

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ АБУ РАЙХАНА БЕРУНИ**

Абралов М.А., Эрматов З.Д., Дуняшин Н.С.

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ
по дисциплине «Технология и оборудование сварки
плавлением».
Часть II

ТАШКЕНТ 2008

УДК 621.791.1

Конспект лекций по дисциплине «Технология и оборудование сварки плавлением». Часть II/ Абралов М.А, Эрматов З.Д., Дуняшин Н.С. Ташкент: ТашГТУ, 2008.

Курс «Технология и оборудование сварки плавлением» по учебному плану читается в 7,8 семестрах бакалавриата.

В этом конспекте изложены основные вопросы теории и технологии современных процессов сварки плавлением, резки и наплавки в объеме, необходимом для изучения студентами высшего учебного заведения по направлению бакалавриата 5522700 «Машины и технология сварочного производства»

Печатается по решению научно-методического совета Ташкентского государственного технического университета

Рецензенты: ст. преп. каф. «Машины и технология сварочного производства» Абдуллаев М. (ТашГТУ);

нач. тех. бюро отдела главного сварщика Орлова В.А. (ГАО ТАПОиЧ)

© Ташкентский государственный технический университет,
2008

Лекция №11.

Сварка в защитных газах (Технология дуговой сварки в защитных газах)

План:

11.1. Технология сварки в среде инертных газов

11.2 Технология сварки в углекислом газе

11.1. Технология сварки в среде инертных газов

Аргоно-дуговую сварку высоколегированных сталей, титана и его сплавов производят на постоянном токе прямой полярности, сварку алюминиевых и магниевых сплавов – на переменном токе в целях разрушения окисной пленки.

Ручную аргоно-дуговую сварку выполняют без колебательных движений горелки, которые не рекомендуется применять из-за возможности нарушения защиты зоны сварки. Угол между осью мундштука аргоно-дуговой горелки и плоскостью свариваемого изделия должен быть $75\text{--}80^\circ$ (рис. 11.1).

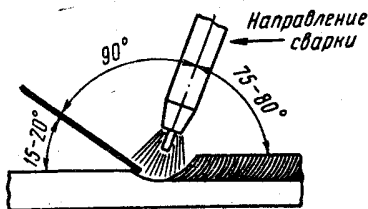


Рис. 11.1. Схема расположения присадочной проволоки и горелки по отношению к свариваемому изделию

Присадочную проволоку располагают под углом 90° относительно оси мундштука горелки, а угол между проволокой и изделием должен быть $15\text{--}20^\circ$.

Употребление газовых смесей вместо аргона или гелия в некоторых случаях повышает устойчивость горения сварочной дуги, уменьшает разбрызгивание металла, улучшает формирование шва, увеличивает глубину проплавления и производительность сварки, а также воздействует на перенос металла.

Сварка в азоте. При сварке меди для защиты зоны дуги можно использовать азот, полученный путем ректификации воздуха на кислородных установках. Азот инертен по отношению

к этому материалу. При азотно-дуговой сварке электродами служат угольные или графитовые стержни, применять вольфрамовые стержни не целесообразно, так как образующиеся на их поверхности нитриды вольфрама легкоплавки, вследствие чего расход вольфрама резко возрастает. При азотно-дуговой сварке угольным электродом напряжение дуги должно быть 22-30 А. Сварку выполняют постоянным током прямой полярности, диаметр угольного электрода 6-8 мм при токе 150—500 А. Расход азота составляет 3—10 л/мин.

11.2 Технология сварки в углекислом газе

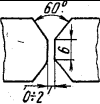
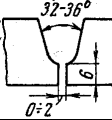
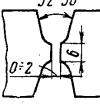
Подготовка кромок и ориентировочные режимы сварки стыковых швов углеродистых и низколегированных сталей приведены в табл. 11.1

Таблица 11.1

Подготовка кромок и ориентировочные режимы при сварке стыковых швов углеродистых и низколегированных сталей в углекислом газе

Толщина металла, мм	Разделка кромок	Число слоев	Диаметр проволоки, мм	Ток, А	Скорость сварки, м/ч	Расход CO_2 , $\text{дм}^3/\text{мин}$
0,6-1,0		1	0,5-0,8	50-60	20-25	6-7
0,6-1,0		1	0,5-0,8	50-60	25-35	6-7
1,2-2,0		1-2	0,8-1,0	70-110	18-24	10-12
3-5		1-2	1,6-2,0	160-200	20-22	14-16
6-8		2	2	280-300	25-30	16-18
6-8		1-2	2	280-300	18-22	16-18
8-12		2-3	2	280-300	18-20	16-18
12-18		2	2	380-400	16-20	18-20

Продолжение таблицы 11.1

> 20		2	2-2,5	440-460	16-20	18-22
		4	2-2,5	420-440	16-20	
> 25		10 и более	2-2,5	440-500	16-20	18-22
> 40		12 и более	2-2,5	440-500	16-20	18-22
			3	400-750	16-20	18-22

Кромки перед сваркой тщательно очищают от грязи, масла, ржавчины и окислы, а также от шлаков, остающихся после кислородной резки. Прихватку деталей из углеродистых сталей под сварку в углекислом газе осуществляют либо электродами типа Э42 или Э42А, либо полуавтоматической сваркой в углекислом газе. Прихватку деталей из легированных сталей выполняют электродами соответствующего назначения.

Сварку в углекислом газе выполняют во всех пространственных положениях. При сварке применяют постоянный ток обратной полярности.

Для повышения устойчивости горения дуги, уменьшения разбрызгивания, увеличения глубины провара и повышения производительности процесса целесообразнее сварку вести при высоких плотностях тока на электроде, т. е. применять при выбранном токе более тонкую проволоку. В зависимости от напряжения устанавливается длина дуги по плотности тока. Уменьшение или повышение напряжения по сравнению с пределами, указанными в таблице, приводит к чрезмерному укорочению или удлинению дуги и нарушает процесс сварки (обрывается дуга, разбрызгивается металл, появляется пористость и т. д.). Величина напряжения имеет особенно важное значение при сварке тонкого металла (менее 2 мм).

Скорость подачи проволоки подбирают практически так, чтобы дуга горела устойчиво при данном токе и напряжении. Расход углекислого газа должен обеспечивать надежную защиту сварочной ванны от окружающего воздуха. В зависимости от этого условия определяется и наиболее целесообразное

положение мундштука относительно поверхности сварочной ванны (угол наклона, расстояние). Расстояние между мундштуком и изделием при токе 60—150 А и напряжении 22В обычно равно 7—14 мм, при токе 200—500 А и напряжении 30—32 В - 15—25 мм. Угол наклона электрода к вертикали должен составлять 15—20°. Перед началом сварки включают подачу газа и регулируют его расход по расходомеру, продувая одновременно шланги и горелку-держатель от воздуха. Вылет электрода в начале сварки устанавливают равным 25—30 мм.

Перемещение электрода должно быть равномерным. В процессе сварки тонкого металла электрод перемещают только поступательно вдоль шва, при сварке более толстого металла концом электрода делают также и поперечные движения (рис. 11.2, а).

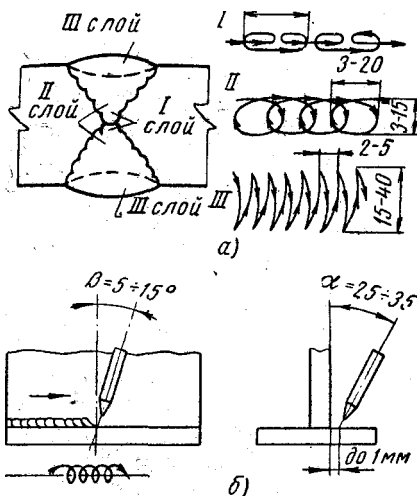


Рис. 11.2. Перемещение конца проволоки при сварке в углекислом газе:

а — перемещение конца проволоки при сварке Х-образного шва: I, II, III — первый, второй, третий слой; б — положение держателя и перемещение конца проволоки при сварке угловых швов.

Сварщик может вести электрод слева направо (углом назад) или справа налево (углом вперед), или «на себя» при перпендикулярном расположении электрода по отношению к

плоскости шва; возможен также наклон электрода вперед или назад в пределах 5—20°.

Диаметр сварочной ванны не должен превышать 30 мм. Широкие швы следует сваривать узкими валиками с большой скоростью. Сварка справа налево «углом вперед» уменьшает глубину проплавления основного металла и увеличивает ширину валика.

Этот способ предпочтителен для тонкого металла или легированных сталей, склонных к образованию трещин в процессе сварки и остывания.

При сварке угловых швов тавровых соединений угол между электродом и вертикальной стенкой тавра берется равным 25—35°. Положение держателя и перемещение конца электрода показано на рис. 11.2, б.

Швы на плоскости, расположенной под углом более 60° к горизонту, а также вертикальные швы при толщине металла менее 2 мм, сваривают сверху вниз, чтобы давление газов дуги препятствовало отеканию расплавленного металла. При этом целесообразно применять минимальные напряжение и ток. Металл толщиной более 2 мм можно сваривать вертикальными швами снизу вверх, наклоняя электрод «углом назад».

Горизонтальные швы сваривают электродом, наклоненным вниз, без поперечных колебаний, при напряжении 17—18 В. Потолочные швы сваривают электродом в положении «углом назад», используя минимальные напряжения и ток, а также несколько увеличивая расход углекислого газа.

Металл толщиной 1,5—3 мм сваривают стыковыми швами «на весу» электродом, находящимся в вертикальном положении, перемещая его по оси шва. Более тонкий металл (0,8—1,2 мм) сваривают на медной или остающейся стальной подкладке в нижнем положении, либо в вертикальном положении без подкладки. В углекислом газе полуавтоматическим способом проволокой 0,8 мм можно сваривать встык металл толщиной 1—15 мм при зазоре до 1,5—2 мм. Для предупреждения протекания металла сварщик должен периодически выключать подачу проволоки на 0,23—0,5 сек, не отводя горелку от ванны; в этом случае наплавленный металл остывает и не протекает через зазор, кроме того, исключается возможность сквозного проплавления основного металла. Так сваривают стыки труб.

Заканчивая сварку, кратер следует заполнить металлом, затем прекратить подачу проволоки и выключить ток, не отводя горелку и не прекращая подачу углекислого газа до затвердения металла ванны. Чтобы не произошло окисление металла, нельзя прекращать сварку, отрывая дугу и отводя держатель.

Сварочная проволока применяется в зависимости от марки свариваемой стали. В табл. 11.2 приведены некоторые марки сварочных проволок, применяемые при сварке различных сталей.

Таблица 11.2

Применение марок проволоки для сварки сталей различных марок

Марка проволоки	Применение
СВ-08ГС	Для сварки углеродистых и низколегированных сталей на токах 300-400А
СВ-08Г2С	Для сварки углеродистых и низколегированных сталей на токах 600-750А
Св-10ХГ2С	Для сварки низколегированных сталей повышенной прочности
Св-10ХГ2СМ	Для сварки теплоустойчивых сталей типа 15ХМА
Св-08ХГСМФ	Для сварки теплоустойчивых сталей типа 20ХМФ
Св-08ХЗГ2СМ	Для сварки стали 30ХГСА
Св-08Х14ГТ Св-08Х17Т	Для сварки хромистых сталей Х13, Х17
Св-06Х19Н9Т Св-08Х19Н10Б	Для коррозионностойких сталей 0Х18Н10, 0Х18Н9, 0Х18Н10Т

Контрольные вопросы:

1. Каковы технологические особенности сварки в среде инертных защитных газов?
2. Какие материалы сваривают с использованием в качестве защитного газа азот?
3. Как осуществляется подготовка кромок при сварке в среде углекислого газа?

Лекция № 12.

Электрошлаковая сварка (Сущность и режимы электрошлаковой сварки)

План:

- 12.1. Сущность электрошлаковой сварки
- 12.2. Классификация способов электрошлаковой сварки
- 12.3. Металлургия электрошлаковой сварки
- 12.4. Режимы электрошлаковой сварки

12.1. Сущность электрошлаковой сварки

Электрошлаковая сварка – сварка плавлением, при которой для нагрева используется тепло, выделяющееся при прохождении электрического тока через расплавленный шлак.

Способ электрошлаковой сварки был разработан в 50-е годы 20 века в Институте электросварки АН Украины. Впервые электрошлаковую сварку электродными проволоками осуществил в 1949г. Г.З. Волошкевич. Электрошлаковую сварку пластинчатыми электродами в промышленных условиях впервые удалось осуществить Ю.А. Стеренбогену на Новокраматорском машиностроительном заводе в 1955г.

При ЭШС электрический ток, проходя через шлаковую ванну, расплавляет основной и присадочный металл и поддерживает высокую температуру расплава. Электрошлаковый процесс устойчив при глубине шлаковой ванны 35 – 60 мм, которую легче создать при вертикальном положении оси шва и принудительном формировании его поверхности. Для принудительного охлаждения и формирования поверхности шва используются, как правило, медные водоохлаждаемые устройства. При ЭШС почти вся электрическая мощность передается шлаковой ванне, а от нее – электроду и свариваемым кромкам. Устойчивый процесс возможен только при постоянной температуре шлаковой ванны 1900-2000°С. Диапазон толщин свариваемых металлов 20 – 3000 мм.

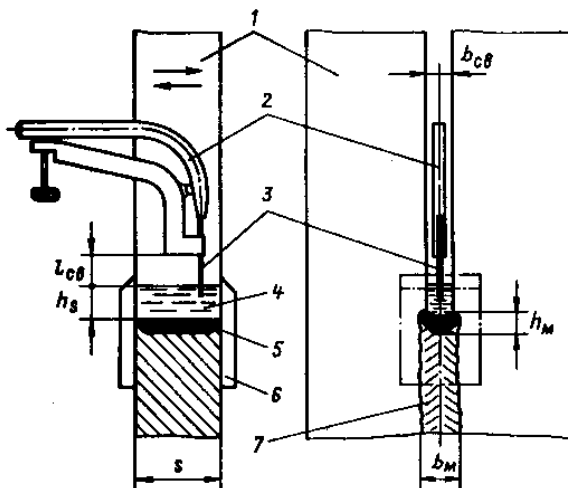


Рис. 12.1. Схема электрошлаковой сварки:

1 - свариваемые детали толщиной s ; 2 - мундштук для подачи электрода; 3 - электрод; 4 - шлаковая ванна глубиной h_s ; 5 - металлическая ванна глубиной h_m ; 6 - формирующий ползун. Детали выбраны с зазором b_c ; l_c - вылет электрода.

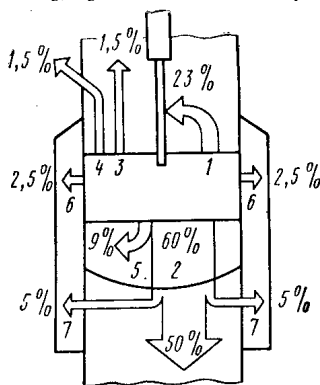


Рис. 12.2. Тепловой баланс электрошлаковой сварки стали толщиной 100мм:

1 - плавление проволоки; 2 - плавление основного металла; 3 - потери на излучение; 4 - нагрев кромок излучением; 5 - перегрев металла ванны; 6 - нагрев ползунов шлаком; 7 - нагрев ползунов металлов

12.2. Классификация способов электрошлаковой сварки

Классификация способов электрошлаковой сварки приведена на рис. 12.3

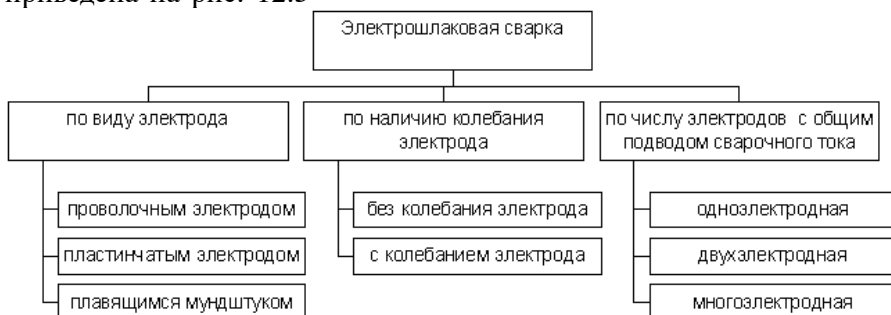


Рис. 12.3. Классификация способов электрошлаковой сварки

Электрошлаковую сварку можно выполнить тремя способами, имеющими каждый свои особенности и область применения.

1) Сварка проволочными электродами диаметром 3...5 мм, подаваемыми в сварочный зазор специальными мундштуками с медными токосъемными наконечниками (рис. 12.4, а). При этом одновременно подается в шлаковую ванну до трех электродных проволок, что позволяет применять трехфазные источники питания. Так как выделение теплоты в шлаковой ванне происходит в основном в области электрода, максимальная толщина свариваемого металла при использовании одной электродной проволоки обычно составляет 60 мм, трех - до 200 мм. Если мундштукам в зазоре придают возвратно-поступательное движение со скоростью V_k , тогда толщина свариваемых кромок может быть в 2,5 раза больше.

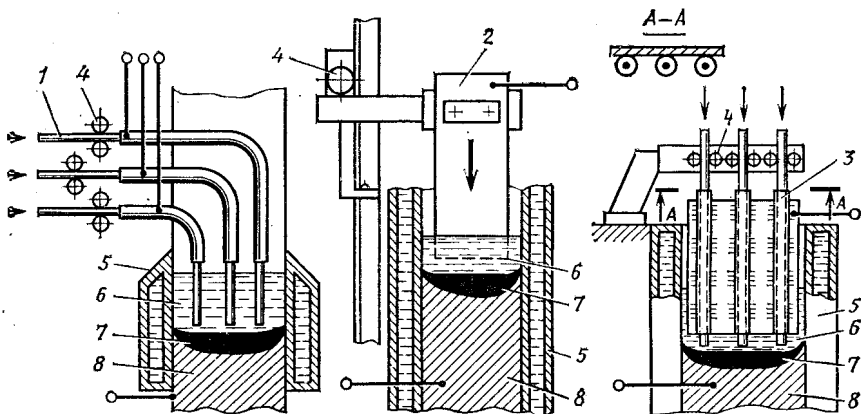


Рис. 12.4. Способы электрошлаковой сварки:

а - проволочными электродами; б - пластинчатыми электродами; в - плавящимся мундштуком;

1 – электродная проволока; 2 – пластинчатый электрод; 3 – плавящийся мундштук; 4 – механизм подачи; 5 – формирующее устройство; 6 – шлаковая ванна; 7 – ванна расплавленного металла; 8 – свариваемый металл.

2) Сварка электродами большого сечения, подаваемыми в сварочный зазор (рис. 12.4, б). Электродами могут быть ленты толщиной 1...1,2 мм или пластины толщиной 10...12 мм и длиной, равной утроенной длине шва. Одновременно применяться для сварки могут не более трех электродов при использовании трехфазных источников тока. Одним пластинчатым электродом сваривают металл толщиной до 200 мм, а тремя - до 800 мм, при $V_{\text{с}} = 1,2...3,5 \text{ м/ч}$.

Оба эти способа применяются при сварке деталей относительно небольшой толщины. Наличие подвижных мундштуков или пластин в сварочном зазоре может приводить к коротким замыканиям их на кромки детали, что нарушает стабильность процесса сварки. Быстрый износ токосъемных трубок мундштуков усложняет и удорожает обслуживание сварочной установки, а также отрицательно влияет на стабильность процесса. Небольшая длина пластинчатых электродов ограничивает длину сварных швов.

3) Сварка плавящимся мундштуком при его неподвижном положении в сварочном зазоре (рис. 12.4, в). Нехватку присадочного материала, необходимого для формирования шва, компенсируют за счет подачи электродных проволок диаметром 3 мм через каналы, выполняемые из тонкостенных трубок или в виде плотно навитых спиралей из сварочной проволоки. Одновременно подаваться через один мундштук могут до шести электродных проволок. Таким мундштуком сваривают металл толщиной до 500 мм, двумя мундштуками - до 1000 мм, тремя - до 1500 мм и т.д. Этот способ расширяет возможности ЭШС, устраняя недостатки двух предыдущих. При использовании ЭШС плавящимися мундштуками можно соединять детали любой толщины и сложной формы сечения.

12.3. Металлургия электрошлаковой сварки

Химический состав металла шва определяется в основном составом свариваемого металла и электрода с учетом доли их участия в образовании шва и приращением содержания отдельных элементов в результате обменных реакций между металлом и шлаком в процессе сварки.

Имеющиеся в шлаковой ванне две области: высокотемпературная, непосредственно примыкающая к оплавленной части электрода, и низкотемпературная, занимающая остальной объем шлаковой ванны, - накладывают своеобразный отпечаток на ход металлургических реакций (рис. 12.5).

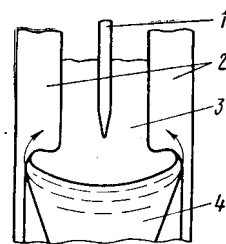
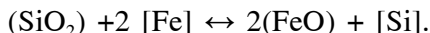
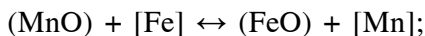


Рис. 12.5. Форма шлаковой ванны:

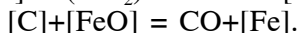
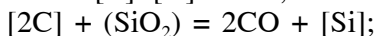
1 – электрод; 2 – кромки металла; 3 – шлаковая ванна; 4 – металлическая ванна

В высокотемпературной зоне протекают процессы восстановления кремния и марганца из их окислов, а в

низкотемпературной зоне происходит окисление этих элементов по реакциям



Здесь круглые скобки означают, что данный компонент находится в шлаке, квадратные - в металле. Окисление углерода протекает за счет кислорода, содержащегося в жидкой металлической ванне, а также за счет окислов, содержащихся в шлаке:



Кроме того, в обменных реакциях участвуют водород, сера, фтор, фосфор и другие химические элементы. Поэтому в процессе сварки шлаковая ванна выделяет в атмосферу пары летучих компонентов шлаковой композиции, а также газообразных продуктов взаимодействия шлака с металлом: окиси углерода, фторидов, сернистых соединений и др. Эти пары оказывают защитное действие, предохраняя электродный металл, нагреваемый вблизи шлаковой ванны до высоких температур, от прямого контакта с воздухом.

