быть минимальными. Сварку металла толщиной до 10 мм обычно ведут справа налево, так называемым «левым» способом, который позволяет снизить перегрев свариваемого металла.

## § 27. СВАРКА МЕДИ И ЕЕ СПЛАВОВ

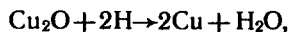
Медь обладает высокой теплопроводностью и электропроводимостью, стой-

костью по отношению к воздействию различных химических веществ, сохраняет высокие механические свойства в условиях глубокого холода.

Сварка меди затрудняется ее высокой теплопроводностью, большой жидкотекучестью, способностью сильно окисляться в нагретом и особенно в расплавленном состоянии. На свариваемость меди оказывают большое влияние примеси, входящие в ее состав (кислород, висмут, свинец, сера, фосфор, сурьма, мышьяк); особенно отрицательно влияет висмут. При нагреве и расплавлении меди, окисляясь, образует монооксид меди  $\text{Cu}_2\text{O}$ , который, реагируя с водородом, растворенным в металле, вызывает склонность меди к водородной болезни (поверхностные трещины). Наилучшую свариваемость имеет электролитическая медь, содержащая не более 0,05% примесей.

Медь в расплавленном состоянии поглощает значительные количества водорода. При кристаллизации металла сварочной ванны с большой скоростью ввиду высокой теплопроводности меди и резкого уменьшения растворимости водорода в металле атомарный водород не успевает покинуть металл за счет десорбции. Монооксид меди восстанавливается водородом с образованием паров воды:





что приводит к образованию в шве пор и трещин.

В околошовной зоне диффузионно-подвижный водород взаимодействует с  $\text{Cu}_2\text{O}$ , располагающейся по границам зерен; образующиеся пары воды, которые не растворяются в меди и не могут из нее выйти, создают в металле значительные напряжения, приводящие к образованию большого числа микротрещин. Это явление получило название водородной болезни меди. Для предупреждения водородной болезни меди следует снижать количество водорода в зоне сварки (прокалка электродов и флюсов, применение осушенных защитных газов). Сродство меди к азоту весьма мало, поэтому азот можно использовать при сварке меди в качестве защитного газа.

Для меди и сплавов на ее основе могут быть использованы все основные способы сварки плавлением.

Ручная сварка угольным электродом находит ограниченное применение преимущественно для малоответственных изделий. Угольные электроды целесообразно использовать при толщине меди до 15 мм. При больших толщинах лучшие результаты получают, используя графитовые электроды. Сварку выполняют электродами, заточенными на конус на  $\frac{1}{3}$  его длины, постоянным током прямой полярности. Плотность тока на электроде обычно составляет 200—400 А/см<sup>2</sup> (табл. 28).

Сварку ведут длинной дугой во избежание вредного влияния на сварочную ванну выделяющегося  $\text{CO}$ . С этой же целью, а также в связи с возможностью охлаждения ванны присадочный материал не погружают в ванну, а держат под углом примерно 30° к изделию на расстоянии 5—6 мм от поверхности ванны. Угольный электрод держат под углом 75—90° к свариваемому изделию. Углекислый газ, выделяющийся в процессе сварки, недостаточно защищает расплавленный металл от окисления. Поэтому применяют присадочный материал с раскислителем — фосфором, а также флюс (94—

Таблица 28. Режимы сварки стыковых соединений меди и ее сплавов графитовым электродом

Толщина металла, мм	Диаметр электрода, мм	Длина дуги, мм	Сварочный ток, А
2	6—7	5—8	125—200
5	8	10—15	200—350
8	10—12	15—20	300—450
13	15	25—30	500—700

96% прокаленной буры, 6—4% металлического магния). Флюс наносят на смоченную жидким стеклом поверхность прутка или на свариваемые кромки в виде пудры и просушивают на воздухе.

При толщине металла свыше 5 мм стыковое соединение сваривают с разделкой кромок под углом 70—90°. Сварку ведут на графитовой или асбестовой подкладке с зазором между свариваемыми кромками не более 0,5 мм, электрод наклоняют углом вперед на 10—20° к вертикали. После сварки рекомендуется проковка швов. Соединение из металла толщиной до 5 мм проковывают без подогрева, при большей толщине — с подогревом до 800 °С и с последующим быстрым охлаждением. Стыковые швы рекомендуется сваривать в один слой с одной стороны во избежание снижения механических свойств.

Ручную сварку покрытыми электродами выполняют на постоянном токе обратной полярности короткой дугой без поперечных колебаний (табл. 29). Лучшее формирование шва обеспечивает возвратно-поступательное движение электрода. Удлинение дуги ухудшает формирование шва, увеличивает разбрызгивание, снижает механические свойства сварных соединений.

Медь толщиной до 4 мм сваривают без разделки кромок и подогрева. При толщине металла 5—10 мм необходимы предварительный подогрев до температуры 250—300 °С и односторонняя разделка кромок с углом 60—70° и притуплением кромок 1,5—3 мм. При

Таблица 29. Ориентировочные режимы ручной однопроходной сварки меди покрытыми электродами

Толщина металла, мм	Диаметр электрода, мм	Сварочный ток, А
2	2—3	100—120
3	3—4	120—160
4	4—5	160—200
5	5—6	240—300
6	5—7	260—340
7—8	6—7	380—400
9—10	6—8	400—420

больших толщинах рекомендуется X-образная разделка.

Для сварки меди наибольшее распространение получили электроды «Комсомолец-100», в которых в качестве стержня использована медная проволока М1 и М2. Медные электроды диаметром менее 3 мм применяют редко вследствие низкой механической прочности стержня. При использовании проволоки такого диаметра ее предварительно нагартовывают. Покрытие наносят окунанием толщиной 0,4—0,8 мм на сторону, просушивают при нормальной температуре 4—5 ч, затем прокаливают при температуре 200—400 °С в течение 3—4 ч.

Разработаны высокопроизводительные электроды марок АНЦ-1 и АНЦ-2, обеспечивающие выполнение сварки без подогрева меди толщиной до 15 мм или с невысоким (250—400 °С) подогревом для металла больших толщин.

Ручную аргонодуговую сварку выполняют вольфрамовым электродом постоянным током прямой полярности в аргоне высокой чистоты. Возможна также сварка в среде гелия, азота или их смеси и водорода. Металл толщиной более 4 мм сваривают с предварительным подогревом до температуры 800 °С. В качестве присадки используют прутки из раскисленной меди, медно-никелевого сплава (МНЖКТ-5-1-0,2-0,02), бронзы (БрКМц3-1, БрОЦ4-3), а также специальных сплавов, содержащих эффективные раскислители — редкоземельные металлы (РЗМ). Для металла толщиной свыше 5—6 мм применяют

V- или X-образную разделку кромок с углом раскрытия 60—70°. Сварку ведут обычно справа налево при наклоне электрода по отношению к изделию углом вперед на 80—90°, угол наклона присадочной проволоки 10—15°, вылет электрода 5—7 мм. Высокую производительность сварочных работ обеспечивает ручная гелиево-дуговая сварка меди на формованных режимах (700—900 А).

## § 28. СВАРКА ТИТАНА И ЕГО СПЛАВОВ

Титан обладает высокой прочностью до температур 450—500 °С при малой плотности, высокой коррозионной стойкостью во многих агрессивных средах и все шире применяется в сварных конструкциях различного назначения.

Технический титан содержит примеси, в том числе газы — кислород, азот и водород, которые в разной степени повышают прочность и снижают пластичность и вязкость металла. В сварных швах они вызывают образование холодных трещин.

Легирование титана позволяет получать свариваемые сплавы, обладающие повышенной прочностью при достаточной пластичности и вязкости.

Основные особенности сварки титана — необходимость надежной защиты зоны сварки и обратной стороны шва (корня шва) от вредного воздействия атмосферного воздуха (защите подлежат не только расплавленный металл, но и участки, нагретые до температуры 500 °С), обеспечения в процессе сварки минимального времени нагрева свариваемых деталей. Дополнительные затруднения при сварке создает большая склонность титана к росту зерна при нагреве до высоких температур (выше 880 °С) и парообразование.

Качество сварных соединений во многом определяется технологией подготовки кромок деталей и титановой проволоки под сварку. Оксидно-нитридная пленка, которая образуется после

горячей обработки полуфабрикатов, удаляется механической обработкой и последующим травлением металла в смеси солей с кислотами в течение 5—10 мин при 60 °С (350 мл соляной кислоты, 50 г фтористого натрия, 650 мл воды).

Вследствие высокой химической активности титана применяют дуговую сварку неплавящимся и плавящимся электродами с защитой инертным газом, сварку под флюсом, электрошлаковую, электронно-лучевую, плазменную и др.

Ручную сварку вольфрамовым электродом выполняют постоянным током прямой полярности с использованием специальных приспособлений, позволяющих защитить зону сварки, остывающие участки шва и околошовную зону, а также корень шва. К ним относятся удлиненные насадки с отверстиями, защитные козырьки и др. Защиту корня шва можно осуществить плотным поджатием кромок свариваемых деталей к медной или стальной подкладке, подачей инертного газа в подкладку с отверстиями или изготовленную из пористого материала. При сварке сосудов или труб инертный газ пропускают внутрь изделия.

Изделие сложной формы со швами, расположенными в разных плоскостях, сваривают в герметичных камерах с контролируемой атмосферой автоматами или вручную.

Ручную сварку ведут без колебательных движений горелки, на короткой дуге углом вперед. Угол между электродом и присадочным материалом поддерживают в пределах 90°, подачу присадочной проволоки осуществляют непрерывно. После окончания сварки или обрыва дуги аргон должен подаваться до тех пор, пока металл не остынет примерно до 400 °С.

Ориентировочные режимы ручной дуговой сварки титана вольфрамовым электродом диаметром 1,5—2 мм и присадочной проволокой диаметром 1—2 мм:

Толщина металла, мм	0,8	1	1,2	1,5	2	2,5	3
Сварочный ток, А	40—50	50—60	50—60	70—80	90—100	110—120	120—140

Для титана и его сплавов толщиной 0,5—2 мм применяют ручную и механизированную импульсно-дуговую сварку неплавящимся электродом. Сварку выполняют импульсами постоянного тока прямой полярности путем наложения на малоамперную «дежурную дугу» (0,8—2 А) импульсной дуги (см. § 15).

## § 29. СВАРКА НИКЕЛЯ И ЕГО СПЛАВОВ

Никель и его сплавы (содержащие свыше 55% Ni) благодаря высокой коррозионной стойкости, жаропрочности и жаростойкости являются важнейшими конструкционными материалами, используемыми в химической и нефтяной промышленности, энергетике, электронике и других отраслях промышленности. Технический никель (Н-0, Н-1ц, Н-1, Н-2, Н-3 и Н-4) используют как конструкционный материал и для изготовления сплавов на никелевой основе (медно-никелевые, никель-хромовые, никель-молибденовые и др.).

Никель и его сплавы можно сваривать дуговой, газовой, электронно-лучевой, диффузионной сваркой в зависимости от конкретных условий работы сварной конструкции.

Основные трудности при сварке никеля и его сплавов — высокая склонность к образованию пор и кристаллизационных трещин, связанная с резким изменением растворимости кислорода, азота и водорода при переходе металла из твердого в жидкое состояние с последующим образованием продуктов, нерастворимых в металле и способствующих в процессе кристаллизации образованию пор в металле шва. Азот, попадая в сварочную ванну, частично образует нестойкие нитриды типа  $Ni_3N$  и частично — газовую фазу, также способствующую образованию пор. Поэтому технология сварки должна обеспечивать надежную защиту зоны сварки от атмосферного воздуха, хорошее рас-

кислоте сварочной ванны и дегазацию сварочной ванны. Эффективная мера предотвращения пористости — сварка короткой дугой (до 1,5 мм), при которой резко уменьшается подсос газов из атмосферы.

Высокая склонность металла к образованию кристаллизационных трещин связана с образованием по границам крупных зерен легкоплавких эвтектик типа  $Ni_3S-Ni$  ( $T_{пл} = 645^\circ C$ ),  $Ni_3P-Ni$  ( $T_{пл} = 880^\circ C$ ). Для предотвращения возникновения таких трещин в основном металле и сварочных материалах ограничивают содержание вредных примесей и вводят элементы, связывающие серу в более тугоплавкие соединения (до 5%  $Mn$  и до 0,1%  $Mg$ ).

Для ограничения роста зерна сварку ведут на ограниченной погонной энергии и вводят в небольшом количестве в металл шва модификаторы (титан, алюминий, молибден), измельчающие его структуру.

Ручную дуговую сварку применяют для листов толщиной свыше 1,5 мм и выполняют электродами с осевым покрытием на постоянном токе обратной полярности.

Для предупреждения перегрева электрода и снижения напряжений в сварном соединении при сварке используют ток, пониженный по сравнению с током для сварки стали (табл. 30).

Сварку по возможности необходимо вести в нижнем положении со скоростью примерно на 15% меньше скорости сварки сталей. Поперечные колебания электрода не должны превышать трех диаметров электрода. При смене электрода или случайных

обрывах дуги ее возбуждают, отступая на 5—6 мм от кратера назад на зачищенном от шлака шве. Рекомендуется вести сварку за один проход, зазор между кромками должен быть 2—3 мм. При больших толщинах, когда многопроходная сварка неизбежна, рекомендуется сваривать после остывания соединения и тщательной очистки предыдущего слоя от шлака и брызг.

С точки зрения эксплуатационных свойств большое значение имеет последующая обработка поверхности швов, так как подрезы, плохое формирование могут быть причиной возникновения коррозии, трещин и других дефектов.

Для сварки никеля используют электроды Н-10, Н-37, «Прогресс-50» и др., изготовленные из никелевой проволоки НП1. В некоторых случаях для сварки никеля и медно-никелевых сплавов используют электроды с покрытием УОНИ-13/45. Для сварки хромоникелевых (ХН78Т) сплавов используют электроды ЦТ-28, а для сплавов типа ХН80ТБЮ — электроды ИМЕТ-4, ИМЕТ-7, ИМЕТ-4П, ВЧ-2-6. Для снятия напряжений после сварки рекомендуется термообработка.

Ручную аргонодуговую сварку проводят постоянным током прямой полярности при надежной защите сварочной ванны от окисления струей аргона.

Предупреждение пористости при этом способе достигается добавкой к аргону до 20% водорода и введением в состав проволоки титана, алюминия, ниобия, которые связывают газы. Швы рекомендуется накладывать с минимальными поперечными колебаниями электрода, угол наклона горелки к оси шва должен быть 45—60°, вылет вольфрамового электрода 12—15 мм, присадочный материал подают под углом 20—30° к оси шва. Многослойное соединение выполняют после полного охлаждения металла, зачистки и обезжиривания предыдущих швов. Защита аргоном марки А рекомендуется при сварке никеля и его сплавов также со стороны подкладки.

