

СРЕДНЕЕ
ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ
ОБРАЗОВАНИЕ

ФГОС 3+

О.Г. Быковский, Г.А. Краснова, В.А. Фролов

Сварочное дело

Допущено Учебно-методическим объединением
высших учебных заведений РФ по образованию
в области материаловедения, технологии
материалов и покрытий в качестве
учебного пособия для студентов средних
и высших учебных заведений

BOOK.ru
ЭЛЕКТРОННО-БИБЛИОТЕЧНАЯ СИСТЕМА

КНОРУС • МОСКВА • 2016

УДК 621.79(075.32)

ББК 30.61я723

Б95

Рецензенты:

В.А. Казаков, д-р техн. наук, проф., президент компании «Технология машиностроения»,

И.А. Ласкина, директор промышленного техникума им. С.П. Королева

Быковский, О.Г.

Б95 Сварочное дело : учебное пособие / О.Г. Быковский, В.А. Фролов, Г.А. Краснова. — М. : КНОРУС, 2016. — 272 с. — (Среднее профессиональное образование).

ISBN 978-5-406-04889-4

DOI 10.15216/978-5-406-04889-4

Рассматриваются основные способы сварки, резки и контроля качества сварных швов и соединений. Приводятся рекомендации относительно выбора материалов, технологии и техники сварки и резки, особенностей использования современного оборудования, мероприятий по организации и охране труда при этих видах металлообработки.

Соответствует ФГОС СПО 3+.

Для студентов, обучающихся в образовательных учреждениях СПО по специальности «Материаловедение и технологии материалов».

УДК 621.79(075.8)

ББК 30.61я723

Быковский Олег Григорьевич
Краснова Галина Александровна
Фролов Вадим Анатольевич

СВАРОЧНОЕ ДЕЛО

Сертификат соответствия № РОСС RU.АГ51.Н03820 от 08.09.2015.

Изд. № 9098. Подписано в печать 12.04.2016. Формат 60×90/16.

Гарнитура «NewtonС». Печать офсетная.

Усл. печ. л. 17,0. Уч.-изд. л. 16,64 + 1 (ЭБС). Тираж 300 экз.

ООО «Издательство «КноРус».

129085, г. Москва, ул. Кедрова, д. 14, корп. 2.

Тел.: 8-495-741-46-28.

E-mail: office@knorus.ru <http://www.knorus.ru>

Отпечатано в ПАО «Т8 Издательские Технологии».

109316, г. Москва, Волгоградский проспект, д. 42, корп. 5.

Тел.: 8-495-221-89-80.

© Быковский О.Г., Краснова Г.А.,
Фролов В.А., 2016

© ООО «Издательство «КноРус», 2016

ISBN 978-5-406-04889-4

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	5
Тема 1. Материалы для изготовления сварных конструкций	
и их свариваемость	6
Контрольные вопросы	17
Тема 2. Типы сварных соединений. Формы подготовки кромок под	
сварку. Стандарты на виды сварки	18
Контрольные вопросы	24
Тема 3. Обозначения сварных швов на чертежах	25
Контрольные вопросы	28
Тема 4. Газовая сварка	30
Контрольные вопросы	56
Тема 5. Дуговая сварка	58
Контрольные вопросы	76
Тема 6. Ручная дуговая сварка	78
Контрольные вопросы	112
Тема 7. Сварка в среде защитных газов	113
Контрольные вопросы	142
Тема 8. Автоматическая сварка под флюсом	143
Контрольные вопросы	153
Тема 9. Электрошлаковая сварка	154
Контрольные вопросы	162
Тема 10. Электрическая контактная сварка	163
Контрольные вопросы	173
Тема 11. Сварочные напряжения и деформации в сварных	
конструкциях	174
Контрольные вопросы	181
Тема 12. Зависимость размеров, формы и состава шва от параметров	
режима сварки	182
Контрольные вопросы	187
Тема 13. Сварка, наплавка и напыление как методы восстановления	
и повышения износостойкости деталей машин	188
Контрольные вопросы	198

Тема 14. Сборочно-сварочные устройства и оснастка	
при изготовлении металлоконструкций	200
Контрольные вопросы	205
Тема 15. Методы резки металлов	206
Контрольные вопросы	222
Тема 16. Дефекты сварных швов	224
Контрольные вопросы	230
Тема 17. Методы контроля качества сварных соединений	231
Контрольные вопросы	255
Тема 18. Безопасная организация сварочных работ в цеху	
и на монтаже	257
Контрольные вопросы	269
Библиографический список	271

ПРЕДИСЛОВИЕ

Сварка и резка — самые распространенные процессы металлообработки, предназначенные для соединения и разъединения практически всех однородных и разнородных металлов и сплавов в процессе изготовления и ремонта металлоконструкций, восстановления и повышения износостойкости деталей машин как в цеховых, так и полевых монтажных условиях, на высоте, под водой и даже в космосе во всех пространственных положениях. Само же сварочное производство представляет собой целый комплекс производственных процессов с использованием сварочной техники и технологии, который образует самостоятельную законченную схему изготовления сварных металлоконструкций. В настоящем пособии систематизирована информация о современных наиболее распространенных способах сварки и резки деталей и узлов из разнообразных металлов, устройстве и принципах действия источников питания, применяемых сварочных материалах, технике выполнения сварных швов, способах уменьшения сварочных напряжений и деформаций, контроле качества сварных швов и мерах по снижению их дефектности, оборудовании для осуществления металлообработки. Приводятся сведения о влиянии теплофизических свойств свариваемого материала на нагрев, плавление и образование сварного соединения.

Дополнительная информация о современных сварочных материалах, оборудовании и аппаратуре не только служит иллюстрацией отдельных теоретических положений, но и облегчает работу над контрольными заданиями, курсовыми и дипломными проектами.

Изучение теоретических основ сварочного производства в сочетании с производственными практиками даст возможность студентам стать квалифицированными специалистами. Сравнительно простая и доступная форма изложения материала способствует лучшему пониманию особенности этого специфического вида металлообработки. Рисунки, отмеченные в тексте знаком , доступны в электронно-библиотечной системе KnorusMedia. Тем, кто хочет более глубоко ознакомиться с рассмотренными в книге вопросами, авторы рекомендуют обратиться к библиографическому списку в конце пособия.

Авторы выражают благодарность студенту-сварщику Анатолию Бусову за помощь в обработке материала.

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ИХ СВАРИВАЕМОСТЬ

Чтобы правильно выбрать способ сварки, электродные материалы и разработать технологию сварки металлоконструкций, необходимо иметь четкое представление о марке материала, его химическом составе и механических свойствах и такой важной характеристике, как свариваемость.

Стали. *Углеродистую сталь обыкновенного качества* по ГОСТ 380—2005 изготавливают следующих марок: Ст0, Ст1кп, Ст1пс, Ст1сп, Ст2кп, Ст2пс, Ст2сп, Ст3кп, Ст3пс, Ст3сп, Ст3Гпс, Ст3Гсп, Ст4кп, Ст4пс, Ст4сп, Ст5пс, Ст5сп, Ст5Гпс, Ст6пс, Ст6сп. В марках Ст означает «сталь»; цифры — условный номер марки в зависимости от химического состава, буква Г — марганец при его массовой доле в стали 0,80 % и более; сочетания «кп», «пс», «сп» — степень раскисления стали; причем «кп» — кипящая, «пс» — полуспокойная, «сп» — спокойная. Наиболее распространена конструкционная сталь марки Ст3сп, содержащая 0,14—0,22 % С, 0,40—0,65 % Мп, 0,15—0,30 % Si. Если в этих сталях марганец и кремний присутствуют в указанных в ГОСТе количествах, они не являются легирующими элементами.

Массовая доля хрома Cr, никеля Ni, меди Cu в сталях всех марок, кроме Ст0, должна быть не более 0,30 % каждого элемента. В стали марки Ст0 массовые доли Cr, Ni, Cu не нормируются. Массовая доля серы S в стали всех марок, кроме Ст0, должна быть не более 0,050 %, фосфора P — не более 0,040 %. В стали марки Ст0 массовая доля S должна быть не более 0,060 %, P — не более 0,070 %. Стали марок Ст1, Ст2, Ст3 всех категорий и степеней рас-

кисления как с нормальным содержанием марганца Mn, так и с повышенным выпускаются с гарантированной свариваемостью.

Качественные углеродистые конструкционные стали маркируют по номинальному содержанию углерода в сотых долях процента. Например, в стали 45 содержится 0,45 % углерода, допустимое отклонение углерода 0,03–0,04 %. Все эти стали — только спокойные.

Согласно требованиям к механическим свойствам, качественные стали делятся на три категории — без термической обработки, термически обработанные (шифр Т) и нагартованные (шифр Н). По назначению различают стали: а — для горячей обработки давлением; б — для холодной механической обработки; в — для холодного волочения. Например, Ст32–2-а — сталь с 0,35 % С, 2-й категории, подгруппы а, термически не обработана. К качественным конструкционным сталям предъявляются более жесткие требования относительно содержания вредных примесей сравнительно со сталями обыкновенного качества.

Углеродистые инструментальные стали в марке имеют букву У и цифру, которая показывает содержание углерода в десятых долях процента. Например, У8ГА: буква Г — с повышенным содержанием марганца, буква А — сталь высококачественная, т.е. с пониженным содержанием серы, фосфора и случайных примесей.

Стали для литых деталей маркируют, как и качественные конструкционные, только в конце марки добавляется буква Л. Эти стали характеризуются худшей свариваемостью, чем аналогичные по составу конструкционные катаные стали.

Если сварные соединения высокого качества получают без использования особенных приемов, свариваемость таких сталей оценивается как хорошая и они принадлежат к первой группе — низкоуглеродистые стали марок Ст0, Ст1, Ст2, 08кп, 20, 20Л, 25, которые имеют удовлетворительные механические свойства ($\sigma_B = 300\text{--}460$ МПа, $\delta = 23\text{--}30\%$) и свариваются почти всеми способами — ручным дуговым, с использованием плавящегося и неплавящегося электрода в защитном газе, под флюсом, электрошлаковым, контактной сваркой. Чтобы получить качественные сварные соединения стали второй группы свариваемости, необходимо точно соблюдать параметры режима сварки, применять специальные электродные материалы, обычные температурные условия, а в некоторых случаях — подогрев, проковку швов, термическую

обработку; свариваемость этих сталей оценивается как удовлетворительная. Такими являются стали с повышенным содержанием углерода марок 30, 30Л, 35 и подобные. Их прочностные характеристики выше ($\sigma_B = 450\text{--}540$ МПа), а пластические ниже ($\delta = 14\text{--}20\%$), чем аналогичные характеристики сталей первой группы свариваемости. Хотя они могут быть сварены теми же способами, для большинства из них рекомендуются предварительный подогрев и дальнейшая термическая обработка.

В случае, если для сварки обязательны дополнительные операции подогрева, предварительной или последующей термической обработки, проковка швов и т.д., свариваемость считается ограниченной и стали относят к третьей группе. Это стали марок 45, 50, 40Л, 50Л ($\sigma_B = 450\text{--}645$ МПа, $\delta = 13\text{--}16\%$). Для их сварки используют только ручной дуговой и контактный способы сварки, но с обязательным подогревом и последующей термической обработкой.

Если сварные швы склонны к образованию трещин, что побуждает использовать подогрев и после него — термическую обработку, а качество сварного соединения невысокое, свариваемость сталей считается плохой и они относятся к четвертой группе. К сталям названной группы свариваемости относятся высокоуглеродистые стали марок 60, 70, У8, У10 и подобные им ($\sigma_B = 675\text{--}1120$ МПа, $\delta = 6\text{--}12\%$). Они свариваются только контактным способом с последующей термической обработкой, которая обеспечивает указанный уровень механических свойств. Стали не рекомендуются для изготовления сварных конструкций.

Таким образом, с ростом содержания углерода свариваемость сталей ухудшается, поскольку увеличивается способность к образованию горячих (кристаллизационных) трещин. В металле шва и околошовной зоне вследствие образования закалочных структур появляются холодные трещины, и возникает проблема равнопрочности сварного шва, околошовной зоны и всего сварного соединения.

В промышленности широко используются низколегированные (ГОСТ 19281–89), легированные конструкционные (ГОСТ 4543–71), теплоустойчивые (ГОСТ 20072–74) и высоколегированные стали, жаростойкие и жаропрочные железоникелевые сплавы (ГОСТ 5632–72).

Их маркировка однотипная. Первые две цифры — содержание углерода в сотых долях процента, далее буквы — условные обозна-

чения легирующих элементов. Цифра после каждой буквы — приблизительное содержание легирующего элемента в процентах, причем, если в металле содержится 1 % или меньше легирующего элемента, его содержание не указывается. Например: 10X18H9T — 0,1 % углерода, 18 % хрома, 9 % никеля, до 1 % титана.

Буква А в конце марки указывает, что сталь высококачественная, а буква А в середине означает содержание азота.

Условные обозначения легирующих элементов такие: N — А, Nb — Б, W — В, Mn — Г, Cu — Д, Se — Е, Co — К, Mo — М, Ni — Н, P — П, B — Р, Si — С, Ti — Т, V — Ф, Cr — Х, Zr — Ц, Al — Ю.

Все легированные стали спокойные.

Для низколегированных сталей всех категорий обязательно регламентируются химический состав и механические свойства. Прочностные характеристики определяются дифференцированно в зависимости от вида и толщины проката и марки стали.

К маркировке сталей и сплавов, полученных специальными методами, через дефис добавляются буквы ВД (вакуумно-дуговой переплав), ЭШ (электрошлаковый переплав), ВИ (вакуумно-индукционная выплавка). Например, марка 10X18H10ВИ означает, что в стали содержится 0,1 % С, 18 % Cr, 10 % Ni и она выплавлена в вакуумно-индукционной печи.

Технологическая свариваемость легированных конструкционных сталей также зависит от содержания углерода и легирующих элементов. Стали первой группы — низколегированные стали марок 09Г2, 09Г2С, 10ХСНД, 10Г2, 20Г и подобные, а также высоколегированные стали аустенитного класса 12Х18Н9Т, 04Х18Н10Т, 12Х17Г9АН4 и аналогичные. Для них применяется сварка ручная дуговая, автоматическая под флюсом, плавящимся электродом в среде защитных газов, электрошлаковая, контактная и газовая.

Ко второй группе принадлежат стали с большим содержанием углерода и легирующих элементов, такие, как 30ХГТ, 35ХМ, 30Г, они свариваются только ручным дуговым способом и автоматической сваркой под флюсом при условии подогрева и последующей термической обработки. Эта группа включает некоторые низколегированные теплоустойчивые стали марок 12МХ, 12Х1МФ, 20ХМФЛ и подобных им. Они требуют не только предварительно, но и сопутствующего подогрева с дальнейшей термической обработкой. В таких же условиях свариваются высоколегированные

стали марок 15X11МФ и аналогичные им. Для них можно использовать только ручную дуговую сварку и автоматическую сварку под флюсом. Высоколегированные стали ферритного класса марок 08X13, 12X13, 20X13 могут быть сварены теми же способами, что и стали аустенитного класса, и также частично требуют подогрева и последующей термической обработки.