12.4. Режимы электрошлаковой сварки

Интенсивность металлургических процессов зависит от режима ЭШС. Сварочный режим при электрошлаковой сварке включает: напряжение на участке электрод – сварочная ванна $U_{\text{св}}$, скорость подачи электродной проволоки v_e , сварочный ток $I_{\text{св}}$, скорость сварки $v_{\text{св}}$, глубину шлаковой ванны h_s , сухой вылет электродной проволоки l_e , число электродов n , зазор между кромками b , толщина свариваемого металла s .

Правильный выбор параметров электрошлаковой сварки и поддержание их на заданном уровне обеспечивает получение качественного сварного соединения.

Величину сварочного тока, A , можно ориентировочно определить по формуле:

$$I_{\text{св}} = (0,022 \cdot v_e + 90) \cdot n + 1,2(v_{\text{св}} + 0,48 v_n) \delta_n \cdot b_n,$$

где v_n – скорость подачи пластины, см/с; b_n и δ_n – ширина и толщина, см. Формула пригодна для сварки проволочным электродом (второе слагаемое превращается в нуль, т.к. нет

пластин) и пластинчатыми электродами (в этом случае первое слагаемое равно нулю, т.к. нет проволоки).

Скорость подачи электродной проволоки:

$$v_e = v_{св} \cdot F_n / \Sigma F_e,$$

где $F_n = b_n \cdot s, \text{см}^2$; $\Sigma F_e = 0,071n, \text{см}^2$.

Опыт электрошлаковой сварки показал, что такие элементы режима, как глубина шлаковой ванны h_s и сухой вылет электродной проволоки l_c не зависят от толщины металла и имеют значения: $h_s = 40 - 50 \text{ мм}$, $l_c = 80 - 90 \text{ мм}$.

Контрольные вопросы:

1. В чем состоит отличие дугового и электрошлакового процесса?
2. Какие существуют способы электрошлаковой сварки и в чем их различие?
3. Что такое режим электрошлаковой сварки?
4. Какие параметры входят в режим электрошлаковой сварки?

Лекция № 13.

Электрошлаковая сварка (Технология и оборудование электрошлаковой сварки)

План:

- 13.1. Подготовка деталей к сварке
- 13.2. Технология электрошлаковой сварки прямолинейных и кольцевых швов
- 13.3. Оборудование и технологическая оснастка, применяемые при электрошлаковой сварке

13.1. Подготовка деталей к сварке

Пригодность деталей к ЭШС в основном определяется чистотой обработки торцевых поверхностей свариваемых кромок и состоянием боковых поверхностей кромок, по которым будут перемещаться устройства, формирующие шов.

Для сварки металла толщиной до 200 мм торцевые поверхности кромок готовят газорезательными машинами. Величина отдельных выступов и впадин не должна превышать 2—3 мм, а максимальное отклонение от прямолинейности реза должна быть не более 4 мм. При толщинах металла свыше 200 мм, а также для кольцевых швов и деталей из легированных сталей в большинстве случаев применяют механическую обработку.

Боковые поверхности деталей, выполненных из проката, обычно зачищают от ржавчины и окалины наждачными кругами. Боковые поверхности литых и кованных деталей подвергают механической обработке на ширину 60—80 мм от торца кромки с чистотой Rz80 - Rz40. В тех случаях, когда применяют для сварки неподвижные формирующие устройства (медные водоохлаждаемые или стальные привариваемые), боковые поверхности литых деталей не обрабатывают.

При сборке стыковых соединений прямолинейных швов смещение кромок не должно превышать 2—3 мм. При сварке деталей разной толщины перед сборкой более толстую кромку сострагивают или на тонкую кромку устанавливают по всей длине стыка выравнивающую планку, которую после сварки сострагивают. При сварке деталей разной толщины используют специальные ступенчатые ползуны. Случайные смещения кромок не должны превышать 1—2 мм.

Допуски на смещение кромок для кольцевых швов меньше. Максимальная разность диаметров стыкуемых деталей не должна превышать $\pm 0,5$ мм, а наибольшее смещение кромок при сборке должно быть не более 1 мм.

Перед сваркой сборочные приспособления следует удалять и заменять закрепляющими устройствами, которыми чаще всего служат скобы, привариваемые с тыльной стороны стыка. При большой толщине листов, когда скорость сварки невелика, вместо скоб можно применять пластины, привариваемые односторонними швами с лицевой стороны и удаляемые в процессе сварки, фиксирующие скобы или пластины устанавливают через 500—800 мм. Пластины приваривают так, чтобы шов заканчивался за 60—80 мм от торцевой поверхности кромок.

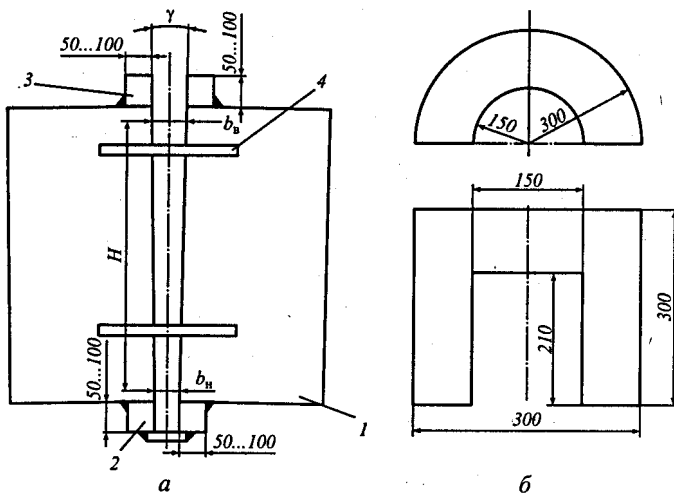


Рис. 13.1. Сборка деталей под сварку:

а – собранные детали; б – формы сборочных скоб; 1 – свариваемые детали; 2 – входной карман; 3 – выходной карман; 4 – сборочные скобы; b_v и b_n – сборочные зазоры; Н – длина стыка деталей

Для получения точных размеров готового сварного изделия необходимо собирать детали с зазором, учитывающим деформации соединяемых деталей при сварке.

13.2. Технология электрошлаковой сварки прямолинейных и кольцевых швов

Электрошлаковая сварка прямолинейных швов выполняется, как правило, при вертикальном положении оси шва. Начало шва на длине 30—40 мм вследствие неустановившегося теплового процесса полностью проварить невозможно, а в конечной части шва в связи с особыми условиями кристаллизации металла образуется усадочная раковина (трещина). Поэтому при сварке металла больших толщин к начальному участку подготовленных к сварке деталей приваривается технологическая приставка, имеющая вырез немного шире зазора (глубиной 50—70 мм), а в верхней части привариваются выводные планки высотой не менее 100 мм для вывода усадочной раковины.

Для начала процесса электрошлаковой сварки возбуждается дуга между электродами и дном технологической приставки. Сразу же после возбуждения дуги засыпают флюс, который после образования шлаковой ванны шунтирует дугу и процесс переходит в электрошлаковый.

Чтобы устранить возможность непровара в начале соединения, сварка на технологической приставке производится без перемещения автомата при небольшой глубине шлаковой ванны, сниженном токе и повышенном напряжении. После установления теплового процесса и провара кромок глубина шлаковой ванны, ток и напряжение устанавливаются в пределах, предусмотренных выбранным режимом сварки. Конец шва следует завершить в выводных планках при пониженном токе и повышенном напряжении.

Электрошлаковая сварка кольцевых швов проволочными электродами значительно сложнее прямых швов. Основная трудность заключается в осуществлении замыкания начала и конца кольцевого шва. Сборка, как и при прямолинейных швах, производится на скобах, устанавливаемых на внутренней стороне изделия.

Сварка производится специальными аппаратами на роликовых стендах при формировании шва с лицевой стороны медным охлаждающим ползуном 2, укрепленным на сварочном аппарате 1 (рис. 7.4.5, а), а с обратной стороны шва медным охлаждаемым кольцом 4, прижимаемым при помощи клиньев 6, вбиваемых в пространство между сборочными скобами 5 и кольцом.

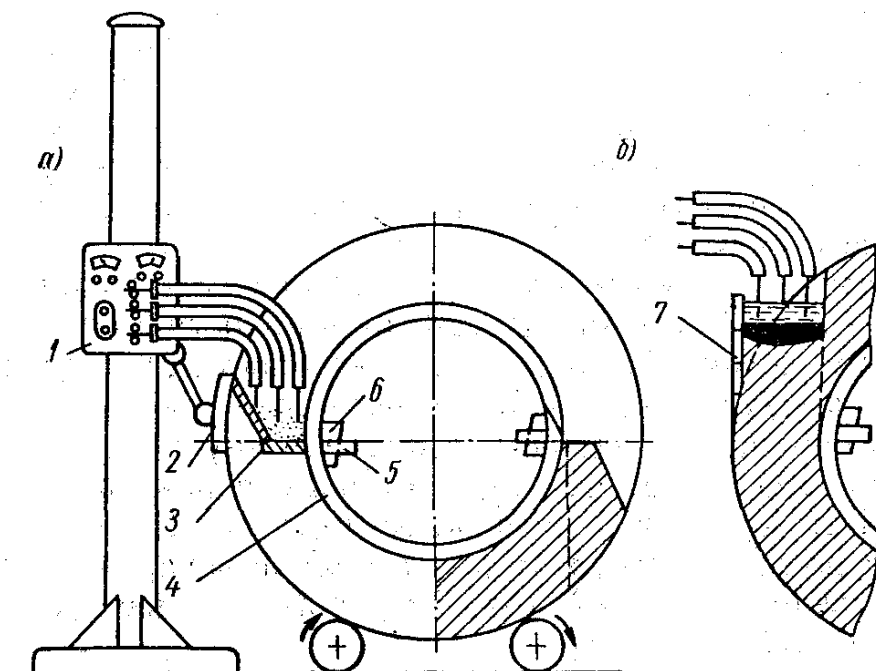


Рис. 13.2. Электродуговая сварка кольцевых швов:
а — начало сварки; б — замыкание кольцевого шва

Иногда формирование обратной стороны шва осуществляется охлаждаемым ползуном, прижимающимся к кромкам изделия с помощью специального устройства. При сварке кольцевых швов применять технологическую приставку не представляется возможным, начинать сварку приходится в рабочей части шва на планке 3, установленной в зазоре между кромками, но этот участок шва получается дефектным, поэтому газовым резаком ему придают такую форму, чтобы в момент замыкания начало шва представляло вертикальную стенку.

Для уменьшения объема работ по разделке начала шва сварка кольцевых швов начинается в полости, образуемой двумя планками. Сначала сварка в полости производится одним электродом при большом вылете, по мере увеличения ширины полости в работу вводятся другие электроды.

Полость заваривают при вертикальном перемещении сварочного аппарата и неподвижном изделии. Изделие

приводится во вращение лишь после полной заварки полости между планками, при этом вертикальное перемещение аппарата прекращается.

После того как разделанное начало шва занимает вертикальное положение, на него устанавливается охлаждаемый водой медный ползун 7, вращение изделия прекращается, и заварка конца кольцевого шва производится при вертикальном подъеме сварочного аппарата. Трудности замыкания конца шва с началом тем больше, чем больше отношение толщины стенки к диаметру.

13.3. Оборудование и технологическая оснастка, применяемые при электрошлаковой сварке

Для формирования наружной поверхности шва применяют медные водоохлаждаемые ползуны или неподвижные накладки (рис. 13.3, 13.4).

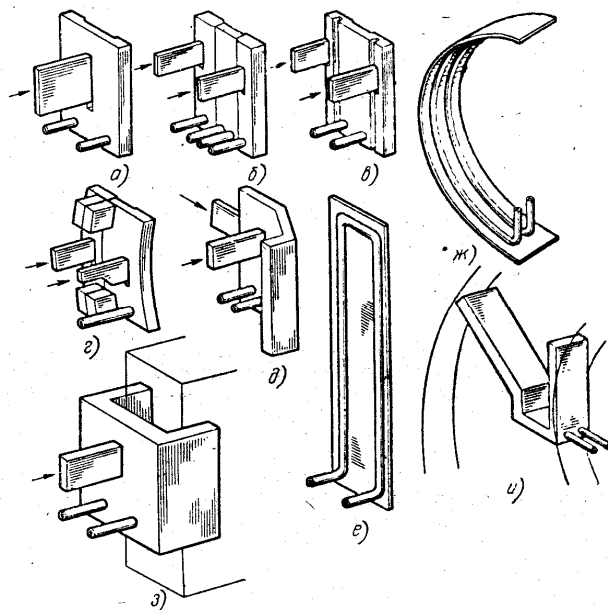


Рис. 13.3. Подвижные и неподвижные формирующие устройства для электрошлаковой сварки (ползуны):

а – жесткий; б – шарнирный; в – надрезной; г – составной; д – для угловых соединений; е, ж – гибкие подкладки; з, и – для наплавленного слоя.

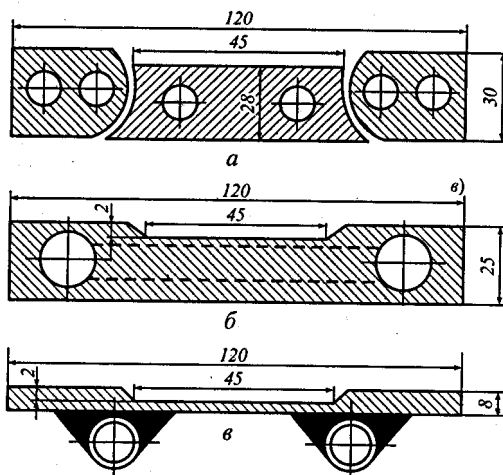


Рис. 13.4. Поперечные сечения водоохлаждаемых медных формирующих устройств:

а – шарнирный ползун; б – жесткий ползун; в – переставная накладка

Ползуны применяют при ЭШС проволочными электродами и устанавливают их на подвесках сварочных аппаратов, а переставные накладки - при сварке пластинчатыми электродами и плавящимся мундштуком. Медные накладки крепят и поджимают к свариваемым кромкам с помощью электромагнитов или с помощью клиньев и Г-образных планок из листа толщиной 10...15 мм, привариваемых к изделию по всей длине стыка через 250...400 мм.

Наиболее ответственным элементом аппаратуры для сварки проволокой является мундштук (или мундштуки), с помощью которого (которых) осуществляют направление электродной проволоки в шлаковую ванну и подводят к проволоке сварочный ток. Существуют две конструкции мундштуков: роликовый и трубчатый (рис. 13.5).

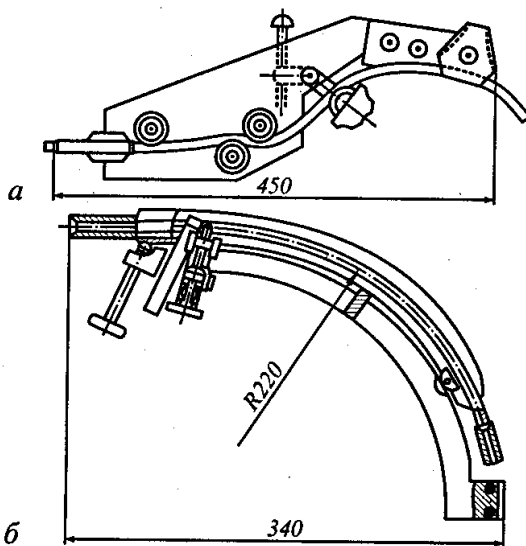


Рис. 13.5. Схемы мундштуков для электрошлаковой сварки проволочными электродами:

а – роликового; б – трубчатого.

Роликовый мундштук применяют лишь для сварки металла толщиной до 150 мм. Трубчатые мундштуки позволяют более точно регулировать положение электродной проволоки в зазоре, что обеспечивает равномерный провар кромок.

Существующая конструкция мундштуков не обеспечивает длительной стойкости направляющих трубок: происходит их интенсивный износ. Как правило, после 8...12 ч работы наконечник направляющей трубки прорезается проволокой, поэтому возникает необходимость замены мундштука. При более длительном времени сварки стыка обычно используют два сварочных аппарата: когда износ мундштуков достигает критического, выключают и отводят от стыка первый аппарат и быстро, пока сохраняется шлаковая ванна в жидком состоянии, подводят второй аппарат и продолжают процесс сварки.

На надежность процесса ЭШС и качество соединений влияет чистота поверхности электродной проволоки, равномерность намотки ее на катушку.

Очистку и намотку проволоки обычно совмещают в одном устройстве. Проволока из бухты, уложенной на вертушке, проходит через трубу или короб, наполненный флюсом, и с помощью электропривода наматывается на катушку. Но очистка поверхности проволоки от мыльно-графитовой смазки с помощью флюса ненадежна, поэтому лучше применять абразивную очистку проволоки на специальных станках с гидравлическим приводом намотки.

Другим важным фактором является стабильность поступления воды в формирующие устройства. Вода для охлаждения формирующих устройств поступает из цеховой магистрали или от системы автономного водоснабжения. Расход воды 15...25 л/мин для каждого устройства. Давление воды 0,2...0,3 МПа. В монтажных условиях при отрицательной температуре применяют установки автономного охлаждения антифризом.

По типу применяемого электрода различают аппараты для ЭШС электродными проволоками, пластинчатыми и ленточными электродами, а также плавящимся мундштуком. По числу электродов и способу их подключения к источнику питания аппараты могут быть одно- или многоэлектродными, однофазными или трехфазными. По наличию устройств для перемещения вдоль свариваемых кромок аппараты делятся на самоходные (рельсовые и безрельсовые) и подвесные (рис. 13.6).

В зависимости от способа принудительного формирования шва бывают аппараты со скользящими ползунами или с переставляемыми накладками. Например, аппарат рельсового типа А-535 (рис. 13.7) обеспечивает вертикальное перемещение формирующих ползунов по мере образования шва и поперечные колебания электродов в сварочной ванне. Его применяют для сварки прямолинейных и кольцевых швов стыковых и угловых соединений проволочными и пластинчатыми электродами. На базе этого аппарата создан автомат АШ-112 с тремя индивидуальными приводами подачи проволоки. Он обеспечивает механизированное изменение "сухого" вылета электрода в процессе сварки и имеет систему автоматизированного контроля режимов сварки на базе микропроцессора с электронным программатором, а также индикатор уровня сварочной ванны.

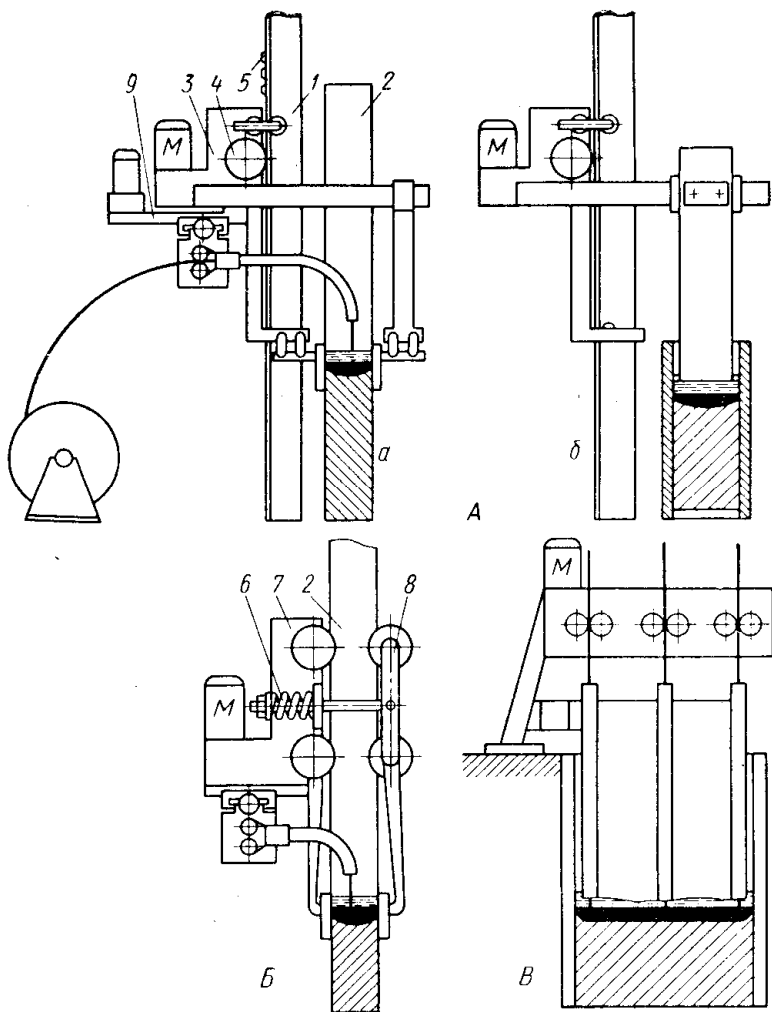


Рис. 13.6. Аппараты для электрошлаковой сварки:

А – рельсовые аппараты для сварки проволочными (а) или пластинчатым (б) электродами; Б – безрельсовый; В – подвесной аппарат для сварки плавящимся мундштуком

1 – рельсовый путь; 2 – свариваемые детали; 3, 7 и 8 – тележка аппарата; 4 – приводная шестерня; 5 – рейка рельса; 6 – пружина

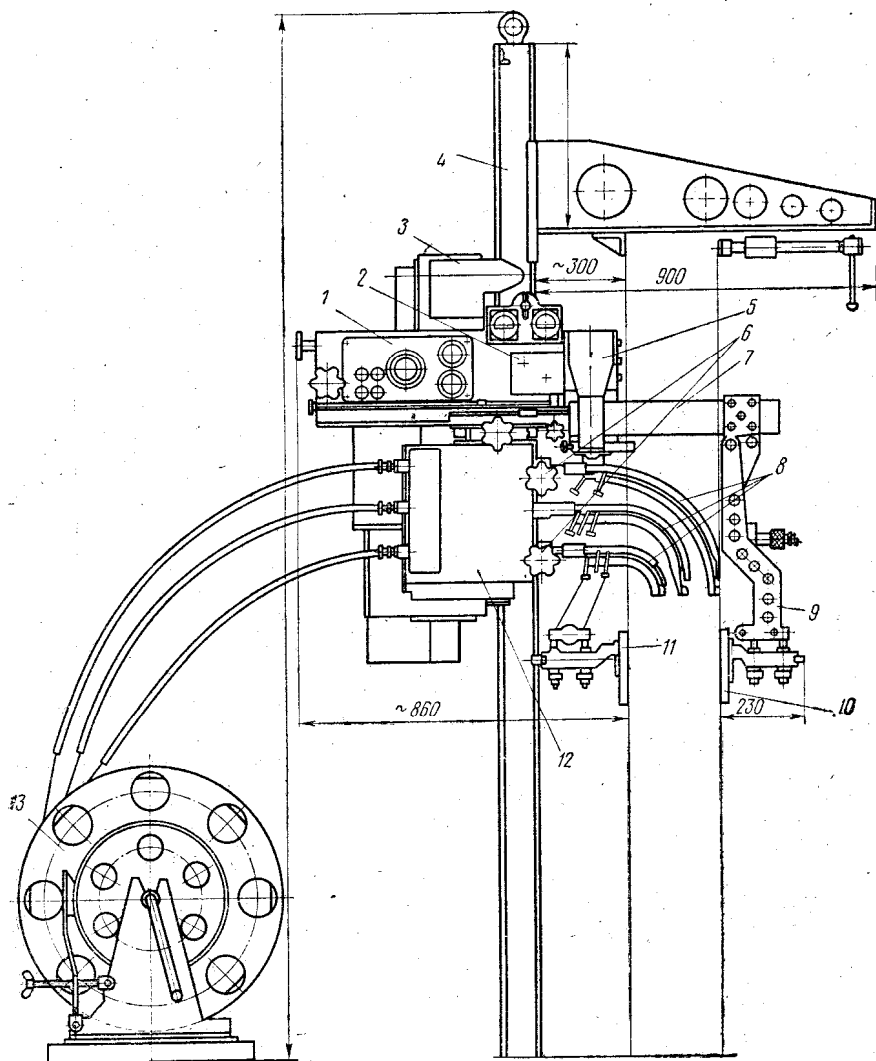


Рис. 13.7. Универсальный рельсовый аппарат А-535:

1 — пульт управления; 2 — механизм колебаний; 3 — ходовая тележка; 4 — рельс; 5 — бункер; 6 — корректор положения мундштуков; 7 — планка; 8 — мундштуки; 9 — тяга; 10, 11 — ползуны; 12 — головка; 13 — катушка

Безрельсовые аппараты перемещаются непосредственно по поверхности свариваемых заготовок, по одной или двум кромкам.