Таблица 30. Режимы ручной сварки никелевых сплавов

Толщина металла, мм	Диаметр электрода, мм	Сварочный ток, А
до 2	2	30—50
2—2,5	2—3	40—80
2,5—3	3	70—100
3—5	3—4	80—140
5—8	4	90—100
9—12	4—5	100—165

## ТЕХНОЛОГИЯ НАПЛАВКИ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ

§ 30. СУЩНОСТЬ ПРОЦЕССА  
НАПЛАВКИ

Наплавка — одна из разновидностей сварки — служит для нанесения слоя металла заданного состава на поверхность изделия. Нанесенный металл прочно связывается с основным, образуя надежное соединение.

Наплавку применяют для восстановления и упрочнения деталей машин и оборудования путем нанесения на их рабочие поверхности металлических покрытий, обладающих необходимым комплексом свойств: износостойкостью, термостойкостью, кислотоупорностью и т. п. С помощью наплавки создают биметаллические изделия, у которых выгодно сочетаются свойства наплавленного и основного металлов. Номенклатура наплавляемых деталей весьма разнообразна по массе, форме, материалам и условиям работы. Это вызвало появление различных видов и способов наплавки.

Например, для наплавки автомобильных клапанов двигателей внутреннего сгорания используют плазменную наплавку, так как другие способы наплавки в этом случае неэффективны. Конусы и чаши загрузочных устройств доменных печей наплавляют дуговым способом самозащитными порошковыми лентами; шарошки буровых долот наплавляют индукционным способом с применением сплава — связки и тугоплавких зерен карбида вольфрама; лопатки вентиляторов упрочняют газопламенным напылением с последующим оплавлением, т. е. в каждом конкретном случае выбирают наиболее эффективный способ наплавки. Также учитывают производительность выбранного способа наплавки в зависимости от массы наплавляемого металла и возможности деформации изделия. Для упрочнения небольших деталей предпочитают газовую или плазменную наплавку. Дуговую или электрошлаковую наплавку чаще всего применяют для массивных изделий.

## § 31. СПОСОБЫ НАПЛАВКИ

Различают дуговую, газовую, электрошлаковую, плазменную, индукционную наплавку.

**Дуговая наплавка.** В большинстве случаев процессы наплавки основаны на применении дуговой сварки плавящимся электродом. Эти процессы отличаются способами защиты наплавляемого металла от вредного воздействия воздуха и степени механизации, хотя сущность их одинакова: под действием высокой температуры электрической дуги, горящей между электродом и изделием, к которым подведен ток, электродный и основной металлы расплавляются, создавая на поверхности изделия общую ванну. С отдалением электрической дуги расплавленный металл затвердевает, образуя наплавленный валик.

Ручную наплавку покрытыми электродами применяют в тех случаях, когда использование механизированных способов невозможно или нецелесообразно. Для получения минимальной глубины проплавления основного металла электрод наклоняют в сторону, обратную направлению наплавки. Ручную наплавку выполняют электродами диаметром 2—6 мм на постоянном токе 80—300 А обратной полярности (плюс на электроде) с производительностью 0,8—3 кг/ч.

При ручной наплавке требуется наиболее высокая квалификация электросварщиков, так как процесс необходимо вести на минимально возможном токе и напряжении с целью уменьшения доли основного металла в наплавленном, однако при этом должно обеспечиваться сплавление наплавленного и основного металлов. Главные параметры режима ручной наплавки: сила тока, напряжение на дуге и скорость наплавки. Тип электрода выбирают в зависимости от состава металла, который необходимо наплавить. Диаметр электрода опреде-

ляют в зависимости от толщины и формы изделия, пространственного положения наплавляемой поверхности.

Дуговая наплавка под флюсом — один из основных видов механизированной наплавки. Главное ее преимущество — непрерывность процесса, высокая производительность, незначительные потери электродного металла, отсутствие открытого излучения дуги, что значительно улучшает условия труда электросварщиков.

Коэффициент наплавки под флюсом почти равен коэффициенту расплавления, так как потери на разбрызгивание не превышают 1,5%. При использовании одной электродной проволоки коэффициент наплавки под флюсом колеблется в пределах 14—20 г/(А·ч) и может быть повышен за счет увеличенного вылета электрода. Общие потери при наплавке под флюсом не превышают 3%. Наплавку под флюсом осуществляют механизированными и автоматизированными способами.

Широко применяют в промышленности наплавку самозащитными проволоками и лентами открытой дугой в атмосфере воздуха. В состав сердечника этих электродных материалов, кроме порошков легирующих компонентов, вводят газо- и шлакообразующие вещества, защищающие при наплавке ванну расплавленного металла от вредного воздействия воздуха. С целью повышения производительности процесса наплавку можно осуществлять одновременно несколькими проволоками или лентами. Для наплавки самозащитными проволоками и лентами характерны повышенные световое излучение дуги, газовыделение и разбрызгивание.

Наплавка плавящимся электродом в защитном газе отличается от механизированной и автоматизированной наплавки под флюсом тем, что в качестве защитной среды вместо флюса используют инертные или углекислый газы. Из инертных газов наиболее широкое распространение получил аргон. Его применяют при наплавке высоколегированных хромоникелевых и коррозионно-стойких сталей, сплавов на основе

меди и др. Чаше осуществляют наплавку плавящимся электродом в углекислом газе.

Для предотвращения окисления металла в процессе наплавки кислородом, образующимся из углекислого газа при его разложении, в электродные проволоки вводят элементы — раскислители (титан, кремний, марганец, углерод). Для наплавки в углекислом газе обычно используют кремнемарганцевые проволоки, например, Св-08Г2С, Св-10ХГ2С и др. Наплавку в защитных газах применяют в тех случаях, когда невозможна наплавка под флюсом в связи с затруднениями его подачи и удаления шлаковой корки, например, при наплавке внутренних поверхностей глубоких отверстий или мелких деталей, а также при восстановлении и упрочнении деталей сложной формы. Наплавку в защитных газах, как правило, ведут короткой дугой, на постоянном токе обратной полярности с использованием источников питания с жесткой внешней характеристикой. К недостаткам этого процесса следует отнести открытое световое излучение дуги и повышенное разбрызгивание металла (5—10%).

Импульсно-дуговая наплавка плавящимся электродом расширяет технологические возможности наплавки в защитных газах. При этом процессе основной сварочный ток непрерывно горящей дуги с помощью специального генератора налагают кратковременные импульсы тока, которые ускоряют перенос капель металла и уменьшают таким образом их размер. При наложении на дугу импульсов определенной энергии и частоты можно достичь мелкокапельного переноса металла с минимальным разбрызгиванием. Это позволяет осуществлять наплавку в вертикальном положении. Импульсно-дуговую наплавку следует вести на постоянном токе обратной полярности, так как наплавка на прямой полярности, ведет к увеличению длины дуги за счет более высокой скорости расплавления электрода и к повышенному разбрызгиванию.

**Вибродуговая наплавка** — прерывистый дуговой процесс, при котором электрод вибрирует вдоль своей оси, вызывая короткие замыкания в сварочной цепи и кратковременные периоды существования дуги. Подаваемая в зону наплавки проволока с помощью электромагнитного или механического устройства совершает возвратно-поступательные движения с частотой до 100 раз в секунду и размахом 0,5—3 мм.

Вибродуговую наплавку осуществляют под флюсом, в различных газовых средах, но чаще всего в водных растворах (раствор кальцинированной соды или 25%-ный раствор технического глицерина в воде). Наличие жидкости обеспечивает высокую скорость охлаждения, что способствует уменьшению деформации детали, а также закалке наплавленного металла. Эти особенности процесса послужили основанием для его применения при наплавке деталей небольшого размера, износ которых составляет менее 1 мм. При силе тока 100—200 А и напряжении дуги 18—25 В производительность процесса составляет 1—2 кг наплавленного металла в час.

К недостаткам этого способа следует отнести часто возникающие дефекты в наплавленном металле в виде мелких газовых пор, трещин, а также неравномерную его твердость.

**Газовая наплавка.** В качестве источника теплоты для наплавки используют газовое пламя. Газовым пламенем специальных горелок можно проводить наплавку и напыление покрытий, а также их оплавление. В качестве горючего газа чаще всего применяют ацетилен, максимальная температура пламени которого в смеси с кислородом составляет 3150 °С. Используют также и пропан-бутан. Газовую наплавку широко применяют в промышленности. Ее можно подразделить на газовую наплавку с присадкой прутков или проволоки, газопорошковую и газопламенное напыление с последующим оплавлением. Технология нанесения покрытий этими способами проста и доступна.

**Электрошлаковая наплавка (ЭШН).** Процесс наплавки, при котором источником теплоты для плавления основного и присадочного металлов служит шлаковая ванна, разогреваемая проходящим через нее электрическим током, называется электрошлаковым. Ток, проходя между электродом и изделием, нагревает шлаковую ванну до температуры свыше 2000 °С, в результате чего электродный и основной металлы оплавляются, образуя металлическую ванну, при затверждении которой создается наплавленный металл.

**Плазменная наплавка.** В качестве материалов при плазменной наплавке используют порошки, проволоку, прутки. Преимущества этого процесса — малая глубина проплавления основного металла, возможность наплавки тонких слоев, высокое качество наплавленного металла.

При плазменно-порошковой наплавке используют три вида плазменной дуги: прямого, косвенного действия и комбинированную. Лучшими технологическими возможностями обладает комбинированная дуга. Такая схема позволяет в широком диапазоне осуществлять раздельное регулирование степени нагрева присадочного материала и основного металла.

Если при однослойной наплавке под флюсом доля основного металла в наплавленном составляет  $\approx 60\%$ , то плазменная наплавка позволяет получать в первом слое долю основного металла до 5%. При наплавке плазменная струя окружена соосным потоком защитного газа, обеспечивающим защиту наплавленного металла. Ввиду отсутствия резких колебаний давления дуги наплавленная поверхность получается гладкой, с минимальным припуском на механическую обработку. Плазменно-порошковую наплавку осуществляют также с подачей порошка в хвостовую часть ванны. В этом случае обеспечивается более надежная подача присадочного порошка, а при наплавке порошков карбида отсутствует их разложение, так как они, попадая в ванну, минуя разрушающее действие электри-

ческой дуги. При этом наплавленный металл получает строение композиционного сплава. Для наплавки применяют порошки шаровидной формы с размером частиц 40—400 мкм, а для подачи порошка в хвостовую часть ванны — более крупную фракцию.

Плазменная наплавка с токоведущей присадочной проволокой обеспечивает минимальное проплавление основного металла при достаточно высокой производительности процесса. При наплавке хромоникелевых коррозионно-стойких сталей на углеродистые глубина проплавления основного металла составляет 0,2—0,5 мм, высота наплавленного валика 4,5—5 мм. При наплавке меди на сталь проплавление основного металла вовсе отсутствует. При этом способе косвенная дуга горит между вольфрамовым электродом и соплом, дуга прямого действия горит между вольфрамовым электродом и проволокой. Основной металл получает теплоту от перегретого металла плавящейся проволоки и от плазменной дуги. Изменяя силу тока, регулируют долю основного металла и производительность наплавки.

**Индукционная наплавка.** Расплавление основного и присадочного металлов происходит за счет теплового действия индуктируемого тока. Для нагрева над изделием размещают индуктор, представляющий собой один или несколько витков медной трубки или шины. По индуктору протекает ток высокой частоты, создающий переменное магнитное поле, которое возбуждает вихревые токи в поверхностном слое детали, что, в свою очередь, вызывает оплавление этого слоя и расплавление присадочного материала. С увеличением частоты тока глубина проплавления уменьшается. Основные преимущества индукционной наплавки — возможность получения минимального проплавления и высокая производительность процесса.

### § 32. ОСОБЕННОСТИ ТЕХНИКИ НАПЛАВКИ

Техника наплавки должна обеспечивать хорошее формирование наплавленного металла, отсутствие в нем

дефектов, минимальное проплавление основного металла и возможно максимальную производительность процесса.

Каждый вид наплавки имеет свои основные элементы режима, влияющие на производительность и качество процесса. Для дуговой наплавки основными элементами режима являются сила тока, напряжение и скорость перемещения дуги, вылет и число электродов, шаг наплавки, а также смещение электрода с зенита при наплавке тел вращения.

Наплавку обычно ведут на постоянном токе, обеспечивающем высокую стабильность процесса. Ток дуги при наплавке зависит от скорости подачи электродной проволоки. С увеличением скорости подачи возрастает сила тока, а следовательно, и производительность наплавки. Однако с возрастанием тока дуги увеличиваются глубина проплавления и доля основного металла в наплавленном. Кроме того, образуются узкие и высокие валики, ухудшается формирование наплавленного металла. Поэтому ток дуги ограничивается условиями качества наплавки. Напряжение дуги определяет форму наплавленного валика, его повышение увеличивает ширину и уменьшает высоту валика, при этом возрастает длина дуги и окисляемость легирующих примесей, особенно углерода. В связи с этим стремятся к минимальному напряжению, которое должно согласовываться с током дуги. При очень малом напряжении дуги получается узкий и высокий валик с плохим формированием. Увеличение напряжения и уменьшение тока дуги усиливает взаимодействие шлака и металла, повышает окисляемость углерода, хрома, титана и других легирующих элементов. Обычно наплавку ведут при напряжении дуги 28—32 В и силе тока 300—450 А для электродной проволоки диаметром 3—4 мм.

При наплавке лентой также достигается малая глубина проплавления, а доля основного металла в наплавленном первом слое может быть снижена до 20%. Для снижения доли основного металла в наплавленном уменьшают



шаг наплавки. Наиболее качественную наплавку получают при шаге 0,4—0,75 ширины наплавленного валика. Смещение электрода с зенита при наплавке тел вращения оказывает влияние на формирование наплавленного слоя. Смещают электрод с зенита в сторону, обратную направлению вращения изделия. Величину смещения с зенита обычно выбирают равной длине сварочной ванны.

При плазменной наплавке обеспечивается возможность широкого регулирования доли основного металла за счет изменения тока плазменной дуги.

При наплавке газовым пламенем нагрев и плавление металла происходит значительно медленнее, чем при дуговом процессе, так как тепловой поток, создаваемый ацетилено-кислородным пламенем, в 8—12 раз меньше теплового потока от открытой сварочной дуги.

При электрошлаковой наплавке глубину проплавления основного металла уменьшают за счет понижения напряжения, увеличения скорости наплавки, повышения электропроводности флюса, увеличения силы тока и глубины шлаковой ванны.

При индукционной наплавке глубина проплавления основного металла уменьшается с увеличением частоты тока в индукторе.

Техника наплавки предусматривает различные приемы ведения работ при наплавке тел вращения, плоских поверхностей и деталей сложной формы. Цель их одна — получение качественного наплавленного слоя заданных свойств и минимальная деформация изделия.