Третью группу свариваемости составляют стали марок 10X, 50X, 40ХФА, 45ХН, 12Х2Н4МА и т.п. В основном они свариваются только вручную, изредка под флюсом, электрошлаковым способом и требуют подогрева и дальнейшей термической обработки. При контактной сварке, за исключением стали 40ХФА, эти операции не требуются. Следовательно, технологическая свариваемость легированных конструкционных сталей ухудшается с ростом содержания как углерода, так и легирующих элементов Si, Mn, Cr, Mo, которые увеличивают прокаливаемость сталей. К третьей группе свариваемости принадлежат также стали с высоким содержанием хрома марок 12X17, 15X25Т и сложнолегированные 26X18Н25С2, ХН35ВТ. Для их сварки можно применять только ручной дуговой способ сварки или сварку неплавящимся электродом в защитных газах с подогревом и обязательной термообработкой. Технологическая свариваемость высоколегированных конструкционных сталей удовлетворительна, если процесс ведется по соответствующей технологии с предварительным подогревом до 150–400 °С, что зависит не только от содержания углерода, легирующих элементов, но и от толщины изделия.

Низкоуглеродистые стали, содержащие до 0,22 % углерода, при толщине более 10 мм требуют низкотемпературного подогрева до 120–150 °С, среднеуглеродистые (0,23–0,45 % С) – до более высокой температуры 150–300 °С, легированные конструкционные теплоустойчивые – до 400 °С. Жаростойкая аустенитная сталь сваривается без подогрева. Подогрев осуществляется в электропечах и газопламенными горелками. Температура контролируется с помощью термоэлектрических пирометрических датчиков, термоиндикаторных красок (ТУ 133–67, ТУ 6–09–17–39–73, ТУ 6–10–1131–71) или карандашей (ТУ 6–10–1110–71). Погрешность измерения ± 10 %.

После окончания сварочных работ для улучшения качества изделия рекомендуется термическая обработка. Так, после дуго-

вой сварки углеродистые и низкоуглеродистые повышенной прочности стали для снятия сварочных напряжений, выравнивания структуры и механических свойств отпускают при 650–670 °С, теплоустойчивые хромомолибденовые — при 700–740 °С. После электрошлаковой сварки необходима нормализация при 920–940 °С с дальнейшим отпуском. Сварные соединения из жаропрочных и коррозионно-стойких аустенитных сталей подвергают стабилизирующему отжигу при 780–820 °С или аустенизации при 1000–1100 °С. После сварки сталей мартенситного или ферритного класса применяют высокотемпературный отпуск при 700–800 °С.

Чугуны делятся на серые, ковкие и высокопрочные в зависимости от формы включений графита и условий его образования и маркируются по механическим свойствам. Например, в марках СЧ20, КЧ36—10 буквами обозначен вид чугуна: СЧ — серый, КЧ — ковкий; числа после букв — гарантированный показатель временного сопротивления на разрыв, дальше — относительное удлинение в процентах (для серых чугунов удлинение не регламентируется). Свариваемость всех чугунов очень низкая. Сварные конструкции не изготавливают из чугунов, но сварку часто используют для ликвидации дефектов литья, а также при ремонте повреждений чугунных изделий, обнаруженных в процессе их эксплуатации.

Однако существующие методы (сварка с подогревом и без подогрева) хотя и сложные с точки зрения использования сварочных материалов и техники выполнения сварочных работ, дают возможность получить соединение с удовлетворительными эксплуатационными характеристиками.

По своим физико-химическим свойствам цветные металлы в значительной мере отличаются от сталей, что необходимо учитывать при выборе способа, сварочных материалов и техники сварки.

Медь и ее сплавы. Благодаря высоким электрической проводимости и теплопроводности, коррозионной стойкости, пластичности при низких температурах, способности к пластическому деформированию в холодном и горячем состояниях, медь используется для изготовления теплообменных аппаратов, электрорас-

пределительных устройств, водоохлаждающих кристаллизаторов в специальной электрометаллургии и в криогенной технике.

Маркировка меди осуществляется в зависимости от чистоты, причем с увеличением цифрового индекса металла доля примесей возрастает. Например, бескислородная медь марки М00б состоит на 99,99 % (Cu + Ag), М1б – на 99,95 % (Cu + Ag), М3р – на 99,5 % (Cu + Ag).

Кислород является наиболее вредной примесью для меди; его содержание для конструкций обычного назначения не должно превышать 0,03 %, для ответственных конструкций – 0,01 %, а для особо ответственного назначения – 0,003 %. При реакции кислорода с медью образуется закись меди, а вследствие последующего его взаимодействия с медью – эвтектика, которая снижает стойкость против горячих трещин. Таким же образом действуют висмут, сурьма и свинец; их содержание не должно превышать соответственно 0,003; 0,005 и 0,03 %.

Водород может вызывать поры: при быстрой кристаллизации он не успевает выделиться из сварочной ванны. Кроме того, водород может реагировать с кислородом закиси меди, что приводит к выделению водяного пара, который не способен к диффузии, не диссоциирует и вследствие высокого давления легко разрушает медь. Это явление называется «водородная болезнь» меди.

Поскольку медь имеет высокие теплопроводность и коэффициент линейного расширения, то следует использовать концентрированный источник нагрева, применять предварительный и сопутствующий подогрев, а также проводить мероприятия по уменьшению деформаций сварной конструкции.

Латуни – сплавы меди с цинком благодаря высоким механическим и технологическим свойствам наиболее распространенные среди медных сплавов. При содержании цинка до 39 % – это однофазные α -латуни, при большем содержании – двухфазные α + β -или β -латуни.

Нелегированные латуни маркируются так: число после буквы Л (латунь) указывает содержание меди. Например, латунь Лб3 содержит 63 % Cu. Из них изготавливают листы, трубы, полосы. Для изготовления фасонных изделий, например арматуры, гребных винтов, используют литейные латуни, например ЛЦ55МцЗЖ (55 % Cu, 3 % Mn, 1 % Fe, остальное Zn).

При сварке латуней возможно испарение цинка вследствие низкой температуры его кипения, что приводит к пористости, изменению фазового состава и образованию вредного ядовитого соединения ZnO_2 . Уменьшению испарения цинка способствуют предварительный подогрев, увеличение скорости сварки, дополнительное введение в сварочную ванну кремния. При такой технологии необходимо обеспечить надежную вентиляцию рабочего места.

Бронзы — различные медные сплавы (кроме латуней). Компоненты бронз обозначаются так же, как и латуни. Например, бронза БрКМц3—1 содержит 3 % Si, 1 % Mn, остальное Cu. Аналогично расшифровываются марки бронз БрОЦС6—6—3 (6 % Sn, 6 % Zn, 3 % Pb, остальное Cu), БрАЖ9—4 (9 % Al, 4 % Fe, остальное Cu), БрАМц9—2 (9 % Al, 2 % Mn, остальное Cu) и др. Из перечисленных бронз наилучшая свариваемость у кремнисто-марганцевистой бронзы; она часто используется как присадочный материал для сварки меди и ее сплавов. При сварке оловянисто-цинково-свинцовистых бронз невозможно избежать образования пор и трещин вследствие насыщения металла шва газами и значительно большего, чем у медных сплавов, интервала температур ликвидус — солидус. При сварке алюминиевых бронз необходимо предупредить образование кислородосодержащей пленки Al_2O_3 , которая засоряет сварочную ванну и является причиной появления пор и трещин. Для этого используют специальные флюсы и сварку ведут на переменном токе.

Никель и его сплавы. Высокая стойкость против коррозии в некоторых агрессивных средах, жаропрочность, магнитоотрицательные свойства, способность сохранять пластичность при высоких и низких температурах, упрочнение при нагартовке определили использование никеля и его сплавов в химическом и пищевом машиностроении, электрохимии, криогенной технике и т.д.

Маркировка никеля, как и меди, осуществляется в зависимости от чистоты. В марках Н0, Н2 и Н4 содержится никеля и кобальта соответственно не меньше 99,99, 99,8, и 97 %. Полуфабрикатный никель маркируется буквами НП; так, металл марки НП-1 содержит 99,9 % (Ni + Co), НП-4 — 99,0 % (Ni + Co).

Наиболее распространенным никелевым сплавом, который сваривается, является монель-металл НММЦЖ28—2,5—1,5, со-

державший 28 % Cu, 2,5 % Mn и 1,5 % Fe. Никелево-хромовые сплавы — нихромы — имеют высокое электрическое сопротивление. Состав нихрома, например, марки Х20Н80: хрома от 20 до 23 %, кремния от 0,4 до 1,5 %, остальное никель.

Сварка никеля и его сплавов усложнена в связи с их высокой чувствительностью к вредным примесям Fe, S, Bi, Pb, P, Zn и наличием растворимых газов O_2 , H_2 и CO. Последние не успевают выделиться при кристаллизации сварочной ванны, и образуются поры и трещины в результате «водородной болезни». Причиной появления кристаллизационных трещин являются низкотемпературные эвтектики Ni — NiS и Ni — NiP, поэтому содержание серы и фосфора в основном металле не должно превышать соответственно 0,001 и 0,005 %.

По сравнению с никелем литейная усадка и электрическое сопротивление сплавов монель-металл и нихрома больше, а теплопроводность меньше. При сварке нихрома образуется оксидная пленка Cr_2O_3 , которая усложняет формирование шва.

Свинец отличается высокой коррозионной стойкостью в некоторых агрессивных средах и применяется в электротехнике, при изготовлении антифрикционных сплавов. Часто его используют как материал для плакирования стальных, бетонных и даже деревянных емкостей.

Свинец и его полуфабрикаты маркируются так: С000 (содержит 99,99 % Pb), С1 (99,98 % Pb), С3 (99,9 % Pb).

Вредной примесью, которая ухудшает свариваемость свинца, является сурьма, снижающая пластичность шва. Содержание сурьмы не должно превышать 0,005 %.

Титан и его сплавы имеют высокую коррозионную стойкость против окисления на воздухе и во многих агрессивных средах, хорошо обрабатываются давлением, сохраняют высокие прочностные характеристики до 500–600 °С, имеют низкий удельный вес, благодаря чему используются в авиастроении и ракетной технике, химическом машиностроении и т.д. Вредными примесями в нем выступают кислород, азот и водород, которые вызывают хрупкость титана. Содержание названных газов не должно превышать соответственно 0,15, 0,015 и 0,015 %; углерода должно быть не больше 0,1 %.

При нагреве выше 400 °С титан активно реагирует с указанными газами, поэтому следует защищать от них не только плавильное пространство, но и участок сварного шва и корень шва, пока они не охладятся до температуры 400–500 °С. При сварке могут появиться поры от газов, главным образом от водорода. В связи с этим необходимо соблюдать требования чистоты основного и присадочного металлов.

Холодные трещины возникают вследствие образования химического соединения гидрид титана, поэтому предъявляются особенно жесткие требования к содержанию водорода.

На основе титана разработано много сплавов, например α -сплав ВТ5 (5 % Al, 0,8 % Mo, остальное Ti), псевдо α -сплав ОТ4–0 (1 % Al, 1 % Mo, остальное Ti), α + β -сплав ВТ6 (6 % Al, 5 % V, остальное Ti) и т.д. Их свариваемость хуже, чем чистого титана марки ВТ1–0.

Алюминий и его сплавы — наиболее распространенные среди цветных металлов по объему производства металлоконструкций. Благодаря высокой коррозионной стойкости во многих кислых средах, малой удельной массе, высоким электрической проводимости и теплопроводности, хладостойкости, легкому деформированию давлением алюминиевые сплавы используют как в деформированном состоянии, так и в виде проката, литья в авиакосмических конструкциях, транспортном машиностроении, строительстве и т.д.

Основные марки деформированного алюминия и его сплавов АД0 ($\geq 99,5$ % Al), АД1 ($\geq 99,3$ % Al), АМг3 (3,5 % Mg, 0,5 % Mn, 0,6 % Si, остальное Al), Д16 (4 % Cu, 1,5 % Mg, 0,6 % Mn, остальное Al). Наиболее распространены литейные сплавы АЛ1 (1,5 % Mg, 4,2 % Cu, 2 % Ni, остальное Al) и АЛ6 (5 % Si, остальное Al).

При сварке алюминиевых сплавов основные трудности связаны с необходимостью разрушения оксидной пленки Al_2O_3 , которая не растворяется в жидком алюминии, имеет высокую температуру плавления (около 2050 °С) по сравнению с температурой плавления алюминия (660 °С) и загрязняет сварочную ванну. Для предотвращения образования оксидной пленки необходимо тщательно подготовить поверхности для сварки, сварку вести на постоянном токе обратной полярности, на переменном токе, а также

обрабатывать ванну специальными шлаками из фтористых и хлористых солей щелочно-земельных металлов.

Пористость сварных швов обусловлена скачкообразным уменьшением растворимости водорода при переходе металла из жидкого состояния в твердое. Для облегчения выхода газовых пузырей используют предварительный и сопутствующий подогрев. Образование кристаллизационных трещин может быть вызвано совместным действием кремния и железа, содержание которых необходимо контролировать. Поскольку сплавы имеют высокие теплопроводность и коэффициент линейного расширения, при сварке следует использовать высококонцентрированные источники нагрева и применять специальные методы уменьшения деформаций сварных конструкций.

Магниеые сплавы. Вследствие малой прочности и недостаточной коррозионной стойкости чистый магний мало пригоден для изготовления сварных конструкций.

По сравнению с алюминиевыми сплавами и сталями вибрационная прочность сплавов магния с алюминием, марганцем, церием в десятки раз больше. Кроме того, магниевые сплавы имеют низкую удельную массу. Благодаря этим свойствам их используют в авиа- и автомобилестроении, транспортном машиностроении. Поскольку собственная оксидная пленка не защищает от проникновения кислорода в глубь металла, его поверхность покрывается хроматной защитной пленкой. Магниевые сплавы делятся на обрабатываемые, маркируемые так: МА1 (2 % Mn, остальное Mg), МА5 (8,5 % Al, 0,5 % Zn, 0,3 % Mn, остальное Mg), и литейные: МЛ2 (1,5 Mn, остальное Mg), МЛ5 (8,5 % Al, 0,3 % Mn, 0,5 % Zn, остальное Mg).

Цветные металлы имеют удовлетворительную свариваемость, их можно соединять многими способами. К первой группе свариваемости принадлежат магниевые сплавы, алюминиевые, никелевые, титановые, бронза марки БрКМц3–1 и свинец; они хорошо свариваются почти всеми способами. Ко второй группе относятся медь и латунь; они свариваются хуже и при тех же способах требуют подогрева и проковки швов. Хуже всего сваривается бронза БрОЦС 5–5–5 (третья группа), возможно применение только ручного дугового способа с подогревом и проковкой.

Контрольные вопросы

1. Как маркируются стали?
2. Как маркируются основные легирующие элементы сталей?
3. Что понимают под свариваемостью сталей?
4. От каких факторов зависит свариваемость конструкционных сталей?
5. С какой целью осуществляют предварительный подогрев сталей перед сваркой? До каких температур нагревают стали?
6. С какой целью производят термообработку сварных соединений? Какие виды термообработки применяют?
7. Изготавливают ли сварные конструкции из чугунов?
8. Как маркируют медь и ее сплавы?
9. Назовите основные виды брака при сварке меди и ее сплавов. Как избежать некачественной сварки?
10. Как маркируют алюминий и его сплавы?
11. Какой брак возможен при сварке алюминия и его сплавов? Как избежать брака?
12. Какие виды брака характерны для сварки титана и его сплавов? Как этого избежать?

ТИПЫ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ. ФОРМЫ ПОДГОТОВКИ КРОМОК ПОД СВАРКУ. СТАНДАРТЫ НА ВИДЫ СВАРКИ

Взаимная комбинация свариваемых элементов определяет существующие типы сварных соединений.

Стыковые соединения используют, когда необходимо из отдельных листов изготовить плоскую конструкцию заданных размеров. Иногда такую конструкцию после сварки формируют штамповкой или вальцовкой в цилиндрическое или эллиптическое изделие.