Одноэлектродный аппарат А-612 для сварки прямолинейных швов состоит из двух тележек, расположенных по обе стороны свариваемого стыка. Тележки пружинным устройством через тягу, проходящую в зазоре между кромками, притягиваются к изделию. К тележкам подвешены ползуны. Передняя тележка - приводная. На ней закреплены механизм подачи электродных проволок с мундштуками, механизм поперечных колебаний и пульт управления.

Автомат А-550 У предназначен для сварки пластинчатым электродом большого сечения, который прикрепляют к зажиму, связанному с суппортом винтового механизма. По мере оплавления электрода кронштейн с зажимом опускается. Зажим служит сварочным токоподводом.

Аппараты для ЭШС плавящимися мундштуками содержат механизм подачи одной или нескольких проволок и токоподводящее устройство к плавящемуся мундштуку. Они предназначены для сварки стыковых соединений любой формы сечения. Аппараты крепятся непосредственно на верхней кромке свариваемого изделия или подвешиваются над стыком. Подающие механизмы аппарата А-645 обеспечивают подачу шести проволок диаметром 3 мм, А-1304 – четырех (рис. 13.8.), а АШ-113 - трех.

Электрошлаковые аппараты комплектуются источниками питания переменного тока: трансформаторами однофазными ТШС-1000-1, ТШС-3000-1, ТШС-10000-1, ТРМК-3000-1 и трехфазными ТШС-1000-3, ТШС-3000-3. Для ЭШС на постоянном токе используют преобразователи и выпрямители с жесткой внешней вольт-амперной характеристикой.

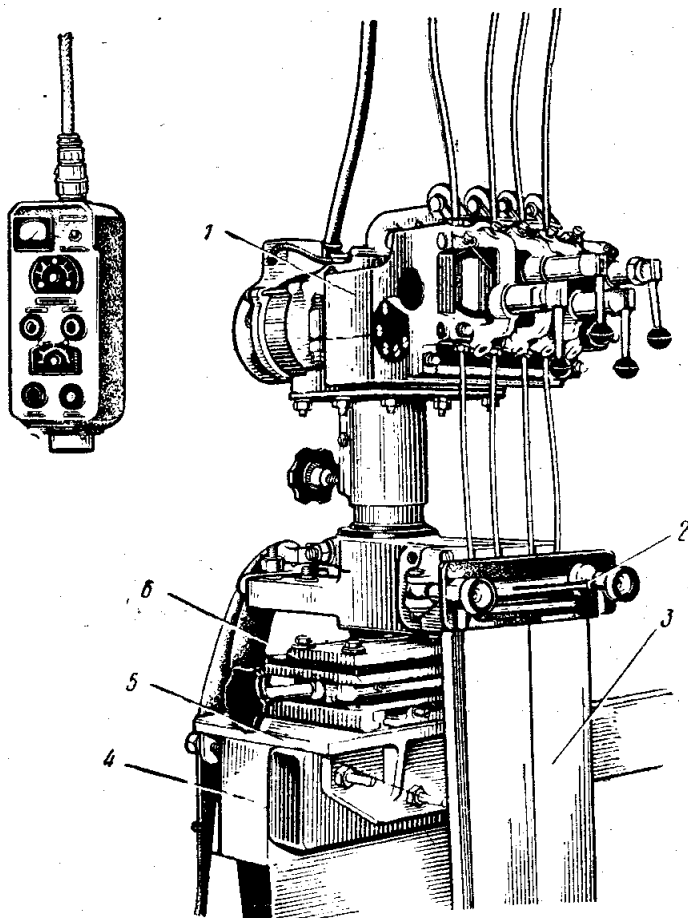


Рис. 13.8. Автомат А-1304 для электрошлаковой сварки плавящимся мундштуком:

1 – механизм подачи; 2 – токоподвод; 3 – мундштук; 4 – свариваемое изделие; 5 – трубка; 6 – суппорты

Контрольные вопросы:

1. Каковы технологические особенности электрошлаковой сварки прямолинейных и кольцевых швов?
2. Какое оборудование применяется при электрошлаковой сварке?

Лекция № 14. Лазерная сварка

План:

- 14.1. Сущность лазерной сварки
- 14.2. Классификация технологических лазеров
- 14.3. Оборудование для лазерной сварки

14.1. Сущность лазерной сварки

Лазерная сварка – сварка плавлением, при которой для нагрева используется энергия излучения лазера

В начале 60-х годов 20 века на основе работ физиков Н.Г. Басова и А.М. Прохорова и американского физика Ч. Таунса были созданы оптические квантовые генераторы или лазеры. Первые сообщения о лазерной сварки металлов относятся к 1962 г. В 1964 – 1966 гг. вскоре после создания рубинового твердотельного лазера были разработаны лазерные установки.

При лазерной сварке в качестве источника теплоты используют мощный концентрированный световой луч, получаемый в специальной установке, называемой технологическим лазером.

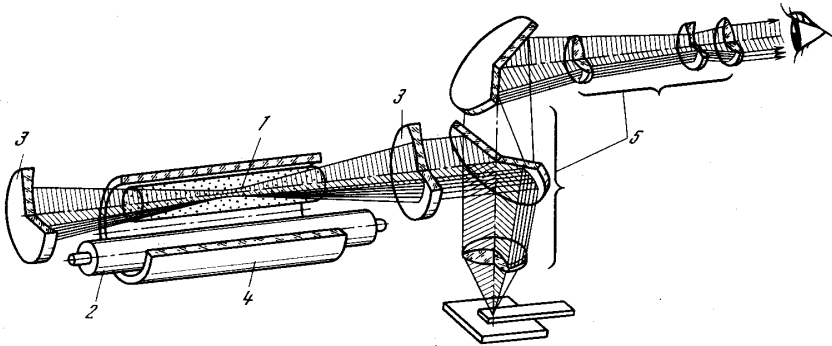


Рис. 14.1. Схема лазерной сварки:

1 – стержень активной среды; 2 – лампа накачки; 3 – зеркала резонатора; 4 – зеркальный цилиндр осветителя; 5 – система фокусировки излучения на свариваемые детали и наблюдения за процессом сварки

Твердотельный технологический лазер - рубиновый кристалл имеет форму цилиндрического стержня; полированные и посеребренные поверхности которого являются оптическими отражателями. Выходной конец стержня частично прозрачен для световых лучей. Розовый рубин состоит из Al_2O_3 с атомами хрома, каждый из которых имеет три энергетических уровня. При вспышке ксеноновой лампы облучающей трубки, атомы хрома возбуждаются и переходят в состояние, характеризующееся повышенным энергетическим уровнем. Примерно через 0,05 мкс часть возбужденных атомов возвращается в первоначальное энергетическое состояние, беспорядочно излучая фотоны красного света. Некоторая часть этих фотонов, излучаемых вдоль оси кристалла, вызывает излучение новых фотонов. Фотоны, испускаемые в других направлениях, покидают кристалл через боковые плоскости. Поток красных фотонов вдоль оси кристаллов нарастает, отражаясь попеременно от зеркальных торцов граней, пока его интенсивность не станет достаточной, чтобы он смог пройти через полупрозрачную торцовую грань кристалла наружу. В результате через выходной конец кристалла излучается поток красного света в виде когерентного монохроматического излучения (рис. 14.2).

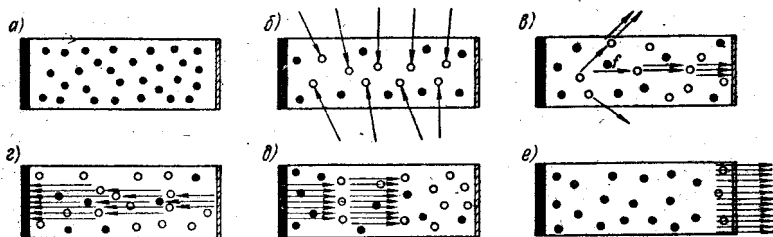


Рис. 14.2. Схема лавинообразного нарастания потока фотонов в кристалле рубина под влиянием внешнего возбуждения

Лазерное излучение обеспечивает высокую концентрацию энергии (10^7 - 10^8 Вт/см²), существенно превосходящую другие источники энергии, используемые для сварки, на несколько порядков. Лазерное излучение когерентно, монохроматично, обеспечивает малую расходимость. Вследствие этого возникает возможность высокой степени фокусировки для достижения больших значений концентрации энергии излучения, и на поверхности свариваемого материала происходит локальный

нагрев, обеспечивающий высокие скорости нагрева и охлаждения, малый объем расплавляемого металла, малые размеры околошовной зоны термического влияния. Процесс лазерной сварки осуществляется в атмосфере воздуха либо в среде защитных нейтральных газов (Ar, He), в среде углекислого газа и др. Поэтому создается возможность использования лазерной сварки для соединения элементов конструкций любых габаритов.

Преимущества лазерной сварки:

1) возможность легкой транспортировки лазерного излучения к месту сварки. С помощью зеркальных оптических систем лазерный луч можно направлять в труднодоступные места, подавать на значительные расстояния без потерь энергии, одновременно или последовательно использовать на нескольких участках;

2) простота управления энергетическими характеристиками лазерного излучения;

3) устойчивое качественное формирование сварного шва по всей длине из-за отсутствия влияния на лазерный луч магнитного поля свариваемых деталей и технологической оснастки.

14.2. Классификация технологических лазеров

Технологические лазеры классифицируют по следующим признакам:

1) по длине волны эмитированного излучения:

а) от 740 нм (красный свет) до 400 нм (фиолетовый свет) – область видимой части электромагнитного спектра;

б) менее 740 нм – область инфракрасного излучения или радиочастот;

2) по непрерывности действия:

а) импульсно – периодического;

б) непрерывного;

3) по агрегатному состоянию:

а) твердотельные:

– с активным элементом в виде стержня из искусственного рубина, генерирующие импульсно – периодическое излучение на длине волны $\lambda=0,69$ мкм, с частотой импульсов $F_{\text{и}}=10$ Гц и электрооптическим КПД около 3%;

– с активным элементом в виде стержня из стекла с примесью неодима, генерирующие импульсно – периодическое

излучение на длине волны $\lambda=1,06$ мкм, с частотой импульсов $F_{и}=0,05 - 50$ кГц;

– с активным элементом в виде стержня из иттрий - алюминиевого граната с добавкой неодима, генерирующие импульсно – периодическое и непрерывное излучение на длине волны $\lambda=1,06$ мкм;

б) газовые:

- с рабочим телом из углекислого газа, с добавками азота и гелия при давлении 2,66 – 13,3 кПа, генерирующие импульсно – периодическое и непрерывное излучение на длине волны $\lambda=10,6$ мкм с электрооптическим КПД 5 - 15%. Возбуждение рабочего тела осуществляется электрическим разрядом. Азот и гелий обеспечивают передачу энергии возбуждения молекуле углекислого газа и благоприятные условия горения разряда.

14.3. Оборудование для лазерной сварки

Оборудование для лазерной сварки состоит из технологического лазера, системы транспортировки и фокусировки излучения, системы газовой защиты изделия, системы относительного перемещения луча и изделия.

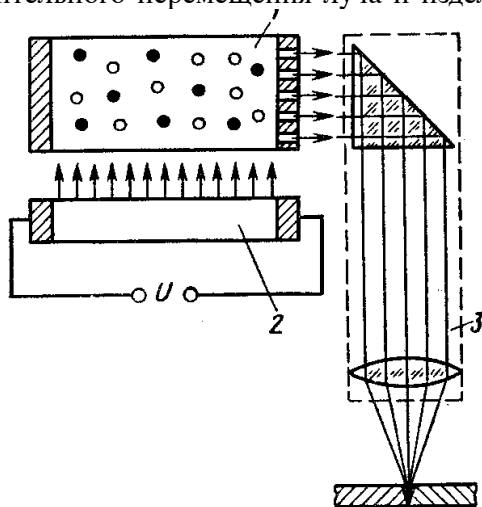


Рис. 14.3. Схема установки для лазерной сварки с твердотельным лазером:

1 – рабочее тело; 2 – лампа накачки; 3 – оптическая система

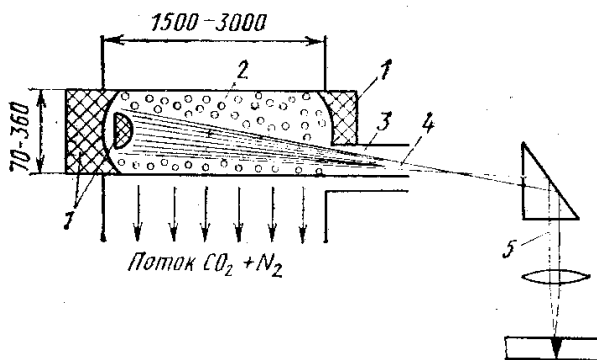


Рис. 14.4. Схема установки для лазерной сварки с газовым лазером:

1 – сферические зеркала; 2 – полость резонатора; 3 – выходное отверстие; 4 – луч лазера; 5 – преломленный луч лазера

Технологический лазер состоит из «рабочего тела», системы «накачки» и системы охлаждения

Система транспортировки и фокусировки излучения состоит из защитных лучепроводов, отклоняющего зеркала и фокусирующего устройства. Отклоняющее зеркало изменяет ход луча и направляет его в зону обработки. Для твердотельных лазеров с этой целью используют призмы полного внутреннего отражения и интерференционные зеркала с многослойным диэлектрическим покрытием, для газовых лазеров применяют медные зеркала с водяным охлаждением.

Фокусирующее устройство – тубус, установленный с возможностью перемещения относительно поверхности обрабатываемого изделия, в котором закреплена линза из оптического стекла – для твердотельных лазеров, из хлорида калия или селенида цинка с интерференционным просветляющим покрытием – для CO_2 – лазеров. Защита линз от продуктов, выделяющихся при обработке изделия, осуществляется шторкой, образуемой продуванием очищенным и осушенным воздухом.

Система газовой защиты предназначена для предотвращения окисления металла сварного шва, в том числе его корня, и включает сопла разнообразной конструкции, обеспечивающей

сдув паров и брызг, образующихся при сварке, в сторону от лазерного луча.

Система относительного перемещения луча и изделия реализуется за счет движения детали, осуществляемого манипулятором с разным числом степеней свободы в зависимости от требующейся сложности обработки. Скорость перемещения 40 – 400 м/ч. В случае обработки массивных и крупногабаритных изделий, рационально перемещать луч с помощью подвижных зеркал.

Контрольные вопросы:

1. Назовите основные преимущества и недостатки лазерной сварки.
2. По каким признакам можно классифицировать технологические лазеры?
3. Что входит в комплект оборудования для лазерной сварки?

Лекция №15.

Электронно-лучевая сварка

План:

- 15.1. Сущность электронно-лучевой сварки
- 15.2. Оборудование, применяемое при электронно-лучевой сварке

15.1. Сущность электронно-лучевой сварки

Электронно-лучевая сварка – сварка плавлением, при которой нагрев металла производится потоком - лучом быстро движущихся электронов, ускоряемых электрическим полем. Попадая на поверхность изделия, электроны отдают свою кинетическую энергию, превращающуюся в тепловую и нагревают металл до температуры 5000-6000⁰С. Процесс обычно ведется в герметически закрытой камере, в которой поддерживается вакуум. Толщина заготовок, свариваемых электронным лучом, может достигать от 0,01 до 100 мм и более.

В 1879 г. Крукс показал возможность нагрева и плавления платины катодными лучами. В 1897 г. Томпсон установил, что катодные лучи являются электрически заряженными частицами. Милликен в 1905 – 1917 гг. окончательно доказал особую природу электронов и установил их заряд. Разработка техники и технологии электронно-лучевой сварки связывается с именем Д.А. Стора, который работал во французской комиссии по атомной энергии и опубликовал результаты работы в 1957 г.

Процесс электронно-лучевой сварки обычно ведется в герметически закрытой камере, в которой поддерживается вакуум 10^{-1} - 10^{-3} Па. Вакуум необходим для свободного движения электронов, уменьшения числа их столкновения с газовыми молекулами в процессе ионизации. Вакуум также необходим для обеспечения чистоты наплавляемого металла, предупреждения его окисления и азотирования, уменьшения количества растворенных в нем газов. Вакуум поддерживается непрерывно работающими вакуумными насосами. Источником электронов служит накаливаемый катод, питаемый от низковольтного трансформатора. Электроны ускоряются от низковольтного трансформатора высоким напряжением 10-100 кВ; обычно применяют напряжения не более 30 кВ, т.к. при более высоком напряжении возникает значительное

рентгеновское излучение и требуется дополнительная защита обслуживающего персонала.

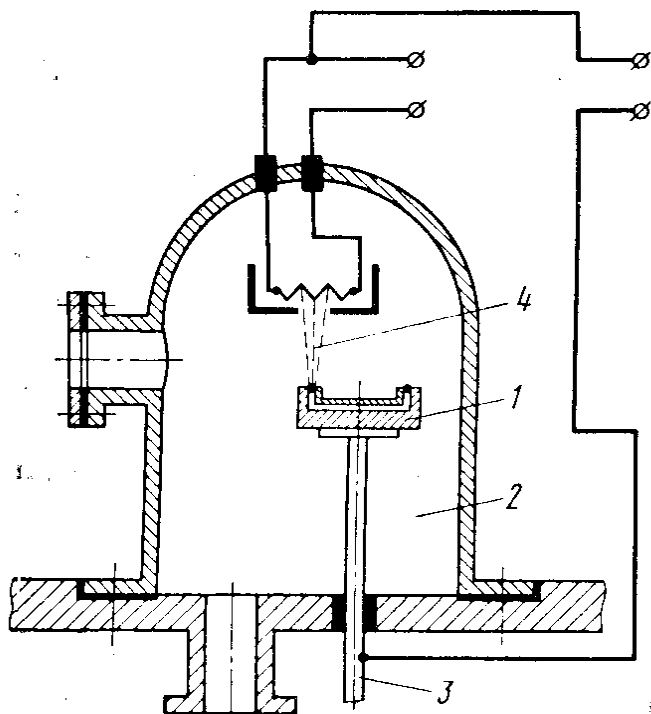


Рис. 15.1. Схема электронно-лучевой сварки:

1 – свариваемые детали; 2 – камера; 3 – перемещающий механизм; 4 – электронный луч.

При интенсивной бомбардировке металла или какого-либо др. материала ускоренными электронами в высоком вакууме около 99% их кинетической энергии переходит в тепловую, расходуемую на нагрев.

Сварку тонколистового металла ($s \leq 1 - 3$ мм) обычно выполняют расфокусированным пучком электронов при небольших значениях удельной мощности в пятне нагрева (рис. 15.2, а). При сварке толстолистового металла используют острофокусированные пучки электронов (рис. 15.2, б)

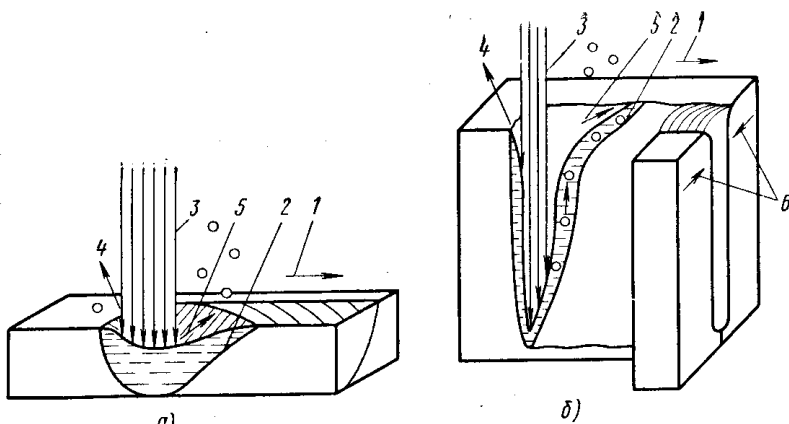


Рис. 15.2. Схема электронно-лучевой сварки металлов малой (а) и большой (б) толщины:

1 – направление перемещения изделия; 2 – фронт кристаллизации; 3 – пучок электронов; 4 – направление испарения металла; 5 – направление выноса металла в верхней части сварочной ванны; 6 – поперечная усадка металла сварного шва

Преимущество электронно-лучевой сварки:

1) Для сварки электронным лучом характерна высокая концентрация энергии, поэтому количество теплоты, расходуемое на расплавление металла, в десятки раз меньше, чем при других способах.