При наплавке тел вращения это достигается ведением непрерывного процесса по винтовой линии с перекрытием последующим валиком предыдущего. Плоские детали целесообразно наплавлять электродными лентами с минимальным проплавлением основного металла. Поверхность сложной формы наплавляют такими способами, при которых возможно визуальное

наблюдение за процессом и управление им, например, плазменным, газовым, газопорошковым, в среде защитных газов.

### § 33. ВЫБОР ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА

Свойства наплавленного металла, зависящие в основном от его химического состава, должны соответствовать условиям работы детали. Деталь при работе испытывает комплекс разрушающих воздействий, однако всегда существует ведущий вид изнашивания, которому главным образом обязан сопротивляться наплавленный металл.

Для восстановления и упрочнения деталей применяют разнообразные наплавочные материалы, способные сопротивляться различным видам изнашивания (табл. 31, а также см. табл. 10).

**Низкоуглеродистые низколегированные стали** используют для восстановительной наплавки различных роликов, колес электромостовых кранов, посадочных мест под подшипники, осей, валов и многих других деталей, а также для создания подслоя при наплавке износостойкими сплавами.

Наплавку сталей этой группы осуществляют ручным, механизированным, автоматизированным под флюсом и в защитных газах способами, электродами марок ОЗН-250У, ОЗН-300У и ОЗН-350У и др., проволоками марок Св-ОШГА, Св-10Г2, Нп-30ГСА, Нп-30Х5 с предварительным подогревом детали до температуры 200—300 °С и с последующим замедленным охлаждением. При наплавке массивных деталей, независимо от химического состава наплавляемого металла, необходим предварительный подогрев до указанных температур. При наплавке деталей с повышенным содержанием углерода (более 0,4%) и серы (более 0,03%) во избежание образования кристаллизационных трещин наплавку необходимо вести с минимальным проплавлением основного металла для уменьшения его доли в наплавленном. Оптимальную структуру и твердость наплавленного металла этой группы

Таблица 31. Тип наплавленного

Тип	Содержание элементов, %						
	C	Mn	Cr	Ni	W	V	Mo
Нелегированные или низколегированные стали (<0,4% C)	0,4	0,5—3	0—3	0—3	—	—	0—1
Нелегированные или низколегированные стали (>0,4% C)	0,4	0,5—3	0—5	0—3	—	—	0—1
Аустенитные высокомарганцевые стали	0,5—1,2	11—16	0—1	0—3	—	—	0—1
Аустенитные хромоникелевые стали	0,3	1—8	13—30	5—25	—	—	—
Хромистые стали	0,2—2	0,3—1,5	5—30	0—5	0—1,5	0—0,5	0—1
Высокохромистые специальные чугуны	1,5—5	0—6	25—35	0—4	0—5	0—1	0—3
Быстрорежущие стали	0,6—1,5	0,5	4—6	—	1,5—18	0—3	0—10
Хромовольфрамовые теплостойкие стали	0,2—0,5	1	1—5	0—5	1—10	0,15—1,5	0—4
Кобальтовые сплавы с хромом и вольфрамом	0,7—3	0,4	25—33	0—3	3—25	—	0—3
Никелевые сплавы с хромом и бором	1	—	8—18	65—85	—	—	—
Карбидные сплавы зернистые спеченные	3	2,0	—	—	45	—	—

получают при предварительном подогреве детали до температуры 200—250 °С.

**Углеродистые низколегированные стали**, содержащие более 0,4% C и до 5% легирующих примесей, применяют для износостойкой наплавки штампов холодной и горячей штамповки, ножей грайдеров и бульдозеров, ножей для резки бумаги и других деталей. Наплавку ведут проволокой Нп-55ХНМ, спеченной лентой ЛС-70ХЗМН, электродами ЭН-60М, 1ЗКН/ЛИВТ. Наплавленный металл этой группы имеет повышенную склонность к образованию горячих и холодных трещин, поэтому перед наплавкой изделие подогревают до температуры 350—400 °С. В случае необходимости механической обработки наплавленного металла деталь подвергают отжигу. После механической обработки наплавленного металла деталь закаляют.

**Высокомарганцевые аустенитные стали**, содержащие до 13% Mn, обладают высокой стойкостью против ударов и способностью наклепываться, в результате чего твердость их поверхности возрастает до *HV* 450—500, при этом сердцевина остается вязкой. Этими

сталями наплавливают детали дробильно-размольного оборудования, железнодорожные крестовины и другие изделия, работающие в условиях абразивного изнашивания с ударными нагрузками. Под флюсом наплавливают электродной проволокой Нп-Г1ЗА, а также применяют самозащитную порошковую проволоку ПП-АН105, электроды ЦНИИН-4.

**Хромоникелевые аустенитные стали**, обладающие высокой стойкостью к коррозии, используют в качестве наплавочных материалов при изготовлении аппаратов в химическом и нефтяном машиностроении. При легировании марганцем стали этой группы приобретают высокую вязкость и способность *сильно наклепываться*, поэтому их применяют для наплавки деталей, подверженных кавитационному изнашиванию, таких, как лопасти гидротурбин, плунжеры гидропрессов и др.

Для наплавки металла указанного типа применяют покрытые электроды, проволоки или ленты данного химического состава. Наплавку ведут под флюсом или в среде аргона. С целью повышения стойкости наплавленного

Со		Прочие		Твердость HRC
—	—	—	—	
—	—	—	—	60
—	—	—	—	50
—	0—1 Ti	0—1,5 Nb	—	40
—	—	—	—	45
0—5	0—1,5 Ti	0—1,5 V	—	60
0—15	—	—	—	62
—	—	—	—	45
3 0 — 70	≤ 6 Fe	—	—	40
1— 1,5	2—5 Si	2—5 V	—	55
—	—	—	—	67

металла к межкристаллитной коррозии наплавку на углеродистые стали следует выполнять с минимальной долей основного металла в наплавленном, что лучше всего достигается при электрошлаковой наплавке двумя параллельными лентами. Хромоникелевые аустениты стали наплавляют без подогрева.

**Хромистые стали**, обладающие высокими стойкостью к коррозии и прочностью при повышенных температурах, применяют для наплавки уплотнительных поверхностей задвижек для пара и воды, плунжеров гидропрессов, штампов и других деталей, для чего используют самозащитную порошковую проволоку ПП-АН106, стандартные наплавочные проволоки Нп-30Х13 и Нп-40Х13, сварочную проволоку Св-10Х17Т, порошковые проволоки ПП-АН103 и ПП-АН104. Для предупреждения образования пор наплавку хромистых сталей выполняют на предельно короткой дуге при напряжении 24—26 В. Наплавленный металл склонен к образованию трещин, поэтому наплавку ведут с предварительным и сопутствующим подогревом детали до

температуры 150—250 °С. Кристаллизационные трещины чаще всего возникают при наплавке на низкоуглеродистую сталь в результате диффузии углерода из наплавленного металла в основной. Для предотвращения трещин наплавку необходимо вести с минимальной глубиной проплавления основного металла, что лучше всего достигается при индукционной наплавке с жидким присадочным металлом.

**Хромовольфрамовые и хромомолибденовые стали**, обладающие высокой стойкостью к термической усталости и изнашиванию, применяют для наплавки валков горячей прокатки, штампов горячей штамповки и других деталей. Используют следующие материалы: порошковые проволоки ПП-25Х5ФМС, ПП-3Х2В8 и ПП-АН132, спеченную ленту ЛС-5Х5ВЗФС, покрытые электроды ВСН-6. Для предупреждения трещин наплавку ведут при температуре детали 350—400 °С с последующим замедленным охлаждением.

Массивные детали необходимо отпускать при температуре 450—550 °С и замедленно охлаждать вместе с печью. Для наплавки внутренних поверхностей применяют самозащитные порошковые проволоки, например ПП-АН130. В этом случае следует использовать источник питания с жесткой внешней характеристикой.

**Высокохромистые чугуны** применяют для наплавки деталей, работающих в условиях абразивного, газоабразивного и гидроабразивного изнашивания при обычных и высоких температурах, например детали засыпных аппаратов доменных печей, броневые плиты лотков, валки коксовых дробилок, ножи бульдозеров, зубья ковшей экскаваторов и т. п.

Наплавляют порошками из сплавов или смесями порошков газопламенным и плазменным способами, а также применяют покрытые электроды, порошковые проволоки ПП-АН101 и ленту ПЛ-АН101.

Практика показала, что для уменьшения образования трещин наплавку высокохромистыми чугунами целесообразно осуществлять на металл

с максимально низким пределом текучести. Для этой цели часто используют подслои, наплавленные саарочной проволокой Св-08А. С целью сохранения высокой износостойкости при наплавке высокохромистых чугунов необходимо стремиться к минимальной доле основного металла в наплавленном, так как разбавление наплавленного металла основным резко снижает его износостойкость.

**Никелевые сплавы** обладают высоким сопротивлением износу в сочетании с жаростойкостью и стойкостью к коррозии. Ими наплавляют уплотнительные поверхности арматуры для пара высоких параметров, выхлопные клапаны дизелей, плунжеры кислотных насосов, штампы для горячей штамповки и т. п.

Например, наплавку порошками ПГ-СР2, ПГ-СР3 и ПГ-СР4 осуществляют газопорошковым плазменным способом. При наплавке деталей материалами этой группы для предупреждения образования трещин необходимо их предварительно подогревать до температуры 320—450 °С.

**Хромокобальтовые сплавы**, называемые стеллитами, обладают высокой жаропрочностью, сопротивлением исти-

рению при температуре до 1000 °С. Их применяют для наплавки клапанов авиационных двигателей, матриц штампов, буровых долот, уплотнительных поверхностей паровой арматуры сверхвысоких параметров и др.

Стеллиты наплавляют вручную дугвым способом покрытыми электродами ЦН-2 или газовым пламенем прутками ПВ-ВЗК и Пр-ВЗК-Р. Важное условие получения наплавленного металла высокой износостойкости — минимальный переход железа из основного металла в наплавленный. При дуговых способах наплавки только в третьем слое удается получить наплавленный металл с минимальным содержанием железа, при газопламенном — в первом слое, так как доля основного металла в нем не превышает 10%. Другая трудность наплавки стеллитов — их высокая склонность к образованию холодных и горячих трещин. Поэтому стеллиты наплавляют при подогреве детали до температуры 600—700 °С, не снижая этой температуры в процессе наплавки. После наплавки деталь необходимо нагреть в печи до 600—700 °С, выдерживать до выравнивания температуры, затем вместе с печью медленно охладить.

## Глава 10

### СВАРКА ОСНОВНЫХ ВИДОВ КОНСТРУКЦИЙ

#### § 34. ТРЕБОВАНИЯ К СВАРНЫМ СОЕДИНЕНИЯМ

В зависимости от типа и назначения конструкции видоизменяются и конкретизируются требования, предъявляемые к сварным соединениям. Поэтому их нельзя сформулировать в общем виде. Можно лишь утверждать, что любому сварному соединению должна быть обеспечена достаточная работоспособность при минимальной трудоемкости его изготовления. Под достаточной работоспособностью сварного соединения в большинстве случаев подразумевают

сохраняемую в течение всего срока эксплуатации необходимую и достаточную прочность, выносливость и устойчивость при заданных виде нагружения и рабочей среде. Прочность сварного соединения определяется механическими свойствами металла шва и околошовной зоны.

Требования к пластическим и прочностным характеристикам металла шва различные в зависимости от типа соединения и условий работы конструкции.

Обычно их задают равными аналогичным свойствам основного металла.

Для стыковых швов в подавляющем большинстве случаев должны быть обеспечены полный провар соединяемых элементов с плавным переходом от основного металла к металлу шва. Наличие главного перехода положительно сказывается на прочности сварного соединения при динамических нагрузках, изгибе и технологических операциях, связанных с вальцовкой и правкой. Для угловых швов необходимо выдерживать определенные расчетом размеры шва или минимальные размеры, назначаемые по технологическим соображениям, исходя из возможности качественного выполнения такого шва в производственных условиях.

Оптимальной считается вогнутая или нормальная форма поверхности углового шва с плавным переходом к основному металлу.

Плавное очертание поверхности шва предопределяет снижение концентрации напряжений, в результате чего существенно повышается выносливость при вибрационных нагрузках. Выпуклая форма поверхности шва нежелательна из соображений прочности, а также и по экономическим соображениям. При выпуклом шве нерационально расходуется дополнительный металл.

Большое влияние на прочность сварного соединения оказывают трещины, непровары, охрупчивание металла околошовной зоны и другие возникающие при сварке дефекты. Поэтому особое внимание уделяется выбору таких приспособлений, материалов, способов и режимов сварки, при которых минимальна возможность образования дефектов.

Нарушения размеров и формы сварного соединения, вызванные возникшей в результате сварки деформацией, существенно изменяют условия его работы. Правка покоробленных при сварке элементов является весьма трудоемкой операцией, резко повышающей стоимость изготовления изделия. Надлежащее качество сварного соединения может быть достигнуто только при свободном доступе к месту сварки.

Сварные конструкции классифицируют по методу получения заготовок (листовые, листосварные, ковано-сварные, штампосварные), по целевому назначению (вагонные, судовые, авиационные и т. д.), в зависимости от толщины свариваемых элементов (тонкостенные и толстостенные) или по применяемым материалам (стальные, алюминиевые, титановые и т. д.). При изготовлении сварных конструкций более целесообразна квалификация сварщиков в зависимости от характерных особенностей их работы. В этом случае можно выделить следующие типы сварных элементов и конструкций и дать им соответствующие определения.

Балки — конструктивные элементы, работающие в основном на поперечный изгиб. Жестко соединенные между собой балки образуют рамные конструкции.

Колоннами называют элементы, работающие преимущественно на сжатие или на сжатие с продольным изгибом.

Решетчатые конструкции представляют собой систему стержней, соединенных в узлах таким образом, что стержни испытывают главным образом растяжение или сжатие. К ним относятся фермы, мачты, арматурные сетки и каркасы.

Оболочковые конструкции, как правило, испытывают избыточное давление — к ним предъявляют требование герметичности соединений. К этому типу относят различные емкости, сосуды и трубопроводы.

Корпусные транспортные конструкции подвергаются динамическим нагрузкам. К ним предъявляют требования высокой жесткости при минимальной массе. Основные конструкции данного типа — корпуса судов, вагонов, кузова автомобилей.

Детали машин и приборов работают преимущественно при переменных, многократно повторяющихся нагрузках. Для них характерным является требование точных размеров, обеспечиваемое главным образом механической обработ-

кой заготовок или готовых деталей. Примерами таких изделий являются станины, валы, колеса.