Кромки стыковых соединений подготавливают различными стандартными способами (табл. 2.1, рис. 2.1) в зависимости от толщины свариваемых листов и вида сварки.

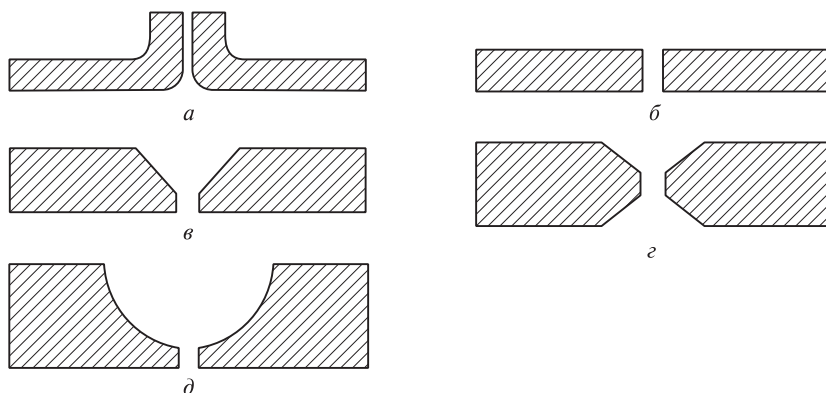


Рис. 2.1. Виды подготовки кромок стыковых соединений:

a – с отбортовкой; *б* – без разделки; *в* – с V-образной разделкой; *г* – с X-образной разделкой; *д* – с U-образной разделкой

При соединении металла толщиной до 3 мм кромки отбортовывают (рис. 2.1, *a*), а потом сваривают, как правило, без присадочного материала неплавящимся электродом — графитовым или вольфрамовым в зависимости от свойств металла. Этот способ используется при изготовлении конструкций неответственного назначения, которые не несут значительных усилий и нагрузок в процессе эксплуатации (канистры, воздухопроводы, корпуса вентиляторов, электротехнические шины и т.д.).

Таблица 2.1

Государственные стандарты на основные типы сварных швов и сварных соединений, их конструктивные элементы и размеры

Свариваемые соединяемые материалы	Сварка	Стандарт
Стали	Дуговая в защитном газе	ГОСТ 14771—76 «Дуговая сварка в защитном газе. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры»
	Электрошлаковая	ГОСТ 15164—78 «Электрошлаковая сварка. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры»
Стали и сплавы на железоникелевой и никелевой основах	Ручная дуговая	ГОСТ 5264—80 «Ручная дуговая сварка. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры»
	Под флюсом	ГОСТ 8713—79 «Сварка под флюсом. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры»
Те же, под острыми и тупыми углами	Дуговая в защитных газах	ГОСТ 23518—79 «Дуговая сварка в защитных газах. Соединения сварные под острыми и тупыми углами. Основные типы, конструктивные элементы и размеры»
Углеродистые и низколегированные стали	Автоматическая и полуавтоматическая под флюсом под острыми и тупыми углами	ГОСТ 11533—75 «Автоматическая и полуавтоматическая дуговая сварка под флюсом. Соединения сварные под острыми и тупыми углами. Основные типы, конструктивные элементы и размеры»

Свариваемые соединяемые материалы	Сварка	Стандарт
Углеродистые и низколегированные стали (толщина до 60 мм включительно)	Ручная дуговая плавлением электродом во всех пространственных положениях	ГОСТ 11534—75 «Ручная дуговая сварка. Соединения сварные под острыми и тупыми углами. Основные типы, конструктивные элементы и размеры»
Арматура и закладные изделия из стержневой и проволоочной арматурной стали диаметром от 3 до 10 мм, листовой рулонный прокат при изготовлении железобетонных изделий, монолитных и сборных железобетонных конструкций	Контактная и дуговая	ГОСТ 14098—91 «Соединения сварные арматуры и закладных изделий железобетонных конструкций. Типы, конструкции и размеры»
Стали, медные, алюминиевые и никелевые сплавы	Точечная, дуговая	ГОСТ 14776—79 «Дуговая сварка. Соединения сварные точечные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры»
Стальные трубопроводы (кроме соединений, используемых для изготовления труб из листового или полосового металла)	Дуговая	ГОСТ 16037—80 «Соединения сварные стальные трубопроводов. Основные типы, конструктивные элементы и размеры»
Двухслойная коррозионно-стойкая сталь	Дуговая	ГОСТ 16098—80 «Соединения сварные из двухслойной коррозионно-стойкой стали. Основные типы, конструктивные элементы и размеры»

Перечисленные в табл. 2.1 стандарты регламентируют для различных толщин металла тип соединения, форму и размеры подготовки кромок, характер сварного шва, форму и конструктивные элементы его поперечного разреза, условное обозначение сварного соединения. Стандарты определяют конструктивные элементы

подготовки кромок и возможные отклонения их основных размеров, а также размеры швов и предельные отклонения их параметров.

При возможности полноценной сварки с одной или двух сторон разделку не выполняют (рис. 2.1, б), но если не удастся надежно проварить корень шва с двух сторон, делают разделку кромок (рис. 2.1, в, д) механическим или термическим способами (электровоздушной, газовой или плазменной обработкой). Основные ее параметры показаны на рис. 2.2.

Иногда разделку выполняют с целью размещения в ней лишнего электродного металла, особенно при сварке угловых швов.

V-образную разделку осуществляют при небольшой толщине свариваемых листов (до 20 мм) в случае невозможности двусторонней сварки, например при выполнении продольного или кольцевого шва в трубе малого диаметра. Тогда для качественного формирования корня шва используют сменные или остающиеся подкладки. Применяют также провар корня шва в положении «на весу» вольфрамовым электродом без присадки. Недостатком такой разделки являются увеличенные напряжения и деформации в конструкции.

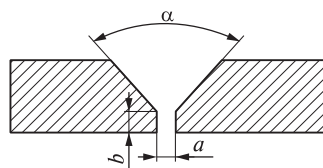


Рис. 2.2. Параметры разделки кромок V-образного стыкового соединения:

a — зазор; b — притупление;
 α — угол раскрытия кромок

X-образную разделку выполняют при сварке металла толщиной 20–40 мм. При этом достигают более высокой производительности (необходимо меньше наплавленного электродного металла, чем при V-образной разделке). Преимуществом является также уменьшение напряжений и деформаций за счет симметричной формы разделки.

U-образную разделку используют для сварки металла толщиной более 40 мм. Эта разделка — самая сложная. Сварку металла таких толщин выполняют в основном механизированными способами.

Сварку деталей неодинаковых толщин выполняют так, как для деталей одинаковых толщин, если разница толщин не превышает значений, приведенных в ГОСТ 5264–80, ГОСТ 8713–79, ГОСТ 4771–76, ГОСТ 16098–80. Так, при ручной дуговой сварке (ГОСТ 5264–80) для толщин тонкой детали 1–20 мм допустимая разница

составляет 1–2 мм, а для толщин 21–30 мм этот показатель достигает 3 мм. При автоматической сварке под флюсом (ГОСТ 8713–79) для толщин тонкой детали 5–30 мм допускается разница 2 мм, а при сварке в среде защитных газов (ГОСТ 14771–76) для толщин тонкой детали от 4 до 40 мм – соответственно от 2 до 4 мм.

Если производят сварку деталей неодинаковых толщин, конструктивные элементы подготовки кромок и размеры шва необходимо выбирать по большей толщине. При больших разницах на детали с большей толщиной необходимо выполнить скос с одного или двух боков до толщины тонкой детали. При этом конструктивные элементы подготовленных кромок и размеры сварного шва выбирают по меньшей толщине.

При сварке стыковых соединений (за исключением труб) соответственно по ГОСТ 5264–80, ГОСТ 8713–79 и ГОСТ 14771–76 допускаются смещения свариваемых кромок одна относительно другой. Смещение δ составляет 0,5 мм при толщине детали S до 4 мм и $\delta = 1,1$ мм при 4–10 мм. Если толщина $S = 10$ –100 мм, то смещение $0,1S$, но не более 3 мм и $\delta = 0,01S + 2$ при $S > 100$ мм, но не более 4 мм.

Соединением внахлест сваривают металл толщиной до 20 мм. Такое соединение используют вместо стыкового, когда ставится заплата небольшой площади или затруднена подгонка листов, например при сварке под водой. Работоспособность такого соединения ниже, чем стыкового, вследствие дополнительного момента изгиба. Соединения внахлест применяют при установке подкрепляющих дублирующих листов, толщина которых не меньше, чем основных, под механизмы и приборы, при облицовке емкостей и других элементов аппаратов коррозионно-стойким металлом. В этих случаях выполняют шов по периметру листа, а также швы прорезные или электрозаклепками для закрепления по всей поверхности.

Угловое соединение (рис. 2.3, а) выполняют, когда необходимо сформировать объемную конструкцию типа котла, ящика, резервуара, балки большого сечения и т.д. При этом угол между деталями, которые соединяются, может быть прямым, тупым или острым. В случае необходимости провара на всю толщину выполняют разделку, как при стыковых соединениях.

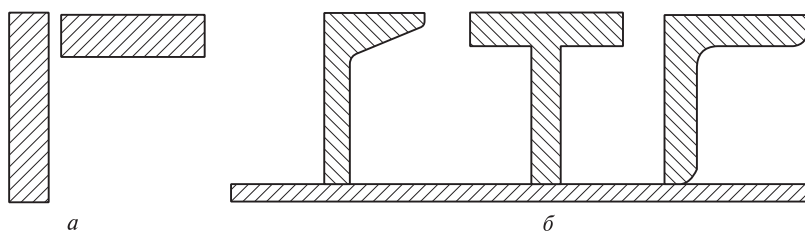


Рис. 2.3. Угловое (а) и тавровое (б) соединения

Тавровое соединение (рис. 2.3, б) используют для подкрепления ребрами жесткости плоских листовых полотнощ и придания им устойчивости (секции, которые формируют корпус судна, прямостенные резервуары и т.п.). Ребра жесткости в виде уголка или тавра должны устанавливаться на лист только стенкой и привариваться к нему односторонним сплошным швом или двусторонним прерывистым, выполненным цепочкой или в шахматном порядке. В качестве ребер жесткости не рекомендуется использовать такие профили, как двутавр, швеллер или уголок, приваренный полкой. Это увеличивает объем сварочных работ, ведет к утяжелению конструкции и развитию коррозионных процессов под полкой профиля.

При сварке угловых швов регламентируются допустимые вогнутость и выпуклость швов; ГОСТ 5264—80, ГОСТ 8713—79 и ГОСТ 14771—76 ограничивают вогнутость шва 30 % катета шва K , но не более 3 мм, выпуклость шва допускается такая же при условии, что она не уменьшает расчетной длины катета. По ГОСТ 16098—80, при сварке в нижнем положении вогнутость в зависимости от катета шва K не должна превышать 1,5 мм при $K < 5$ мм; 2,5 мм при $5 \text{ мм} \leq K \leq 10 \text{ мм}$; 3,5 мм при $K > 10 \text{ мм}$. Если сварка выполняется в других пространственных положениях, допускается увеличение вогнутости на 1 мм.

Высота катетов углового шва в соответствии с ГОСТ 5264—80 и ГОСТ 8713—79 определяется на стадии проектирования сварной конструкции, но должна быть не больше 3 мм для деталей толщиной до 3 мм и не больше 1,2 толщины более тонкой детали при сварке металла толщиной более 3 мм. Предельные отклонения размеров каждого из катетов углового шва от номинального значения должны быть 1 мм при $K \leq 5 \text{ мм}$ и 2 мм при $K \geq 6 \text{ мм}$.

Минимальные размеры катетов угловых швов согласно ГОСТ 5264—80 и 8713—79 даны в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Минимальные размеры катетов угловых швов для более толстого свариваемого элемента

Предел текучести стали, МПа	Толщина более толстого свариваемого элемента, мм							
	3–4	4–5	5–10	10–16	16–22	22–32	32–40	40–80
До 400	3	4	5	6	7	8	9	10
400–500	4	5	6	7	8	9	10	12

ГОСТ 11969–93 устанавливает основные пространственные положения сварки (нижнее, вертикальное, горизонтальное, потолочное и наклонное) и их обозначения для сварных швов, которые выполняются сваркой плавлением в один или несколько слоев.

Контрольные вопросы

1. Какие типы сварных соединений используют? Где они применяются?
2. Как готовят кромки под сварку? Назовите преимущества и недостатки отдельных видов подготовки.
3. С какой целью выполняют разделку кромок?
4. Какие параметры разделки кромок зависят от вида сварки?
5. Что собой представляет угол раскрытия кромок? Чему он равен?
6. Почему кромки собираются с зазором?
7. От чего зависит величина притупления?
8. Почему для ребер жесткости не рекомендуется применение таких профилей, как швеллер, двутавр или уголок, приваренный полкой к полотнищу?
9. Как выбирается величина катета углового шва?

ОБОЗНАЧЕНИЯ СВАРНЫХ ШВОВ НА ЧЕРТЕЖАХ

Условное изображение и обозначение сварных соединений в технической документации регламентирует ГОСТ 2.312–72. Независимо от способа сварки видимый шов на чертежах обознача-

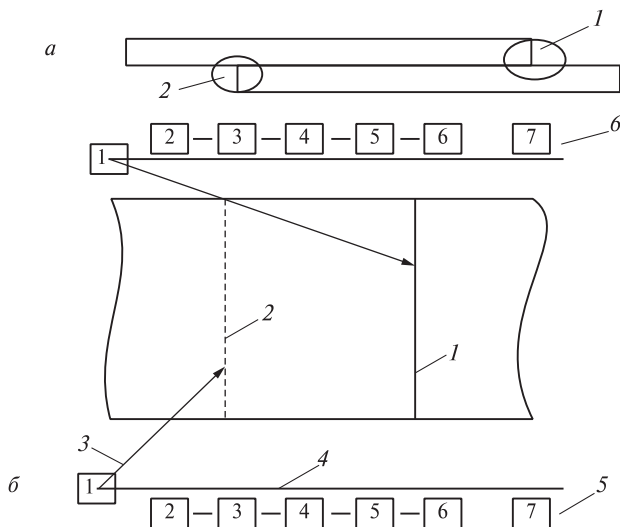


Рис. 3.1. Обозначения сварных швов на чертежах:

a — главный вид сварного узла; *б* — вид в плане; 1 и 2 — соответственно видимый и невидимый швы; 3 — односторонняя стрелка; 4 — полка; 5 и 6 — обозначения видимого и невидимого швов. Цифры в квадратах: 1 — условное обозначение шва; 2 — обозначение стандарта, который регламентирует данный шов при данном способе сварки; 3 — буквенно-цифровое обозначение шва; 4 — условное обозначение способа сварки; 5 — катет углового шва; 6 — для прерывистого шва длина провариваемого участка и знак, обозначающий цепной или шахматный шов; 7 — вспомогательные знаки

ют сплошной линией, а невидимый — штриховой. Сварную точку обозначают знаком «+», а невидимая не обозначается. От изображения линии или точки проводится линия — выноска, которая заканчивается односторонней стрелкой. Условное обозначение шва изображают над полкой линии-выноски, если шов видимый, если нет — то под ней (рис. 3.1).

В указанном ГОСТе приведены также сокращения, вспомогательные знаки для обозначения сварных швов (табл. 3.1) и т.п.