2) Зона расплавления при электронно-лучевой сварке имеет форму вытянутого клина, а отношение глубины проплавления к ширине может достигать 26:1. Этот эффект называется кинжальным проплавлением.

3) Отсутствие загрязнений, попадающих в шов из окружающей среды.

4) Возможность сварки разнородных металлов со значительной разницей толщин.

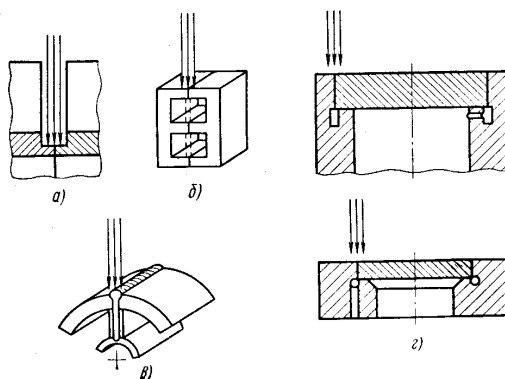


Рис. 15.3. Некоторые типы соединений при электронно-лучевой сварке:

а – сварка в труднодоступных местах; б – однопроводная сварка проникающим лучом; в – сварка через ребро жесткости; г – сварка заглушек

15.2. Оборудование, применяемое при электронно-лучевой сварке

Комплекс устройств, служащих для формирования и фокусировки электронного луча, называют сварочной электронной пушкой.

Техническая характеристика некоторых сварочных пушек приведена в табл. 16.1

Таблица 15.1

Техническая характеристика электронных сварочных пушек

Параметр	ПЛ-100	ПЛ-101	ПЛ-101-01	У-858
Напряжение, кВ:				
максимальное ускоряющее	60	12	12	120
электродной бомбардировки	1	0,8-1	-	1
Сила тока пучка, А	1	0,25	0,002	1
Потребляемая мощность, кВА	60	3	0,18	120

Устройство для эмиссии электронов 1 состоит из вольфрамового катода, заключенного в кольцообразный формирующий электрод (цилиндр Венельта), и

расположенного под ним дискового анода 2 с центральным отверстием.

При нагреве катода с его поверхности излучаются электроны, формирующиеся в пучок электродом, расположенным непосредственно за катодом, и под воздействием электрического поля, создаваемого высокой разностью потенциалов между катодом и анодом, ускоряются в определенном направлении.

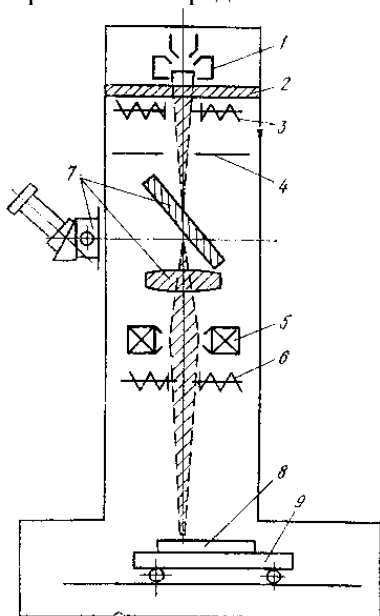


Рис. 15.4. Схема электронно-лучевой установки:

1 – вольфрамовый катод; 2 – дисковый анод; 3 – катушки, фокусирующие электронный луч вдоль оси; 4 – диафрагма, отсекающая энергетически малоэффективные краевые зоны луча; 5 – магнитная линза, фокусирующая луч в круглое пятно на поверхности детали; 6 – отклоняющие катушки, перемещающие луч по поверхности детали; 7 – система наблюдения за процессом сварки; 8 – свариваемые детали; 9 – стол для фиксации и перемещения деталей.

Магнитное поле катушек 3, питаемых постоянным регулируемым током, направляет луч по оси катушки.

Диафрагма 4 отсекает энергетически малоэффективные краевые зоны луча, а магнитная линза 5 фокусирует его в круглое пятно на поверхности заготовки. В современных установках для сварки и термической обработки электронный луч фокусируется на площади диаметром менее 0,001 см.

С помощью отклоняющих катушек 6 луч можно перемещать по поверхности заготовки, помещенной в вакуумную камеру. Оптическая система 7, состоящая из зеркала, объектива с осевым отверстием и микроскопа, позволяет вести наблюдение за процессом сварки при многократном увеличении. Обрабатываемая заготовка 8 устанавливается на столе 9 и перемещается с равномерной скоростью.

Важным узлом электронно-лучевой установки является камера, в которой производится сварка. Ее конструкция и размеры определяются назначением установки. Универсальные сварочные камеры имеют относительно небольшой объем и снабжаются приводными устройствами для сварки листового металла и труб. Эти устройства должны обеспечивать плавное регулирование, стабильность скорости перемещения рабочего стола, на котором крепятся свариваемые детали, и возможность вращения трубных заготовок в горизонтальной и вертикальной плоскостях. В некоторых камерах предусмотрена возможность перемещения пушки внутри камеры по горизонтали или по вертикали.

Загрузку камеры свариваемыми заготовками можно производить с нарушением вакуума или непрерывно через шлюзовые камеры.

В зависимости от величины напряжения между катодом и анодом (ускоряющее напряжение) различают 2 типа электронно-лучевых пушек: низковольтные с ускоряющим напряжением 10÷30 кВ и высоковольтные с ускоряющим напряжением до 150 кВ. Ток электронного луча в установках для электронно-лучевой сварки невелик и составляет от нескольких миллиампер до единиц ампер.

Контрольные вопросы:

1. В чем состоит необходимость проведения электронно-лучевой сварки в вакуумной камере?
2. Почему напряжение, ускоряющее электроны, ограничивается 30 кВ?

Лекция № 16. Технология наплавки

План:

- 16.1. Классификация процессов наплавки
- 16.2. Материалы для наплавки
- 16.3. Технология дуговой наплавки

16.1. Классификация процессов наплавки

Наплавкой называют процесс наплавления на поверхности изделия слоя металла для изменения размеров или придания специальных свойств (твердости, антикоррозионности, износостойчивости и т. д.).

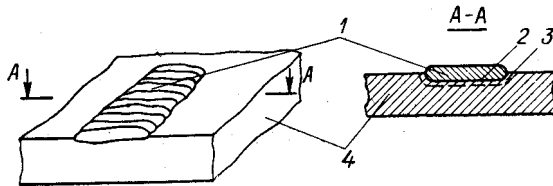


Рис. 16.1. Схема наплавки на деталь:

1 — наплаваемый слой; 2 — зона сплавления; 3 — зона термического влияния; 4 — основной металл

Наплавка износостойкими сплавами повышает твердость и износостойкость деталей. Применение наплавки снижает расход дорогих и дефицитных легированных сталей. Для получения ровной хорошей наплавки, без трещин, отслоений и пор необходимо, чтобы наплаваемый сплав имел более низкую температуру плавления, чем основной металл, а коэффициент его линейного расширения был близок к таковому для основного металла.

В настоящее время в промышленности используется большое количество различных способов наплавки.

1. Ручная дуговая наплавка металлическими плавящимися одиночными электродами, пучком электродов, лежащими пластинчатыми электродами, трубчатыми электродами, дугой прямого и косвенного действия и трехфазной дугой. Наплавку электродами можно выполнять во всех пространственных положениях. Она выполняется путем последовательного наложения валиков, наплаваемых при расплавлении электрода,

на поверхность изделия. Наплавляемая поверхность при этом должна быть чистой (до металлического блеска). Поверхность каждого наложенного валика и место для наложения следующего валика также тщательно зачищают от шлака, окалины и брызг.

Для получения сплошного монолитного слоя наплавленного металла каждый последующий валик должен перекрывать предыдущий на $1/3$ — $1/2$ своей ширины. Толщина однослойной наплавки составляет 3—6 мм. Если необходимо наплавить слой толщиной более 6 мм, перпендикулярно первому наплавляют второй слой валиков. При этом первый слой валиков должен быть тщательно очищен от брызг, окалины, шлаковых включений и других загрязнений.

2. Дуговая наплавка под флюсом, которая может по способу выполнения быть автоматической или полуавтоматической, а по количеству применяемых проволок — одноэлектродной и многоэлектродной. Применяемые для наплавки под флюсом наплавочные проволоки по конструкции разделяют на сплошные и порошковые, а по форме — на круглые или ленточные (рис. 16.2).

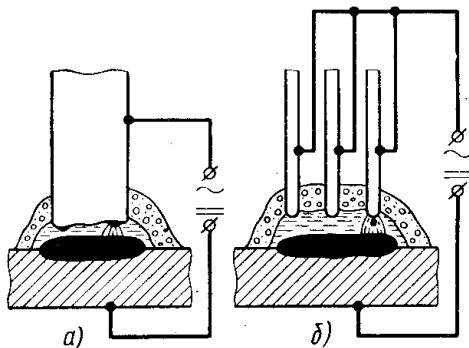


Рис. 16.2. Наплавка под флюсом:

а — электродной лентой; б — многоэлектродная

3. Дуговая наплавка в защитных газах вольфрамовым (неплавящимся) и проволочным металлическим (плавящимся) электродом. Для защиты дуги используются аргон и углекислый газ.

4. Вибродуговая наплавка выполняется специальной автоматической головкой, обеспечивающей вибрацию и подачу

электродной проволоки в зону дуги. Амплитуда вибрации электродной проволоки находится в пределах 0,75 – 1,0 диаметра электрода (рис. 16.3).

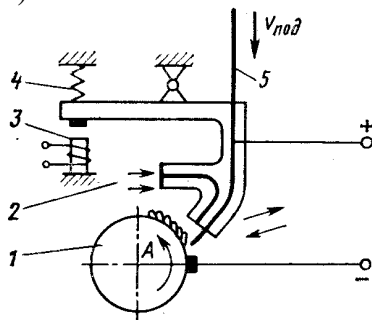


Рис. 16.3. Вибродуговая наплавка:

1 – наплавляемая деталь, 2 – подача охлаждающей жидкости, 3 – электромагнит вибратора, 4 – пружина, 5 – электродная проволока

5. Электрошлаковая наплавка характеризуется высокой производительностью. Способ позволяет получать наплавленный металл любого химического состава на плоских поверхностях и на поверхностях вращения (рис. 16.4). Наплавка выполняется за один проход независимо от толщины наплавляемого слоя. Электроды применяются практически любого сечения: прутки, пластины и т.п. Глубину проплавления основного металла можно регулировать в широких пределах.

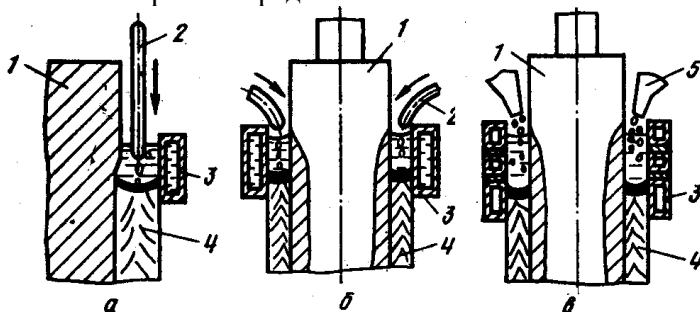


Рис. 16.4. Схемы электрошлаковой наплавки:

а – плоской поверхности в вертикальном положении; б – цилиндрической детали проволоками; в – цилиндрической детали зернистым присадочным материалом.

6. Плазменная наплавка производится плазменной дугой прямого или косвенного действия. Присадочным материалом служат наплавочная проволока и порошкообразные смеси (рис. 16.5, 16.6). При плазменной наплавке получают гладкую поверхность и высокое качество наплавленного слоя.

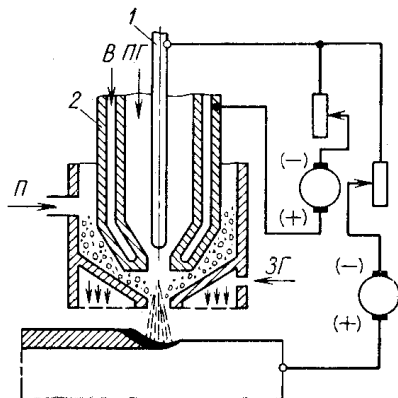


Рис. 16.5. Плазменно-порошковая наплавка:

1 – электрод; 2 – сопло; ПГ – плазмообразующий газ; ЗГ – защитный газ; В – вода; П – присадочный порошок.

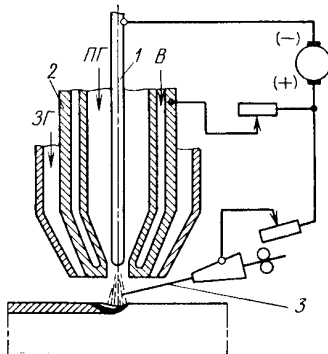


Рис. 16.6. Плазменно-порошковая наплавка с токоведущей присадочной проволокой:

1 – электрод; 2 – сопло; 3 – присадочная проволока; ПГ – плазмообразующий газ; ЗГ – защитный газ; В – вода.

Производительность труда при наплавке оценивается весом или площадью (размерами) наплавленного металла (табл. 16.1).

Таблица 16.1

Производительность различных способов наплавки

Способ наплавки	Производительность, кг/ч
Ручная дуговая покрытыми электродами	0,8 - 3
Автоматическая под флюсом одной проволокой	2 - 12
Автоматическая под флюсом многоэлектродная	5 - 40
Автоматическая под флюсом лентой	5 - 40
Плавящимся электродом в защитном газе	1,5 - 9,0
Аргоно-дуговая неплавящимся электродом	1,0 - 7,0
Вибродуговая	1,2 - 3
Электрошлаковая электродными проволоками	20 - 60
Электрошлаковая зернистым присадочным материалом	20-200
Плазменная порошком	0,8 - 12
Плазменная с токоведущей присадочной проволокой	2 - 12

16.2. Материалы для наплавки

Для наплавки применяют стальную наплавочную проволоку, металлические электроды с легирующим покрытием, зернистые и порошковые наплавочные смеси, литые сплавы в виде прутков, порошковую проволоку, флюсы.

Наплавочная проволока. Для автоматической электродуговой наплавки применяют стальную наплавочную проволоку по ГОСТ 10543—98 диаметром от 0,3 до 8 мм. Для этой проволоки принято условное обозначение «Нп» с указанием диаметра и марки стали. Например, проволока диаметром 3 мм из стали 30ХГСА имеет следующее условное обозначение; проволока ЗНп-30ХГСА, ГОСТ 10543—98. Для изготовления металлических электродов данная проволока не применяется.

Таблица 16.2

Краткая характеристика наплавочной проволоки

Марка проволоки	Твердость наплавленного металла, НВ	Типичные объекты наплавки
Нп-25 Нп-30	160-220	Оси, шпиндели, валы
Нп-35 Нп-40 Нп-45	170-230	Оси, шпиндели, валы
Нп-50	180-240	Натяжные колеса, скаты тележек, опорные ролики
Нп-65	220-300	Опорные ролики, оси
Нп-80	260-340	Коленчатые валы, крестовины карданов
Нп-40Г	180-240	Оси, шпиндели, ролики, валы
Нп-50Г	200-270	Натяжные колеса, опорные ролики гусеничных машин
Нп-65Г	230-310	Крановые колеса, оси опорных роликов
Нп-10ГЗ	250-330	Железнодорожные бандажи, крановые колеса
Нп-30ХГСА	220-300	Обжимные прокатные валки, крановые колеса
Нп-14СГ Нп-19СГ	240-260 300-310	Трефы прокатных валков, детали автосцепки, шлицевые валы
Нп-30Х5	370-240	Прокатные валки сортопрокатных станов
Нп-20Х14	320-380	Уплотнительные поверхности задвижек для пара и воды
Нп-30Х13	380-450	Плунжеры гидравлических прессов, шейки коленчатых валов, штампы
Нп-40Х13 Нп-35Х6М2	450-520 480-540	Опорные ролики тракторов и экскаваторов, детали конвейера
Нп-Г13А	230-270	Крестовины рельсов

Продолжение таблицы 16.2

Нп-30Х10Г10Т Нп-12Х12Г12С Нп-Х15Н60 Нп-Х20Н80Т Нп-03Х15В5Г7М8Б	180-200	При высокой температуре, выхлопные конуса и др. Корпуса сосудов высокого давления
Нп-40Х3Г2ВФМ	380-440	Тяжелонагруженные крановые колеса, ролики роликового конвейера
Нп-40Х2Г2М	540-560	Детали, испытывающие удары и абразивный износ
Нп-30ХНМ Нп-30ХФА	400-500	Штампы горячей штамповки, валки ковочных машин
Нп-35В9Х3СВ	440-500	Валки листо- и сортопрокатных станов, штампы горячей штамповки
Нп-45В9Х3СФ	440-500	Ножи для резки горячего металла, прессовый инструмент
Нп-45Х2В8Т Нп-45Х4В3ГФ	400-600 280-450	Валки трубо- и сортопрокатных станов, штампы горячей штамповки
Нп-35ХНФМС	420-480	Шлицевые валы, коленчатые валы двигателей внутреннего сгорания
Нп-105Х Нп-50Х3СТ	320-380 450-510	Обрезные штампы холодной штамповки, валы смесителей

Углеродистая проволока содержит от 0,27 до 0,70% углерода, от 0,5 до 1,2% марганца, до 0,37% кремния, до 0,25% хрома и до 0,25% никеля; она используется для наплавки осей, валов, опорных роликов гусениц и других подобных деталей, твердость наплавки от 160 до 310 НВ.

Легированная наплавочная проволока содержит повышенные количества углерода, марганца, кремния, хрома, никеля (в зависимости от марки и назначения проволоки); некоторые марки ее легированы вольфрамом и ванадием. Эта группа проволок применяется при наплавке осей, прокатных

валков, тяжело нагруженных колес, деталей, испытывающих ударные нагрузки и абразивный износ, штампов и др., когда требуется твердость 220—330 НВ или 32—40 HRC.

Высоколегированные проволоки кроме углерода, марганца и кремния содержат еще значительные количества хрома, никеля, вольфрама, ванадия и титана в различных сочетаниях. Высоколегированные проволоки применяют для наплавки уплотнительных поверхностей арматуры, наплавки прокатных валков, ножей и штампов для металла, деталей, работающих при высокой температуре, железнодорожных крестовин. Высоколегированные проволоки могут давать наплавку с различной степенью твердости от 180 до 280 НВ и от 32 до 52 HRC, требуемой прочности и вязкости.

Электроды для наплавки. ГОСТ 10051—75 предусматривает 44 типа наплавочных электродов, обеспечивающих твердость наплавленного слоя от 25 до 65 HRC. Этот ГОСТ устанавливает также химический состав наплавленного металла и соответствующее обозначение для электрода каждого типа, например, ЦН-5-Э-24Х12 расшифровывается так: ЦН-5—марка электрода; буквы Э—электрод наплавочный; 24Х12 обозначает содержание в наплавке в среднем 0,24% углерода, 12% хрома

Таблица 16.3

Электроды для наплавки

Тип электрода	Марка электрода	Наплавка
Э-10Г2 Э-11Г3 Э-12Г4 Э-15Г5 Э-30Г2ХМ	ОЗН-250У ОЗН-300У ОЗН-350У ОЗН-400У НР-70	Деталей, работающих в условиях интенсивных ударных нагрузок (осей, валов, автосцепок, железнодорожных крестовин и др.)
Э-16Г2ХМ Э-35Г6 Э-30В8Х3 Э-35Х12В3СФ Э-90Х4М4ВФ	ОЗШ-1 ЦН-4 ЦШ-1 Ш-16 ОЗИ-3	Штампов для горячей штамповки

Продолжение таблицы 16.3

Э-37Х9С2 Э-70Х3СМТ Э-24Х12 Э-20Х13 Э-35Х12Г2С2 Э-100Х12М Э-120Х12Г2СФ	ОЗШ-3 ЭН-60М ЦН-5 48Ж-1 НЖ-3 ЭН-Х12М Ш-1	Штампов для холодной штамповки
Э-65Х11Н3 Э-65Х25Г13Н3	ОМГ-Н ЦНИИН-4	Изношенных деталей из высокомарганцовых сталей марок 110Г13 и 110Г13Л
Э-80В18Х4Ф Э-90В10Х5Ф2 Э-105В6Х5М3Ф3 Э-10К15В7М5Х3СФ Э-10К18В11М10Х3СФ	ЦИ-1М ЦИ-2У И-1 ОЗИ-4 ОЗИ-5	Металлорежущего инструмента, а также штампов для горячей штамповки
Э-95Х7Г5С Э-30Х5В2Г2СМ	12АН/ЛИВТ ТКЗ-Н	Деталей, работающих в условиях интенсивных ударных нагрузок с абразивным изнашиванием
Э-80Х4С Э-320Х23С2ГТР Э-320Х25С2ГР Э-350Х26Г2Р2СТ	13КН/ЛИВТ Т-620 Т-590 Х-5	Деталей, работающих в условиях преимущественно абразивного изнашивания
Э-300Х28Н4С4 Э-225Х10Г10С Э-110Х14В13Ф2 Э-175Б8Х6СТ	ЦС-1 ЦН-11 ВСН-6 ЦН-16	Деталей, работающих в условиях интенсивного абразивного изнашивания с ударными нагрузками

Продолжение таблицы 16.3

Э-08Х17Н8С6Г	ЦН-6М, ЦН-6Л	Уплотнительных поверхностей арматуры для котлов, трубопроводов и нефтеаппаратуры
Э-09Х16Н9С5Г2М2ФТ	ВПИ-1	
Э-09Х31Н8АМ2	УОНИ-13/Н1-БК	
Э-13Х16Н8М5С5Г4Б	ЦН-12М, ЦН-12Л	
Э-15Х15Н10С5М3Г	ЦН-18	
Э-15Х28Н10С3Г	ЦН-19	
Э-15Х28Н10С3М2ГТ	ЦН-20	
Э-200Х29Н6Г2	ЦН-3	
Э-190К62Х29В5С2	ЦН-2	

Порошкообразные твердые сплавы. Для дуговой наплавки неплавящимся электродом износостойкого слоя на детали используют механические смеси порошков марок С-2М, ФБХ6-2, БХ и КБХ по ГОСТ 11546-75.

Сталинит (С-2М) - порошкообразный применяют для наплавки электродуговым способом быстроизнашивающихся стальных и чугунных деталей. Сталинит М изготавливают из феррохрома, ферромарганца, нефтяного кокса и чугунной стружки. Химический состав сталинита М следующий: хрома 24—26%, марганца 6—8,5%, углерода 7—10%, кремния до 3%, серы до 0,4%, фосфора до 0,3%, остальное железо. Твердость наплавки сталинитом составляет не менее 54 HRC.