### § 36. ОСОБЕННОСТИ СВАРКИ НЕКОТОРЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Широкое применение находят сварные двутавровые балки с поясными швами. Сборка балки должна обеспечить симметрию и взаимную перпендикулярность полок и стенки, прижатие их друг к другу и закрепление прихватками. При использовании сборочных кондукторов прихватку обычно выполняют после зажатия элементов по всей длине балки. На сборочных установках с самоходным порталом зажатие и прихватку осуществляют последовательно от сечения к сечению. Вертикальные ребра жесткости устанавливают и приваривают после сварки поясных швов. Приемы выполнения поясных швов балки могут быть различны. Выполнение швов в положении «в лодочку» (рис. 26, а) обеспечивает лучшие условия их формирования и проплавления, однако при этом приходится поворачивать изделие после сварки каждого шва.

При монтаже конструкций приходится сваривать стыки балок. Типы стыков двутавровых балок показаны на рис. 26. Раздвинутый стык применяют как технологический (рис. 26, в); при монтаже используют совмещенный стык (рис. 26, б), выполняемый ручной сваркой покрытым электродом. Последовательность сварки стыковых швов поясов и стенки назначают из следующих соображений. Если в первую очередь сварить стыки поясов, то стык стенки придется выполнять в условиях жесткого закрепления, что при неблагоприят-

ных условиях может способствовать образованию трещин в процессе сварки. При другой последовательности, когда стык стенки сваривают первым, в стыках поясов от поперечной усадки возникают большие остаточные напряжения растяжения, что может снизить усталостную прочность при работе на изгиб.

С целью облегчения условий сварки стыка участки поясных швов иногда не доваривают, выполняя их после сварки стыковых швов. Остаточные напряжения в этом случае окажутся меньше, чем при жестком закреплении, однако для элементов, свариваемых в первую очередь, возможна потеря устойчивости под напряжением сжатия. Для каждого конкретного случая в зависимости от перечисленных факторов (свариваемости, условий работы стыка балки в конструкции, размеров поперечных сечений элементов) оптимальная технология выполнения стыка может быть различной.

Решетчатые конструкции — фермы, мачты, башни и другие изготовляют главным образом из проката, а также из гнутых профилей открытого и замкнутого сечений. Как правило, решетчатые конструкции имеют короткие швы, различным образом ориентированные в пространстве, их выполняют вручную или полуавтоматом. Для этого необходимо изделие кантовать. При использовании труб для их подготовки к сборке и сварке требуется фигурная обрезка концов на специальных газорезущих машинах. Иногда концы труб относительно небольших диаметров сплющивают, что упрощает их соединение в узлах дуговой сваркой. Сплюсненные по концам трубы можно соединять в пространственный узел ванной сваркой (рис. 27). В этом случае торцы сплюсненных частей образуют ограниченное с боковых сторон пространство, куда в процессе сварки вводят электрод или гребенку электродов.

В современных уникальных решетчатых конструкциях находят применение трубы больших диаметров. Так, опоры буровых вышек для добычи нефти в Северном море на глубинах

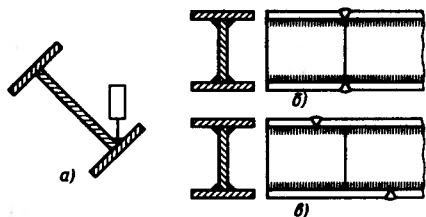


Рис. 26. Выполнение швов двутавровой балки (а) и типы стыков сварных блоков (б, в)

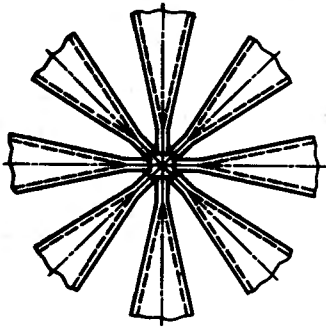


Рис. 27. Сварная решетчатая конструкция со сплюснутыми на концах трубами

порядка 150 м и более сооружают из труб диаметром до 4270 мм при толщине стенок до 64 мм. Крупногабаритные узлы этих вышек изготовляют в условиях завода, а затем транспортируют по морю к месту монтажа.

Сварку стыков труб можно выполнять в поворотном, неповоротном и в горизонтальном на вертикальной плоскости положении трубы. Собранные стыки труб необходимо прихватывать в нескольких местах с полным проваром и полностью перекрывать их (переваривать) при наложении основного шва. Прихватки, как правило, выполняет тот сварщик, который будет сваривать данный стык. Число прихваток и их протяженность должны соответствовать следующим требованиям:

Диаметр трубы, мм	До 100	100—426	Свыше 426
Число прихваток по периметру	1—2	3—4	Через каждые 300—400 мм
Протяженность одной прихватки, мм	10—20	20—40	30—50

Высота прихватки определяется толщиной трубы и способом сварки: при ручной дуговой сварке не менее 3 мм для толщины стенки до 10 мм и 5—8 мм — свыше 10 мм. К качеству прихваток предъявляются такие же требования, что и к сварному шву.

Сварку стыков следует начинать сразу после прихватки. Для стыков труб из мартенситно-ферритных и низколегированных перлитных сталей время между окончанием выполнения прихваток и началом сварки не должно

превышать 4 ч. Непосредственно перед сваркой необходимо проверить состояние поверхности стыка и в случае необходимости его зачистить.

Сварку стыка труб (деталей) из легированных сталей перлитного и мартенситно-ферритного класса следует выполнять без перерыва. Не допускается прекращение сварки стыка до заполнения хотя бы половины высоты разделки по всей окружности. При вынужденных перерывах в работе (авария, отключение тока) необходимо обеспечить медленное и равномерное охлаждение стыка любыми доступными средствами (например, обкладкой стыка листовым асбестом), а при возобновлении сварки стык должен быть подогрет (если это требуется). Эту температуру нужно поддерживать до окончания сварки.

Во всех случаях многослойной сварки разбирать шов на участки необходимо с таким расчетом, чтобы стыки участков («замки» швов) в соседних слоях не совпадали, а были смещены один относительно другого, и каждый последующий участок перекрывал предыдущий. Величина смещения и перекрытия должна быть при сварке электродами диаметром 2,5—3 мм не менее 10 мм, а электродами диаметром 4—5 мм не менее 15 мм.

Ручную дуговую сварку следует выполнять по возможности короткой ду-

гой, особенно при использовании электродов с основным покрытием, для которых длина дуги должна быть не более диаметра электрода. В процессе сварки необходимо как можно реже обрывать дугу, чтобы не оставлять незаплавленных кратеров. Перед гашением дуги сварщик должен заполнить кратер путем постепенного отвода электрода и вывода дуги назад на 15—20 мм на толькo что наложенный шов. Последующее зажигание дуги должно быть на металле шва на расстоянии 12—15 мм от кратера.

Во избежание зашлаковки металла шва около кромок труб следует накладывать возможно более плоский валик, избегая выпуклого («горбатого») валика, для чего электрод несколько задерживают у кромок трубы или отводят немного назад.

В процессе сварки следует обращать особое внимание на обеспечение полного провара корня шва и заделку кратера. После наплавки каждого валика необходимо полностью удалить шлак, дав ему остыть (потемнеть). При наличии на поверхности шва дефектов (трещин, сильной пористости) дефектное место удаляют механическим способом и заваривают повторно.

Сваривать и прихватывать стыки трубопроводов и труб котлов в зимних условиях при температуре окружающего воздуха ниже 0 °С необходимо с соблюдением требований РТМ (руководящие технические материалы). Сварочные работы на всех трубах при температуре наружного воздуха ниже —20 °С, а на трубах из низколегированных теплоустойчивых сталей и из мартенситно-ферритной стали 12Х11В2МФ при температуре окружающего воздуха ниже 0 °С можно проводить только в отапливаемом помещении или специальных кабинах, в которых температура воздуха в области свариваемого стыка поддерживается выше 0 °С (см. гл. 11).

### § 37. ТЕХНОЛОГИЯ СВАРКИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Основным способом сварки неповоротных стыков магистральных трубопроводов при соединении секции или отдельных труб в непрерывную нитку в настоящее время все еще остается ручная сварка электродами. Существенными преимуществами ручной сварки являются простота процесса и возможность выполнения работ в разных климатических условиях с различным темпом продвижения вдоль трубопровода при высоком качестве швов. К основным недостаткам ручной сварки относятся большая потребность в квалифицированных рабочих-сварщиках (не

ниже 5—6-го разрядов) и в ряде случаев тяжелые условия труда сварщиков.

В настоящее время применяют точные методы сварки магистральных трубопроводов с использованием различных электродов, но наиболее эффективна сварка корневого слоя шва электродами с целлюлозным покрытием при сборке стыков на центраторах. Эти электроды позволяют при прочих равных условиях в 2—2,5 раза уменьшить время сварки корневого слоя шва. Центраторы во много раз уменьшают время сборки стыка.

Поскольку электроды с целлюлозным покрытием проявляют свое основное преимущество (высокую линейную скорость сварки и хорошее формирование обратного валика), главным образом при сварке корневого слоя шва, в СССР принята технология сварки стыков труб комбинированным швом. В комбинированном шве корень шва и свариваемый сразу после него «горячий» проход выполняют указанными электродами на спуск одновременно несколько сварщиков (направления сварки на каждой половине стыка «12—3—6» и «12—9—6» по циферблату часов). Остальные швы сваривают электродами с основным покрытием на подъем (направления «6—3—12» и «6—9—12» по циферблату часов). При этом производительность сварки заполняющих слоев шва выше, так как уменьшается объем работ по зачистке шлака (число слоев шва при сварке электродами с основным покрытием в 2—3 раза меньше, поскольку они допускают большие токовые нагрузки, чем электроды с целлюлозным покрытием такого же диаметра).

Для овладения навыками сварки неповоротных стыков магистральных трубопроводов необходима серьезная подготовка сварщиков. Наиболее ответственной операцией является сварка корневого слоя шва. Независимо от разряда в соответствии с действующими инструкциями все сварщики прежде, чем приступить к сварке трубопровода, должны сварить допускные стыки. При сварке неповоротных стыков большое значение имеет овладение правильной техникой сварки.



Техника сварки электродами с основным покрытием в разных пространственных положениях имеет некоторые особенности. Сварка начинается в нижней точке (цифра 6 циферблата часов) и проводится каждым сварщиком на своей полуокружности трубы на подъем до верхней точки (цифра 12 циферблата). Чтобы сварщики не мешали друг другу, обычно сварку выполняют следующим образом: один сварщик непрерывно работает на полуокружности от точки 6 до точки 12, второй — от точки 9 до точки 12 и затем от точки 6 до точки 9 циферблата часов.

По мере передвижения электрода от потолочного положения к нижнему сварочный ток должен несколько увеличиваться (на 5—10%).

Для указанного небольшого регулирования тока в разных пространственных положениях наиболее удобны дистанционные регуляторы тока с магнитными присосами, устанавливаемые сварщиком на трубе рядом со стыком и позволяющие регулировать ток.

При сварке корневого слоя шва электродами с основным покрытием особенно важно тщательно сварить часть шва в положении от точки 5 до точки 7 (по циферблату часов), где могут образоваться внутренние ослабления шва (мениски). Образование такого дефекта можно предупредить установкой точного зазора при сборке, применением уменьшенного значения сварочного тока, а также использованием электродов малого диаметра (2,5 мм).

Сварку заполняющих и облицовочного слоев шва следует проводить электродами диаметром 4 мм. В верхней полуокружности трубы для повышения производительности труда целесообразно применять электроды диаметром 5 мм. Сварку следует выполнять по возможности короткой дугой. Сварка длинной дугой способствует возникновению пор и затруднена в потолочном и вертикальном положениях. Эти электроды обычно используют при сварке на постоянном токе обратной полярности.

Техника сварки корня шва электродами с целлюлозным покрытием имеет следующие особенности. Весьма важна высокая точность подготовки кромок (желательно механическим способом). Смещение кромок, как правило, не должно превышать 1,5 мм во избежание значительного ослабления сечения шва при последующем шлифовании. Для труб небольшого диаметра (до 300 мм) целесообразно использовать электроды диаметром не более 3,25 мм. Для сварки труб больших диаметров рекомендуются электроды диаметром 4 мм. Сварку корневого слоя шва осуществляют постоянным током обратной или прямой полярности в направлении на спуск без колебательных движений при опирании электрода на свариваемые кромки.

Применение тока прямой полярности обеспечивает несколько меньшую глубину проплавления и большее заполнение разделки в связи с большей скоростью плавления электрода. Если покрытие электрода начинает оплаиваться с одной стороны, то электросварщик должен резко изменить угол наклона электрода или же энергично раскочевать электрод поперек оси шва: при качественном изготовлении электрода козырек исчезает и восстанавливается равномерное плавление покрытия.

Скорость сварки должна быть в пределах 16—22 м/ч. Поддержание достаточно высокой скорости сварки обусловлено нормальным формированием обратного валика. При скорости сварки менее 10 м/ч, как правило, нарушается формирование сварного шва и возможно образование пор. При скорости сварки выше указанных пределов возрастает опасность несплавления кромок.

По окончании сварки корневой слой шва немедленно должен быть обработан абразивным кругом с помощью высокоскоростной шлифовальной машинки. Оптимальная частота вращения безопасного абразивного круга диаметром 178—230 мм должна быть 6000—8000 об/мин. Ширина круга для корневого слоя шва рекомендуется не более 4—4,5 мм, что обеспечивает хорошее

снятие металла и вскрытие «карманов», в которых залегают шлак.

Сварку последующего слоя электродами с целлюлозным покрытием следует выполнять на постоянном токе только обратной полярности при скорости 18—20 м/ч в направлении на спуск. Существуют несколько приемов манипулирования электродом. При наиболее распространенном приеме сварщик выполняет резкие продольные колебательные движения с амплитудой 12—20 мм и сравнительно длительными остановками в нижней точке траектории, описываемой торцом электрода. Обычно в течение 1 с дуга горит в точке остановки, а затем следует резкое движение руки сварщика вверх и вниз, т. е. в следующую точку остановки. В задачу сварщиков, выполняющих сварку этого прохода, входит выплавка шлака из раскрытых «карманов», удаление любых дефектов корневого слоя шва и получение ровной подложки для наложения последующих слоев, выполняемых электродами основного типа.

При сварке электродами ВСО-50СК (постоянный ток, обратная полярность) не следует использовать резкие движения электродного торца: сварку на спуск следует вести, поддерживая по возможности наиболее короткую дугу и выполняя быстрые, но с малой амплитудой, поперечные колебания торца электрода.

Сварку указанными электродами следует выполнять с линейной скоростью не менее 22 м/ч; только в этом случае удается предотвратить затекание шлака на дугу.

Если затекание шлака все же не удалось предотвратить, то в этот момент следует увеличить длину дуги (примерно до  $\frac{1}{2}$  диаметра электродного стержня), а затем продолжать сварку обычным способом.