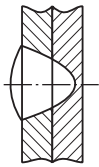
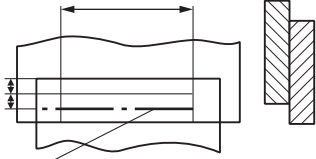
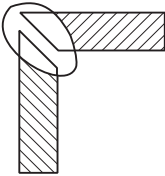
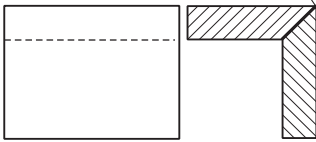
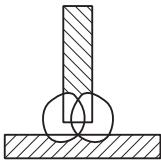
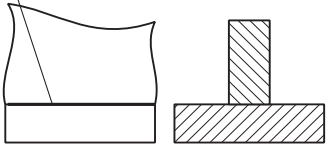
Таблица 3.1

Вспомогательные знаки, входящие в обозначение сварного шва

№ п/п	Значение вспомогательного знака	Изображение вспомогательного знака
1	Знак, проставляемый перед размером катета	
2	Шов прерывистый с цепным расположением. Угол наклона линии 60°	
3	Шов прерывистый с шахматным расположением	
4	Шов по незамкнутой линии. Знак применяется, если расположение шва не ясно из чертежа	
5	Шов по замкнутой линии. Диаметр знака 3—5 мм	
6	Шов выполнить при монтаже изделия, т.е. по монтажному чертежу на месте применения	
7	Выпуклость шва снять	
8	Местную обработку шва выполнить в его переходах к основному металлу	

Таблица 3.2

Примеры условных обозначений швов сварных соединений

Характеристика шва	Форма поперечного сечения шва	Условное обозначение шва, изображенного на чертеже с лицевой стороны
Шов стыкового соединения односторонний, выполненный автоматической сваркой под флюсом на флюсовой подушке		ГОСТ 8713-79-С47-Аф 
Соединение точечное, выполняемое дуговой сваркой под флюсом Диаметр точки 11 мм Выпуклость снять		 ГОСТ 14776-79-Н1-Ф-11 Ω
Шов углового соединения со скосом кромок, выполняемый электрошлаковой сваркой проволочным электродом Катет шва 22 мм		ГОСТ 15164-78-У2-Ш- ∇ 22 
Шов таврового соединения без скоса кромок, двусторонний прерывистый с шахматным расположением, выполняемый ручной дуговой сваркой в защитном газе неплавящимся электродом по замкнутой линии Катет шва 6 мм, длина 50 мм, шаг 100 мм		ГОСТ 14806-80-Т3-РИНп- ∇ 6-50Z100 

Кроме того, используются условные обозначения способа сварки (дуговая – Э, газовая – Г, электрошлаковая – Ш и т.д.), профилей швов и их катетов для разных соединений – угловых, тавровых, соединений внахлест, длины и размещения участков прерывистого шва и вспомогательные знаки. Перед обозначением указывается вид сварки: Р – ручная; АП – полуавтоматическая; А – автоматическая сварка под флюсом без использования подкладок и подварочного шва; А_ф – если названный вид сварки выполняется на флюсовой подушке; А_с – на стальной подкладке; А_м – под флюсом на медной подкладке; А_{пш} – под флюсом с предварительным выполнением подварочного шва; А_{пк} – с предварительной подваркой корня шва.

Контактные виды сварки обозначаются так: К_ш – шовная, К_с – стыковая, К_{со} – стыковая сопротивлением, К_т – точечная.

Буквенно-цифровое обозначение швов зависит от способа сварки и вида соединения. Например, при ручной дуговой сварке (ГОСТ 5264–80): С1–С25 для стыкового соединения при толщине свариваемых деталей от 1 до 100 мм, Т1–Т11 для таврового при толщине 2–100 мм, У1–У10 для углового при толщине 1–50 мм, Н1–Н3 для соединения внахлест толщиной 2–60 мм. Существуют обозначения и других способов сварки.

В условных обозначениях допускаются некоторые упрощения:

- если на чертеже швы выполнены по одному стандарту, его указывают только в технических условиях; обозначения швов наносят на линии-выноске одного из них, а для остальных одинаковых швов на полке линии-выноски указывают номер шва. Если все швы одинаковы, их можно обозначать линиями-выносками без полкок;
- можно не проводить линии-выноски от швов, а делать соответствующую запись о сварке в технических условиях, если в ней однозначно указываются место, способ сварки, типы швов и их конструктивные элементы.

Примеры условных обозначений приведены в табл. 3.2.

Контрольные вопросы

1. Какими буквами обозначаются виды сварки на чертежах?
2. Какие вспомогательные знаки используют на чертежах?

3. Какая связь существует между способами сварки, видом сварного соединения и свариваемыми толщинами?
4. Какие условные обозначения используются для обозначения сварных швов на чертежах?
5. Как принято обозначать на чертежах стыковой сварной шов, выполненный вручную покрытыми электродами?
6. Как принято обозначать стыковой сварной шов, выполненный под слоем флюса с ручной дуговой подваркой корня шва?
7. Как обозначают на чертежах стыковой сварной шов, выполненный плавящимся электродом в среде защитного газа?
8. Нужно ли самостоятельно назначать параметры подготовки кромок под сварку или следует пользоваться указаниями соответствующего ГОСТа?

ГАЗОВАЯ СВАРКА

При газовой сварке расплавление основного и присадочного металлов происходит благодаря теплоте, которая выделяется при сжигании в атмосфере кислорода горючих газов или паров бензина или керосина в специальных горелках.

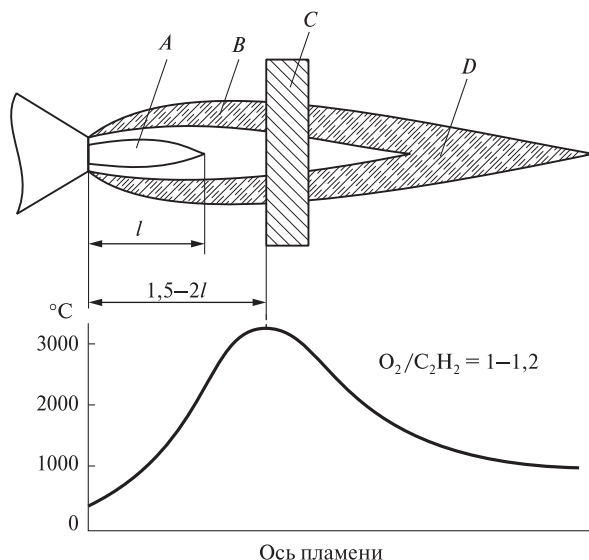


Рис. 4.1. Строение сварочного ацетиленокислородного пламени и распределение температуры по его длине:

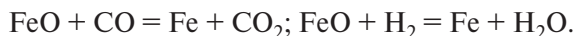
A — ядро пламени; B — средняя (восстановительная) зона; C — положение свариваемой детали в пламени; D — факел; l — длина ядра

Образованное при этом сварочное пламя состоит из трех основных частей — ядра, восстановительной зоны с наибольшей температурой и факела (рис. 4.1). Такое строение характерно для

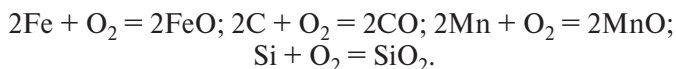
пламени большинства газокислородных смесей. Вследствие сгорания ацетилена в смеси с кислородом протекает неполная реакция $C_2H_2 + 2O_2 = 2CO_2 + H_2$, которая заканчивается за счет кислорода из окружающей среды $2CO + H_2 + 1,5O_2 = 2C_2H_2 + O_2$.

В зависимости от соотношения смеси $\beta = O_2/C_2H_2$ можно получить науглероживающее пламя ($\beta < 1,1$), нормальное, или восстановительное ($\beta = 1,1-1,2$), окислительное ($\beta > 1,1$) (рис. 1).

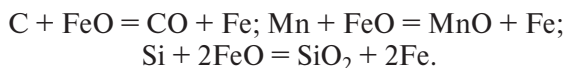
При сварке нормальным пламенем в ванне протекают реакции:



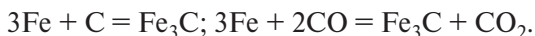
Если при сварке используется окислительное пламя, окисляются железо, углерод, кремний, марганец и другие легирующие элементы по реакциям:



Образовавшаяся закись углерода в свою очередь может окислять часть остатков углерода, марганца и кремния:



В случае сварки науглероживающим пламенем металл насыщается углеродом, а твердость наплавленного металла увеличивается:



Рассмотренные особенности разновидностей сварочного пламени учитываются на практике. Так, при сварке низкоуглеродистой стали восстановительным пламенем не нужны специальные флюсы или покрытия; окислительная сварка используется для соединения цветных металлов и сплавов, а науглероживающее пламя рекомендуется для сварки чугуна и наплавки твердых сплавов.

Кроме ацетилена, который образует пламя с наибольшей температурой, как горючие компоненты могут использоваться газы-заменители и другие вещества (табл. 4.1).

Ацетилен применяется для сварки низкоуглеродистых сталей, легированных сталей, чугунов, алюминия и его сплавов, магниевых сплавов, меди, латуней, бронз, никеля, нихрома, свинца,

цинковых сплавов, серебра и стекла. Пропан-бутановые смеси, керосин и бензин рекомендуются для всех перечисленных материалов, кроме легированных сталей, меди, никеля, никрома и серебра. Латунь, бронзу, свинец, цинковые сплавы и стекло целесообразно сваривать, используя водород или метан. Водородом также сваривают легированные и низколегированные стали, метаном — чугуны. Сварка метаном низкоуглеродистых сталей, алюминия, его сплавов и сплавов магния ограничена. Применение водорода ограничивается сваркой чугунов, алюминия и углеродистых сталей и его сплавов. Все остальные материалы нецелесообразно сваривать, используя водород и метан.

Таблица 4.1

Свойства горючих газов, их заменителей и условия их хранения

Вещество	Максимальная температура пламени, °С		Состояние газа в баллоне	Предельное и рабочее давление	Цвет баллона	Резьба присоединяемого штуцера
	с воздухом	с кислородом				
Ацетилен	2325	3150	Сжиженный	2,5	Белый	Присоединяется хомутом
Водород		2400 — 2600	Сжатый	15	Темно-зеленый	Ø 21,8 мм, 14 ниток на 1", левая
Метан	1875	2400 — 2500*	—»—	15	Красный	
Пропан	1925	2700 — 2800*	Сжиженный	1,6	—»—	
Бутан	—	2400 — 2500	То же	1,6	—»—	
Керосин	—	2400 — 2450	—»—	0,3**	Серо-дымчатый	M12
Бензин	1970	2500 — 2600	—»—	0,3**	То же	M12
Кислород	—	—	Сжатый	15	Голубой	3/4", правая

*При подогреве смеси.

** В бачке.

Сварочная горелка является основным инструментом газосварщика. Это устройство служит для смешивания горючего газа или паров горючей жидкости с кислородом и образования сварочного пламени. Независимо от конструктивных особенностей горелка должна обеспечивать смешивание газов в необходимой пропорции, их подачу к месту образования пламени (мундштуку), устойчивое горение пламени и регулирование его состава, т.е. нужное соотношение кислорода и горючего газа. Известные конструкции горелок можно классифицировать следующим образом:

- по способу подачи горючего газа в камеру смешивания — инжекторные и безынжекторные;
- по расходу горючего газа — ацетилена — микромощные (10 — 60 л/ч), средней мощности (50—2800 л/ч), большой мощности (2800—7000 л/ч);
- по назначению — универсальные (сварка, пайка, наплавка, подогрев, закалка, поверхностная очистка и т.п.) и специализированные (только для одной операции — сварки, подогрева, закалки и т.п.);
- по числу рабочих пламеней — одно- и многофакельные;
- по способу использования — для работы вручную, для механизированных процессов.

Инжекторные горелки — наиболее распространенные; они работают на смеси ацетилена с кислородом. Такая горелка состоит из двух основных частей — ствола и наконечника (рис. 4.2).

Ствол имеет кислородный 1 и ацетиленовый 16 ниппели с трубками 3 и 15, рукоятку 2, корпус 4 с кислородным 5 и ацетиленовым 14 вентилями. С правой стороны горелки (если смотреть в направлении течения газов) находится кислородный вентиль 5, а с левой — ацетиленовый вентиль 14. Вентили служат для пуска, регулирования расхода и прекращения подачи газа при гашении пламени. Наконечник, состоящий из инжектора 13, смесительной камеры 12 и мундштука 7, присоединяется к корпусу ствола горелки накидной гайкой. Инжектор 13 представляет собой цилиндрическую деталь с центральным каналом малого диаметра для кислорода и периферийными, радиально расположенными каналами для ацетилена. Инжектор ввертывается в смесительную камеру наконечника и находится в собранной горелке между смесительной камерой и газоподводящими каналами корпуса го-

релки. Его назначение состоит в том, чтобы кислородной струей создавать разреженное состояние и засасывать ацетилен, поступающий под давлением не ниже 0,001 МПа. Разрежение за инжектором достигается благодаря высокой скорости (около 300 м/с) кислородной струи. Давление кислорода, поступающего через вентиль 5, составляет от 0,05 до 0,4 МПа. В смесительной камере кислород перемешивается с ацетиленом, и смесь поступает в канал мундштука. Горючая смесь, выходящая из мундштука со скоростью 100–140 м/с, при зажигании горит, образуя ацетиленокислородное пламя с температурой до 3150 °С.

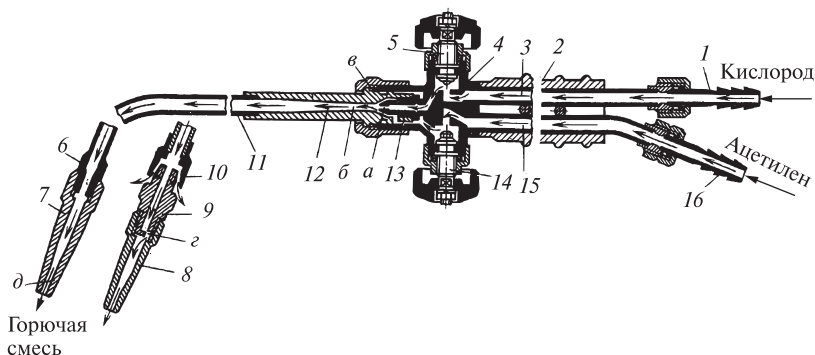


Рис. 4.2. Устройство инжекторной горелки:

a, б — диаметры выходного канала инжектора смесительной камеры; *в* — размер зазора между инжектором и смесительной камерой; *г* — боковые отверстия в штуцере 9 для нагрева смеси; *д* — диаметр отверстия мундштука

В комплект горелки входят наконечники нескольких номеров. Для наконечника каждого номера установлены размеры каналов инжектора и размеры мундштука. В соответствии с этим изменяются расходы кислорода и ацетилена при сварке (табл. 4.2).

Конструкция пропан-бутан-кислородных горелок отличается от ацетиленокислородных тем, что перед мундштуком 8 имеется устройство 10 для подогрева пропан-бутан-кислородной смеси. Дополнительный нагрев необходим для повышения температуры пламени. Обычный мундштук заменяется мундштуком измененной конструкции. Кроме того, практикуется применение специальных комплектов для сварочных и резательных работ (табл. 4.3).