Боридная смесь (БХ) содержит 50 % боридов хрома и 50% железного порошка. Дает хрупкий наплавленный слой. Применяется для наплавки деталей, работающих в условиях абразивного износа. Твердость наплавки боридной смесью составляет не менее 63 HRC.

Карбидно-боридная смесь (КБХ) содержит 5% карбида хрома; 5% бориды хрома; 30% железного порошка; 60% феррохрома. Твердость наплавки карбидно-боридной смесью составляет не менее 60 HRC.

Литые износостойкие сплавы имеют температуру плавления 1260—1300° С и представляют собой твердый раствор карбидов хрома в кобальте (стеллиты) или в никеле и железе (сормаиты). Сплавы на железной основе более хрупки, но дешевле, чем сплавы на никелевой и кобальтовой основе. Сормайт содержит 25—31% хрома, 3— 5% никеля, 2,5—3% углерода, 2,8—3,5% кремния, до 1,5% марганца, остальное железо.

Стеллиты имеют большую вязкость, коррозионную стойкость и лучшие наплавочные свойства, чем сормаиты. Литые сплавы применяют для наплавки инструмента, ножей для резки металла, штампов, конусов, загрузочных устройств доменных печей и других подобных деталей.

По ГОСТ 21448-75 выпускают порошки для износостойкой наплавки на основе железа ПГ-С27, ПГ-С1, ПГ-УС25, ПГФБХ6-2, ПГ-АН1, и – никеля ПГ-СР2, ПГ-СР3, ПГСР-4

Литые прутки для наплавки. Для наплавки износостойкого слоя используют литые прутки по ГОСТ 21449-75, которые в зависимости от химического состава подразделяются на пять марок: Пр-С27, Пр-С1, Пр-С2, Пр-ВЗК и Пр-ВЗК-Р. Прутки изготавливают с номинальными диаметрами: 4 мм при длине 300 и 350 мм, 5 и 6 мм при длине 350 и 400 мм; 8 мм при длине 450 и 500 мм.

16.3. Технология дуговой наплавки

Наплавляемая деталь не должна иметь трещин и других дефектов, уменьшающих ее прочность. Для устранения внутренних напряжений закаленные стали предварительно отжигают при 750—900° С. Наплавляемую поверхность зачищают до металлического блеска. Замасленные детали обжигают пламенем горелки или промывают горячим 10%-ным раствором каустика, а затем чистой водой.

При наплавке плоских поверхностей рекомендуется применение широких валиков, т.е. процесс ведется с колебательным движением электродов. Другой способ – укладка узких валиков на некотором расстоянии один от другого. При этом шлак удаляют после наложения нескольких валиков. После этого валики наплавляются и в промежутках. При нанесении наплавленного металла отдельными валиками каждый последующий валик должен расплавлять предыдущий на $1/3$ – $1/2$ ширины (рис. 16.7)

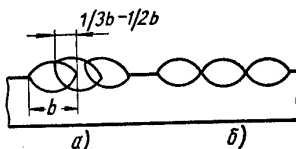


Рис. 16.7. Расположение валиков:
а – правильное, б – неправильное

Наплавку цилиндрических поверхностей выполняют винтовой линией или кольцевыми валиками (рис. 17.8.). Цилиндрическую поверхность малого диаметра целесообразно наплавлять вибродуговой сваркой.

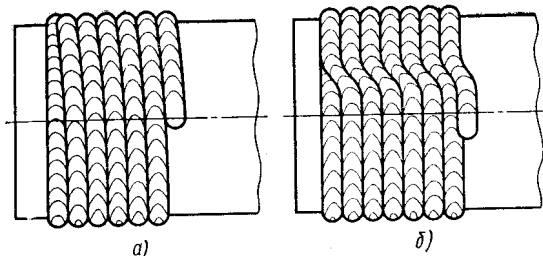


Рис. 16.8. Наплавка тел вращения:

а — по винтовой линии; б — кольцевыми валиками с прерывистым смещением на шаг.

При использовании специальных наплавочных электродов режим наплавки должен соответствовать указанному в паспорте электрода. Наплавку ведут не более чем в 3 слоя. Для восстановления первоначальных размеров детали первые несколько слоев наплавляют обычными электродами для сварки стали данной марки. Первый слой всегда содержит от 30 до 50%-основного металла и твердость его значительно ниже, чем последнего. Во избежание появления трещин кратер при наплавке металлическими электродами выводят на уже наплавленный валик.

Автоматическую наплавку порошковой проволокой производят с помощью полуавтоматов или автоматов.

Зернистые и порошковые сплавы наплавляют угольным электродом (рис. 16.9).

При наплавке образуется однородный твердый слой, проникающий в основной металл на глубину 2—3 мм. Углерод, содержащийся в сплаве, частично сгорает, образуя газы, защищающие наплавку от окисления кислородом воздуха.

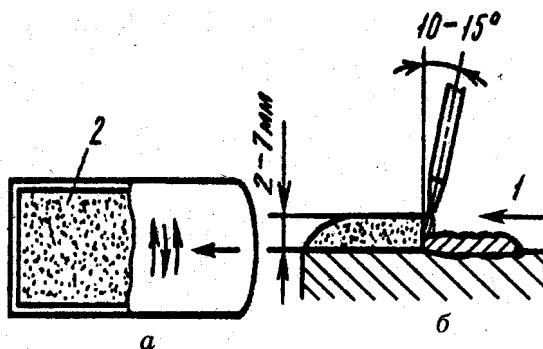


Рис. 16.9. Положение угольного электрода в процессе наплавки порошкообразных твердых сплавов:

а – перемещение электрода; б – вид сбоку

1 – общее направление сварки, 2 – слой шихты

Наплавку лучше производить на постоянном токе, так как в этом случае она получается более плотной. Режимы наплавки приведены в табл. 16.4.

Таблица 16.4

Режимы наплавки зернистыми и порошкообразными твердыми сплавами

Сплав	Толщина металла, мм	Диаметр электрода, мм	Длина дуги, мм	Ток, А	
				постоянный	переменный
С-2М	3 – 5	8 – 10	4 – 8	80 – 100	90 – 120
	6 – 15	10 – 12	4 – 8	120 – 140	140 – 160
	свыше 15	16 – 20	4 – 8	160 – 200	180 – 230

При наплавке сталинитом рекомендуется в ванну добавлять в качестве флюса 2—5% прокаленной буры. Для предохранения краев детали от оплавления и получения чистой, ровной кромки место наплавки обкладывают пластинками из графита. По окончании наплавки пластинки убирают. Отверстия в детали, не подлежащие заплавке, забивают чистым влажным кварцевым песком.

Для предупреждения коробления детали наплавку производят участками, предварительно нагревая деталь до 600—

650°С или увеличивая отвод тепла от детали применением массивных медных подкладок и охлаждением водой.

Зернистые и порошковые сплавы насыпают на поверхность детали слоем, несколько большим, чем требуемая толщина наплавки. После расплавления высота слоя составляет: для сталинита 35—40%, и боридной смеси 20—30% от толщины первоначально насыпанного слоя. Насыпанный слой слегка утрамбовывают и выравнивают шаблоном. Сталинит насыпают полоской шириной до 60 мм. Наплавка ведут, не прерывая горения дуги. Электрод передвигают с одного края наплавки на другой в направлении от себя. Так как сплав имеет высокое электросопротивление, конец электрода должен быть направлен не на поверхность насыпанного слоя, а в его торец.

За один проход наплавляется слой толщиной не более 1,5 мм. Наплавку можно вести в несколько слоев, с тщательной зачисткой каждого предыдущего слоя. Общая толщина наплавки не должна превышать 5—6 мм для сталинита и 1,4 - 1,7 мм для боридной смеси. Для деталей, испытывающих ударной нагрузки, толщина наплавки сталинитом должна составлять 1,5 - 2,5 мм. Наплавленный слой должен быть на 1—2 мм шире рабочей поверхности детали.

Порошкообразные сплавы можно наплавлять и металлическими электродами типа Э-42. При этом улучшается формирование наплавленного слоя, уменьшается образование трещин, но снижается твердость наплавки вследствие разбавления твердого сплава металлом электродной проволоки.

После наплавки деталь охлаждают; если требуется механическая Обработка, деталь подвергают отжигу. После обработки и восстановления размеров наплавленный слой подвергают закалке и отпуску на заданную твердость. Наплавку, не подвергаемую термической обработке, зачищают абразивными кругами или используют без обработки (зубья ковшей экскаваторов, щеки камнедробилок и др.).

Контрольные вопросы:

1. Что называется наплавкой?
2. Для каких целей используют наплавку?
3. Какие способы наплавки вам известны?
4. Что понимают под производительностью наплавки?
5. Какие виды материалов применяют для наплавки?

Лекция № 17. Технология резки

План:

- 17.1. Дуговые способы резки
- 17.2. Плазменная резка
- 17.3. Лазерная резка
- 17.4. Подводно-дуговая резка

17.1. Дуговые способы резки

Дуговая резка электродами. Дуговая резка металлов выполняется металлическим плавящимся электродом (применяется редко), угольным электродом и неплавящимся вольфрамовым электродом в защитной среде аргона.

Дуговая резка металлическим плавящимся электродом основана на проплавлении сварочной дугой разрезаемого металла, мощность которой на 30—40% больше, чем при сварке. Резку можно вести обычными толстопокрытыми электродами (рис. 17.1.). Лучшие результаты обеспечиваются при наличии в покрытии электрода кислородсодержащих добавок.

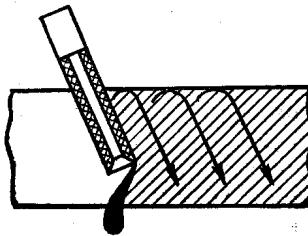


Рис. 17.1. Схема дуговой резки металлическим плавящимся электродом

Дуговая резка угольным или графитовым электродом осуществляется за счет выплавления металла вдоль линии его раздела. Этот способ резки применяют при обработке чугуна, цветных металлов, а также стали в тех случаях, когда не требуется соблюдения точных размеров, а ширина и чистота реза не имеют значения. Резку выполняют сверху вниз при соблюдении некоторого угла наклона оплавляемой поверхности к горизонтальной плоскости, что облегчает вытекание металла. Резку ведут переменным или постоянным током.

Дуговая резка неплавящимся вольфрамовым электродом в защитной среде аргона применяется весьма ограниченно и только при обработке легированных сталей или цветных металлов. Сущность этого способа резки заключается в том, что при повышенном на 20—30% токе, чем при сварке, проплавляют разрезаемый металл.

Кислородно-дуговая резка. При кислородно-дуговой резке металл вначале теплом электрической дуги подогревается до температуры воспламенения в кислороде, а затем сгорает в струе чистого кислорода, подаваемого в полость реза (рис. 17.2).

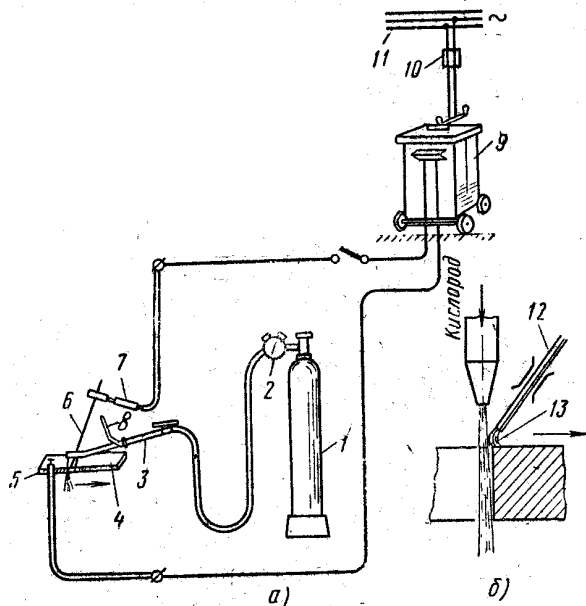


Рис. 17.2. Схема ручной кислородно-дуговой резки:

а — схема установки, б — схема расположения электрода и режущего сопла: 1 — баллон с кислородом, 2 — редуктор, 3 — резак, 4 — разрезаемый металл, 5 — контакт, 6 — электрод, 7 — электрододержатель, 8 — щиток, 9 — трансформатор сварочный, 10 — сетевой рубильник, 11 — сеть, 12 — электрод, 13 — дуга

Воздушно-дуговая резка. При воздушно-дуговой резке металл расплавляется дугой, горящей между изделием и угольным электродом, а удаляется струёй сжатого воздуха (рис. 17.3.).

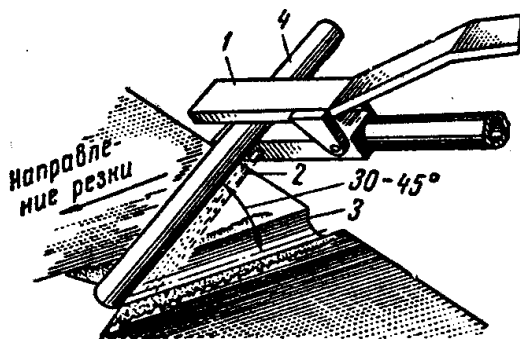


Рис. 17.3. Схема процесса воздушно-дуговой резки:

1 — резак, 2 — воздушная струя, 3 — канавка, 4 — электрод

Воздушно-дуговую резку металлов выполняют постоянным током обратной полярности, так как при прямой полярности металл нагревается на сравнительно широком участке, вследствие чего удаление расплавляемого металла затруднено. Возможно применение и переменного тока. Для воздушно-дуговой резки применяют резаки. В таких резаках соосно с угольным или графитизированным электродом перемещается струя сжатого воздуха, удаляющая расплавленный металл из полости реза.

Для воздушно-дуговой резки применяют угольные или графитизированные электроды; последние более стойки, чем угольные. По форме электроды бывают круглыми и пластинчатыми.

Величину тока при воздушно-дуговой резке определяют по следующей зависимости:

$$I = K \cdot d$$

где I — ток, А;

d — диаметр электрода, мм;

K — коэффициент, зависящий от теплофизических свойств материала электрода; для угольных электродов он равен 46—48 А/мм, для графитовых — 60—62 А/мм.

В качестве источников питания для воздушно-дуговой резки используются стандартные сварочные преобразователи постоянного тока или сварочные трансформаторы.

Питание резака сжатым воздухом осуществляется от цеховой сети, имеющей давление 0,4—0,6 МПа, либо от передвижного компрессора. Использование сжатого воздуха при воздушно-дуговой резке с давлением выше 0,7 МПа нецелесообразно, так как при этом сильная воздушная струя снижает устойчивость горения дуги.

Воздушно-дуговую резку разделяют на поверхностную строжку и разделительную резку. Строжку применяют для разделки дефектных мест в отливках и сварных швах, выплавки корня шва и для снятия фасок под сварку (фаски можно снимать одновременно на обеих кромках листа). Ширина канавки, образующаяся при поверхностной строжке, на 2—3 мм превышает диаметр электрода.

Положение резака при разделительной и поверхностной резке показано на рис. 17.4.

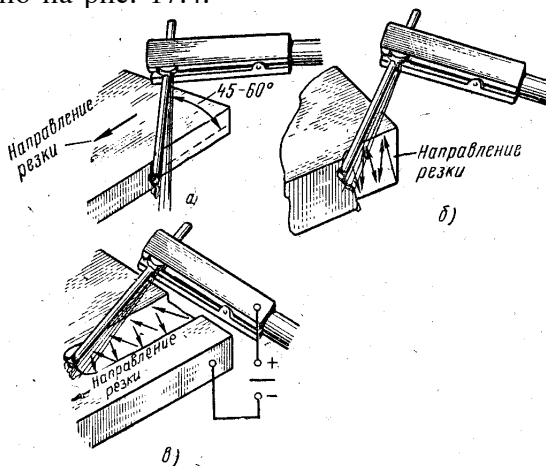


Рис. 17.4. Положение резака при воздушно-дуговой резке:
а – резка металла толщиной до 20 мм, б – резка металла более 20 мм, в – выплавка широких канавок

Расстояние от губок до нижнего конца (вылет) электрода не должно превышать 100 мм. По мере обгорания электрод выдвигают из губок вниз. Поверхность металла в месте разреза получается ровной и гладкой.

Воздушно-дуговую разделительную резку применяют для обработки нержавеющей стали и цветных металлов.

17.2. Плазменная резка

Плазма — это четвертое агрегатное состояние вещества, представляющего собой ионизированный газ, состоящий из положительно и отрицательно заряженных частиц в таких пропорциях, что общий заряд равен нулю.

Температура плазмы, являющейся хорошим электрическим проводником, может достигать очень больших значений, намного превышающих температуру обычной сварочной дуги.

Сущность плазменно-дуговой резки состоит в проплавлении металла мощным источником тепла, локализованным на малом участке поверхности разрезаемого металла с последующим удалением расплавленного металла из зоны реза высокоскоростным газовым потоком. Температура плазменной дуги достигает $15\,000^{\circ}\text{C}$ и выше.

В зависимости от применяемой электрической схемы резка металлов может выполняться плазменной дугой прямого действия (рис. 17.5) и косвенного действия (рис. 17.6).

Резка плазменной дугой прямого действия применяется для обработки металла большой толщины, плазменная дуга косвенного действия — для обработки тонкого металла.

Для образования плазмы в зону электрической дуги подается двухатомный плазмообразующий газ: ионизируясь, этот газ преобразует подводимую электрическую энергию в тепловую. Желательно, чтобы газ имел высокий потенциал ионизации. Такими газами являются аргон, азот, водород, гелий, воздух и их смеси.

Положительными свойствами процесса плазменной резки являются: высокая скорость резки; малая зона теплового влияния на металл; отсутствие заметного коробления листов при резке; возможность сварки листов непосредственно после резки; сравнительная легкость механизации процесса резки. Наиболее экономична резка алюминия и его сплавов, меди и высоколегированных сталей (нержавеющих).

Схема процесса *резки плазменной дугой прямого действия* приведена на рис. 17.5. Электрическая дуга 7 постоянного тока образуется между неплавящимся вольфрамовым электродом 5 и разрезаемым металлом 1. Электрод расположен внутри медного охлаждаемого водой мундштука 6, в канал которого подается под давлением плазмообразующий газ: аргон, азот, водород или

их смеси, воздух. Струя газа сжимает столб дуги, придавая ей вытянутую форму.

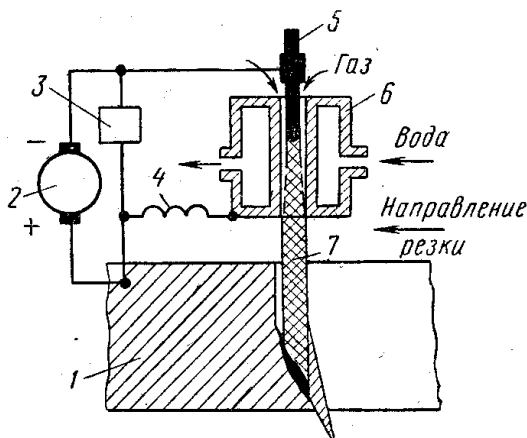


Рис. 17.5. Схема процесса резки плазменной дугой прямого действия:

1 — металл; 2 — источник питания; 3 — осциллятор; 4 — добавочное сопротивление; 5 — электрод; 6 — мундштук; 7 — столб дуги.

Для возбуждения дуги, горящей между электродом и металлом, используется вспомогательная (дежурная) дуга между электродом 5 и мундштуком 6. Постоянный ток от источника подводится: минус — к вольфрамовому электроду, плюс — к разрезаемому металлу. Ток, обеспечивающий горение вспомогательной дуги, от сварочного генератора 2 к мундштуку 6 подводится через добавочное сопротивление 4. Для облегчения зажигания дуги и повышения устойчивости ее горения используется осциллятор 3.

Схема процесса резки плазменной дугой косвенного действия приведена на рис. 17.6.

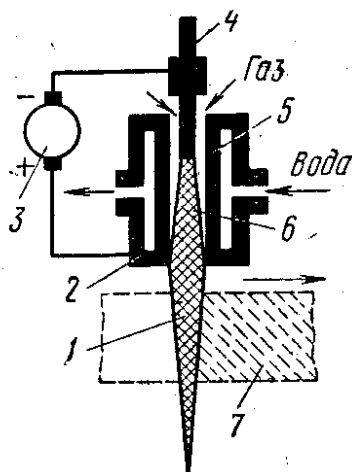


Рис. 17.6. Схема процесса резки плазменной дугой косвенного действия.

Постоянный ток от источника 3 подводится: минус—к вольфрамовому электроду 4, конец которого заточен на конус, плюс— к формирующему дугу 6 медному соплу 2. Под действием потока газа (аргона, азота, водорода или их смесей), продуваемого через мундштук 5, образуется кинжалообразный язык плазмы 1, используемой для проплавления разрезаемого материала 7. Мундштук 5 и совмещенное с ним сопло 2 охлаждаются водой.

Установка для резки (рис. 17.7) состоит из баллона 1 с рабочим газом, источника постоянного тока 2, распределительного устройства 3 с аппаратурой управления процессом и резака 4.

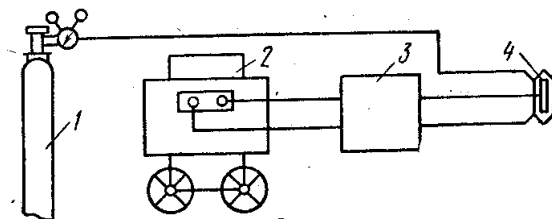


Рис. 17.7. Схема установки для резки плазменной дугой косвенного действия.

17.3. Лазерная резка

Сфокусированное лазерное излучение, обеспечивая высокую концентрацию энергии, позволяет разрезать любые металлы и сплавы независимо от их теплофизических свойств. При резке детали не деформируются, так как окрестности реза практически не нагреваются. Поэтому с высокой точностью можно вырезать легкодеформируемые и нежесткие детали. Рез получается узким с зоной термического влияния меньшей, чем при любых других способах резки. Процесс резки высокопроизводителен, например, тонколистовые стали можно резать со скоростью 1,2 м/мин с высоким качеством поверхности реза. Управление процессом резки осуществляется легко, что позволяет вырезать по сложному контуру плоские и объемные детали. Процесс легко автоматизируется. Недостаток лазерной резки - сравнительно высокая стоимость лазерных установок. Поэтому применять лазерную резку экономически выгодно только в тех случаях, когда использование остальных способов трудоемко или вообще невозможно.