При сварке электродами с целлюлозным покрытием не рекомендуется превышать сварочный ток более следующих значений: 110—120 А для электродов диаметром 3,25 мм и 170—180 А для электродов диаметром 4 мм. Превышение тока приводит к выгоранию целлюлозы из покрытия и образованию дефектов в швах. Аналогичная картина наблюдается при обрыве дуги. В этом случае покрытие на торце электрода у втулочки сгорает на расстоянии 10—15 мм и при повторном возбуждении дуги таким электродом возможно образование крупной «стартовой» поры. Поэтому опытные сварщики стараются проводить сварку электродами с целлюлозным покрытием без перерыва в горении дуги.

Электроды следует хранить в сухих помещениях, а также доставлять их на трассу в герметичной неповрежденной упаковке.

Электроды можно применять без предварительной сушки или прокалки только при нормальной температуре непосредственно после вскрытия герметической упаковки. Если упаковка повреждена, а также если сварку выполняют при низких температурах окружающего воздуха (независимо от условий хранения и транспортирования), запрещается применять электроды без их предварительной прокалки.

## Глава 11

### СВАРКА ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

При сварке в условиях низких температур наблюдается повышенная скорость охлаждения и кристаллизации металла сварочной ванны, в результате чего затрудняется выход газов и оксидов на поверхность шва и увеличивается содержание в нем водорода, кислорода, азота

и неметаллических включений, что в ряде случаев приводит к образованию пор, горячих и холодных трещин. Возможность образования горячих трещин в швах усиливается возрастанием скорости упругопластической деформации в зоне температур, при которых нагретый ме-

галл находится еще в хрупком состоянии. Технологические свойства сварочных материалов (флюсов, электродов, проволоки) также ухудшаются в зимних условиях главным образом за счет попадания влаги, приводящей к повышенной пористости наплавленного металла. Поэтому, кроме просушки их и надлежащего хранения, эти материалы для сварки при низких температурах следует выбирать с таким расчетом, чтобы повысить раскислительную способность шлаков и улучшить выход газов.

Повышенный отвод теплоты при низкой температуре во время сварки ухудшает проплавление основного металла, а это может привести к образованию непроваров. Для устранения указанных недостатков используют ряд технологических мероприятий, к которым относятся раскисление металла шва; повышение погонной энергии дуги при сварке; правильную последовательность наложения швов; возможность применения многослойных швов; соответствующую разделку кромок для получения оптимальной формы шва, обеспечивающей максимальную дегазацию металла и освобождение его от неметаллических включений; особые требования к сварочным материалам; предварительный подогрев свариваемой конструкции и т. д.

Для получения высокого качества сварных соединений при низких температурах необходимо применять металл с температурой хладноломкости более высокой, чем температура, при которой эксплуатируется изделие. В нашей стране для указанных целей применяют мартеновскую спокойную сталь, дополнительно раскисленную алюминием и имеющую критическую температуру хрупкости около  $-40^{\circ}\text{C}$ . В настоящее время резервуары в зимних условиях сооружаются только из мартеновской спокойной стали, дополнительно раскисленной в ковше алюминием. При сооружении резервуаров в восточных и северных районах с температурой ниже  $-40^{\circ}\text{C}$  рекомендуется применять низколегированную марганцовистую сталь, отличающуюся еще более высокой хладостойкостью.

Для повышения качества сварных

соединений необходимо также обеспечить: рациональное конструирование узлов сварных соединений; использование сварочных материалов (флюсов, электродов, проволоки) высокого качества; соблюдение режимов и технологии сварки, способствующих вводу повышенного количества теплоты, что в ряде случаев изменяет общепринятую технологию сварки, например дуговую сварку, как ручную, так и автоматическую при низких температурах, рекомендуется выполнять на постоянном токе обратной полярности; применение в случае необходимости подогрева свариваемых кромок с последующим замедленным охлаждением металла шва; организацию защиты сварочного поста от действия низких температур (для улучшения условий труда сварщиков обеспечить их теплой спецодеждой, вблизи от рабочих мест оборудовать пункты обогрева и т. д.); организацию сушки и выдачи электродов; строгое соблюдение технологии сборочно-сварочных работ (порядок сборки элементов, очистки кромок свариваемых изделий от снега и влаги).

При заготовке и сборке листов правку и подбивку металла следует осуществлять лишь в нагретом состоянии, чтобы не вызывать образования трещин на поверхности свариваемых кромок.

Особенно опасны при низких температурах участки с различными местными повреждениями поверхности основного металла или металла сварных швов (царапины, вмятины, надрезы и т. д.). Известен случай разрушения резервуара при низкой температуре, когда очагом аварии явились царапины и вмятины, образовавшиеся на поверхности шва в результате небрежной его зачистки. Это обстоятельство требует тщательно проводить все работы по изготовлению сварных конструкций, работающих в условиях низких температур.

При сварке в условиях низких температур наибольшая опасность образования трещин возникает в зоне, где прерывается процесс сварки, так как трещины в кратере или около него возникают при полном охлаждении шва. Следовательно, нужно организовать работу так,

чтобы не было перерывов, способствующих охлаждению кратера.

В ряде случаев трещины начинаются в кратерах сварных швов, поэтому при ручной сварке необходимо зажигать дугу на основном металле и выводить ее на него кратеры. При этом рекомендуется вместо жестких прихваток при сборке использовать особые сборочные приспособления, которые не создают в конструкциях излишних напряжений.

При выполнении сварочных работ при низких температурах качество металла шва во многом зависит от электродов. Электроды с основным покрытием обладают рядом преимуществ: низкой чувст-

вительностью металла шва к хрупкому разрушению, низким содержанием в шве водорода, нечувствительностью к повышенному содержанию углерода и серы в основном металле, высокими механическими свойствами наплавленного металла и незначительным снижением ударной вязкости при низких температурах, возможностью выполнения сварки во всех пространственных положениях, а также возможностью получения качественной сварки легированных и высоколегированных сталей. К недостаткам основных покрытий относятся их высокая чувствительность к влаге и необходимость поддержания при сварке короткой дуги.

## Глава 12

### ДУГОВАЯ РЕЗКА

Дуговая резка по сравнению с обычной кислородной резкой имеет некоторые преимущества (простота оборудования, возможность резки металлов различного химического состава и пр.). Получили распространение несколько разновидностей дуговой резки металлов: металлическим электродом, угольным электродом, кислородно-дуговая, воздушно-дуговая. Кроме этих способов, для резки высоколегированных сталей, цветных металлов и их сплавов применяют дуговую резку в среде защитных газов: в среде аргоноводородной смеси, азотно-дуговую, в среде аргонокислородной смеси, в среде аргона и др.

Наряду с перечисленными способами применяют также дуговую резку под водой.

**Дуговая резка металлическим электродом** заключается в том, что металл в месте реза проплавляют электрической дугой. Силу тока при резке металлическим электродом принимают на 20—30 % больше, чем при сварке электродами такого же диаметра. Металлическим электродом можно резать чугун, коррозионно-стойкие стали и цветные металлы, которые не поддаются обычной кислородной резке.

При дуговой резке используют электроды, имеющие специальные электродные покрытия, способствующие улучшению процесса резки. Металлические электроды для резки изготовляют из проволоки марок Св-08 или Св-08А по ГОСТ 2246—70 диаметром 3—12 мм и длиной не более 250—300 мм. Покрытия электродов содержат марганцевую руду (94—98 %) и небольшие добавки (2—3 %) поташа, мрамора, каолина. Марганцевая руда при диссоциации в дуге выделяет кислород, окисляющий металл в зоне резки, что способствует ускорению процесса. Толщина слоя покрытия 1,1,5 мм на сторону. Сила тока выбирается примерно из расчета 55—65 А на 1 мм диаметра электрода (табл. 32).

Этот способ применяется как вспомогательный технологический прием при производстве монтажно-сборочных и ремонтных работ. Недостатки его — низкая производительность и плохое качество реза, который характеризуется большими неровностями и натеками металла с обратной стороны.

**Дуговая резка угольным электродом** осуществляется угольным или графитовым электродом на прямой полярности (минус на электроде) при силе

Таблица 32. Режимы ручной дуговой резки низкоуглеродистой (числитель) и коррозионно-стойкой (знаменатель) стали металлическим электродом

Толщина металла, мм	Диаметр электрода, мм	Режим резки	
		Сила тока, А	Скорость, м/ч
6 12 25	2,5	140/130	12/12,4 7,2/4,4 2,1/3
6 12 25	3	190/195	13,8/18,7 8,1/8,7 3,8/4,5
6 12 25	5	325/300	20,4/18,9 12,9/11,4 6,9/6,7

Таблица 33. Режимы резки стали угольными или графитовыми электродами

Толщина металла, мм	Диаметр электрода, мм	Режим резки	
		Сила тока, А	Скорость, м/ч
6 10 16	10	400	21 18 10,5
25 50 75 100	15	600	4,8 2,7 1,8 1
200 300	20	800	0,45 0,24

тока 400—800 А (табл. 33). Качество резки низкое, разрез получается широким с очень неровными кромками. Несколько лучшие результаты дают электроды прямоугольного сечения.

Этот способ имеет ограниченное применение, используется в основном при разделке крупногабаритного металлического лома, разборке старых металлоконструкций, прожигании отверстий или выжигании заклепок. Целесообразно применение угольной дуги для резки изделий из чугуна и цветных металлов, не подающихся обычной кислородной резке.

**Кислородно-дуговую резку** выполняют с помощью струи кислорода, подаваемой в зону дуги, горящей между изделием и стальным электродом. Металл, расплавленный дугой, частично сгорает в струе кислорода, выделяя при этом дополнительную теплоту. Вместе с тем струя кислорода способствует выдуванию образующихся продуктов из плоскости резания. Весьма удобным оказалось применение стальных трубчатых электродов с наружным диаметром до 8 мм и внутренним каналом для подачи кислорода до 3 мм. Эти электроды, снабженные покрытием, которое плавится несколько позднее трубки, при опирании электрода на поверхность изделия дают возможность ускорить процесс резки.

Обычно при этом способе режущая струя кислорода следует за направле-

нием движения электрода. Для этого используют специальные резаки, обеспечивающие закрепление электрода и подвод кислорода к месту реза. При резке применяют угольные, графитированные или стальные электроды.

Кислородно-дуговой резкой можно резать углеродистые, легированные, коррозионно-стойкие стали, чугун и цветные металлы. По чистоте получаемого реза она почти не уступает газокислородной, а по производительности превосходит ее.

**Воздушно-дуговая резка** заключается в том, что металл, расплавленный теплотой электрической дуги, затем выдувается из места реза струей сжатого воздуха. Способ можно использовать для разделительной и поверхностной резки листового и профильного проката, удаления прибылей с отливков, головок заклепок, дефектных участков сварных швов, трещин, раковин, а также для разделки канавок и снятия фасок. Резать можно в любых пространственных положениях. Качество реза почти не уступает качеству реза при газокислородной резке.

Для резки используют омедненные угольные или графитированные электроды круглого, квадратного или пластинчатого сечения на постоянном токе обратной полярности. Пластинчатые электроды применяют только для поверхностной резки.

Резку выполняют специальными резаками, обеспечивающими зажатие элект-

Таблица 34. Режимы разделительной воздушно-дуговой резки угольным омедненным электродом

Толщина металла, мм	Диаметр электрода, мм	Сила тока, А	Скорость резки, м/ч	
			Низкоуглеродистая сталь	Коррозионно-стойкая сталь
5	6	270—300	60—62	63—65
	8	360—400	26—28	30—32
10	10	450—500	30—32 20—22	32—34 22—24
	12	540—600	22—24	24—26
20	10	450—500	10—12	12—14
	12	540—600	12—14 8—10	14—15 10—12
25	14	630—700	10—11	12—13

рода, подвод к электроду тока и подачу сжатого воздуха к месту реза. Давление сжатого воздуха должно быть не менее 0,5 МПа, расход 15—20 м<sup>3</sup>/ч.

Этот способ используют для разделительной резки сталей толщиной не более 25—30 мм (табл. 34).

Наибольшее распространение способ получил для поверхностной резки при удалении дефектов в отливках, разделке трещин, а также при выполнении U-образной разделки, снятия выпуклости сварных швов (табл. 35).

Таблица 35. Режимы воздушно-дуговой резки пластинчатым электродом при снятии выпуклости U-образных стыковых швов

Размеры выпуклости шва, мм		Размеры пластинчатого электрода, мм	Сила тока, А	Скорость резки, м/ч
ширина	высота			
18	4	20×5	300—350	20
			400—450	22,5
28	5	30×5	500—600	20
			900—950	27

Подводная резка металлов может быть выполнена по одному из следующих вариантов: дуговая стальным или угольным электродами, электрокислородная и

др. При любом из них резка происходит в газовой среде, создаваемой искусственно или возникающей естественно в ходе процесса резки.

Дуговая подводная резка может быть выполнена стальными и угольными электродами. Однако угольные электроды применяют очень редко, так как дают низкую производительность. Наиболее простым и удобным по технике выполнения являются дуговой способ подводной резки стальным электродом. В этом случае применяют стержни из проволоки марки Св-08 диаметром 5—8 мм и длиной до 700 мм. Для обеспечения устойчивого горения дуги электроды имеют покрытие, состоящее из мела и железного сурика или других дешевых компонентов.

Благодаря тому, что в воде покрытие интенсивно охлаждается, оно плавится позднее стержня; образующийся при этом конусный «козырек» на конце электрода способствует более устойчивому течению процесса резки. Совершенно обязательным условием резки под водой является пропитка покрытия электрода парафином, нитролаком, раствором целлулоида в ацетоне. Если этого не сделать, то происходит быстрое разрушение покрытия, обусловленное как испарением воды на поверхности сильно нагретого стержня, так и выделением газов в результате электролиза. Последнее особенно заметно выражено при выполнении резки в морской воде.

Для питания дуги под водой необходимы мощные источники постоянного тока (до 800—1000 А) с повышенным напряжением холостого хода (80—90 В).

Техника подводной резки дугой аналогична резке на воздухе с той лишь разницей, что резчик не пользуется предохранительным щитком, так как вода интенсивно поглощает световой поток дуги. Кроме того, при горении дуги происходит выделение значительного количества мельчайших твердых частиц, состоящих главным образом из оксидов железа, которые являются причиной образований коллоидного раствора, окружающего зону резки плотным облаком темно-бурого цвета. Наблюдение за процессом резки настолько затрудняется, что в случае ра-

боты в непроточной воде рекомендуется пользоваться вспомогательными направляющими рейками, располагаемыми параллельно линии резания.

**Электрокислородная резка** заключается в том, что подогрев места резки осуществляется дугой, горящей между изделием и трубчатым стальным электродом, через который подается режущий кислород. Для изготовления электродов применяют трубки с наружным диаметром 6—8 мм и внутренним 2—3 мм.