Таблица 4.2

Технические характеристики инжекторных горелок

Номер наконеч- ника	Толщина свариваемой низкоуглеро- дистой ста- ли, мм	Расход, л/ч		Давление на входе в го- релку, МПа	
		ацетилена	кислорода	ацетилена	кислорода
0	0,2–0,5	40–50	45–55	0,001–0,1	0,15–0,3
1	0,5–0,1	65–90	70–100	0,001–0,1	0,15–0,3
2	1–2	130–180	140–200	0,001–0,1	0,2–0,3
3	2–4	250–350	270–380	0,001–0,1	0,2–0,3
4	4–7	420–600	450–650	0,001–0,1	0,2–0,3
5	7–11	700–950	750–1000	0,001–0,1	0,2–0,3
6	11–17	1130–1500	1200–1650	0,001–0,1	0,2–0,35
7	17–30	1800–2500	2000–2800	0,01–0,1	0,2–0,4
8	30–50	2500–4500	3000–5600	0,03–1,0	0,25–0,5
9	Больше 50	4500–7000	4700–9300	0,03–1,0	0,25–0,5

Таблица 4.3

Газосварочные комплекты

Марка ком- плекта	Толщина стали, мм		Габариты, мм	Масса, кг
	свариваемой	разрезаемой		
КГС-1–72	0,15–7	3–50	326×240×78	3,45
КГС-2А	2–17	3–70	426×275×75	4,85

Примечание. В состав комплекта КГС-1–72 входят горелка Г2–04 и резак вставной РГМ-70; в комплект КГС-2А — горелка Г3–03 и резак вставной РГС-70. Оба комплекта содержат сменные наконечники, мундштуки и футляр.

Перед началом работы и при смене мундштука горелку проверяют на инжекцию (разрежение). Для этого с ниппеля снимают ацетиленовый рукав и открывают кислородный вентиль. В ацетиленовом ниппеле исправной горелки должен быть подсос, который проверяется касанием пальца к отверстию ниппеля. Мундштук работает в условиях высокой температуры, под-

дается механическому разрушению от брызг и требует ухода. Риски, задиры, нагар на стенках отверстия выходного канала мундштука снижают скорость вытекания горючей смеси, способствуют образованию хлопков и обратных ударов, искажают форму пламени. В связи с этим их устраняют подрезкой торца мундштука на 0,5–1 мм, калибровкой и полированием выходного отверстия специальными развертками или используют мундштуки со сменными соплами.

Питание горелок ацетиленом осуществляется из баллонов или передвижных генераторов. Ацетилен хранят и транспортируют в стальных баллонах, наполненных специальной пористой массой с ацетоном, в котором растворяется ацетилен. Масса ацетилена определяется взвешиванием его до заполнения и после. При нормальных условиях из полного баллона можно получить 5,32 м³ ацетилена.

Для получения ацетилена путем реакции карбида кальция с водой: $\text{CaC}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_2\text{H}_2 + \text{Ca(OH)}_2 + \text{Q}$ используются ацетиленовые генераторы.

Они классифицируются по таким признакам:

- по давлению получаемого газа — генераторы низкого (до 0,01 МПа) и среднего (от 0,07 до 0,15 МПа) давления;
- по подвижности и производительности — передвижные — до 3 м³/ч, стационарные — от 3 до 320 м³/ч;
- по способу взаимодействия карбида кальция с водой — генераторы «карбид в воду» (КВ), «вода в карбид» (ВК), «вытеснение воды» (ВВ), комбинированные (ВК и ВВ).

При выполнении монтажных и ремонтных работ широко используются передвижные генераторы среднего давления типа АСМ-1,25 (рис. 4.3).

Генератор состоит из корпуса, разделенного на две части: верхнюю — газообразователь 4 и нижнюю — промыватель 1; обе части соединены трубой 10 с надетым на нее стаканом 9. В газообразователе смонтирована шахта; пространство между корпусом и шахтой образует воздушную подушку для вытеснения в нее воды при работе генератора. Ацетилен отводится через предохранительный клапан 3 по шлангу 2 в водяной затвор 11. Корзина 5 с карбидом кальция, закрепленная на крышке 6, вставляется через горловину в верхней части корпуса. Вода заливается в генератор через горловину; когда уровень воды поднимается до верхнего

края трубки 10, вода начнет переливаться в промыватель и должна находиться на уровне контрольного крана 12.

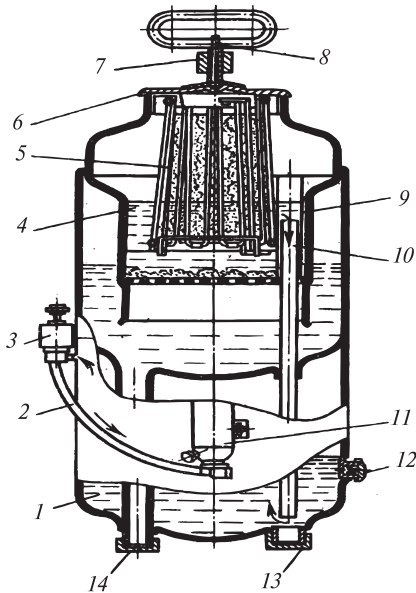


Рис. 4.3. Конструкция ацетиленового генератора среднего давления АСМ-1,25

После продувки генератора (удаления воздуха из корпуса) он герметически закрывается крышкой 6 при помощи винта 8 и рычага 7 и ацетилен не может попасть в воздушную подушку, за исключением случаев наклонного положения генератора при работе или качании и тряске заряженного генератора.

Количество выделяющегося ацетилена автоматически регулируется вытеснением воды из шахты в пространство между шахтой и корпусом и обратным поступлением в шахту под давлением воздушной подушки. Ил из газообразователя сливают через штуцер 14, а воду из промывателя — через штуцер 13.

Характеристики генератора следующие: масса без воды и карбида кальция составляет 16 кг; давление ацетилена в генераторе: рабочее 0,01–0,07 МПа, максимальное 0,15 МПа, производительность 1,25 м³/ч.

Предохранительный клапан и водяной затвор препятствуют проникновению в генератор ацетиленового пламени при обратном ударе, т.е. предусмотрена двойная защита.

Водяной затвор (рис. 4.4) через наливной штуцер 2 заполняют водой до уровня контрольного крана 3. В процессе работы ацетилен отбирается по трубе 6 через обратный клапан 5, а шарик поднимается в корпус 7. Далее ацетилен через ниппель 1 поступает в сварочную горелку. При обратном ударе взрывная волна давит на воду, обратный клапан 5 закрывается шариком, и в трубку 6 прекращается доступ воды и ударной волны. Взрывная волна затухает, проходя через узкий зазор между стенкой корпуса затвора и диском-отбивателем 8. После каждого обратного удара необходимо проверять уровень воды в затворе и доливать ее при необходимости. Слив воды с затвора выполняется через штуцер 4. Применяются обратные клапаны нескольких типов; простейшие из них — мембранные: мембраны разрываются при выходе горючей смеси в атмосферу.

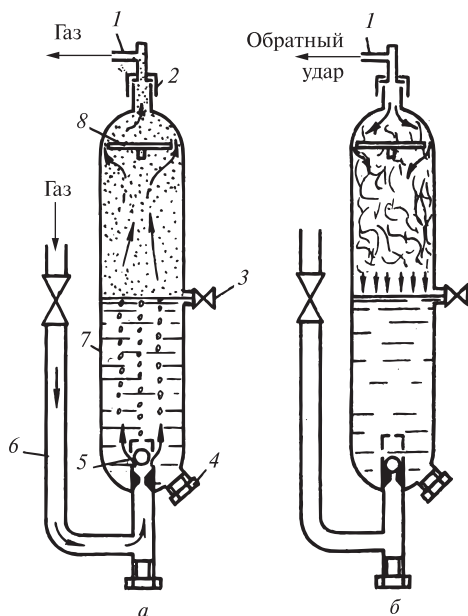


Рис. 4.4. Схема водяного затвора среднего давления закрытого типа:
а — нормальная работа; б — обратный удар

Для работы на газах — заменителях ацетилена (включая водород) используют обратные клапаны типа ЛЗС, для работы на горючих жидкостях — типа ЛКО-1. Обратные клапаны типа ЛЗС и жидкостные предохранительные затворы — защитные устройства гравитационного действия и должны устанавливаться строго

вертикально. Обратный клапан ЛКО присоединяется к рукоятке керосинореза.

Пламенные гасители устанавливают на входных штуцерах резаков, горелок, напыляющих устройств стационарных машин и установок для газопламенной обработки. Они препятствуют попаданию обратного удара пламени в рукав, соединяющий пламенную аппаратуру с предохранительным устройством — постовым затвором или газовым коллектором газопотребляющего агрегата.

Специальный пост УФП-1 используют для сварки с флюсом; он подает в пламя горелки пар флюса БМ-1, при сгорании которого образуется оксид бора. В состав данного поста входят газоразборные посты ПГУ-5 и ПГК-10, флюсопитатель ФГФ-3, осушитель ацетилена ОАФ-3, экономайзер и рукава. Наибольший расход кислорода и ацетилена $3,2 \text{ м}^3/\text{ч}$, флюса 30–100 г на 1 м^3 горючего газа, вместимость резервуара флюсопитателя 5,2 л, масса силикогеля в осушителе 5,3 кг. Для мелких работ используют переносные установки, например ПГУ-3 с характеристиками: наибольшая толщина свариваемой стали 4 мм, разрезаемой — 12 мм; расход кислорода: при сварке 0,05–0,84 $\text{м}^3/\text{ч}$, при резке 2–3 $\text{м}^3/\text{ч}$; давление кислорода: при сварке 0,05–0,4 МПа, при резке 0,3–0,4 МПа; вместимость кислородного баллона 5 л. Расход пропан-бутановой смеси 0,025–0,200 $\text{м}^3/\text{ч}$, ее давление — до 0,003 МПа; вместимость баллона для пропан-бутановой смеси 4 л. Габаритные размеры установки 420×280×560 мм, ее масса 22 кг.

Кислород получают разложением воды под действием электрического тока или глубоким охлаждением воздуха. Его чистота имеет большое значение, особенно при кислородной резке. Кислород хранится под давлением в баллонах (см. табл. 4.1), которые необходимо защищать от загрязнения маслами. К баллону подсоединяется редуктор для понижения давления газа до рабочего независимо от давления газа в баллоне или в сети. Принцип действия всех редукторов одинаковый.

Редуктор (рис. 4.5) имеет две камеры — высокого давления 2 и низкого давления 6. Камера 2 непосредственно сообщается с баллоном, и давление газа в ней равно давлению газа в баллоне. Между камерами 2 и 6 находится клапан 1, на который действуют пружины 3 и 8. Газ, проходя через клапан 1, преодолевает большое сопротивление и теряет давление. В зависимости от соотношения усилий сжатия пружин 3 и 8 клапан будет закрыт (усилие пружин

ны 3 больше усилия пружины 8) или открыт (усилие пружины 8 больше, чем пружины 3). Чем больше сжата пружина 8, тем больше открыт клапан 1 и тем выше давление в камере 6. Регулирование усилия сжатия пружины 8 достигается вращением винта 9. Ввертывание винта 9 сжимает пружину 8, а вывертывание уменьшает усилие сжатия пружины. Чтобы закрыть клапан 1, надо полностью ослабить пружину 8. Камера 6 сообщается через газовый вентиль 5 с горелкой и давление газа в горелке равно давлению в камере 6. Редуктор имеет предохранительный клапан 4.

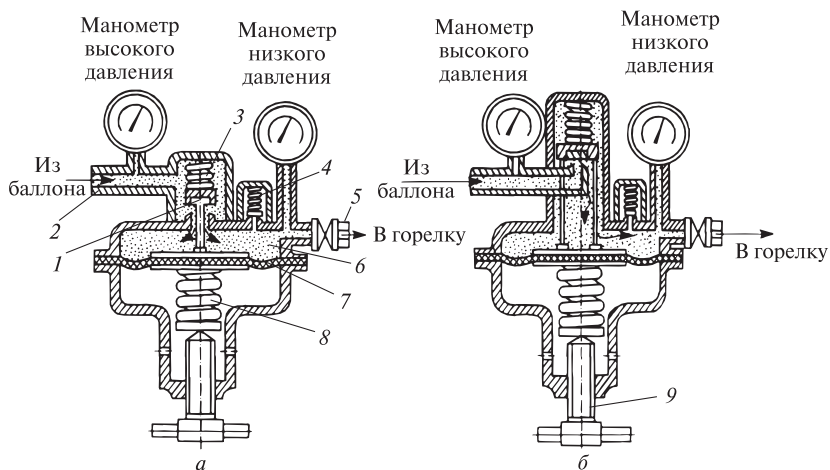


Рис. 4.5. Схема устройства и работы редуктора:
а — нерабочее положение редуктора; б — рабочее положение

Давление в обеих камерах измеряется манометрами. Если при каком-то положении винта 9 расход и поступление газа в редуктор равны, то рабочее давление остается постоянным и мембрана 7 находится в одном положении. Если количество газа, отбираемого из редуктора, больше количества газа, поступающего в него, то давление в камере 6 понизится. При этом нажимная пружина 8 начнет удлиняться и будет деформировать мембрану 7; клапан 1 откроется, в результате чего поступление газа в камеру увеличится. Уменьшение расхода газа в процессе работы вызовет повышение давления в камере 6 редуктора, усилие, действующее на мембрану 7, возрастет, она изогнется в противоположную сторону и сожмет пружину 8. Клапан 1 будет закрываться, и поступление

газа уменьшится. Можно сказать, что мембрана обеспечивает автоматическое поддержание давления.

Редукторы классифицируются по принципу действия (прямого или обратного), пропускной способности, рабочему давлению газа и роду газа. Кроме рассмотренного одноступенчатого (однокамерного) редуктора выпускаются двухступенчатые (двухкамерные), в которых снижение давления газа достигается за две ступени; например, в кислородном редукторе — с 15,0 до 5,0 МПа и с 5,0 МПа до рабочего.

Специальные рукава используются для подачи газов из баллона в горелку и согласно ГОСТ 9356—75 имеют внутренние диаметры 6, 9, 12 и 16 мм. Рукава бывают трех классов. К I классу принадлежат рукава для ацетилена, метана, пропан-бутановой смеси, рассчитанные на рабочее давление 0,63 МПа; цвет рукава красный. Рукава II класса используются для жидкого горючего, рабочее давление 0,63 МПа; цвет рукава желтый. Рукава III класса предназначены для кислорода, рабочее давление составляет 2 МПа; цвет рукава синий.

Способы сварки. Используются два способа сварки — правый и левый (рис. 4.6).

Левый способ — сварку производят справа налево, пламя направляют на еще несваренные кромки металла, а присадочную проволоку перемещают перед пламенем. При таком способе сварщик лучше видит свариваемый металл, предварительный подогрев кромок способствует хорошему перемешиванию сварочной ванны. Такой способ используется для сварки тонколистовых и легкоплавких металлов.

Правый способ — сварка происходит слева направо, пламя направляют на сваренный участок шва, а присадочную проволоку перемещают за горелкой. Это обеспечивает лучшую защиту сварочной ванны от кислорода и азота воздуха, большую глубину проплавления, замедленное охлаждение металла шва, повышение производительности на 20—25 %, снижение расхода газов на 15—20 %.

Режим сварки зависит от тепловой мощности сварочного пламени, его вида, марки и диаметра присадочной проволоки, скорости нагрева, направления движения конца мундштука, угла его наклона, флюса и пространственного положения шва.