Для резки металлов применяют лазерные установки на основе твердотельных или газовых лазеров, работающих как в импульсном, так и в непрерывном режимах.

При воздействии лазерного излучения на металл возможны два механизма резки: плавлением и испарением. Последний механизм требует больших затрат энергии. Поэтому на практике резку производят плавлением. Чтобы расплавленный металл не заполнял образующийся канал реза за счет действия капиллярных сил и поверхностного натяжения, в зону резки подают струю газа. Это может быть инертный газ, но чаще применяют воздух и даже кислород. Такой процесс называют газолазерной резкой (рис. 17.7).

Струя газа, проникая в полость образующегося реза, выдувает из него жидкий металл. Кроме того, при резке сталей с использованием воздуха или кислорода металл окисляется, выделяется дополнительная теплота, процесс резки ускоряется.

Для гибкого управления количеством энергии, приходящейся на единицу длины реза (погонной энергии) применяют импульсно-периодические лазеры, в которых можно менять длительность импульсов излучения и паузы между ними. Это позволяет управлять формой реза при точной вырезке деталей сплошного контура, не допуская местных перегревов.

Параметры режима газолазерной резки: частота излучения, длительность импульса, мощность излучения и расход газа.

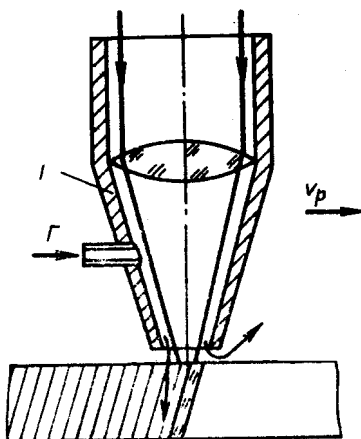


Рис. 17.7. Схема процесса газолазерной резки:
1 – резак; Г- газ; v_p – скорость резки.

17.4. Подводно-дуговая резка

В жидких средах, в том числе и в воде, можно также под водой получить достаточно устойчивый дуговой разряд, который, образуя высокую температуру и имея большую удельную тепловую мощность, испаряет и разлагает окружающую жидкость. Образующиеся при таком дуговом разряде пары и газы создают вокруг сварочной дуги газовую защиту в форме газового пузыря, т. е. в сущности дуга горит не в воде, а в газовой среде. Газ состоит в основном из водорода, образующегося при термической диссоциации водяного пара, а образующийся при диссоциации кислород окисляет материал электродов — происходит резка.

Устойчивый дуговой разряд при использовании обычных источников питания сварочной дуги может быть получен при применении угольных или металлических электродов.

Металлические электроды, применяемые для резки под водой, должны иметь толстое водонепроницаемое (изолирующее) покрытие. Вследствие того, что покрытие такого электрода, охлаждаемое снаружи водой, плавится медленнее стержня электрода, на конце электрода образуется «козырек»,

выступающий вперед в форме небольшой чашечки и способствующий устойчивому существованию газового пузыря и дуги.

Отсутствие водонепроницаемой оболочки приводит к тому, что влага, попавшая в покрытие, при испарении в зоне, непосредственно примыкающей к дуге, разрушает покрытие, «откалывает» его кусками со стержня. Водонепроницаемость достигается в основном пропиткой покрытия парафином. В качестве покрытия применяют состав из смеси железного сурика (80%) и мела (20%) с добавлением для их связывания жидкого натриевого стекла (30% к весу шихты), имеющего плотность 1,4. Нанесение покрытия производят окунанием. Электродным стержнем служит сварочная проволока Св-08 или Св-08ГС. Величина тока подбирается из расчета 60—70 А на 1 мм диаметра электрода. Напряжение дуги под водой несколько больше, чем на воздухе.

Контрольные вопросы:

1. Какие способы резки электродом существуют?
2. Какова сущность способа дуговой резки?
3. Где применяется дуговая резка неплавящимся электродом?
4. В чем сущность кислородно-дуговой резки?
5. Какова сущность воздушно-дуговой резки?
6. Каковы области применения процесса воздушно-дуговой резки?
7. Что называется плазмой?
8. Какова сущность плазменно-дуговой резки?
9. Какие газы используются в качестве плазмообразующих?
10. В чем сущность подводной дуговой резки?
11. Какие электроды применяются при дуговой подводной резке?

Лекция № 18.

Технология сварки сталей

План:

- 18.1. Классификация сталей
- 18.2. Свариваемость стали
- 18.3. Технология сварки углеродистых сталей
- 18.4. Технология сварки низко- и среднелегированных сталей
- 18.5. Технология сварки высоколегированных сталей

18.1. Классификация сталей

В зависимости от химического состава сталь бывает углеродистая и легированная.

Углеродистая сталь делится на низкоуглеродистую (содержание углерода до 0,25%), среднеуглеродистую (содержание углерода от 0,25 до 0,45%) и высокоуглеродистую (содержание углерода от 0,45 до 2,14%). Сталь, в составе которой, кроме углерода, имеются легирующие компоненты (хром, никель, вольфрам, ванадий и т. д.), называется легированной.

Легированные стали бывают: низколегированные (суммарное содержание легирующих компонентов, кроме углерода, менее 2,5%); среднелегированные (суммарное содержание легирующих компонентов, кроме углерода, от 2,5 до 10%); высоколегированные (суммарное содержание легирующих компонентов, кроме углерода, более 10%).

По микроструктуре различают стали перлитного, мартенситного, аустенитного, ферритного и карбидного классов.

По способу производства сталь может быть:

а) обыкновенного качества (содержание углерода до 0,45%) кипящая, полуспокойная и спокойная. Кипящую сталь получают при неполном раскислении металла кремнием, она содержит до 0,05% кремния. Спокойная сталь имеет однородное плотное строение и содержит не менее 0,12% кремния. Полуспокойная сталь занимает промежуточное положение между кипящей и спокойной сталями и содержит 0,05—0,12% кремния;

б) качественной — углеродистой или легированной, в которых содержание серы и фосфора не должно превышать по 0,04% каждого;

в) высококачественной—углеродистой или легированной, в которых содержание серы и фосфора не должно превышать соответственно 0,030 и 0,035%. Такая сталь также имеет повышенную чистоту по неметаллическим включениям и обозначается буквой А, помещаемой после обозначения марки.

По назначению стали бывают конструкционные (машиностроительные), инструментальные, строительные и стали с особыми физическими свойствами.

18.2. Свариваемость стали

Под свариваемостью понимается способность стали данного химического состава давать при сварке тем или иным способом высококачественное сварное соединение без трещин, пор и прочих дефектов. От химического состава стали зависит ее структура и физические свойства, которые могут изменяться под влиянием нагрева и охлаждения металла при сварке. На свариваемость стали влияет содержание в ней углерода и легирующих элементов. Для предварительного суждения о свариваемости стали известного химического состава можно подсчитывать эквивалентное содержание углерода, пользуясь формулой:

$$C_{\text{экв}} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + V}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{Ni}{15} + \frac{Cu}{13} + \frac{P}{2}$$

По признаку свариваемости все стали можно условно разделить на четыре группы:

1. Хорошо сваривающиеся, у которых $C_{\text{экв}}$ не более 0,25. Эти стали не дают трещин при сварке обычным способом, т. е. без предварительного и сопутствующего подогрева и последующей термообработки.

2. Удовлетворительно сваривающиеся, у которых $C_{\text{экв}}$ в пределах 0,25—0,35; они допускают сварку без появления трещин, только в нормальных производственных условиях, т. е. при окружающей температуре выше 0°C, отсутствии ветра и пр.

К этой же группе относят стали, нуждающиеся в предварительном подогреве или предварительной и последующей термообработке для предупреждения образования трещин при сварке в условиях, отличающихся от нормальных (при температуре ниже 0°C, ветре и др).

3. Ограниченно сваривающиеся, у которых $C_{\text{экв}}$ в пределах 0,35—0,45; они склонны к образованию трещин при сварке в обычных условиях. При сварке таких сталей необходима предварительная термообработка и подогрев. Большинство сталей этой группы подвергают термообработке и после сварки.

4. Плохо сваривающиеся, у которых $C_{\text{экв}}$ выше 0,45; такие стали склонны к образованию трещин при сварке. Их можно соединять только с предварительной термообработкой, подогревом в процессе сварки и последующей термообработкой.

Предварительный подогрев замедляет охлаждение и предохраняет от появления холодных трещин при сварке.

Свариваемость стали определяют также различными пробами. С помощью проб устанавливают, не появляется ли при сварке данной стали хрупких структур в металле шва и околошовной зоне, способствующих образованию трещин.

Наиболее простой является технологическая проба, при которой к листу из испытуемой стали приваривают втавр односторонним угловым швом прямоугольную пластину (рис. 18.1).

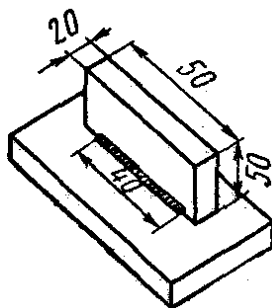


Рис. 18.1. Образец для испытания стали на свариваемость

После остывания на спокойном воздухе пластину сбивают молотком, разрушая шов со стороны его вершины. Если будут обнаружены следы ранее образовавшихся трещин или разрушений в виде вырывов основного металла вблизи шва, то сталь является ограниченно сваривающейся и требует предварительного подогрева и последующей термообработки.

18.3. Технология сварки углеродистых сталей

Для углеродистой стали обыкновенного качества по ГОСТ 380-94 установлены следующие марки: Ст0, Ст1, Ст2, Ст3, Ст4, Ст5, Ст6.

Качественные углеродистые конструкционные стали применяют для изготовления ответственных сварных конструкций. Они выпускаются по ГОСТ 1050—74, который гарантирует механические свойства и химический состав. Качественные углеродистые стали маркируются цифрами, обозначающими среднее содержание углерода в сотых долях процента. Например, Сталь 05 означает, что сталь содержит углерода 0,05%.

Сварка низкоуглеродистых сталей. Такие стали имеют хорошую свариваемость. При выборе типа и марки электрода для сварки низкоуглеродистых сталей руководствуются следующими требованиями:

- обеспечение равнопрочности сварного соединения с основным металлом;
- получение сварных швов без дефектов;
- обеспечение требуемого химического состава металла шва;
- получение стойкости сварных соединений в условиях вибрационных и ударных нагрузок, а также при повышенных или пониженных температурах.

Для сварки низкоуглеродистых сталей применяют электроды марок АНО-6, СМ-5, ОЗС-3, ОЗС-6, ОМА-2 и др.

Сварка среднеуглеродистых сталей. Такие стали имеют повышенное содержание углерода, который является причиной образования кристаллизационных трещин при сварке, а также малопластичных закалочных структур и трещин в околошовной зоне. Поэтому для повышения стойкости металла шва против образования кристаллизационных трещин следует понизить количество углерода в металле шва. Это достигается применением электродов с пониженным содержанием углерода, а также уменьшением доли участия основного металла в металле шва.

Чтобы снизить вероятность появления закалочных структур, необходимо применять предварительный и сопутствующий подогрев изделия. Надежным способом достижения равнопрочности сварного соединения при низком процентном

содержании углерода является дополнительное легирование металла шва марганцем и кремнием.

Среднеуглеродистые стали свариваются электродами УОНИ-13/45, МР-3, УП-1/45, УП-2/45, ОЗС-2, УОНИ-13/55 и др.

Сварка высокоуглеродистых сталей. Из высокоуглеродистых сталей ($C > 0,45\%$), как правило, не изготавливают сварные конструкции. Необходимость их сварки может возникнуть при ремонтных работах, наплавке. В этом случае применяют те же приемы сварки и наплавки, что и для других плохосваривающихся сталей (предварительная и последующая термообработка, предварительный и сопутствующий подогрев, соответствующие марки электродов и режимы сварки).

18.4 Технология сварки низко- и среднелегированных сталей

Свариваемость таких сталей зависит от содержания углерода и легирующих компонентов и ухудшается с ростом содержания углерода и легирующих компонентов. Эти стали являются более чувствительными к тепловым воздействиям при сварке. Электроды и другие сварочные материалы подбираются с расчетом, чтобы содержание углерода, фосфора, серы и других вредных элементов в них было ниже, чем при сварке низкоуглеродистых конструкционных сталей. Это делается для повышения стойкости металла шва против кристаллизационных трещин, т.к. низколегированные стали склонны к их образованию.

При дуговой сварке низколегированных сталей применяют следующие режимы (табл. 18.1).

Таблица 18.1

Режимы дуговой сварки низколегированных сталей в нижнем положении

Толщина металла, мм	1-2			2-5			5-10			Свыше 10	
Диаметр стержня электрода, мм	1,6	2,0	2,5	2,5	3,0	4,0	4,0	5,0	6,0	5,0	6,0
Ток, А	35-45	45-65	65-85	65-85	80-100	130-150	130-150	170-200	210-240	170-200	210-240

При выполнении вертикальных и потолочных швов ток уменьшают на 10—20% и применяют электроды диаметром не более 4 мм.

Для уменьшения скорости охлаждения металла шва следует применять стыковые соединения, так как при тавровых и нахлесточных соединениях скорость охлаждения выше. Рекомендуется избегать соединений, имеющих швы замкнутого (жесткого контура), если же необходимы такие соединения, то их сваривают короткими участками, обеспечивая подогрев и замедленное охлаждение.

Сварку стыковых соединений металла толщиной до 6 мм и валиковых швов с катетом до 7 мм выполняют в один слой (однопроходную), что уменьшает скорость охлаждения. Более толстый металл сваривают в несколько слоев длинными участками. Каждый слой должен иметь толщину 0,8—1,2 диаметра электрода. Для металла толщиной до 40—45 мм применяют многослойную сварку способом «горки» или «каскада». Длину участков (300—350 мм) выбирают с таким расчетом, чтобы предыдущий слой не успевал охладиться ниже 200° С при наложении следующего слоя.

Если сталь склонна к закалке перед выполнением первого шва применяют местный подогрев горелкой или индуктором до 200—250° С. Предварительный подогрев и последующий отпуск необходимы, если твердость в зоне влияния после сварки составляет 250 НВ и выше.

Сварку конструкционных низкоуглеродистых сталей производят электродами с основными покрытиями марок УОНИ-13/45; УОНИ-13/55; УОНИ-13/85; ОЗС-2; ДСК-50, ЦЛ-18; НИАТ-5 и другими, дающими более плотный и вязкий наплавленный металл, менее склонный к старению. Электроды с кислыми покрытиями применять при сварке ответственных конструкций из низколегированных сталей не рекомендуется.

Низколегированные конструкционные стали лучше сваривать электродами типа Э42А, так как металл шва получает дополнительное легирование за счет элементов расплавленного основного металла и временное сопротивление его повышается до 500 МПа; при этом металл шва сохраняет высокую пластичность. Сварка электродами типа Э60А дает более прочный, но менее

пластичный металл шва вследствие более высокого содержания в нем углерода.

Кремнемарганцемедистые стали 10Г2СД, 10ХГСНД, 15ХСНД и 12ХГ сваривают электродами типа Э50А марки УОНИ-13/55. Изделие перед сваркой не подогревают.

Хромистая сталь 15Х сваривается электродами УОНИ-13/85 предельно короткой дугой без подогрева и последующей термической обработки.

Хромокремнемарганцевые стали 20ХГСА, 25ХГСА, 30ХГСА, 30ХГСНА свариваются электродами ЦЛ-18-63 или НИАТ-3М предельно короткой дугой. После сварки сварные соединения подвергаются термической обработке на высокую прочность: закалка с температурой 880° С и низкий отпуск.

Теплоустойчивые стали. Из теплоустойчивых сталей изготавливаются изделия, работающие при температурах, не превышающих 600 °С (для более высоких температур изделия производят из жаростойкой и жаропрочной сталей). К теплоустойчивым сталям относятся 12МХ; 20МХЛ; 34ХМ; 20Х3МВФ; 20ХМФ; 20ХМФЛ; 12Х1М1Ф; 15ХМФКР; 12Х2МФБ; Х5М; 15Х5МФА и другие.

Эти стали удовлетворительно свариваются, но склонны к образованию мелких трещин около шва в переходной зоне при нарушении технологического режима сварки. Кроме того, они требуют точной сборки кромок под сварку. Зазор по всей длине шва должен быть одинаков и составлять при толщине металла до 5 мм —0,5 мм; при толщине 5—15 мм— 1,5 мм; при толщине более 15 мм—4—6 мм.

Технология сварки любой марки теплоустойчивой стали предусматривает предварительный (или сопутствующий) местный (или общий) подогрев свариваемого изделия для обеспечения однородности металла шва с основным металлом.

Дополнительный нагрев изделия производится для устранения закалки металла. При сварке без такого нагрева в металле шва и околошовной зоне образуются карбиды молибдена и хрома, которые вызывают хрупкость сварного соединения.

Однородность металла шва с основным металлом необходима для устранения диффузионных явлений, которые будут возникать при высокой температуре во время эксплуатации сварного изделия.

Необходимо полностью и тщательно проваривать корень шва, для чего первый слой сваривается электродом диаметром 3 мм. Применяется электродная проволока той же марки, что и свариваемая сталь. При сварке используют электроды с основным покрытием.

Изделия из сталей 12МХ и 20МХЛ, работающие при температуре до 550° С, сваривают с предварительным подогревом изделия до 250—300° С для стали 20МХЛ и до 200° С—для стали 12МХ. После сварки рекомендуется высокий отпуск при температуре 710° С.

Изделия из сталей 34ХМ и 20ХЗМВФ, работающие при температуре до 470°С, сваривают с предварительным и сопутствующим подогревом изделия до 350° С для стали 34ХМ и до 400—450° С—для стали 20ХЗМВФ. Сварные соединения подвергаются отпуску: сталь 34ХМ — при температуре 600° С, сталь 20ХЗМВФ—при температуре 680° С.

Изделия из сталей 20ХМФ, 20ХМФЛ, 12Х1М1Ф, работающие при температуре до 570° С, сваривают короткой дугой с предварительным и сопутствующим подогревом изделия до 300—350° С. После сварки рекомендуется высокий отпуск при 700—740° С в течение 3 ч.

Изделия из сталей 15ХМФКР и 12Х2МФБ, работающие при температуре до 600° С, сваривают короткой дугой с предварительным и сопутствующим подогревом до температуры 350—400° С, а после сварки выполняют высокий отпуск при температуре 740—760° С.

Изделия из сталей Х5М и 15Х5МФА, работающие в агрессивных средах при температуре до 450° С, сваривают с предварительным и сопутствующим подогревом до 300—450°С и последующим высоким отпуском после сварки при температуре 760°С в течение 3 ч.

18.5. Технология сварки высоколегированных сталей

К сварным соединениям высоколегированных сталей и сплавов, кроме требований по пределу прочности, а также пластичности, предъявляются и другие требования, которые определяются назначением конструкции и свойствами свариваемого металла. Эти требования следующие:

- для коррозионностойких (нержавеющих) сталей — возможность противостоять межкристаллитной и коррозии под напряжением;

- для жаростойких сталей и сплавов—способность противостоять окислению и межкристаллитной газовой коррозии;

- для жаропрочных сталей и сплавов—обеспечение длительной прочности, сопротивляемости ползучести, стабильности и микроструктуры, стойкости против хрупкости при длительном воздействии высоких температур и нагрузок и окислостойкости.

Основными трудностями при сварке высоколегированных сталей и сплавов являются: обеспечение стойкости сварных соединений против образования кристаллизационных трещин, коррозионной стойкости, а также сохранение свойств соединений под действием рабочих температур и напряжений.

По сравнению с низкоуглеродистыми сталями большинство высоколегированных сталей и сплавов обладают пониженным (в 1,5—2 раза) коэффициентом теплопроводности и увеличенным (в 1,5 раза) коэффициентом линейного расширения. Низкий коэффициент теплопроводности приводит при сварке к концентрации теплоты и вследствие этого к увеличению проплавления металла изделия. Поэтому для получения заданной глубины проплавления следует снижать величину сварочного тока на 10—20%. Увеличенный коэффициент линейного расширения приводит при сварке к большим деформациям сварных изделий, а в случае значительной их жесткости (относительно крупные изделия, повышенная толщина металла, отсутствие зазора между свариваемыми деталями, жесткое закрепление изделия при сварке) — к образованию трещин в сварном изделии.

Высоколегированные стали и сплавы более склонны к образованию трещин, чем низкоуглеродистые. Горячие трещины появляются большей частью в аустенитных сталях, холодные — в закаляющихся сталях мартенситного и мартенситно-ферритного классов. Кроме того, коррозионностойкие стали, не содержащие титана или ниобия или легированные ванадием, при нагревании выше 500 °С теряют антикоррозионные свойства по причине выпадения из твердого раствора карбидов хрома и железа, которые становятся центрами коррозии и коррозионного растрескивания. Термической обработкой (чаще закалкой) можно

восстановить антикоррозионные свойства сварных изделий. Нагревом до 850 °С ранее выпавшие из раствора карбиды хрома вновь растворяются в аустените, а при быстром охлаждении они не выделяются в отдельную фазу. Такой вид термообработки называют стабилизацией. Однако стабилизация приводит к снижению пластичности и вязкости стали.

Получение высокой пластичности, вязкости и одновременно антикоррозионности сварных соединений возможно нагревом металла до температуры 1000—1150 °С и быстрым охлаждением в воде (закалка).

Пути предотвращения трещин при сварке высоколегированных сталей: создание в металле шва двухфазной структуры (аустенит и феррит); ограничение в шве содержания вредных примесей (серы, фосфора, свинца, сурьмы, олова, висмута) и введение в металл таких элементов, как молибден, марганец, вольфрам; применение электродных покрытий основного и смешанного видов; создание изделию менее жесткого состояния при сварке.

С увеличением жесткости изделия при выполнении шва аустенитной стали необходимо увеличивать в металле шва содержание феррита от 2 до 10%. В этом случае пластичность металла шва по сравнению с аустенитным повышается и усадка (даже при жестком состоянии сварного изделия) происходит без образования трещин.

Применение электродов с основным или со смешанным покрытием, но с легированием металла шва молибденом, марганцем и вольфрамом придает металлу шва мелкозернистое строение. В этом случае пластические свойства металла возрастают и при усадке металла шва (и околошовного металла) горячие трещины в нем не возникают.