Резку выполняют опиранием электрода через кромку покрытия о поверхность изделия. Ток применяют постоянный прямой полярности; сила тока обычно не

превышает 400 А. Резке этим способом поддаются любые металлы и на любой глубине, что является особенно важным его преимуществом. Недостаток способа — большой расход электродов. Электрод длиной 450 мм расходуется в среднем в течение 1 мин. Известны трубчатые карборундовые электроды со стальной оболочкой, специальным покрытием и водостойким слоем. Такой электрод с наружным диаметром 12—15 мм и длиной 250 мм работает в течение 30—40 мин. Вследствие большого диаметра карборундовых электродов, который затрудняет введение их в зону резки, применение их ограничивается резкой листов толщиной не более 30 мм.

## Глава 13

### ДЕФЕКТЫ И КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

#### § 38. ДЕФЕКТЫ СВАРНЫХ ШВОВ

Дефектами сварных соединений согласно ГОСТ 15467—79 принято называть каждое отдельное несоответствие продукции требованиям, установленным нормативной документацией. В этих нормах предусмотрены: геометрические размеры сварных швов (высота и ширина), сплошность, герметичность, прочность, пластичность, химический состав и структурные составляющие металла шва.

Дефекты сварных швов и соединений весьма разнообразны. Можно выделить следующие основные группы дефектов:

образующиеся в результате нарушения технологии сборки (смещение свариваемых кромок, осей труб, несоответствие зазора между свариваемыми деталями);

имевшиеся в металле свариваемых деталей (трещины, расслоения, закаты и плены), на свариваемых кромках или вблизи шва; эти дефекты могут воздействовать на формирование шва;

вызываемые плохой свариваемостью основного металла (склонность к образованию холодных и горячих трещин в сварном соединении);

образующиеся в результате несоответствия химического состава и технологических свойств присадочных материалов;

образующиеся из-за нарушения технологического процесса сварки или термообработки (несоответствие структурных составляющих, подрезы, поры, непровары, прожоги, шлаковые включения, ослабленные швы);

возникающие во время сварки или при охлаждении конструкции из-за несоответствия зажимных приспособлений, кондукторов и прочей оснастки;

образующиеся при эксплуатации конструкций.

Кроме перечисленных дефектов, в сварных соединениях могут иметь место макро- и микронеоднородности и другие несовершенства структуры. Для соединений, выполненных сваркой плавлением, согласно ГОСТ 23055—78 установлено шесть видов дефектов: трещины, непровары, поры, шлаковые включе-

ния, вольфрамовые и оксидные включения.

При сварке могут образовываться наплывы, прожоги, подрезы, крупная чешуйчатость, которые подлежат исправлению.

### § 39. КОНТРОЛЬ СВАРКИ

Вид контроля качества швов сварных соединений выбирают в зависимости от назначения изделий и требований, предъявляемых к этому изделию техническими условиями или ГОСТом. При выборе вида контроля следует руководствоваться ГОСТ 3242—79.

Для обеспечения высокого качества сварки необходимо выполнить предварительный контроль, пооперационный контроль и контроль готовых сварных соединений.

При предварительном контроле проверяют:

квалификацию сварщиков, дефектоскопистов (операторов ультразвукового контроля, радиографов и др.);

состояние сборочно-сварочных приспособлений, сварочного оборудования и аппаратуры, а также оборудования и аппаратуры для контроля сварных соединений;

качество основного металла и сварочных материалов, а также материалов для дефектоскопии;

состояние оборудования для термообработки;

средства измерения, включая измерительные приборы.

При пооперационном контроле следует проверять:

качество подготовки кромок под сварку и качество сборки под сварку;

соблюдение технологии сварки, соответствие сварочных материалов, режим подогрева и сварки, порядок наложения швов, качество послышной зачистки швов от шлака.

Для контроля готовых сварных соединений используют следующие методы или их сочетания: внешний осмотр и измерение, просвечивание проникающими излучениями, ультразвуковую дефектоскопию, магнитно-порошковую и цветную дефектоскопию, измерение твер-

дости, химический анализ металла шва, испытание на склонность к межкристаллической коррозии, контроль на содержание ферритной фазы, механические испытания и металлографические исследования образцов из контрольных стыков.

#### **Проверка квалификации сварщиков.**

Квалификацию сварщиков проверяют при установлении разряда, при допуске к выполнению ответственных сварочных работ, инспектируемых Госгортехнадзором СССР, на каждом этапе технологического процесса в установленные сроки.

Разряд устанавливают согласно требованиям, предусмотренным тарифно-квалификационными справочниками. Испытание сварщиков перед допуском к ответственным работам проводят по правилам аттестации сварщиков, утвержденным Государственным комитетом по надзору за безопасным ведением работ в промышленности и горному надзору при Совете Министров СССР. Эти правила обязательны для всех министерств и ведомств.

После удовлетворительной сдачи испытаний специальной комиссии сварщикам выдают удостоверение на право выполнения ответственных сварочных работ. В удостоверении указывают конструкции, которые может сваривать сварщик. Сварщики, допускаемые к ответственным работам, должны проходить ежегодные практические и теоретические испытания. Для выполнения ответственных работ по сварке специальных сталей сварщики проходят дополнительные испытания.

**Контроль основного металла.** Качество основного металла должно соответствовать требованиям сертификата, который посылают заводы-поставщики вместе с партией металла. В нем указаны завод-изготовитель, марка и химический состав стали, номер плавки, профиль и размер материала, масса металла и номер партии, результаты всех испытаний, предусмотренных стандартом, номер стандарта на сталь данной марки. При отсутствии сертификата металл запускают в производство лишь после тщательной проверки: необходимы наружный осмотр, проба



на свариваемость, проверка механических свойств и химического состава металла.

При наружном осмотре металла устанавливают отсутствие на металле окалин, ржавчины, трещин, расслоения и прочих дефектов. Предварительная проверка металла с целью обнаружения дефектов поверхности необходима и обязательна, поскольку она предупреждает применение некачественного металла для сварки изделия.

**Контроль электродов.** При сварке конструкций, в чертежах которых указан тип электрода, нельзя применять электроды, не имеющие сертификата. Электроды без сертификата можно использовать после тщательного контроля. При этом в соответствии с ГОСТ 9466—75, ГОСТ 9467—75, ГОСТ 10051—75 проверяют прочность покрытия, сварочные свойства электродов, определяют механические свойства металла шва и сварного соединения на образцах, сваренных электродами из испытуемой партии. О пригодности электродов для сварки судят также и по качеству наплавленного металла, который не должен иметь пор, трещин и шлаковых включений.

Внешний вид электродов должен удовлетворять требованиям стандарта, где указано, что покрытие электрода должно быть прочным, плотным, без пор, трещин, вздутий и комков неразмешанных компонентов. Электроды с отсыревшим покрытием в производство не допускаются.

**Контроль заготовок.** Перед поступлением заготовок на сборку проверяют чистоту поверхности металла, габаритные размеры заготовок, качество подготовки кромок и углы их скоса.

Дефекты заготовок под сварку в значительной степени сказываются на качестве и производительности сварочных работ. Например, увеличение угла скоса кромок приводит к увеличению количества наплавленного металла, увеличению времени сварки и излишнему расходу электроэнергии и электродов. Кроме того, соединение после сварки будет сильнее деформироваться, так как чем больше наплавленного металла, тем больше его усадка при остывании. Предупреждение

дефектов в заготовках избавит от лишней работы по их исправлению.

**Контроль сборки.** В собранном узле контролируются: зазоры между кромками свариваемых деталей, отсутствие или малая величина которых приводит к непровару корня шва, а большая — к прожогам и увеличению трудоемкости процесса сварки; превышение одной кромки относительно другой в стыковом соединении, относительное положение деталей в собранном узле, правильное наложение прихваток.

**Контроль технологического процесса сварки.** Перед тем как приступить к сварке, сварщик знакомится с технологическими картами, в которых указаны последовательность операций, диаметр и марка применяемых электродов, режимы сварки и требуемые размеры сварных швов. Несоблюдение порядка наложения швов может вызвать значительную деформацию изделий, трудно устранимую впоследствии.

Не менее важно соблюдение режима сварки. Сварочный ток и напряжение дуги контролируют по показаниям амперметра и вольтметра.

При ручной дуговой сварке, кроме наблюдения за показаниями амперметра, проверяют технику наложения шва.

После того как закончена сварка изделия, сварные швы зачищают от шлака, наплывов, а поверхность узла — от брызг металла. Затем готовое изделие проходит ряд контрольных операций.

**Организация технического контроля.** Схема контроля качества продукции на заводах определяются условиями производства. На каждом заводе имеется отдел технического контроля (ОТК), который подчиняется непосредственно директору завода. На многих заводах применяется смешанная система контроля. ОТК завода контролирует исходные материалы и осуществляет окончательный контроль готовой продукции. Контрольные операции в процессе производства выполняют контролеры цеха, которые подчиняются начальнику цеха. В случае установившегося технологического процесса контрольные функции могут быть возложены на мастеров, бригадиров и самих рабо-

чих. При этом ОТК проводит выборочную проверку качества сварки отдельных узлов, деталей и операций.

Объем контроля зависит от степени ответственности изделия, квалификации производственного и контролируемого персонала, степени освоения технологии производства. Объем контроля указан в правилах контроля или технических условиях.

#### § 40. КОНТРОЛЬ СВАРНОГО ИЗДЕЛИЯ

**Внешний осмотр и замер размеров шва.** Наиболее распространенный вид контроля при сварке — внешний осмотр, выполненный невооруженным глазом или с помощью увеличительного стекла. Перед внешним осмотром сварные швы должны быть тщательно очищены от шлака, а если необходимо, то и протравлены. Осматривать детали следует как после прихваток, так и после наложения каждого валика. Размеры швов измеряют специальными шаблонами и измерительными приборами непосредственно после сварки. Внешним осмотром выявляют излом или неперпендикулярность осей соединенных элементов, смещение кромок соединяемых элементов, несоответствие размеров и формы шва (по высоте, катету и ширине шва, равномерности выпуклости, чешуйчатости и т. п.), трещины всех видов и направлений, наплывы, подрезы, прожоги, незаваренные кратеры, непровары, пористость, отсутствие плавных переходов от одного сечения к другому, несоответствие общих геометрических размеров сварного узла (изделия) требованиям чертежей и технических условий, отсутствие клейм сварщиков или несоответствие клеймения установленным требованиям. Внешний осмотр и измерение сварных соединений осуществляют в условиях достаточной освещенности объекта контроля.

Испытаниям на плотность подвергают емкости для горючего, масла, воды, трубопроводы, газгольдеры, паровые котлы и др. Существуют несколько методов контроля плотности сварных швов.

**Гидравлическое испытание.** При этом методе испытания в сосуде после напол-

нения его водой с помощью насоса или гидравлического пресса создают избыточное давление в 1,5—2 раза больше рабочего. Испытуемый сосуд под давлением выдерживают в течение 5—10 мин. За это время швы осматривают на отсутствие течи, капель и отпотеваний.

**Пневматическое испытание.** При пневматическом испытании сжатый газ (воздух, азот, инертные газы) или пар подают в испытуемый сосуд. Сосуды небольшого объема погружают в ванну с водой, где по выходящим через неплотности в швах пузырькам газа обнаруживают дефектные места. Более крупные сварные резервуары и трубопроводы испытывают путем смазывания сварных швов пенным индикатором. Наиболее распространенный пенный индикатор — водный раствор мыла. Для испытания при низких температурах пригодны смесь мыльного раствора с глицерином, льняное масло.

При пневматических испытаниях необходимо строго соблюдать правила техники безопасности. На подводящей магистрали должны быть запорные краны и предохранительные клапаны. Кроме рабочего манометра, при испытаниях предусматривают контрольный манометр. При испытании под давлением не допускается обстукивание сварных швов и исправление дефектов.

**Испытание керосином.** Этот метод испытания основан на явлении капиллярности, которое заключается в способности многих жидкостей, в том числе и керосина, подниматься по капиллярным трубкам (трубкам малого поперечного сечения). Такими капиллярными трубками служат сквозные поры и трещины в металле сварного шва. Одну сторону стыкового шва покрывают водным раствором мела, после высыхания которого другую сторону смачивают керосином. Время выдержки изделия после смачивания керосином зависит от толщины свариваемых деталей: чем больше толщина и чем ниже температура воздуха, тем больше время выдержки.

**Испытание аммиаком.** Сущность этого метода заключается в том, что испытуемые швы покрывают бумажной лентой или марлей, которая пропитана 5 %-ным

водным раствором азотно-кислой ртути или фенолфталеином. В изделие нагнетают воздух до определенного давления и одновременно подают некоторое количество газа (аммиака). Проходя через поры шва, аммиак оставляет на бумаге черные (бумага пропитана раствором азотно-кислой ртути) или красные (фенолфталеиновая бумага) пятна.

#### **Испытания с помощью течеискателей.**

При этом методе испытания применяют гелиевые или галоидные течеискатели. При применении гелиевых течеискателей внутри испытываемого сосуда создают вакуум, а снаружи сварные швы обдувают смесью воздуха с гелием. При наличии неплотностей гелий проникает внутрь сосуда, а затем поступает в течеискатель, где имеется специальная аппаратура для его обнаружения.

В случае применения галоидных течеискателей внутри испытываемого сосуда создают избыточное давление и вводят небольшое количество галоидного газа. Газ проникает через неплотности шва, отсасывается снаружи сосуда и поступает в специальную аппаратуру. По наличию галоидного газа определяют неплотность шва.

Этот метод обладает высокой чувствительностью и применяется для контроля ответственных сварных изделий. Применяют гелиевые течеискатели ПТИ-9, ПТИ-7А, ПТИ-10, СТИ-11, СТИ-1, СТИ-8. Значительно меньшую чувствительность имеют галоидные течеискатели ГТИ-6, ГТИ-3А, БГТИ-5.

**Механические испытания сварных швов и изделий.** От химического состава и структуры наплавленного металла, режимов сварочного процесса, наличия дефектов в металле шва зависят его механические свойства. Кроме механических свойств металла шва, во многих случаях надо определить и механические свойства сварного соединения в целом. При этом сравнивают прочность металла шва с прочностью основного металла и металла зоны термического влияния. Наплавленный металл часто является слабым местом сварного соединения. Для практической проверки квалификации сварщиков

обязательно испытание стыковых соединений на растяжение и изгиб. При сварке ответственных изделий изготавливают контрольные образцы, результаты испытаний которых служат критерием качества сварки.

Характер механических испытаний образцов зависит от того, какую нагрузку несет сварное соединение при эксплуатации. Испытания бывают статические (с постоянной или медленно возрастающей нагрузкой), динамические (с ударной нагрузкой) и вибрационные. Порядок механических испытаний сварных швов и соединений регламентирован ГОСТ 6996—66.