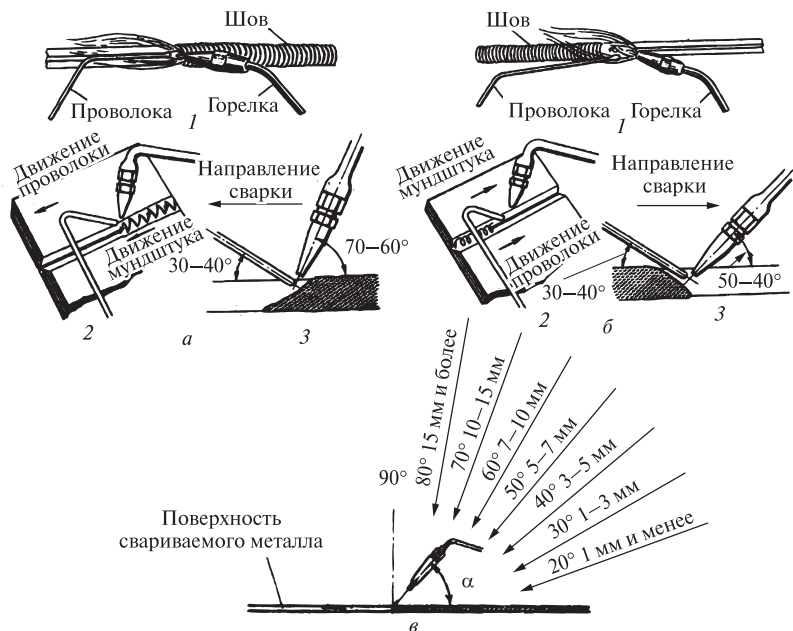


Рис. 4.6. Способы сварки и угол наклона мундштука горелки:

а — левая; *б* — правая; *в* — угол наклона мундштука при разных толщинах металла; 1 — момент сварки, 2 — схемы движений мундштука и проволоки; 3 — углы наклона мундштука и проволоки

Тепловая мощность сварочного пламени определяется расходом ацетилена, который проходит за 1 ч через горелку и регулируется сменными наконечниками горелки:

$$Q_a = AS,$$

где Q_a — расход ацетилена, л; S — толщина металла, мм; A — эмпирический коэффициент, который для углеродистых сталей, меди и алюминия соответственно составляет 100–130, 150 и 75.

При правом способе сварки мощность горелки выбирают из расчета 120–150 л/ч ацетилена, а при левом — 100–130 л/ч на 1 мм толщины свариваемого металла.

Вид пламени зависит от отношения $\beta = V_{O_2} / V_{C_2H_2}$. Для нормального пламени это отношение составляет 1,1–1,2, для окислительного превышает 1,2, для науглероживающего меньше 1,1. Газосварщик устанавливает и регулирует пламя на глаз. Нормаль-

ным пламенем сваривают большую часть сталей, окислительным — латуни, науглероживающим — чугуны.

Марка присадочной проволоки должна отвечать составу свариваемого материала. Ее диаметр d выбирают в зависимости от толщины свариваемого материала или способа сварки. При правом способе $d = S/2$, но не более 6 мм, при левом $d = S/2 + 1$.

Скорость нагрева регулируется путем изменения угла наклона мундштука к поверхности металла. Чем толще металл и больше его теплопроводность, тем больше угол наклона мундштука к поверхности.

Движения концом мундштука горелки используются поперечные и продольные. Основными являются продольные, а поперечные движения используют для равномерного прогрева кромок основного металла и получения шва необходимой ширины.

Угол наклона мундштука горелки увеличивают с ростом толщины стали (рис. 4.6, в). С повышением теплопроводности металлов угол наклона необходимо еще увеличивать.

Флюс используют для защиты расплавленного металла от окисления и удаления из него оксидов и вводят разными способами: подсыпают совком, готовят пасты и наносят на кромки деталей, присадочный материал в порошкообразном и газообразном состоянии вводят непосредственно в сварочное пламя через горелку. В качестве флюсов используют буру, борную кислоту, оксиды и соли бария, калия, лития и др.

Газовой сваркой можно исполнять все виды сварных швов во всех *пространственных положениях*.

В нижнем положении сварка не вызывает затруднений. При исполнении вертикальных швов снизу вверх удобнее левый способ сварки сквозным или двойным валиком. В нижней части стыка проплавляется сквозное отверстие. Постепенно, поднимая пламя вверх, расплавляют верхнюю часть отверстия, а вводя присадочный металл, сваривают его нижнюю часть. Угол между осью горелки и присадочной проволоки и между вертикалью и осью горелки равен 50° .

Горизонтальные швы чаще исполняют правым способом, при котором газовый поток пламени направлен на шов и препятствует стеканию металла из сварочной ванны. В отличие от обычного правого способа сварку ведут справа налево, а сварочной ванне да-

ют небольшой наклон, упрощая формирование шва. Потолочные швы также лучше варить правым способом. В этом случае конец присадочной проволоки и давление газового потока препятствуют стеканию жидкого металла вниз.

Сварка стыковых соединений осуществляется в зависимости от толщины металла односторонними или двусторонними швами. Если толщина металла от 1 до 5 мм, используют односторонние швы, кромки не обрабатывают, сваривают на подкладке или без нее с зазором 0,5–3 мм. Кромки металла толщиной 5–15 мм обрабатывают с одной или с двух сторон.

При толщине металла 15–25 мм используется двустороннее соединение, обрабатываются обе кромки (Х-образная разделка), зазор и притупления составляют 2–4 мм, а угол обработки кромок 35–45°.

Присадочные материалы и параметры режима выбирают в зависимости от состава свариваемой стали.

Для низкоуглеродистых сталей (до 0,25 % С) в качестве присадочного материала используют проволоку марок Св-08, Св-08А, Св-10Г2 диаметром 2–5 мм, расход ацетилен на 1 мм толщины свариваемого металла составляет 100–300 л/ч при левом способе и 120–150 л/ч при правом способе. Флюс не нужен, желательна проковка шва в горячем состоянии. При использовании газов — заменителей ацетилена применяют проволоки марок Св-12ГС, Св-08Г2С, Св-15ГЮ.

Сварка среднеуглеродистых сталей (0,25–0,6 % С) выполняется с присадочными проволоками марок Св-18ХС, Св-06НЗ левым способом с расходом ацетилена 70–100 л/ч на 1 мм толщины свариваемого металла. Флюс не нужен, но при толщине стали более 3 мм используется или общий, или местный подогрев до 250–300 °С.

Высокоуглеродистые стали (0,6 % С и более) сваривают с использованием присадочных проволок марок Св-18ХС и Св-06НЗ левым способом нормальным или слабоокислительным пламенем при расходе ацетилена на 1 мм толщины свариваемого металла 75 л/ч. Флюс — бура. При толщине стали до 6 мм качественной сварки можно достичь при объединении общего подогрева до 250–300 °С и местного до 650–700 °С.

Низколегированные конструкционные стали типа 10ХСНД, 25ХГСА сваривают без флюса присадочными проволоками марок

Св-08А, Св-18ХГС, Св-18ХМА левым способом с расходом ацетилена на 1 мм толщины свариваемого металла 75–100 л/ч; при сварке правым способом расход ацетилена 100–130 л/ч.

Для сварки теплоустойчивых сталей марок 15М, 15ХМ, 20ХМЛ, 12Х1МФ используют присадочные проволоки марок Св-18ХМА, Св-08ХМ, Св-08ХНМ без флюса, сварку ведут левым способом. Расход ацетилена 100 л/ч на 1 мм толщины свариваемого металла.

Высоколегированные хромистые и хромоникелевые стали марок 10Х13, 10Х18Н10Т и им подобные сваривают, используя в качестве присадочных проволоки таких марок, как Св-04Х18Н9, Св-08Х18Н10Б. Сварку ведут левым способом; расход ацетилена 75 л/ч на 1 мм толщины свариваемого металла. Флюс обязателен. Используют различные смеси (80 % плавикового шпата и 20 % ферротитана; 50 % буры и 50 % борной кислоты; 80 % буры и 20 % оксида кремния), нанося их в виде пасты на кромки и обратную сторону шва за 15–20 мин до сварки.

Аустенитные стали сваривают быстро, без подогрева, околошовную зону защищают мокрым асбестом. Сразу после сварки проводят охлаждение водой или сжатым воздухом. Удовлетворительного качества можно достичь при толщине стали до 2 мм. Хромистые стали типа Х12 сваривают с локальным подогревом до 200–250 °С, тонкие листы — левым способом, более толстые — только правым.

Технология сварки чугунов зависит от характера дефектов и требований к качеству наплавленного металла.

Для *различных дефектов небольших и средних размеров* на обрабатываемых и ответственных необрабатываемых поверхностях применяется горячая сварка (предварительный подогрев до 650–700 °С) с использованием чугунных присадок марок ПЧ-1, ПЧ-2, ПЧ-3 в виде прутков диаметром от 4 до 16 мм и длиной от 250 до 700 мм. При этом достигаются хорошая обрабатываемость, соответствие структуре, твердость, прочность и цвет основного металла. Такой же результат дает низкотемпературная пайка-сварка, когда основной металл не доводится до расплавления, а присадочным металлом являются чугунные прутки ПЧН-1, ПЧН-2 или латунь.

Несплошные дефекты небольших и средних размеров, обнаруженные при механической обработке, устраняются газопорошко-

вой наплавкой самофлюсующимися сплавами типа НПЧ. Использование флюсов обязательно. Для газовой сварки используют флюс марки ФСЧ-1 (кальция углекислого 30 %, буры обезвоженной 50 %, натрия азотнокислого 20 %), для пайки-сварки чугуном и сплавами на медной основе — флюс марки МАФ-1 (кальция углекислого 12 %, буры обезвоженной 33 %, натрия азотнокислого 27 %, оксида кобальта 7 %, натрия фтористого 12,5 %, фторцирконата калия 8,5 %). Сварка выполняется нормальным пламенем с предварительным подогревом детали до 650 °С. Если площадь дефекта менее 5 см², используют наконечник № 5; если площадь 5–25 см² и более 25 см² — наконечники соответственно № 6 и 7–8. Диаметр присадочного прутка также зависит от площади дефекта. Для дефекта площадью до 25 см² необходим присадочный пруток диаметром 6–8 мм, для дефектов площадью 20–60 см² и более 60 см² — прутки диаметром соответственно 10–12 и 14–16 мм.

Сначала подогревают основной металл около дефекта до светло-красного цвета. Потом оплавливают поверхность обработки и ванным способом заполняют ее присадочным материалом, окуная его во флюс. Охлаждение замедленное: горелка отводится на 50–100 мм, выдерживается в таком положении 1–2 мин, потом деталь закрывают асбестом и горячим песком или погружают ее в печь с температурой 650–750 °С и охлаждают с печью.

При *пайке-сварке* процесс ведут нормальным пламенем наконечниками горелки № 4 и 5, не расплавляя основного металла. Присадочным материалом служат стандартные латунные прутки марок ЛОК59–1–0,3, ЛК62–0,5, Л62, Л63 и сплав ЛОМНА (латунь ЛОМцНА49–1–10–4–0,4). В качестве флюса используют марки ФПСН-1, ФПСН-2, МНФ-1. Максимальная температура нагрева основного металла не превышает 900–950 °С, а индикатором ее достижения является расплавление флюса. Кромки засыпают флюсом и облуживают их участками, натирая прутком латуни. Потом в горячей зоне пламени расплавляют присадочный материал и заполняют дефект, а горячий металл проковывают.

Сварку меди и ее сплавов выполняют в основном ацетиленокислородным пламенем; газозаменитель используют только для металла малых толщин, мощность пламени почти вдвое больше, чем для сварки стали. Большие толщины сваривают двумя горелками

и даже тремя (в этом случае две из них подогревают металл) в один слой с максимальной скоростью, чтобы избежать роста зерна и образования пор. Медь и бронзу сваривают нормальным пламенем, а латунь — окислительным для уменьшения растворимости водорода в жидком металле и снижения интенсивности испарения цинка. В качестве присадки используют медную проволоку с 0,2 % Р, а иногда с дополнительным содержанием 0,15–0,3 % Si (фосфор и кремний играют роль раскислителей). Диаметр проволоки зависит от толщины свариваемого металла:

Толщина металла, мм	1,5	1,5–2,5	2,5–4	4–8	8–15	15
Диаметр присадки, мм	1,5	2	3	4–5	6	8

При сварке медных сплавов, в состав которых входят активные раскислители Al, Si, Mn, можно применять присадку того же состава, что и основной металл, используя флюс на основе буры и борной кислоты. Медь толщиной до 3 мм сваривают без разделки кромок с зазором до 1 мм. При больших толщинах выполняют V-образную разделку с углом 60°–70°, притупление 1,5 мм, зазор до 1,5 мм. Пламя горелки направляют под прямым углом к свариваемым деталям на расстоянии ядра до поверхности не более 5–6 мм.

Сварку ведут левым способом, без остановок, на увеличенной скорости. Рекомендуется после сварки проковывать швы для получения мелкозернистой пластичной структуры. Латунь и бронзу после сварки необходимо отжигать при температуре соответственно 600–700 °С и 500–600 °С.

Сварка никеля и его сплавов выполняется по технологии, используемой при сварке меди. Применяется нормальное пламя или немного восстановительное при расходе ацетилена 120–130 л/ч на 1 мм толщины металла. В качестве флюса может выступать чистая бура или многокомпонентная композиция (30 % буры, 50 % борной кислоты, 10 % NaCl, 10 % KF). Присадочным материалом служит никелевая проволока, легированная до 3 % Mn. Нормализация соединений при температуре 825–900 °С увеличивает их пластичность и вязкость.

Сварку нихрома выполняют быстро, без перерывов, с расходом ацетиленового газа 50–70 л/ч на 1 мм толщины металла. Рекомендуется многокомпонентный флюс (см. выше), а присадочный металл (нихром) должен содержать меньше углерода и хрома, чем основной металл.

Сварка свинца выполняется нормальным пламенем при небольшом расходе ацетиленового газа – 50–100 л/ч. В качестве присадочного используется круглый свинцовый пруток или «лапша», нарезанная из листов длиной не более 400 мм. Диаметр присадки необходимо выбирать в зависимости от толщины свариваемого металла. Так, при толщине 0,8–1,2 мм диаметр прутка составляет 3 мм, при толщинах 1,5–2,0, 2,5–3,0 и 4–8 мм соответственно 6, 8 и 10–12 мм. Металл толщиной до 4 мм сваривают без разделки и зазора, большие толщины требуют разделки под углом 60–90° без зазора.

В качестве флюса используют смесь 50 % стеарина и 50 % каустика. Она не реагирует со свинцом и только защищает его от окисления. Смесью натирают зачищенные кромки листов и поверхность присадочных прутков. В процессе сварки оксиды свинца всплывают на расплавленную пленку флюса и пламенем горелки отсесняются от места сварки. При толщине металла больше 2 мм сварку ведут в несколько слоев левым способом. Шов образуется из отдельных участков, которые перекрывают друг друга. При выполнении многопроходных швов первый шов выполняют без присадки.

Алюминий и его сплавы сваривают после подготовки с целью удаления оксидной пленки Al_2O_3 в околошовной зоне сначала механическим способом с помощью металлических щеток или шпателя, а потом травлением 40%-ным раствором NaOH в течение 1 мин. Чистый алюминий и сплавы АМц осветляют 30%-ным раствором азотной кислоты, а сплавы АМ – 26%-ным раствором ортофосфорной кислоты с последующей промывкой проточной водой. Подготовленная таким образом поверхность сохраняет свои свойства 3–4 дня, после чего все эти операции необходимо повторять.

Сварочная проволока также обрабатывается: обезжиривание, травление 5–10 мин в 15%-ном растворе NaOH при 60–70 °С, про-

мывка в холодной воде, сушка, дегазация при 360 °С в вакууме 10^{-3} мм рт. ст. в течение 5–10 ч. Сварку ведут нормальным пламенем с расходом ацетилена 100 л/ч на 1 мм толщины металла. Номер наконечника и диаметр проволоки выбирают также в зависимости от толщины.