Для получения сварных соединений без трещин рекомендуется свариваемые детали собирать с зазором и по возможности применять швы с низким проваром (коэффициент формы провара должен быть менее 2). Швы лучше выполнять тонкими электродами диаметром 1,6-2,0 мм при минимальной погонной энергии.

Сварные соединения со структурой неоднородностью как после сварки, так и после термической обработки обладают меньшей прочностью по сравнению с прочностью основного металла. Кроме того, в сварных соединениях, работающих при

высоких температурах, наблюдается диффузия между металлом шва и основным металлом, что приводит к появлению холодных трещин в околошовной зоне и в зоне сплавления. Поэтому выбор типа электрода при дуговой сварке различных марок высоколегированных сталей и сплавов должен быть строго обоснован.

Подогрев (общий или местный) до температуры 100—300 °С рекомендуется при сварке высоколегированных сталей и сплавов в зависимости от характера микроструктуры основного металла, содержания углерода, толщины и жесткости изделия. Для мартенситных сталей и сплавов подогрев изделия обязателен; для аустенитных сталей он применяется редко. Подогрев способствует более равномерному распределению температур по изделию в процессе сварки и охлаждению с меньшими скоростями, в результате чего не образуется концентрация усадочных деформаций в сварном соединении и трещины не возникают.

Перегрев (укрупнение зерен) металла шва и околошовного металла при сварке высоколегированных сталей и сплавов зависит от химического состава и микроструктуры, температуры нагрева и длительности пребывания металла при высокой температуре. Обычно при сварке больше перегреваются однофазные ферритные стали.

Высоколегированные стали, содержащие углерода более 0,12% (17X18H9, 31X19H9MBT, 36X18H25C2 и др.), свариваются с предварительным подогревом до 300 °С и выше с последующей термической обработкой сварных изделий.

Коррозионностойкие стали. К коррозионностойким сталям относятся 0X18H10, 0X18H10T, X18H10T, X18H9, X18H9T, 0X18H12T, 0X18H12B, 1X21H5T, 1X16H13B, X18H12T и другие.

Стали 0X18H10T, 0X18H10 и X18H10T сваривают электродами ОЗЛ-14, если к металлу шва предъявляются требования стойкости против межкристаллитной коррозии. Сварка этими электродами обеспечивает в сварном шве содержание ферритной фазы 6—10%.

Стали X18H9, X18H9T сваривают электродами ОЗЛ-8, если к металлу шва не предъявляются требования стойкости против межкристаллитной коррозии или если сварное соединение будет эксплуатироваться при температуре до 350° С (при отсутствии агрессивных сред - при температуре от 250 до 800° С).

Содержание ферритной фазы в сварных швах колеблется от 3,5 до 8,5%.

Стали X18H10T, X18H9T, OX18H12T, OX18H12B, 1X21H5T, 1X16H13B свариваются электродами ЦЛ-11, если к сварному шву предъявляются жесткие требования стойкости против межкристаллитной коррозии. Содержание ферритной фазы в сварных швах обеспечивается от 2,5 до 7%.

Сталь X18H12T сваривают электродами ЦТ-15-1 (корневой шов), если сварное соединение будет эксплуатироваться при температуре 600—650° С и высоком давлении. Содержание ферритной фазы в сварных швах колеблется от 5,5 до 9%.

Стали X18H10T, X18H9T сваривают электродами ЗИО-3, если сварные швы будут эксплуатироваться при температуре до 560° С или если к металлу шва будут предъявлены требования стойкости против межкристаллитной коррозии. Содержание ферритной фазы в сварном шве регламентируется от 2,5 до 5%.

Жаростойкие стали. К этой группе сталей относят X25T, X28, X23H18, X23H13, X20H14C2, X25H20C2 и другие.

Стали X25T и X28 сваривают электродами ОЗЛ-6, если сварные изделия будут эксплуатироваться при температуре 1150°С (без циклических резких изменений и в средах, не содержащих сернистый газ). Сварку выполняют короткой дугой. Кромки готовят под сварку только механическим способом. Содержание ферритной фазы регламентируется от 2,5 до 10%.

Стали X23H18, X25T и X28 сваривают электродами ЦЛ-25, если сварные изделия будут эксплуатироваться при температуре выше 850° С. Сварку выполняют валиками, имеющими ширину не более трех диаметров электрода. Кратеры заправляют частыми короткими замыканиями. Содержание ферритной фазы регламентируется от 3 до 9%.

Стали X25T, X28, X23H13, X23H18, находящиеся в эксплуатации при температуре 900—1100° С, сваривают электродами ОЗЛ-4. Сварку выполняют предельно короткой дугой. Кромки обрабатывают под сварку только механическим способом. Содержание ферритной фазы регламентируется от 2,5 до 8%.

Стали X23H18, X23H13, находящиеся в эксплуатации в окислительных и науглероживающих средах при температуре 900—1050° С, сваривают электродами ОЗЛ-9А. При сварке этих сталей особенно необходимо следить за недопустимостью

появления трещин в кратерах. Ферритная фаза отсутствует и ГОСТом не нормируется. Сварные швы недостаточно стойки против межкристаллитной коррозии.

Стали X20H14C2, X25H20C2, работающие при температуре до 1050° С, сваривают электродами ГС-1 (первый слой). Жаростойкость наплавленного металла до 1150° С. Стали X20H14C2, X25H20C2, работающие при температуре 900—1100° С, сваривают электродами ОЗЛ-5. Кромки готовят под сварку только механическим способом. Сварные швы устойчивы против образования горячих трещин. Сталь X20H14C2, находящуюся в эксплуатации при температуре 900—1100° С, можно также сваривать электродами ЦТ-17 при наложении швов небольшой ширины — не более 3 диаметров электрода.

Жаропрочные стали и сплавы. К сталям этой группы относятся 1X16H14B2БР, 1X16H16B2МБР, 1X14H14B2М, 4X14H14B2М, 1X16H13M2Б, 1X14H14B2М, X18H12Т, X23H13, X23H18, ХН35ВТ и другие.

Стали 1X16H14B2БР и 1X16H16B2МБР сваривают электродами ЦТ-16-1. Кратеры заваривают короткими замыканиями электродов. Эти же стали сваривают электродами ЦТ-16, если изделия эксплуатируются при температуре до 700° С.

Стали 1X14H14B2М и 4X14H14B2М, работающие в условиях температуры до 600° С, сваривают электродами ЦТ-1. Сварные швы устойчивы против образования горячих трещин.

Стали 1X16H13M2Б, 1X14H14B2М и X18H12Т, работающие в условиях температуры до 620° С, сваривают электродами ЦТ-7. Горячие трещины в сварных швах устраняются достижением ферритной фазы от 2 до 5%. После сварки применяют отжиг при 750—800° С в течение 10 ч.

Стали X23H13, X23H18, работающие в условиях температуры до 1050° С, сваривают электродами ОЗЛ-9. Огневая подготовка кромок под сварку не допускается. При многослойной сварке швы необходимо выполнять электродами ОЗЛ-9 через слой, наплавленный электродами ОЗЛ-4, ОЗЛ-5, ОЗЛ-6 и ГС-1.

Сплавы на железо-никелевой основе ХН35ВТ свариваются электродами КТИ-7-62.

Контрольные вопросы:

1. Как классифицируются стали?
2. Как стали подразделяются по свариваемости?

3. Каковы особенности сварки низкоуглеродистых сталей?
4. Как избежать возникновения кристаллизационных трещин при сварке среднеуглеродистых сталей?
5. Каковы особенности сварки низколегированных конструкционных сталей?
6. В чем заключается особенность сварки теплоустойчивых сталей?
7. В чем заключаются особенности сварки высоколегированных сталей?

Лекция № 19.

Технология сварки чугуна

План:

- 19.1. Особенности сварки чугуна
- 19.2. Горячая сварка чугуна
- 19.3. Полугорячая сварка чугуна
- 19.4. Холодная сварка никелевыми, медными и комбинированными медно-стальными электродами
- 19.5. Холодная сварка электродами из низкоуглеродистой стали с установкой шпилек

19.1. Особенности сварки чугуна

Чугунами называются железоуглеродистые сплавы с содержанием углерода свыше 2,14 %.

Обычный чугун представляет собой железоуглеродистокремниевый сплав, содержащий углерода от 2,5 до 4%, кремния от 1 до 5% в сочетании с различными количествами марганца, серы и фосфора; иногда имеются один или несколько специальных легирующих элементов (никель, хром, молибден, ванадий, титан).

Чугун является дешевым, обладающим хорошими литейными свойствами сплавом, который нашел широкое применение в машиностроении.

В зависимости от состояния углерода в сплаве различают следующие виды чугуна:

- 1) белый чугун;
- 2) серый чугун;
- 3) ковкий чугун;
- 4) высокопрочный чугун.

Структура чугуна, его физические и механические свойства зависят от скорости охлаждения и его химического состава. При одинаковом химическом составе и прочих равных условиях высокая скорость охлаждения способствует образованию в чугуне цементита, т. е. получению белого чугуна. Замедленное охлаждение, напротив, вызывает выделение углерода в состоянии графита с получением серого чугуна.

Все примеси чугуна по своему влиянию на цементит делят на две группы: графитообразующие, способствующие образованию графита, и карбидообразующие, задерживающие выделение

графита. Кремний относится к графитизирующим примесям. При содержании кремния выше 4,5% практически весь углерод выпадает в виде графита. Сера образует легкоплавкие эвтектики и является активным карбидообразователем, что увеличивает хрупкость чугуна. Поэтому содержание серы в чугуне строго ограничивается (не более 0,15%). Марганец снижает содержание серы в чугуне; при содержании в чугуне до 0,8% действует как графитизатор, выше 1%—как слабый карбидообразователь; дальнейшее увеличение содержания марганца усиливает его карбидообразующее действие. Фосфор придает расплавленному чугуну жидкотекучесть и образует сложную фосфидную эвтектику, повышающую твердость и хрупкость чугуна.

В белом чугуне почти весь углерод содержится в связанном состоянии в форме цементита. Такой чугун имеет в изломе светло-серый цвет, очень тверд, почти не поддается механической обработке и поэтому не применяется для изготовления деталей, а используется для переделки в сталь и для изготовления деталей из ковкого чугуна. Такой чугун называется также пердедельным.

Серый чугун в изломе темно-серого цвета, мягок, хорошо обрабатывается инструментами и поэтому широко применяется в машиностроении. Температура плавления серого чугуна 1100 — 1250° С. Чем больше в чугуне углерода, тем ниже температура плавления. Основное количество углерода в сером чугуне содержится в виде графита, равномерно распределенного среди зерен основного сплава.

В сером чугуне, по сравнению с белым, содержится больше кремния и меньше марганца. Примерный состав серого чугуна: 3—3,6% углерода; 1,6—2,5% кремния; 0,5—1% марганца; 0,05—0,12% серы; 0,1—0,8% фосфора.

Ковкий чугун по механическим свойствам занимает промежуточное положение между чугуном и сталью, отличается от серого чугуна большей вязкостью и меньшей хрупкостью. Для получения деталей из ковкого чугуна их отливают из белого чугуна, а затем подвергают термообработке, например, длительному отжигу в песке при 800—850° С. При этом выделяется свободный углерод в форме мелких округленных частиц, располагающихся в виде обособленных скоплений (хлопьев) между кристаллами железа. При температуре выше 900—950°С углерод переходит в цементит и деталь теряет свойства ковкого чугуна. Поэтому детали после сварки

приходится вновь подвергать полному циклу термообработки для получения в шве и околошовной зоне структуры ковкого чугуна.

Легированный чугун обладает особыми свойствами - кислотоупорностью, высокой прочностью при ударных нагрузках и др. Эти свойства чугун получает в результате легирования хромом, никелем.

Модифицированный чугун получают из серого чугуна, вводя в жидкий чугун специальные добавки называемые модификаторами — силикокальций, ферросилиций, силикоалюминий и др. Количество вводимых модификаторов не превышает 0,1 - 0,5%, при этом температура жидкого чугуна должна быть не ниже 1400°С. При модификации состав чугуна почти не изменяется, но зерна графита принимают мелкопластинчатый, слегка завихренный вид, и располагаются изолированно друг от друга. От этого структура чугуна становится однородной, плотной, повышаются его прочность, износо- и коррозионностойчивость.

Высокопрочный чугун имеет графит шаровой формы. Это достигается введением в жидкий чугун при 1400° С чистого магния или его сплавов с медью и ферросилицием, с последующей модификацией силикокальцием или ферросилицием.

Твердость является важной характеристикой чугуна; она зависит от структуры, легирующих примесей и размера графитных включений. Наименьшую твердость имеют ферритные чугуны, в которых почти весь углерод находится в свободном состоянии; перлитный чугун с пластинчатым графитом имеет HB 220—240; чугун с мартенситной металлической основой имеет HB 400—500, а структура цементита HB 750. Чем больше размеры графитных включений, тем меньше твердость чугуна.

При выборе способа сварки чугуна необходимо учитывать следующие особенности:

- 1) высокая хрупкость чугуна при неравномерном нагреве и охлаждении может привести к появлению трещин в процессе сварки;

- 2) ускоренное охлаждение приводит к образованию отбеленной прослойки в околошовной зоне и затрудняет его дальнейшую механическую обработку;

- 3) сильное газообразование в жидкой ванне может привести к пористости сварных швов;

4) высокая жидкотекучесть чугуна затрудняет его удержание в сварочной ванне во всех пространственных положениях кроме нижнего;

5) при сварке происходит окисление кремния, окислы кремния имеют температуру плавления выше, чем свариваемый металл, вследствие чего процесс сварки затрудняется.

Чугунные детали, работающие длительное время при высоких температурах, почти не поддаются сварке. Это происходит в результате того, что под действием высоких температур (300—400°C и выше) углерод и кремний окисляются и чугун становится очень хрупким. Чугун с окисленным углеродом и кремнием называют горелым. Также плохо свариваются чугунные детали, работающие длительное время в соприкосновении с маслом и керосином. В таких случаях поверхность чугуна как бы пропитывается маслом и керосином, которые при сварке сгорают и образуют газы, способствующие появлению сплошной пористости в сварном шве.

Различают два способа сварки чугуна. Холодная сварка чугуна - это сварка без предварительного нагрева изделия. Горячая сварка чугуна - это способ, при котором осуществляется предварительный и сопутствующий нагрев изделия до 600—700°C с последующим медленным охлаждением. Такой процесс уменьшает скорость охлаждения металла сварочной ванны и околошовной зоны, что обеспечивает полную графитизацию металла шва и отсутствие отбела в околошовной зоне, а также исключает возможность появления сварочных напряжений.

Подогрев чугунного изделия до 250—400° С для уменьшения сварочных напряжений и скорости охлаждения с целью получения более пластичной структуры металлической основы чугуна часто называют полугорячей сваркой.

Способ холодной сварки требует меньших затрат. Кроме того, при нем имеется возможность варьировать в больших пределах химический состав металла шва. Но при наложении валика на холодную поверхность чугуна вследствие быстрого отвода тепла в околошовной зоне образуются отбеленные участки, а металл шва также может получиться твердым и хрупким.

19.2. Горячая сварка чугуна

Процесс горячей сварки чугуна складывается из ряда операций, выполняемых обычно в определенной последовательности.

Подготовка дефектного места к сварке заключается в тщательной очистке его от загрязнений, в разделке для образования полости, легко доступной воздействию сварочной дуги, в формовке для предотвращения вытекания металла из сварочной ванны. Формовка производится в опоках графитовыми или угольными пластинками, скрепленными формовочной массой из кварцевого песка, увлажненного жидким стеклом или другими формовочными материалами. Форму необходимо просушить при постепенном изменении температуры от 60 до 120° С, после чего производить дальнейший подогрев. В зависимости от размеров, формы деталей, объема сварки и месторасположения дефекта подогрев производится в печах до температуры 600—700° С. В крупных деталях простой формы может применяться местный подогрев. Сварка нагретых деталей производится чугунными электродами, состоящими из стержня диаметром 6—12 мм марок А и Б по ГОСТу 2671—70 и специального покрытия. Толщина покрытия 1,2—1,5 мм. Сварка ведется на постоянном или переменном токе при повышенных режимах ($I_{св} = (50—60)d$).

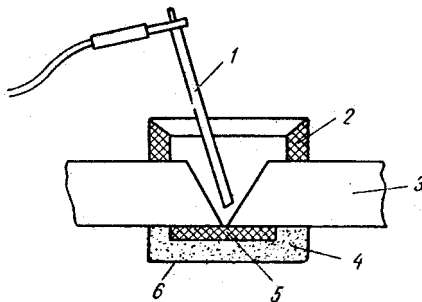


Рис. 19.1. Горячая сварка чугуна:

1 — электрод; 2, 5 — угольные пластинки; 3 — свариваемые детали; 4 — формовочная масса; 6 — опока.

При большой площади дефекта производится формовка отдельных участков, завариваемых при поддержании ванны в

жидком состоянии. После затвердевания заваренного участка графитовая пластинка переставляется, и сваривается следующий участок — и так, без длительных перерывов до окончания сварки всего дефектного места. По окончании сварки деталь засыпается сухим песком или мелким древесным углем, покрывается асбестом и вместе с печью или горном медленно охлаждается.

19.3. Полугорячая сварка чугуна

Подогрев свариваемой детали до 300—400°C способствует более замедленному охлаждению металла шва и прилежащих к нему зон после сварки. Замедленное охлаждение в значительной степени предотвращает получение отбеленных зон, что позволяет производить 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 защитно-легирующими покрытиями типа ОММ-5, МР-3 и УОНИ-13/45, 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.

19.4. Холодная сварка никелевыми, медными и комбинированными медно-стальными электродами

При наличии в жидкой ванне элементов активных графитизаторов можно избежать отбеливания в околошовной зоне. Поэтому, когда требуется последующая механическая обработка металла и допускается неравнопрочность соединения с основным металлом, при сварке используют электроды из цветных металлов, содержащих никель, медь.

Наибольшее применение получили электроды из монель-металла, который представляет собой сплав никеля (65—70%) и меди (25—30%), и электроды ЦЧ-4А, имеющие стержень из проволоки Св-08Н50 и фтористо-кальциевое покрытие. На проволоку из монель-металла диаметром 2—4 мм наносятся покрытия специального состава, например, из 40% графита, 60% мела или мрамора и др. Наплавка этими электродами производится валиками длиной 50—60 мм; при этом сразу же после наложения валика его необходимо проковать легкими ударами молотка.

Медным электродом сваривают изделия, работающие при незначительных статических нагрузках, а также изделия, требующие плотных швов.

В производстве широкое применение нашли различные варианты комбинированных медно-стальных электродов: медный стержень с оплеткой из мягкой стали, пучок из медных и стальных электродов, медный стержень с толстым покрытием, содержащим железный порошок, например, электроды марки ОЗЧ-1 и др.

Плавление комбинированного электрода и сплавление его с чугуном создает условия получения качественного шва, так как медь не соединяется с углеродом — она остается пластичной и вязкой, а сталь науглероживается, что повышает ее прочность.

Комбинированные электроды могут изготавливаться из любой марки меди. Наиболее простыми в изготовлении являются электроды, имеющие медный стержень с оплеткой из мягкой стали. Изготовление их производится следующим образом: на медный стержень длиной 300—350 мм навивается спираль из мягкой жести, нарезанной в виде полосок шириной 5—10 мм.

Диаметр медного стержня берется равным 4—7 мм. Если между витками спирали будет небольшой интервал, то железа в электроде будет не более 8—12%. На подготовленные стержни наносится меловое покрытие.

Широко и эффективно применяются электроды из меди с железным порошком в составе покрытия. Сварка такими электродами не вызывает затруднений. Для изготовления таких электродов в шихту покрытия УОНИ-13/55 добавляется 40—50% железного порошка.

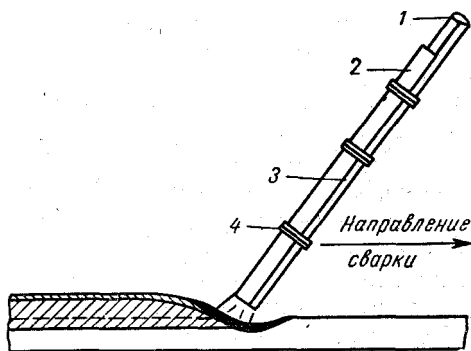


Рис. 19.2. Сварка пучком электродов:

1 — стальные стержни электродов; 2 — покрытие; 3 — стержень из монель-металла; 4 — связка.

Чтобы избежать затекания расплавленного металла впереди дуги, электрод при сварке располагается, как показано на рис. 19.2.

19.5. Холодная сварка электродами из низкоуглеродистой стали с установкой шпилек

Чтобы увеличить прочность соединения при ремонте ответственных крупногабаритных чугунных изделий — станин, рам, кронштейнов и т. п., применяют стальные шпильки, которые ввертывают на резьбе в свариваемые детали. Назначение шпилек — связать металл шва с чугуном и передать усилия от шва в массу основного металла, не подвергнувшись термическому воздействию, минуя хрупкие участки околошовной зоны. Диаметр шпилек d принимается равным $0,15—0,25$ толщины детали, но не менее 3 мм и не более 16 мм; расстояние между шпильками $(3—4)d$, расстояние от шпилек до кромки $(1,5—2,0)d$, глубина ввертывания шпилек $1,5d$, высота выступающей части $(0,8—1,2)d$. При выполнении операций по подготовке отверстий для шпилек нельзя применять масло. Детали толщиной до 12 мм могут свариваться без подготовки кромок с установкой одного ряда шпилек с каждой стороны. В деталях большой толщины выполняется односторонняя или двусторонняя подготовка кромок с углом раскрытия 90° , и шпильки устанавливаются также по скосам кромок в шахматном порядке.

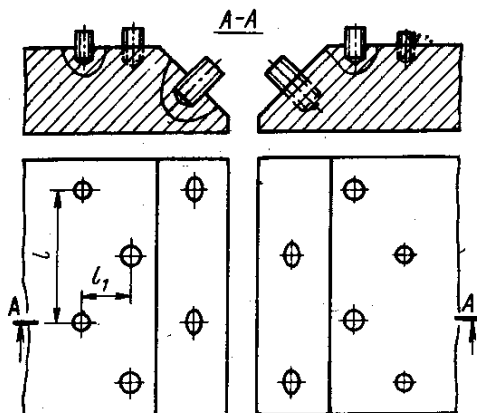


Рис. 19.3. Подготовка чугунных деталей под сварку с помощью шпилек

Сварку производят при малой погонной энергии стальными электродами диаметром 3 мм марки УОНИ-13/45. Сначала шпильки обваривают кольцевыми швами вразброс, с перерывами для охлаждения деталей. После обварки шпилек до соприкосновения кольцевых валиков между собой производится наплавка участков между обваренными шпильками также вразброс.