Испытание металла различных участков сварного соединения на статическое (кратковременное) растяжение проводят на стандартных образцах. При этом определяют предел текучести (физический  $\sigma_T$  или условный  $\sigma_{0.2}$ ); временное сопротивление  $\sigma_b$ ; относительное удлинение после разрыва  $\delta$ ; относительное сужение после разрыва  $\psi$ . Для испытаний, проводимых при нормальной или пониженной температуре, образцы вырезают из швов угловых или стыковых соединений или из специально подготовленных наплавов.

Ударную вязкость металла шва и переходной зоны определяют при испытании образцов с надрезом на ударный изгиб. Надрез образца выполняют по шву, зоне сплавления или по зоне термического влияния в зависимости от цели испытания.

Твердость сварного соединения определяют с помощью приборов Роквелла, Виккерса, Бринеля.

**Радиографический метод.** Этот метод позволяет обнаружить большинство внутренних дефектов (непровары, поры, включения, крупные трещины).

В промышленности для просвечивания изделий применяют серийные аппараты типа РУП. Так, аппарат РУП-120-5-1 применяют для просвечивания металла из стали толщиной до 25 мм и легких сплавов толщиной до 100 мм.

Источник излучения (рентгеновскую трубку) помещают на определенном расстоянии от шва так, чтобы излучение

было перпендикулярно к его оси. С противоположной стороны крепят светонепроницаемую кассету, которая должна плотно и равномерно прилегать к просвечиваемому участку изделия. В кассете расположены рентгеновская пленка и два усиливающих экрана. При просвечивании пленку выдерживают под излучением определенное время, называемое экспозицией. Экспозиция зависит от толщины просвечиваемого металла, фокусного расстояния, интенсивности излучения и чувствительности пленки. Усиливающие экраны служат для сокращения экспозиции. После просвечивания пленку вынимают из кассеты и проявляют. Полученное на негативе изображение участка шва будет неодинаковым по степени потемнения отдельных мест. Излучение, попавшее на пленку через дефект, поглотится в меньшей степени и окажет более сильное действие на определенный участок светочувствительного слоя пленки.

При просвечивании рядом со швом (параллельно ему), со стороны источника излучения, устанавливают дефектометр, который служит для определения глубины залегания и величины обнаруженного дефекта. Дефектометр — это пластинка, изготовленная из того же материала, что и просвечиваемый металл. Толщина пластинки должна быть равна выпуклости шва. На дефектометре имеются канавки различной глубины. При одинаковой интенсивности потемнения пленки под одной из канавок с потемнением дефекта, при известной глубине канавки, определяют величину дефекта (по высоте). Кроме пластинчатых дефектометров, применяют проволочные эталоны чувствительности. Качество просвеченного сварного шва определяют сравнением пленки с эталонными снимками, установленными для определенного изделия или группы изделий.

**Просвечивание сварных швов гамма-излучением.** Получение гамма-излучения связано со свойствами некоторых элементов (урана, радия, тория) самопроизвольно испускать лучи. Это явление называется радиоактивностью. Для просвечивания в цеховых условиях промышленности выпускает установки «Гаммарид-

20», «Гаммарид-21», «Гаммарид-22», «Гаммарид-23», «Гаммарид-24», «Гаммарид-25», «Гаммарид-26», «Стпель-5М».

Техника просвечивания сварных соединений гамма-излучением подобна технике рентгеновского просвечивания.

По сравнению с рентгеновским контролем просвечивание гамма-излучением имеет следующие преимущества: радиоактивный препарат можно установить для просвечивания в такие места конструкции, где не поместится громоздкая рентгеновская установка; гамма-излучением возможно одновременно контролировать несколько деталей, а также кольцевые швы изделий; контейнер с ампулой удобен в полевых условиях благодаря легкости его транспортирования; затраты на гамма-просвечивание меньше, чем при просвечивании рентгеновским излучением.

Контроль сварных швов радиографическим методом и гамма-излучением регламентирован ГОСТ 7512—82.

Длительное воздействие на человека больших доз излучения приводит к лучевой болезни. Радиационная безопасность обеспечивается строгим соблюдением «Основных санитарных правил работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений ОСП-80», «Норм радиационной безопасности НРБ-76», «Правил безопасности при транспортировании радиоактивных веществ (ПБТРВ-73)».

**Ультразвуковой метод контроля.** Этот метод основан на способности ультразвуковых волн отражаться от границы раздела двух сред, обладающих разными акустическими свойствами. С помощью ультразвука можно обнаружить трещины, раковины, расслоения в листах, непровары, шлаковые включения, поры.

Ультразвук представляет собой упругие колебания материальной среды с частотой колебания выше 20 кГц, т. е. выше верхней границы слухового восприятия.

В промышленности нашли применение ультразвуковые дефектоскопы УДМ-3, ДУК-13ИМ, ДУК-66П, УД-10У, с помощью которых можно обнаружить дефекты, расположенные на глубине 1—2500 мм под поверхностью. Методы

ультразвукового контроля сварных швов регламентированы ГОСТ 14782—76.

#### **Люминесцентный метод контроля.**

Этот метод основан на свечении некоторых веществ при действии на них ультрафиолетовых лучей. Люминесцентный метод контроля применим для обнаружения поверхностных дефектов, главным образом мельчайших трещин.

Перед контролем исследуемый участок шва очищают от загрязнений, затем на очищенные места наносят жидкий раствор, содержащий люминофор. Таких веществ — люминофоров — известно несколько. Например, раствор дефектоля в бензине светится ярким желто-зеленым светом при освещении его ультрафиолетовыми лучами. После 10—15 мин выдержки раствор смывают и изделие сушат в струе теплого воздуха. Подвергая изделие ультрафиолетовому облучению в затемненном помещении, по свечению раствора, оставшегося в трещинах, обнаруживают дефектные места.

**Магнитные методы контроля.** При намагничивании контролируемого изделия, если сварной шов не имеет дефектов, то магнитные силовые линии по сечению шва распределяются равномерно; при наличии дефекта в шве вследствие меньшей его магнитной проницаемости магнитный силовой поток будет огибать дефект, создавая магнитные потоки рассеяния.

В зависимости от способа фиксации потоков рассеяния существуют метод магнитного порошка и индукционный метод. В первом случае неравномерность поля определяют по местам скопления ферромагнитного порошка, нанесенного на поверхность изделия. Во втором — потоки рассеяния улавливают индукционной катушкой. Изделие намагничивают электромагнитом, соленоидом или пропусканием тока непосредственно через сварное соединение.

Существуют два способа контроля магнитным порошком — сухой и мокрый. При сухом способе порошок оксида железа равномерно наносят на поверхность изделия, применяя ручное сито или пульверизатор. Во многих случаях в качестве порошка используют железную окалину, которую предварительно измельчают в шаровой мельнице и просеивают через

тонкое сито. В момент пропускания электрического тока изделие слегка обстукивают, что обеспечивает подвижность частиц порошка, распределяющихся в навесном магнитном поле. Излишек порошка сдувают с детали слабой воздушной струей. При мокром способе применяют так называемую магнитную суспензию — смесь какой-либо жидкости (керосин, трансформаторное масло) с магнитным порошком, мельчайшие частицы которого равномерно распределены по ее объему. Операцию контроля начинают с того, что контролируемый участок сварного соединения поливают или опрыскивают суспензией. Дефекты обнаруживают по скоплениям магнитного порошка. Один и тот же участок проверяют дважды. После проверки качества всех сварных швов изделие размагничивают.

Метод магнитного порошка пригоден для контроля только в ферромагнитных материалах. Этим методом можно обнаружить все поверхностные трещины и те внутренние трещины и непровары, которые залегают на глубине до 6 мм. Для контроля сварных соединений применяют магнитные дефектоскопы УМДЭ-10000, УМДЭ-2500, У604-70М и др.

При индукционном методе в контролируемом изделии наводят переменный магнитный поток с помощью электромагнита, подключенного к сети переменного тока. Если в шве есть дефект, магнитные силовые линии поведут себя точно так же, как и при контроле методом магнитного порошка. Рассеянные магнитные поля над дефектом обнаруживают искателем. Индукционный ток усиливается ламповым усилением, с которым соединена катушка искателя. Усиленные электрические сигналы попадают на телефон, в котором слышатся резко усиленные звуки. Одновременно с этим загорается сигнальная лампа.

В отечественной промышленности применяют индукционные дефектоскопы ВМД-30Н, ВМД-40Н, ИМА-2А, МФ-10К.

Разновидностью магнитной дефектоскопии является магнитографический способ контроля, при котором поля рассеяния фиксируются на ферромагнитной ленте. Наиболее совершенные магнито-

графические дефектоскопы МДУ-2У, МД-30Г.

Магнитные методы контроля часто применяют для составления предварительного заключения о качестве сварного соединения. Окончательно качество устанавливают по снимку, полученному просвечиванием рентгеновским или гамма-излучением.

**Металлографические исследования.** Посредством металлографического анализа проверяют качество структуры металла сварного соединения. В зависимости от того, с каким увеличением рассматривают зерно металла, различают макроструктуру и микроструктуру.

Под макроструктурой понимают структуру металла сварного соединения, рассматриваемую или в натуральную величину, или через лупу. Макроструктуру исследуют на шлифах, травленных специальными реактивами. После травления на макрошлифе ясно видны дефекты, попавшие в его сечение. Кроме того, на макрошлифе можно обнаружить

скопления серы и фосфора по границам кристаллов. Скопление серы выявляют следующим образом: на макрошлиф накладывают засвеченный листок фотобумаги, смоченный 15 %-ным раствором серной кислоты. В тех местах, где бумага соприкасалась с сернистыми включениями, на ней остаются коричневые пятна. Макроструктуру исследуют не только на специально обработанных шлифах, но и по излому образцов после их механических испытаний. Макрошлиф или излом сварного соединения исследуют тогда, когда программой испытания предусмотрено изготовление контрольных образцов.

В отличие от макроскопического исследования, которое дает представление о металле шва в целом, при микроскопическом исследовании изучают отдельные участки сварного соединения. Микроисследование проводят с помощью микроскопа при увеличении 100—500 раз. Микроисследование позволяет выявить дефекты структуры, микротрещины.

## Глава 14

### НОРМИРОВАНИЕ РАБОТ ПРИ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКЕ

Техническое нормирование предусматривает установление технически обоснованных норм времени на выполнение различных сварочных работ. Технически обоснованные нормы времени позволяют сварщику производительно использовать рабочее время, полностью загружать сварочное оборудование, а при рациональных приемах сварки перевыполнять установленные нормы.

В норму времени на выполнение сварочных работ входят:

основное, или машинное, время сварки, включающее время горения дуги или время плавления электрода при сварке 1 м шва. Основное время определяют и подсчитывают с учетом технологии сварки, производительности сварочного оборудования и режимов сварки;

подготовительно-заключительное время, которое складывается из затрат времени на получение задания и производственный инструктаж, на настройку и наладку аппаратуры, на сдачу работ. Обычно это время составляет 4—8 % основного времени;

вспомогательное время, необходимое на установку детали на рабочее место, поворот ее в процессе сварки, зачистку швов, установление режима сварки и на другие аналогичные операции;

время, затрачиваемое на обслуживание рабочего места, на отдых и личные надобности.

Для расчета основного времени сварки необходимо знать массу наплавленного металла, сварочный ток и коэффициент наплавки электрода.

Таблица 36. Зависимость коэффициента наплавки от марки электрода

Марка	Коэффициент наплавки $\alpha_n$ , г/(А·ч)	Коэффициент перехода металла в шов
МР-3	9,0	0,80
УОНИ-13/45	9,0	0,95
УКР	10,7	1,04
АНО-11	10,5	1,03

Массу наплавленного металла определяют по заданным чертежом размерам шва. Объем наплавленного металла  $V_n$  (см<sup>3</sup>) определяют по формуле  $V_n = Fl$ , где  $F$  — площадь поперечного сечения шва, см<sup>2</sup>;  $l$  — длина шва, см. Масса наплавленного металла ( $g$ )  $Q_n = V_n \gamma$ , где  $\gamma$  — плотность металла, г/см<sup>3</sup> (для стали  $\gamma = 7,8$  г/см<sup>3</sup>).

Сварочный ток определяется условиями сварки, диаметром электрода, положением шва в пространстве и другими данными, устанавливаемыми технологическим процессом.

При ручной сварке коэффициент наплавки  $\alpha_n$  зависит от марки электрода (табл. 36, см. гл. 2).

Основное время сварки

$$t_{св} = Q_n / I_{св} \alpha_n,$$

где  $Q_n$  — масса наплавленного металла, г.

Вспомогательное время по ручной дуговой сварке складывается из времени, затрачиваемого на установку детали на рабочее место, снятие детали, поворот или перемещение ее в процессе сварки, включение и выключение рубильника сварочной машины, смену электродов, зачистку свариваемых кромок перед сваркой, зачистку швов от шлака, осмотр,

клеяние швов, переход от одного участка шва к другому при сварке прерывистых швов и другие операции, необходимые для выполнения основной работы.

Затраты вспомогательного, подготовительно-заключительного времени на обслуживание рабочего места, отдых и естественные надобности составляют в среднем 30—50 % и определяются путем хронометражных наблюдений.

Норма расхода  $H_s$  (кг) покрытых электродов и сварочной проволоки на изделие  $H_s = G_s I_{ш}$ , где  $G_s$  — удельная норма расхода электродов на 1 м шва данного типоразмера, кг/м.

В общем виде удельную норму расхода рассчитывают по формуле

$$G_s = K_p m_n,$$

где  $K_p$  — коэффициент расхода, учитывающий неизбежные потери электродов и проволоки;  $m_n = \rho F_n 10^{-3}$ ,  $m_n$  — расчетная масса наплавленного металла, кг/м;  $\rho$  — плотность наплавленного металла, г/см<sup>3</sup>;  $F_n$  — площадь поперечного сечения наплавленного металла шва, мм<sup>2</sup>.

При сварке электродами с тонкими покрытиями  $\rho = 7,5$  г/см<sup>3</sup>,  $K_p = 1,2 \div 1,3$ ; с толстыми покрытиями  $\rho = 7,8$  г/см<sup>3</sup>,  $K_p = 1,4 \div 1,6$ .

Площадь  $F_n$  подсчитывают как сумму площадей элементарных геометрических фигур, на которые она может быть разбита. Расход электроэнергии (кВт·ч), определяемый обычно на 1 кг наплавленного металла, зависит от рода тока (табл. 37). Норма времени при ручной дуговой сварке обычно дается на 1 м шва заданного сечения или изготовление определенной детали или изделия. Во всех случаях она называется штучным временем.