Для сварки чистого алюминия используют марки проволок Св-АВ00, СвАГ; для сварки сплавов АМг, АМц — марки АМг3, АМг5; литейных сплавов — марки СвАК3, СвАК5. В качестве флюса чаще всего используется АФ4^а, в состав которого входят хлористые и фтористые соли калия, натрия и лития. Эти соли вступают в реакцию с пленкой Al_2O_3 , разжижают ее и переводят в легкоплавкий шлак.

Сварку ведут левым способом; металл толщиной до 4 мм сваривают за один проход, толще — за несколько проходов с общим или местным подогревом газовой горелкой до 250–300 °С. После сварки остатки флюса удаляют, промывают швы и околошовную зону теплой подкисленной водой (2%-ным раствором хромистой кислоты). Перед заваркой дефектов литья из силумина изделие необходимо подогреть до 300 °С, а после сварки его отжигать.

Газопламенный нагрев используется при поверхностной закалке, огневой выплавке и очищении металлов.

При *поверхностной закалке* глубина закаленного слоя составляет 1,5–5 мм, что обеспечивает повышение износостойкости и усталостной прочности. В зависимости от конфигурации, размеров детали и требований к свойствам поверхностного слоя используют циклический или непрерывный способ. Критерием способности материалов к этому виду термообработки является содержание углерода и легирующих элементов: для углеродистых сталей в пределах 0,35–0,7 %, для серого чугуна — 3,3 %, половинчатого — не менее 4 %, кремния — не более 2 %. Для легированного чугуна содержание никеля 1–2 %, хрома, молибдена и ванадия — не более 0,75 % каждого. Параметры режима поверхностной закалки приведены в табл. 4.4.

Закалка выполняется только механизированным способом с использованием горелок типа ГЗ; форма наконечников мундштуков должна отвечать конфигурации закаливаемой поверхно-

сти детали (ширина от 45 до 110 мм), они комплектуются сменными устройствами для получения закаленного слоя различной глубины и твердости.

Таблица 4.4

**Параметры режима непрерывно-последовательной
поверхностной закалки**

Вид термообработки	На 1 см ширины закалки			Расстояние до струи воздуха, мм		Скорость закалки, мм/мин
	удельная мощность пламени, л/ч	удельный расход воды, л/мин	удельный расход воздуха, м ³ /ч	от пламени	от воды	
Закалка на мартенсит	500	0,4–0,8	—	—	—	70–150
Закалка на троостит и сорбит*	500	0,4	1,5	12–15	12–20	70–150

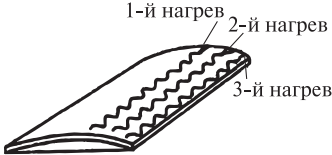
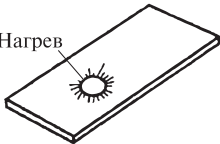
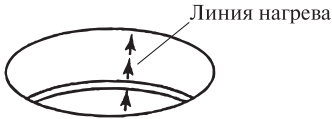
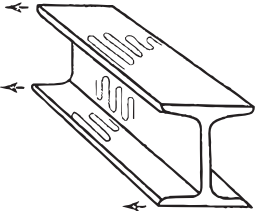
* Глубина закаленного слоя 2,4–4 мм, твердость HB 350–400.

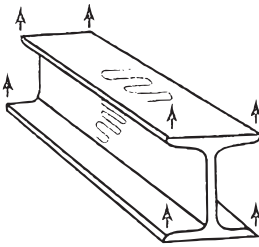
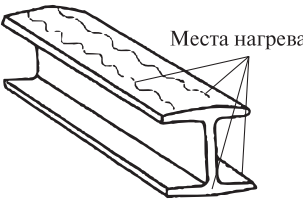
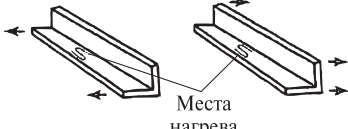
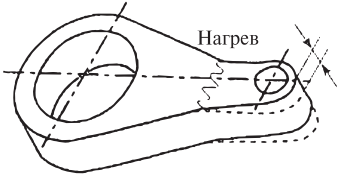
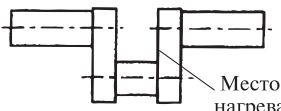
Газопламенную обработку металла используют для исправления дефектов изделий после сварки за счет локального концентрированного нагрева и быстрого охлаждения, в результате чего в изделии возникают усилия, достаточные для уменьшения или исправления местного дефекта.

Нагрев начинают с выпуклой стороны деформированной поверхности, используя универсальные или специальные горелки. Сначала выбирают участок и определяют ширину зоны нагрева, которая составляет 0,5–2 толщины листа, а при выправлении валов 0,2–0,5 диаметра вала, и нагревают до 250–650 °С в зависимости от прогиба, но во всех случаях температура не должна превышать температуру начала структурных превращений для металла. Конкретные типичные примеры термической правки часто встречающихся деформационных дефектов металлоконструкций приведены в табл. 4.5.

Таблица 4.5

Примеры термической правки различных деталей

Выпрямляемые элементы	Эскиз	Характер выполняемых работ
Листы, имеющие общий прогиб по всей длине		Правка листов, деформированных при транспортировании, механической обработке, газовой резке и изготовлении конструкций
Листы, имеющие местные деформации в средней части		Устранение местных прогибов, вмятин, выпуклостей, образовавшихся от механического воздействия, резки, местного нагрева
Листы, имеющие местные деформации		Правка местных вмятин, выпуклостей, волнистости кромок листов, образовавшихся от механического воздействия, резки, местного нагрева
Плоские днища, круглые задвижки из листа различной толщины		Правка заготовок плоских днищ и заготовок круглой и овальной форм, вырезанных из листов, от деформаций, возникших при кислородной резке, нагреве, механических воздействиях
Фланцы, вырезанные из листа		Устранение деформаций фланцев и заготовок под фланцы, возникших при кислородной резке, штамповке или механической обработке
Двутавровые балки и швеллеры, изогнутые в горизонтальной плоскости		Правка местных прогибов, возникших в результате механических воздействий, нагрева, сварки

Выпрямляемые элементы	Эскиз	Характер выполняемых работ
Двутавровые балки и швеллеры, изогнутые в вертикальной плоскости		Устранение местных прогибов, возникших в результате механического воздействия, нагрева, сварки
Сварные двутавровые балки	 Места нагрева	Устранение образовавшихся в процессе сварки прогибов верхних и нижних горизонтальных листов в сварных балках
Угольники разных размеров	 Направление изгиба после нагрева Места нагрева	Устранение местных прогибов
Шатун эксцентрикового пресса	 Нагрев	Устранение поводки сварного шатуна эксцентрикового вала
Коленчатый вал	 Место нагрева	Устранение поводки вала путем нагрева части шейки

Горелка типа ГВП-5 может работать на пропан-бутановой смеси (давление не менее 0,001 МПа, расход газа 30–60 л/ч) или

на метане (давление не менее 0,001 МПа, расход 75–1200 л/ч). Воздух к горелке подается под давлением не более 0,5 МПа (расход 850–600 л/ч) принудительно от компрессора или магистрали. Наконечники мундштуков № 1, 2, 3 обеспечивают цилиндрическую стабилизацию горения пламени, температура которого достигает 1600 °С. Такая горелка используется как для ручной пайки стальных деталей с толщиной стенки до 2 мм припоями с температурой плавления до 600 °С, деталей толщиной до 20 мм припоями с температурой плавления до 600 °С и деталей толщиной до 2 мм припоями с температурой плавления до 400 °С, а также для механизированного очищения деталей от ржавчины, окалина, старой краски, сушки литейных форм и т.п. При газопламенном очищении вследствие быстрого нагрева поверхностного слоя металла окалина отслаивается, ржавчина обезживается, а краска сгорает без значительного нагрева основного металла.

Горелка типа ГВ-1 предназначена для нагрева трубопроводов, труб и других деталей при их покрытии битумом, для приклеивания рубероида к бетонным поверхностям, для нанесения гидроизоляции и т.п., работает на пропан-бутановой смеси (давление не менее 0,1–0,15 МПа, расход газа 670–1700 л/ч). Подача воздуха выполняется из атмосферы за счет подсоса. Корпус горелки одновентильный, наконечники № 1, 2, 3 обеспечивают цилиндрическую стабилизацию горения пламени, вследствие чего можно нагревать металлические и неметаллические материалы до 300 °С.

Горелки типа ГАО используют жесткое окислительное пламя, угол наклона горелки к поверхности 40–60°, скорость перемещения 0,5–1 м/мин. Мундштук горелки следует размещать под углом 30° в направлении движения для перекрытия каждого предыдущего слоя следующим на 15–20 мм. Производительность труда составляет 20 м²/ч при удельном расходе ацетилена от 0,1 до 0,4 м³ на 1 м² очищаемой площади.

Пайка. При газопламенной высокотемпературной пайке согласно с ГОСТ 17325–79 используют припои с температурой пайки выше 550 °С, а при низкотемпературной – ниже 550 °С.

Для *низкотемпературной пайки* и лужения сталей, в том числе жести, используют припои ПОСС-4–6 с флюсом (смесь 25–30 % хлористого цинка, 5–20 % хлористого аммония и 50–70 % воды)

или насыщенный компонентами раствор в соляной кислоте (85 % хлористого цинка, 10 % хлористого аммония, 5 % хлористого натрия). При пайке используют в основном соединения внахлест. Прочность паяных швов зависит от площади спая и размера зазора между деталями, который должен быть минимальным. Так, при использовании серебряного припоя зазор составляет 0,03–0,12 мм, медно-цинкового – 0,12 мм, оловянно-свинцового – 0,05–0,12 мм.

Высокотемпературная пайка сталей выполняется также с использованием припоев. Если детали подлежат дальнейшему нагреву до 810 °С, к чистоте места спая предъявляются повышенные требования и необходимо обеспечить высокие пластические свойства, используют серебряные припои марок ПСр-10, ПСр-25, ПСр-65. Для высокотемпературной пайки используют специальные флюсы: буру в случае пайки углеродистой стали и чугуна (припои медно-цинковые и серебряные); флюсовую смесь калия фтористоводородного (45–55 %) и борной кислоты (45–55 %) для пайки сверхтвердых сплавов и высокоуглеродистых сталей; смесь плавленной буры (50 %) и борной кислоты (50 %) для пайки нержавеющей стали.

Высокотемпературная пайка ведется пламенем нормального состава с помощью горелок упомянутых типов. Удельная мощность пламени (по ацетилену) на 1 мм нержавеющей стали – не более 70 л/ч. Детали нагревают факелом пламени. При пайке разнородных и разнотолщинных металлов пламя направляют на деталь с большей толщиной или теплопроводностью. Диаметр или толщину припоя выбирают, учитывая, что его толщина должна быть равной 1–3 толщинам наиболее тонкой из соединяемых деталей.

Материалы, технология и оборудование для наплавки и напыления покрытий. По своей природе процессы наплавки и напыления подобны пайке, где соединение выполняется на границе жидкого и твердого металлов. Эти процессы требуют хорошего смачивания поверхности основы, что достигается подбором соответствующего состава присадочного металла и флюсов, а также тщательной подготовкой поверхностей.

Для работы в условиях трения при высоких температурах используются стеллиты – литые твердые сплавы вольфрама и хрома (связка кобальт и железо) в виде прутков, обеспечивающие твердость наплавленного слоя 42–48 HRC. Для работы в условиях аб-

разивного изнашивания при нормальных и повышенных температурах используется сормайт 27 — чугу́н, легированный хромом, никелем и кремнием в виде литых прутков и обеспечивающий твердость наплавленного слоя 40–54 HRC. Инструмент, подвергаемый абразивному изнашиванию большой интенсивности (буровой инструмент для нефтяных и газовых скважин), наплавляют релитом ТЗ в виде трубчатого стержня из низкоуглеродистой стали диаметром 6 мм и стенкой толщиной 0,5 мм, заполненного карбидом вольфрама; твердость наплавленного слоя 85 HRC.

Металлорежущий инструмент упрочняют победитом — металлокерамикой из карбида вольфрама и титана (связка кобальт и железо) в виде пластин, что обеспечивает твердость 86–91 HRC.

Производительность напыления существенно зависит от горелки. Например, горелка средней мощности типа ГН-2 при давлении ацетилена не менее 0,01 МПа и его расходе 350–600 л/ч дает возможность напылять до 2 кг/ч хромоборникелевого порошка на детали средних размеров. Горелка типа Евроджет XS-8 при расходе ацетилена 860 л/ч позволяет напылять вручную или механизированным способом 2–4 кг/ч порошка марки ПГН-10Н-01 на детали любой конфигурации.

В качестве флюса при наплавке стеллита используют буру или смесь буры (20 %), борной кислоты (68 %) и плавикового шпата (2 %), а при наплавке сормайта смесь буры (50 %), двухуглеродистой соды (47 %) и кремнезема (3 %). Мощность пламени составляет 100–120 л/ч на 1 мм толщины металла. Состав пламени — с небольшим избытком ацетилена.

Максимальная глубина проплавления не должна превышать 0,3–0,5 мм, толщину слоя регулируют, изменяя угол наклона детали к горизонту. Горелку (ось мундштука) размещают под углом 30–35°. Наплавку можно выполнять как левым, так и правым способом непрерывным или обратноступенчатым валиком.

Предварительный подогрев проводится до температуры 500–700 °С, иногда используют сопутствующий подогрев. Мелкие и среднегабаритные детали достаточно подогревать до 300–500 °С. Наплавку выполняют в один слой 2–3 мм, если деталь работает при ударной нагрузке, и в несколько слоев общей толщиной 4–8 мм при работе детали на трение.

При *газопорошковой наплавке* материал подается в виде порошкового сплава сквозь газокислородное пламя в место плавле-

ния, для чего используют специальные горелки. Частицы порошков имеют сферическую форму диаметром 40–100 мкм; они самонагревающиеся, поэтому не требуют использования флюсов. Наплавка ведется с предварительным подогревом детали до температуры 300–400 °С. На поверхность детали напыляют тонкий слой порошка (0,2 мм) и пламенем нагревают участок до температуры смачивания основного металла. Потом горелку отводят на расстояние 1,5–2 длины ядра пламени и, плавно подавая в нее порошок, наплавляют слой металла толщиной до 1 мм. Если необходимо наплавить слой большей толщины, пламенем горелки переплавляют нанесенный слой и наплавляют новый. Такой способ обеспечивает получение тонкослойной наплавки в труднодоступных местах и в любом пространственном положении.

Газотермическое напыление используют для защиты металлоконструкций от коррозии, повышения износостойких, антифрикционных и жаростойких свойств поверхностей, восстановления размеров и декоративного украшения деталей.

Нагрев распыляемого материала выполняется ацетиленокислородным пламенем, а распыление частиц — динамическим напором газового пламени, поскольку частицы инжeksiруются в него струей кислорода и воздуха, подсосываемого из атмосферы.

Для *газопламенного напыления* покрытия используются аппаратура и установки порошкового типа, предназначенные для напыления порошковыми материалами, и проволочного типа — для нанесения покрытий из алюминия, цинка, стали, других металлов. Аппараты МГИ используют для ручного напыления.

Наряду с подбором оптимальных параметров режима напыления очень важной является операция подготовки поверхности детали, которая выполняется дробеструйной обработкой или нанесением рельефа типа рваной рези. Недостаток способа — увеличенный до 85 дБ шум в зоне работы, что заставляет оператора работать в наушниках.

Контрольные вопросы

1. Какие зоны имеет ацетиленокислородное пламя?
2. Какие виды ацетиленового пламени используют? Где и когда их используют?