Второй слой выполняется поперечными небольшими валиками вразброс. При сварке деталей большой толщины для уменьшения количества наплавленного металла целесообразно производить сварку стальных связей различных форм и размеров.

Холодная сварка чугуна стальными электродами с постановкой шпилек позволяет производить сварку в нижнем, вертикальном и потолочном положениях, соединения получаются прочными, но плотность не всегда обеспечивается.

Контрольные вопросы:

1. Как влияет углерод и кремний на структуру и свойства чугуна?
2. Какие способы сварки чугуна существуют?
3. Какие электроды для дуговой сварки чугуна применяются?

Лекция № 20.

Сварка алюминия и его сплавов

План:

- 20.1. Особенности сварки алюминия и его сплавов
- 20.2. Технология сварки алюминия и его сплавов

20.1. Особенности сварки алюминия и его сплавов

Алюминий является одним из наиболее распространенных элементов в природе; он обладает малой плотностью, высокой электро- и теплопроводностью, высокой коррозионной стойкостью в окислительных средах и стойкостью против перехода в хрупкое состояние при низких температурах. Плотность алюминия $2,7 \text{ г/см}^3$. Теплопроводность алюминия в три раза выше теплопроводности малоуглеродистой стали. Температура плавления чистого алюминия 657°С . При нагревании алюминий легко окисляется, образуя тугоплавкую окись алюминия (Al_2O_3), плавящуюся при температуре свыше 2060°С . Тугоплавкая пленка окиси и возможность образования пор и кристаллизационных трещин в металле шва — основные трудности при сварке алюминия.

Причиной образования пор в сварных швах является водород, который в связи с резким изменением растворимости при переходе алюминия из жидкого состояния в твердое, стремится выйти в атмосферу.

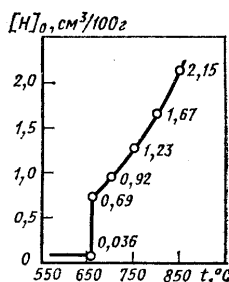


Рис. 20.1. Изменение растворимости водорода в алюминии в зависимости от температуры

Кристаллизационные трещины в сварных швах чистого алюминия возникают из-за повышенного содержания кремния и уменьшаются с введением в алюминий добавок железа.

В технике применяют не только чистый алюминий, но и сплавы его с марганцем, магнием, медью и кремнием. Сплавы алюминия обладают большей прочностью, чем чистый алюминий. Литейные алюминиевые сплавы (марок АЛ), содержащие 4—5% меди (АЛ7) или от 10 до 13% кремния (АЛ2), или 9,5—11,5% магния (АЛ8), способны хорошо отливаться. Литейные сплавы алюминия с кремнием называют силуминами.

В сварных конструкциях наибольшее применение находят деформируемые сплавы: термически неупрочняемые алюминиево-марганцевые (АМц), содержащие от 1 до 1,6% марганца, и алюминиево-магниевые (АМг), содержащие до 6,8% магния.

В самолетостроении используются термически упрочняемые сплавы дюралюмины (сплавы Д). Дюралюмин марки Д1 содержит: 3,8—4,8% меди, 0,4—0,8% магния, 0,4—0,8% марганца, остальное алюминий. Высоколегированный дюралюмин Д16 содержит: 3,8—4,9% меди, 1,2—1,8% магния, 0,3—0,9% марганца, остальное — алюминий.

После термической обработки сплав Д16 имеет временное сопротивление при растяжении 420—460 МПа и относительное удлинение 15—17%.

Чистый алюминий, сплавы АМц, АМг и силумины хорошо поддаются сварке. Хуже свариваются термоупрочняемые сплавы Д. Это обусловлено тем, что в сварном шве такого сплава получается структура литого металла, прочность которого в два раза меньше прочности основного прокатанного металла. Кроме того, вследствие значительной усадки металла шва и его низкой пластичности, в процессе сварки возникают трещины в швах. При сварке происходит отжиг основного металла, что приводит к ухудшению механических свойств сварного соединения.

Кромки перед сваркой промывают в течение 10 мин раствором из 20—25 г едкого натра и 20—30 г углекислого натрия на 1 дм³ воды при температуре 65° С, а затем в воде комнатной температуры, после чего травят в течение 2 мин в 25%-ном растворе ортофосфорной кислоты (для сплавов АМц и АМг) или в 15%-ном растворе азотной кислоты (для сплавов Д и, АМг). После травления кромки промывают теплой и холодной

водой и протирают тканью досуха. Во избежание нового окисления металл сваривают не позже, чем через 8 ч после подготовки.

20.2. Технология сварки алюминия и его сплавов

Ручная дуговая сварка металлическим электродом. Для дуговой сварки чистого алюминия применяют электроды марки ОЗА-1 со стержнем из алюминиевой проволоки. Сварка ведется в нижнем и вертикальном положениях, постоянным током обратной полярности. При диаметре электрода 4 мм ток 120—140 А, при 5 мм — 150—170 А, а при 6 мм—200—240 А. Сварку осуществляют с предварительным подогревом до температуры: при толщине металла — 6—9 мм — 200—250° С, при 9—16 мм — 300—350°С.

Сварку ведут возможно короткой дугой, без поперечных колебаний электрода. После сварки шлак со шва удаляют, промывая его горячей водой и протирая стальными щетками. Покрытие электродов гигроскопично, поэтому перед сваркой их следует просушивать при 150 — 200° С в течение 2 ч. Временное сопротивление при растяжении наплавленного металла и сварного соединения составляет 75—85МПа. Наплавленный металл имеет следующий химический состав: 0,3—0,5% кремния, 0,15—0,25% титана, 0,1—0,3% железа, следы меди, остальное — алюминий.

В покрытия электродов вводятся хлористые и фтористые соли лития, калия и натрия, отнимающие кислород от окиси алюминия, растворяющие и ошлаковывающие окись алюминия, которая затрудняет сварку.

Листовой алюминий толщиной до 1,5—2 мм сваривают с отбортовкой кромок без присадочного металла; листы толщиной от 3 до 5 мм—без скоса кромок. При толщине листов свыше 5мм применяют односторонний скос кромок с углом раскрытия 60°.

Длина нагреваемого участка должна быть не менее 200 мм. Сварка производится на поддерживающих прокладках. При толщине до 14 мм шов сваривается в 1—2 слоя, свыше 14 мм — в 2—3 слоя.

Для получения мелкозернистой структуры металла шва охлаждение детали после сварки должно быть замедленным. После остывания сварной шов следует слегка проковать. Чтобы уменьшить внутренние напряжения деталей из литых сплавов, их

после сварки отжигают при 300—350°C с последующим медленным охлаждением.

Ручная сварка угольным электродом. Сварку угольным электродом применяют при толщине металла от 1,5 до 20 мм и при заварке дефектов литья из алюминия и его сплавов. Металл толщиной до 2 мм сваривают без разделки кромок и присадочной проволоки. Для предупреждения попадания окисной пленки алюминия в металл шва применяют флюс АФ-4А.

Сварка в среде аргона. Для сварки применяют аргон высшего и первого сорта. Сварку выполняют вольфрамовым электродом на переменном токе. Детали толщиной до 6 мм сваривают без скоса кромок, 8—12 мм с V-образным, 12—20 мм с X-образным, свыше 20 мм с X- или U-образным скосом кромок. Присадочным материалом служит проволока из того же сплава, что и свариваемый. Сварку выполняют в приспособлении, зажимающем свариваемые листы в нужном положении. Листы укладывают на подкладку из нержавеющей стали, имеющую вдоль линии шва канавку, обеспечивающую формирование обратной стороны шва.

Присадочный прутки во время сварки держат под углом 10–30°, а электрод — 70—80° к плоскости сварки. Поперечные колебания электродом и присадочным прутом не производят. Сварка ведется с максимально возможной скоростью, при которой ещё происходит нормальное сплавление присадочного металла с кромками. При сварке вольфрамовым электродом применяют переменный ток и осциллятор.

Если стыковые соединения выполняются без разделки кромок, то ток подбирают по формуле:

$$I=50s,$$

где I — сварочный ток, а;

s — толщина металла, мм.

Ток при сварке металла толщиной более 6 мм подбирают из расчета 35—40 А на 1 мм диаметра вольфрамового электрода.

Сварку плавящимся электродом из проволоки того же сплава, что и свариваемый, ведут на постоянном токе обратной полярности. Плавящимся электродом в аргоне можно выполнять многослойную сварку изделия из алюминия и его сплавов толщиной до 100 мм.

Контрольные вопросы:

1. В чем заключаются трудности сварки алюминия?
2. Каковы причины появления пор при сварке алюминия?
3. Какими способами можно сваривать алюминий?

Лекция № 21.

Сварка титана и его сплавов

План:

21.1. Особенности сварки титана и его сплавов

21.2. Технология сварки титана и его сплавов

21.1. Особенности сварки титана и его сплавов

Титан обладает малым удельным весом ($4,5 \text{ г/см}^3$) и высокой антикоррозийностью. Температура плавления титана 1680°C . Технический титан и его сплавы содержат 0,08—0,6% углерода, 0,3—2,15% железа 1—4% марганца, 0,74—4% хрома. Временное сопротивление титана при растяжении составляет 840—1260 МПа, относительное удлинение от 5 до 20%. Титан имеет низкотемпературную α -фазу и высокотемпературную β -фазу.

Титан имеет высокое химическое сродство к кислороду, азоту и водороду: интенсивное насыщение его водородом начинается уже при температуре 250°C , кислородом—при 400°C и азотом—при 600°C . С повышением температуры активность титана резко возрастает. Скорость взаимодействия титана с кислородом в 50 раз выше, чем с азотом. Кислород легко растворяется как в α -фазе, так и в β -фазе титана и является сильным стабилизатором α -фазы. Азот так же легко растворяется как в α -фазе, так и в β -фазе и является сильным стабилизатором α -фазы. Титан является единственным элементом, способным гореть в азоте. Водород стабилизирует β -фазу титана и образует с титаном твердые растворы и гидрид TiH_2 .

При охлаждении титана уже $100\text{—}150^\circ\text{C}$ происходит выпадение гидроксида (γ -фазы), что является причиной образования холодных трещин при сварке. При медленном охлаждении γ -фаза выделяется в виде тонких пластинок, а при закалке—в виде высокодисперсных частиц.

Азот и кислород резко повышают прочность титана и снижают его пластичность. Водород в титане влияет главным образом на его склонность к разрушению (рис. 21.1)

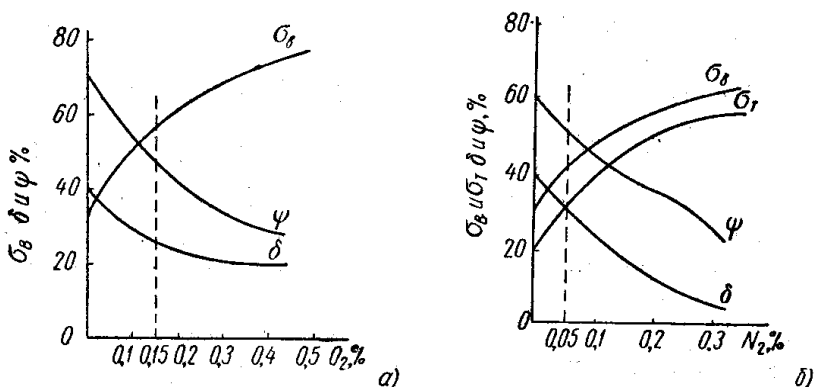


Рис. 21.1. Влияние кислорода (а) и азота (б) на механические свойства титана

Одним из наиболее важных свойств титана является его высокая коррозионная стойкость во многих агрессивных средах. Титан обладает высокой прочностью при нормальной и повышенной температурах.

Основными трудностями при сварке титана являются:

а) высокая его активность по отношению к кислороду, азоту и водороду как в расплавленном, так и в твердом состоянии;

б) высокая склонность к росту зерна β -фазы и перегреву;

в) образование хрупкой α' -фазы при охлаждении.

Для получения качественного сварного соединения титана в нем ограничивают содержание азота, кислорода, водорода и углерода с этой целью защищают металл шва и околошовной зоны при сварке инертными газами.

21.2. Технология сварки титана и его сплавов

Для защиты шва и околошовной зоны от воздуха применяют горелки с козырьком. Корень шва защищают плотным поджатием кромок свариваемых деталей к медной или стальной подкладке и подачей инертного газа в подкладку через специальные отверстия или в подкладку, изготовленную из пористого материала. Механические свойства и структуру металла шва и околошовной зоны можно регулировать выбором наиболее рациональных режимов и технологии сварки, а также последующей термической обработкой. Аргонно-дуговую сварку

титана в инертных газах выполняют в среде аргона высшего сорта постоянным током прямой полярности.

Перед сваркой поверхности кромок и присадочного металл травят в течение 10 мин в смеси из 35% соляной кислоты, 5% плавиковой кислоты и 60% воды. Для металла толщиной 0,8—3 мм применяют ток от 40 до 140 А при напряжении дуги 14—18 В. Расход аргона в дуге 8—12 л/мин, для защиты обратной стороны шва—3—5 л/мин, скорость сварки 18—25 м/ч.

При сварке сосудов или труб инертный газ подводят внутрь изделия (рис. 21.2).

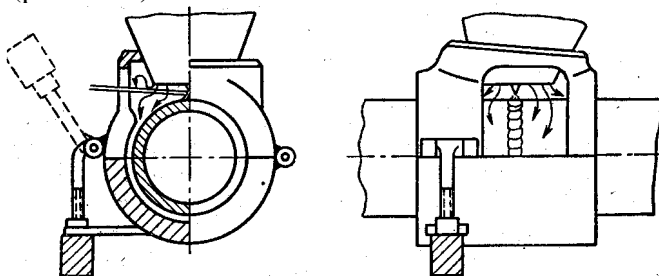


Рис. 21.2. Газозащитная камера для аргоно-дуговой сварки труб

При сварке также применяются подкладки с обратной стороны шва, имеющие канавки, в которые подается струя защитного газа (рис. 21.3).

Для сварки деталей из титана применяют герметичные камеры, заполненные инертным газом

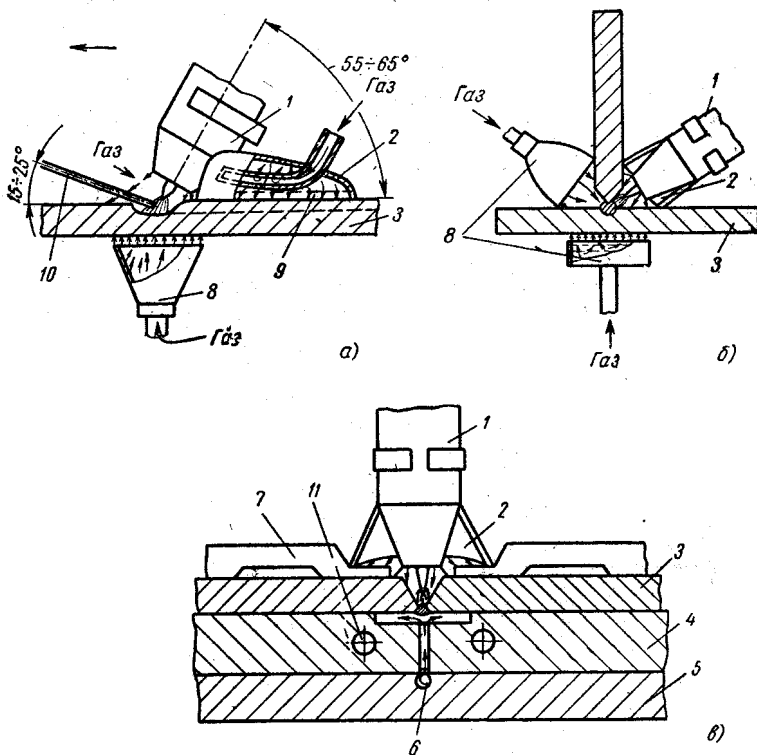


Рис. 21.3. Схема защиты стыковых и тавровых соединений титана и его сплавов при аргоно-дуговой сварке: а, б – с применением поддува; в – с применением охлаждающих подкладок:

1 – сварочная горелка; 2 – камера-насадка; 3 – свариваемое изделие; 4 – медная часть подкладки; 5 – стальная часть подкладки; 6 – канал для защитного газа; 7 – прижим; 8 – поддув; 9 – сетка; 10 – присадочная проволока; 11 – канал для подачи охлаждающей воды.

Контрольные вопросы:

1. В чем заключаются трудности сварки титана?
2. Каковы причины появления пор при сварке титана?
3. Какими способами можно сваривать титан?

Литература:

1. Акулов А.И., Бельчук А.К., Демянцевич В.П. Технология и оборудование сварки плавлением. - М.: Машиностроение, 1977.
2. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением./ Под ред. акад. Б.Е.Патона. - М.: Машиностроение. 1974.
3. Сварки и свариваемые материалы: В 3-х т. Т. 2. Технология и оборудование. Справочное издание /Под. ред. В.М. Ямпольского. - М.: Изд-во МГТУ им Н.Э. Баумана, 1998.
4. Абралов М.А., Дуняшин Н.С., Абралов М.М., Эрматов З.Д. Эритиб пайвандлаш технологияси ва жиҳозлари. - Ташкент: Ворис, 2007.
5. Электрооборудование для дуговой и шлаковой сварки. Е.О.Патон, В.К.Лебедев. - М.: Машиностроение, 1990.
6. Ерохин А.А. Основы сварки плавлением. - М.: Машиностроение, 1987.
7. Технология и оборудование сварки плавлением. Учебник под редакцией Г.Н.Никифорова. - М.: Машиностроение, 1986.
8. Григорьянц А.Г. Основы лазерной обработки материалов. - М.: Машиностроение, 1989.
9. Гуревич С.М. Справочник по сварке цветных металлов. - Киев: Наукова думка, 1981.
10. Думов С.И. Технология электрической сварки плавлением. - Л.: Машиностроение. Ленинградское отделение, 1987.
11. Иоффе И. С., Ханпетов М.В. Сварка порошковой проволокой. - М.: Высшая школа, 1986.
12. Козулин М.Г. Технология электрошлаковой сварки в машиностроении: Учебное пособие. - Тольятти: ТолПИИ, 1994.
13. Маслов В.И. Сварочные работы. - М.: Издательский центр «Академия», 1999.
14. Николаев А.А. Электрогазосварщик – Ростов на Дону: Феникс, 2000.
15. Оборудование для дуговой сварки: Справочное пособие/ Под ред. В.В. Смирнова. - Л.: Энергоатомиздат, 1986.
16. Подгаецкий В.В., Люборец И.И. Сварочные флюсы. - Киев.: Техніка, 1984.

17. Сварка в машиностроении: Справочник в 4-х т. - М.: Машиностроение, 1978- 1979.

18. Сварка и резка в промышленном строительстве. /Б.Д. Малышев, А.И. Акулов, Е.К. Алексеев и др.; Под ред. Б.Д. Малышева. - М.: Стройиздат, 1989.

19. Сварка и резка материалов: Учеб. пособие/ М.Д. Банов, Ю.В. Казаков, М.Г. Козулин и др.; Под ред. Ю.В. Казакова. - М.: Издательский центр «Академия», 2001.

20. www.svarka.ru

Содержание

Лекция №11. Дуговая сварка в защитных газах (Технология дуговой сварки в защитных газах).....	
11.1. Технология сварки в среде инертных газов.....	3
11.2. Технология сварки в углекислом газе.....	4
Лекция № 12. Электрошлаковая сварка (Сущность и режимы электрошлаковой сварки).....	9
12.1. Сущность электрошлаковой сварки.....	9
12.2. Классификация способов электрошлаковой сварки.....	11
12.3. Металлургия электрошлаковой сварки.....	13
12.4. Режимы электрошлаковой сварки.....	14
Лекция №13. Электрошлаковая сварка (Технология и оборудование электрошлаковой сварки).....	16
13.1. Подготовка деталей к сварке.....	16
13.2. Технология электрошлаковой сварки прямолинейных и кольцевых швов.....	
13.3. Оборудование и технологическая оснастка, применяемые при электрошлаковой сварке.....	20
Лекция № 14. Лазерная сварка.....	28
14.1. Сущность лазерной сварки.....	28
14.2. Классификация технологических лазеров.....	30
14.3. Оборудование для лазерной сварки.....	31
Лекция №15. Электронно-лучевая сварка.....	
15.1. Сущность электронно-лучевой сварки.....	34
15.2. Оборудование, применяемое при электронно-лучевой сварке.....	37
Лекция № 16. Технология наплавки.....	
16.1. Классификация процессов наплавки.....	40
16.2. Материалы для наплавки.....	44
16.3. Технология дуговой наплавки.....	50
Лекция №17. Технология резки.....	
17.1. Дуговые способы резки.....	54
17.2. Плазменная резка.....	58
17.3. Лазерная резка.....	61
17.4. Подводно-дуговая резка.....	62

Лекция № 18. Технология сварки сталей.....	64
18.1. Классификация сталей.....	64
18.2. Свариваемость стали.....	65
18.3. Технология сварки углеродистых сталей.....	67
18.4. Технология сварки низко- и среднелегированных сталей.....	68
18.5. Технология сварки высоколегированных сталей.....	71
Лекция № 19. Технология сварки чугуна.....	78
19.1. Особенности сварки чугуна.....	78
19.2. Горячая сварка чугуна.....	82
19.3. Полугорячая сварка чугуна.....	83
19.4. Холодная сварка никелевыми, медными и комбинированными медно-стальными электродами.....	
19.5. Холодная сварка электродами из низкоуглеродистой стали с установкой шпилек.....	85
Лекция № 20. Сварка алюминия и его сплавов.....	87
20.1. Особенности сварки алюминия и его сплавов.....	87
20.2. Технология сварки алюминия и его сплавов.....	89
Лекция № 21. Сварка титана и его сплавов.....	91
21.1. Особенности сварки титана и его сплавов.....	91
21.2. Технология сварки титана и его сплавов.....	92
Литература.....	95

Редактор Ахметжанова Г.М.