Таблица 37. Удельный расход электроэнергии при сварке

Род тока	КПД сварочного поста	Расход электроэнергии на 1 кг наплавленного металла, кВт·ч	Мощность холостого хода, кВт
Переменный	0,8—0,9	3—4	0,2—0,35
Постоянный:			
однопостовая установка	0,3—0,6	4—6	2,5—4,0
многопостовая установка	0,24—0,5	5—8	—

## ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ НА ПРЕДПРИЯТИИ

Техника безопасности — это система организационных и технических мероприятий и средств, предотвращающих воздействие на работающих опасных производственных факторов.

Все лица, поступающие на работу, связанную со сваркой, должны проходить вводный инструктаж по условиям работы предприятия, общим правилам безопасности работы и правилам внутреннего распорядка на предприятии, а также проходить предварительные и периодические медицинские осмотры.

Советское трудовое законодательство допускает к сварочным работам лиц не моложе 18 лет и предусматривает льготы для рабочих, занятых сваркой и резкой металлов.

**Виды промышленного травматизма.** При сварке плавлением в той или иной степени существует возможность опасных воздействий на сварщика в связи со следующими факторами:

поражение электрическим током при прикасании человека к токоведущим частям электрической цепи;

поражение лучами электрической дуги глаз и открытой поверхности кожи;

ожоги от капель металла и шлака при сварке;

отравление вредными газами, выделяющимися при сварке и при загрязнении помещений пылью и испарениями различных веществ;

взрывы из-за неправильного обращения с баллонами сжатого газа либо из-за производства сварки в емкостях из-под горючих веществ, либо выполнение сварки вблизи легковоспламеняющихся и взрывоопасных веществ;

пожары от расплавленного металла и шлака в процессе сварки;

травмы различного рода механического характера при подготовке тяжелых изделий к сварке и в процессе сварки;

облучение гамма- или рентгеновским излучением во время просвечивания сварных швов.

**Предотвращение опасности поражения электрическим током.** При сварке плавлением используют источники питания с напряжением холостого хода до 110 В при постоянном токе, 80 В при переменном токе, 170—200 В при плазменной сварке и резке. Поэтому они должны иметь автоматические устройства, отключающие их в течение не более 0,5 с при обрыве дуги.

Учитывая непостоянную величину электрического сопротивления человеческого тела (так, при сухой коже сопротивление составляет 8000—20 000 Ом, а при влажных руках, повреждениях кожи сопротивление снижается до 400—1000 Ом), безопасным считают напряжение не выше 12 В (переносное освещение). Если сварщик работает в тесном помещении и может иметь большую площадь контакта с металлической поверхностью, с целью уменьшения опасности поражения электрическим током необходимо соблюдение следующих мероприятий.

1. Надежная изоляция всех проводов, связанных с питанием источника тока и дуги, заземление корпусов сварочных аппаратов. Заземлению подлежат корпуса источников питания, аппаратного ящика, вспомогательное электрическое оборудование. Сечение заземляющих проводов должно быть не менее 25 мм<sup>2</sup>. Подключением, отключением и ремонтом сварочного оборудования занимается только дежурный электромонтер. Сварщикам запрещается проводить эти работы.

2. Применение в источниках питания автоматических выключателей высокого напряжения.

3. Надежное устройство электрододержателя с хорошей изоляцией, которая гарантирует, что не будет случайного контакта токоведущих частей электрододержателя со свариваемым изделием или руками сварщика. Электрододержатель должен иметь высокую механичес-



кую прочность и выдерживать не менее 8000 зажимов электродов.

4. Работа в исправной сухой спецодежде и рукавицах. При работе в тесных отсеках и замкнутых пространствах обязательно использование резиновых галош и ковриков, источников освещения с напряжением не свыше 6—12 В.

Наряду с соблюдением указанных в пп. 1—4 требований, с целью предотвращения поражения электрическим током, запрещается притрагиваться к клеммам и зажимным болтам цепи высокого напряжения; снимать крышки клеммников электродвигателей подающего и ходового механизмов автоматов, открывать дверцы аппаратного ящика и трансформаторов и регулировать их и т. п.

**Предотвращение опасности поражения лучами электрической дуги.** Сварочная дуга является источником световых лучей, яркость которых может вызвать ожог незащищенных глаз при облучении их в течение всего 10—15 с. Более длительное воздействие излучения дуги может привести к повреждению хрусталика глаза и потере зрения. Ультрафиолетовое излучение вызывает ожоги глаз и кожи, подобные ожогам при прямом действии ярких солнечных лучей, инфракрасное может вызвать помутнение хрусталика глаза.

Воздействие излучения дуги вредно не только для сварщиков, но и для подручных рабочих-сборщиков. Для предотвращения опасного поражения глаз обязательно применение защитных стекол — наиболее темных для сварщиков и более светлых для вспомогательных рабочих, что должно обеспечить значительное (почти полное) поглощение вредных излучений, связанных с горением дуги.

Защитные стекла, вставленные в щитки и маски, снаружи закрывают простым стеклом для предохранения их от брызг расплавленного металла. Щитки изготавливают из изоляционного металла — фибры, фанеры, по форме и размерам они должны полностью защищать лицо и голову сварщика (см. гл. 4).

При работе вне кабины для защиты зрения окружающих, работающих сварщиков и вспомогательных рабочих следу-

ет применять переносные щиты и ширмы.

**Защита от брызг расплавленного металла и шлака.** Образующиеся при дуговой сварке брызги расплавленного металла имеют температуру до 1800° С, при которой одежда из любой ткани разрушается. Для защиты от таких брызг используют спецодежду (брюки, куртку и рукавицы) из брезентовой или специальной ткани. При работе куртки не следует вправлять в брюки, обувь должна иметь гладкий верх.

**Предотвращение отравления вредными газами и аэрозолями.** Высокая температура дуги. (6000—8000° С) неизбежно приводит к тому, что часть сварочной проволоки, покрытий, флюсов переходит в парообразное состояние. Эти пары, попадая в атмосферу цеха, конденсируются и превращаются в аэрозоль конденсации, частицы которой по дисперсности приближаются к дымам и легко попадают в дыхательную систему сварщиков. Эти аэрозоли представляют главную профессиональную опасность труда сварщиков. Количество пыли в зоне дыхания сварщика зависит главным образом от способа сварки и свариваемых материалов, но в известной степени определяется и типом конструкций.

Наряду с пылью при дуговой сварке также образуются и выделяются газообразные продукты — оксиды азота, углерода; при сварке электродом с покрытием «Б» и под флюсами — фтористые соединения.

В зоне дыхания сварщиков концентрация этих газов может достигать (мг/л):  $N_2O_5$  0,009—0,018;  $SiF_4$ , HF до 0,004 каждого, CO до 0,46. При сварке цветных металлов и их сплавов в зоне дыхания сварщика могут наблюдаться такие вредные газообразные соединения, как  $ZnO$ ,  $SnO_2$ ,  $MnO_2$ ,  $SiO_2$  и т. д.

Для здоровья сварщиков наиболее опасны аэрозоли марганца, так как отравление марганцем может привести к длительному и стойкому поражению центральной нервной системы вплоть до параличей.

Пары цинка, свинца, хромового ангидрида могут вызвать острое отравление и даже хроническое заболевание. Длительное отложение пыли в легких приводит к пневмоконкозу.

Все указанные поражения могут возникнуть, если сварку выполняют с грубым нарушением правил техники безопасности, касающихся обеспечения общей и местной вентиляции, применения индивидуальных средств защиты (масок, респираторов), особенно при сварке цветных металлов и их сплавов, а также при сварке в тесных, замкнутых отсеках при недостаточной вентиляции и т. д.

Существуют строгие требования в области вентиляции при сварочных работах. Для улавливания сварочного аэрозоля на стационарных постах, а где это возможно и на нестационарных, необходимо устанавливать местные вытяжные шкафы, вертикальные или наклонные панели равномерного всасывания, столы с подрешеточным отсосом и др. При сварке крупногабаритных серийных конструкций на кондукторах, манипуляторах и т. п. местные отсосы необходимо встраивать непосредственно в эти приспособления.

При работе на нестационарных сварочных постах в замкнутых и полузамкнутых пространствах (отсеках) следует применять местные отсасывающие устройства типа эжекторов, высоковакуумных установок с обеспечением объема удаляемого воздуха от одного сварочного поста 400—500 м<sup>3</sup>/ч, но не менее 100—150 м<sup>3</sup>/ч, что обеспечивает допустимый уровень загрязненности воздуха.

**Предотвращение опасности взрывов.** Опасность взрывов возникает при неправильном транспортировании, хранении и использовании баллонов со сжатыми газами, при проведении сварочных работ в различных емкостях без предварительного контроля степени их очистки и наличия в них остатков горючих веществ и т. д.

При использовании баллонов со сжатыми газами необходимо соблюдать установленные меры безопасности: не бросать баллоны, не устанавливать их вблизи нагревательных приборов, не хранить вместе баллоны с кислородом и горючими газами, баллоны хранить в вертикальном положении. При замерзании влаги в редукторе баллона с СО<sub>2</sub> отогревать его только через специальный электроподог-

реватель или обкладывая тряпками, намоченными в горячей воде. Категорически запрещается отогревать любые баллоны со сжатыми газами открытым пламенем, так как это почти неизбежно приводит к взрыву баллона.

При производстве сварочных работ на емкостях, ранее использованных, требуется выяснение типа хранившегося продукта и наличие его остатков. Обязательно тщательная очистка сосуда от остатков продуктов и 2—3-кратная промывка 10%-ным раствором щелочей, необходима также последующая продувка воздухом для удаления запаха, который может вредно действовать на сварщика.

Категорически запрещается продувать емкости кислородом, что иногда пытаются делать, так как в этом случае попадание кислорода на одежду и кожу сварщика при любом открытом источнике огня вызывает интенсивное возгорание одежды и приводит к ожогам со смертельным исходом.

Взрывоопасность существует и при выполнении работ в помещениях, имеющих большое количество пылевидных органических веществ (пищевой муки, торфа, каменного угля). Эта пыль при определенной концентрации может давать взрывы большой силы. Помимо тщательной вентиляции, для производства сварочных работ в таких помещениях требуется специальное разрешение пожарной охраны.

**Предотвращение пожаров от расплавленного металла и шлака.** Опасность возникновения пожаров по этой причине существует в тех случаях, когда сварку выполняют по металлу, закрывающему дерево либо горючие изолировочные материалы, на деревянных лесах, вблизи легко воспламеняющихся материалов и т. п. Все указанные варианты сварки не должны допускаться.

**Предотвращение травм, связанных со сборочными и транспортными операциями (травмы механического характера).** Важное значение имеет внедрение комплексной механизации и автоматизации, что значительно уменьшает опасность травм такого рода.

Основные причины травматизма при сборке и сварке: отсутствие транспортных средств для транспортирования тяжелых деталей и изделий; неисправность транспортных средств, такелажных приспособлений; неисправность инструмента: кувалды, молотков, гаечных ключей, зубил и т. п.; отсутствие защитных очков при очистке швов от шлака; спецодежды и других защитных средств.

Меры безопасности в этом случае: все указанные средства и инструменты следует периодически проверять; такелажные работы должны производить лица, прошедшие специальный инструктаж; от рабочих необходимо требовать соблюдения всех правил по технике безопасности, включая работу в спецодежде, рукавицах; использование средств индивидуальной вентиляции (где это необхо-

димо) и т. д. Важное значение имеет внедрение комплексной механизации и автоматизации, что значительно уменьшает опасность травм такого рода.

**Противопожарные мероприятия.** Для устранения причин, способствующих возникновению пожаров, необходимо выполнять следующие мероприятия: недопустимо хранение в рабочем помещении или рабочей зоне легко воспламеняющихся или огнеопасных материалов; необходимо защищать деревянные настилы от воспламенения листовым железом или асбестом; каждый сварочный пост должен быть оборудован огнетушителем, емкостью с водой, а также иметь ящик с песком и лопатой; после окончания сварочных работ необходимо внимательно проверять помещение и рабочую зону и не оставлять открытого пламени и тлеющих предметов.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3	Глава 7. Сварка углеродистых и легированных сталей	67
Глава 1. Основы теории сварки	4	§ 22. Сварка низкоуглеродистых и низколегированных сталей	67
§ 1. Классификация сварки металлов	4	§ 23. Сварка углеродистых сталей	69
§ 2. Основные типы сварных соединений	6	§ 24. Сварка высоколегированных сталей	70
§ 3. Физико-химические процессы при сварке	9	Глава 8. Сварка чугуна, цветных металлов и их сплавов	71
§ 4. Напряжения и деформации при сварке	14	§ 25. Сварка чугуна	71
§ 5. Способы снижения сварочных напряжений и деформаций	15	§ 26. Сварка алюминия и его сплавов	75
§ 6. Свариваемость металлов и сплавов	17	§ 27. Сварка меди и ее сплавов	76
Глава 2. Сварочные материалы	20	§ 28. Сварка титана и его сплавов	78
§ 7. Сварочная проволока	20	§ 29. Сварка никеля и его сплавов	79
§ 8. Классификация электродов	21	Глава 9. Технология наплавки твердых сплавов	81
§ 9. Расчет расхода электродов	27	§ 30. Сущность процесса наплавки	81
Глава 3. Источники питания для дуговой сварки	34	§ 31. Способы наплавки	81
§ 10. Сварочная дуга	34	§ 32. Особенности техники наплавки	84
§ 11. Требования к источникам питания сварочной дуги и их классификация	38	§ 33. Выбор химического состава наплавленного металла.	85
§ 12. Источники питания переменного тока	40	Глава 10. Сварка основных видов конструкций	88
§ 13. Источники питания постоянного тока	42	§ 34. Требования к сварным соединениям	88
§ 14. Специализированные источники питания сварочной дуги и установки	48	§ 35. Классификация сварных конструкций	89
Глава 4. Вспомогательное оборудование сварочного поста	51	§ 36. Особенности сварки некоторых конструкций	90
Глава 5. Технология ручной дуговой сварки	58	§ 37. Технология сварки магистральных трубопроводов	92
§ 15. Подготовка под сварку	58	Глава 11. Сварка при низких температурах	94
§ 16. Техника выполнения швов	58	Глава 12. Дуговая резка	96
§ 17. Техника сварки в нижнем положении	60	Глава 13. Дефекты и контроль качества сварных соединений	99
§ 18. Техника сварки на горизонтальной и потолочной плоскостях	62	§ 38. Дефекты сварных швов	99
§ 19. Выбор сварочного тока и диаметра электрода	63	§ 39. Контроль сварки	100
Глава 6. Специальные методы ручной дуговой сварки	64	§ 40. Контроль сварного изделия	102
§ 20. Высокопроизводительные методы ручной сварки	64	Глава 14. Нормирование работ при ручной дуговой сварке	106
§ 21. Сварка под водой	66	Глава 15. Техника безопасности на предприятии	108

55 коп.