3. Какие параметры характеризуют режим ацетиленокислородной сварки? От чего они зависят?
4. Какая техника сварки используется при выполнении работ во всех пространственных положениях?
5. В каких отраслях используют газовую сварку?
6. Какие специальные виды газопламенной обработки существуют? При каких условиях они используются?
7. Как работают генераторы для получения ацетилена?
8. Какие предохранительные устройства используют при ацетиленокислородной сварке и резке?
9. В каких баллонах хранятся газы и кислород, которые используются для сварки и резки?
10. Как устроена сварочная горелка? Как предотвратить засорение ее каналов?
11. Как выбираются сварочные материалы для сталей?
12. Какие сварочные материалы используются для сварки меди и алюминия?

ДУГОВАЯ СВАРКА

Строение электрической дуги и ее свойства. *Сварочной дугой* называется мощный длительный электрический разряд, протекающий в среде газов и паров металла между двумя электродами под напряжением, который характеризуется низким напряжением, большим током и высокой температурой. Явление электрической дуги открыли русский ученый В. Петров и итальянец А. Вольта в 1802 г. Уже тогда Петров отметил такие свойства дуги, как яркий свет и высокая температура, и предсказал возможные области ее использования — освещение и плавление металлов. Так и случилось: дуговой разряд используют в мощных прожекторах и при сварке. Впервые на практике сварку применил Н. Бенардос в 1881 г.

Поскольку дуга горит в воздухе, который при нормальных условиях является изолятором, для ее существования дуговой воздушный промежуток нужно насытить частицами, способными переносить электрический заряд, — электронами и ионами. Схема дугового разряда показана на рис. 5.1.

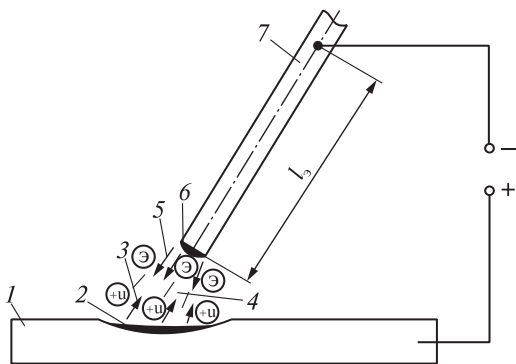


Рис. 5.1. Схема сварочной дуги постоянного тока

Если источник питания постоянного тока подключить к изделию 1 и электроду 7, зажечь дугу, то она будет гореть между катодом 6 и анодом 2, а между ними появится видимая часть дуги — ее столб 4. Электрод 7 является проводником электрического тока благодаря наличию свободных электронов, которые скапливаются на катоде и могут двигаться в направлении анода, но этому препятствует сопротивление воздушной прослойки между катодом и анодом. Для преодоления сопротивления нужно потратить энергию, которую называют работой выхода электрона ϕ_z и которая зависит от природы материала, степени чистоты катода (наличие оксидов уменьшает работу выхода), температуры поверхности катода (повышение температуры уменьшает работу выхода). Все эти факторы влияют на процесс эмиссии электронов в дуговой промежуток, причем энергия электронов зависит от нескольких видов эмиссии:

- термоэлектронной — проявляется главным образом в неплавящемся электроде — графитовом и вольфрамовом, которые нагреваются до высоких температур (3400 °C);
- автоэлектронной — возникает под действием внешнего магнитного поля, образованного источником питания, и облегчает процесс выхода электронов;
- вызванной соударениями положительных ионов с поверхностью катода, в результате чего он дополнительно разогревается;
- фотоэлектронной — проходит под действием квантов светового излучения ультрафиолетовых, гамма- и рентгеновских лучей.

Таким образом, катод испускает (эмитирует) свободные электроны, которые устремляются к положительному электроду — аноду. В катодной области 5 они разгоняются и приобретают большую кинетическую энергию. Неупруго сталкиваясь в столбе дуги с атомами газов и паров, электроны вызывают их ионизацию с образованием ионов и новых электронов. Так возникает первичная ионизация — процесс преобразования нейтральных атомов и молекул в ионы в случае потери или присоединения электрона на внешней орбите. Такой процесс требует энергии, которая зависит от природы материала и называется потенциалом ионизации $U_{и}$. Работа выхода и потенциал ионизации измеряются в электронвольтах. Образующиеся положительные ионы направляются

к катоду. Электронно-ионный ток, протекающий через дугу, нагревает газ. Температура столба дуги способствует термической ионизации газа. Газ столба дуги ослепительно ярко светится, вызывая фотоионизацию, в результате чего его температура достигает 6000–8000 °С.

Столб дуги представляет собой низкотемпературную плазму — смесь заряженных (электронов и ионов) и нейтральных частиц, которые увлекаются заряженными и движатся в определенном направлении, причем все время протекают процессы как ионизации, так и рекомбинации — превращения ионов в нейтральные атомы и молекулы.

Можно сделать вывод, что эмиссия электронов первична, ионизация — вторична, а залогом надежного стабильного горения дуги является наличие постоянного по размеру, температуре и эмиссионной способности катодного активного участка. Его называют «катодное пятно».

Электроны, прошедшие столб дуги, тормозятся в анодной области 3 (рис. 5.1), образуя избыточный отрицательный заряд, и оседают на аноде, отдавая ему свою энергию, что сопровождается выделением теплоты, достаточной для плавления практически всех металлов и сплавов.

Ионы в свою очередь поступают в катодную область 5 (рис. 5.1), образуя там избыточный положительный заряд, и нейтрализуются, отдавая свою энергию катоду и тем самым нагревая его до температур, превышающих температуры плавления.

Приведем для некоторых материалов значения работы выхода и потенциала ионизации.

Элемент	K	Na	Ca	Fe	Cu
φ_0 , эВ	2,02	2,12	3,34	4,47	4,4
$U_{и}$, эВ	4,32	5,11	6,1	7,83	7,7

Как видно из приведенных данных, наименьшие значения работы выхода и потенциала ионизации имеют элементы щелочно-земельной группы элементов — калий, натрий и кальций. Установлено, что введение этих элементов в дуговой промежуток значительно снижает эффективный потенциал ионизации — обобщенный показатель, отражающий реальное парогазовое состояние дугового разряда. Поэтому в состав покрытий и флюсов

всегда вводят эти элементы в виде солей угольной кислоты K_2CO_3 , Na_2CO_3 , $CaCO_3$ для улучшения стабильности горения дуги. Первое покрытие, которое наносили на поверхность стального стержня, было меловое — раствор мела $CaCO_3$ в жидком стекле.

Фтор имеет повышенный потенциал ионизации $U_{\text{и}} = 16,0$ эВ и в составе покрытий и флюсов (соединение CaF_2) является деионизатором, значительно ухудшая стабильность горения дуги.

Главной характеристикой сварочной дуги как источника энергии для сварки является эффективная тепловая мощность

$$Q_{\text{эф}} = IU\eta,$$

где I — сварочный ток, А (изменяется в пределах 50–1500 А); U — напряжение на дуге, В (15–45 В); η — КПД (0,5–0,95).

Большая часть мощности 80–85 % выделяется в катодном и анодном активных пятнах, т.е. в местах плавления основного и электродного металлов, а остальная — в столбе дуги. Кроме того, под действием электрического тока, протекающего в металлическом стержне электрода, выделяется джоулева тепловая мощность на вылете электрода l_3 :

$$Q_{\text{дж}} = I^2 R = I^2 \rho 4l_3 / (\pi d_3^2),$$

где R — сопротивление электрода, Ом; ρ — удельное электрическое сопротивление, Ом·см; l_3 — вылет электрода — расстояние от точки токоподвода до торца электрода, см; d_3 — диаметр электрода, см.

Такое подогревание электрода способствует повышению скорости плавления и увеличению производительности процесса, но чрезмерное нагревание ведет к разрушению покрытия электрода, которое теряет свою механическую прочность при температуре выше 700 °С. Поэтому с уменьшением диаметра электрода и повышением ρ длину электрода уменьшают. Наибольшая длина стандартных электродов составляет 450 мм.

Сварочную дугу можно рассматривать как такой же инструмент для металлообработки, что и резец, фреза, сверло. Поэтому она не должна прерываться при изменении длины дуги, должна быть стабильной во всех пространственных положениях, в цеховых и монтажных условиях, на воздухе и под водой. Все это обеспечивается благодаря оптимальному соотношению между напряжением дуги, сварочным током и специальными свойствами источников ее питания.

Напряжение дуги, т.е. напряжение между катодом и анодом, зависит от длины дуги и силы тока, а также от материала и размеров электрода, состава и давления плазмы столба дуги. В процессе выбора источника питания решающее значение имеет зависимость между напряжением и током дуги, которую называют статической вольт-амперной характеристикой или статической характеристикой дуги (рис. 5.2). Эта характеристика состоит из трех участков:

- падающей I – малоамперной дуги при плотности тока на электроде $10\text{--}12\text{ А/мм}^2$, характеризующейся слабой стабильностью горения (на практике почти не используется);
- жесткой II, соответствующей повышенной плотности тока $12\text{--}80\text{ А/мм}^2$, в указанных пределах сварочного тока – область применения ручной дуговой сварки;
- возрастающей III, когда плотность тока на электроде превышает 80 А/мм^2 (характерна для механизированных способов сварки).

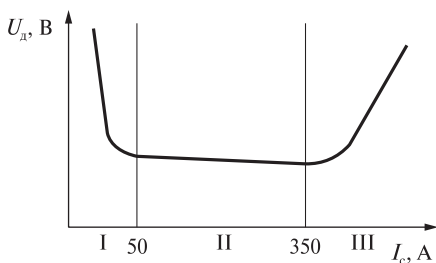


Рис. 5.2. Статическая характеристика дуги

Источник питания сварочной дуги должен удовлетворять следующим требованиям: обеспечивать надежное возбуждение дуги, поддерживать ее стабильное горение, высокую эластичность и стабильность необходимых режимов сварки, способствовать переносу электродного металла и формированию сварного шва.

Свойства источников питания определяются внешними характеристиками – зависимостью между напряжением на их клеммах и током в сварочной цепи при нагрузке. Внешняя характеристика источника питания (рис. 5.3) может быть возрастающей 1, жесткой 2, пологопадающей 3 и крутопадающей 4. Характеристики 1–3 используются при механизированных способах сварки, 4 – при ручной дуговой сварке. Важными параметрами являются напряжение холостого хода источника питания, ток короткого замыкания, номинальные значения напряжения и тока дуги.

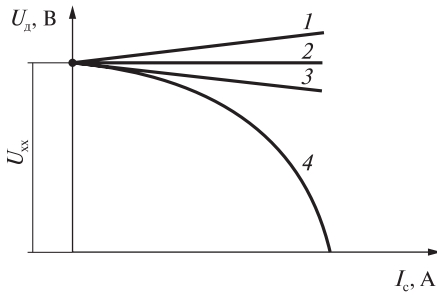


Рис. 5.3. Внешние характеристики источников питания

Зажигание дуги осуществляется тем легче, чем выше напряжение холостого хода источника. Надежный поджиг дуги возможен при 40–50 В; при этом для безопасности напряжение холостого хода источника переменного тока не должно превышать 80 В, а источника постоянного тока — 90 В.

К источникам переменного тока предъявляют специальные требования, связанные с пониженной устойчивостью дуги переменного тока. При частоте 50 Гц напряжение источника в течение 1 с 100 раз уменьшается до нуля и дуга гаснет, после чего она должна возбудиться при повышенном напряжении, которое называют напряжением повторного возбуждения U_B , причем $U_B < U_{xx}$. Если напряжение источника недостаточное, то повторное зажигание дуги может не состояться. Для надежного повторного зажигания дуги переменного тока следует увеличивать сварочный ток и напряжение холостого хода источника, а также использовать источники с достаточной индуктивностью.

Большую роль играет источник в уменьшении разбрызгивания расплавленного металла и формировании качественного сварного шва. Для уменьшения разбрызгивания в сварочную цепь последовательно с дугой включают дроссель большой индуктивности или используют источники с крутопадающей внешней характеристикой. При этом снижается ток короткого замыкания, возникающий при прикосновении электрода к изделию, и капля переходит в ванну спокойно, без взрывов и ударов.

Сила сварочного тока обычно регулируется с помощью источника. Все возможные способы регулирования тока можно свести к двум — изменение напряжения холостого хода U_{xx} и изменение сопротивления источника. При механизированной сварке с по-

мощью источника регулируют напряжение дуги, сила тока в этом случае задается автоматически путем изменения скорости подачи электродной проволоки.

При *ручной сварке* покрытыми электродами используют источники питания постоянного и переменного тока с крутопадающими внешними характеристиками (см. рис. 5.3). Благодаря повышенному напряжению холостого хода обеспечивается надежное первичное и повторное зажигание дуги. Условие общей устойчивости дуги выполняется в случае сочетания крутопадающей характеристики источника с падающей или жесткой характеристикой дуги. Такой источник обеспечивает высокую эластичность дуги — устойчивость горения дуги при колебаниях ее длины. По этой же причине гарантируется стабильность режима сварки — на постоянном уровне поддерживается сила тока и соответственно глубина проплавления. При крутопадающей внешней характеристике ток короткого замыкания сравнительно небольшой, поэтому разбрызгивание электродного металла при капельном переносе невелико.

В источнике для ручной сварки есть регулятор тока.

При *автоматической сварке* под флюсом используют источники постоянного и переменного тока с пологопадающими внешними характеристиками (кривая 3 на рис. 5.3). Наиболее распространены автоматические системы с постоянной скоростью подачи проволоки, работающие по принципу саморегулирования, которое состоит в том, что при постоянной скорости подачи проволоки в дуге устанавливаются такие ток и напряжение, что скорость плавления проволоки равна скорости ее подачи. В случае внезапного удлинения дуги уменьшается сварочный ток и соответственно скорость плавления проволоки. Вследствие этого отклонения длина дуги (удлинение) начнет сокращаться, а ток увеличиваться до тех пор, пока не восстановятся первоначальная длина дуги и режим сварки. Аналогичные процессы происходят при сокращении дуги. Скорость восстановления режима тем выше, чем больше изменение тока при изменении длины дуги. При изменении длины дуги отклонение тока тем больше, чем меньше наклон внешней характеристики. Поэтому источник для сварки под флюсом имеет пологопадающую характеристику, что, как и при ручной сварке, обеспечивает надежное первичное и повторное возбуждение и устойчивое горение дуги. Источник

имеет регулятор напряжения дуги. Сила тока зависит от скорости подачи проволоки, поэтому настраивается механизмом подачи проволоки.

При *механизированной сварке* в углекислом газе используют источники постоянного тока с жесткой и возрастающей характеристикой, что увеличивает быстродействие процесса саморегулирования. Постоянный ток обратной полярности улучшает условия возбуждения и устойчивого горения дуги. Чтобы уменьшить разбрызгивание электродного металла, последовательно с источником соединяют дроссель значительной индуктивности, который ограничивает пиковое значение и скорость роста тока короткого замыкания. Напряжение дуги регулируется источником, а сила сварочного тока — скоростью подачи проволоки.

Перенос электродного металла и формирование сварного шва. Характер плавления и переноса электродного металла оказывает большое влияние на взаимодействие металла со шлаком и газами, стабильность горения дуги, формирование шва, производительность процесса, разбрызгивание и другие технологические факторы.

При плавлении на торце электрода образуется капля жидкого металла, на которую действует несколько сил. Одни из них пытаются сбросить каплю с торца электрода, а другие, наоборот, удерживают ее там. Отдельные силы и направление их равнодействующей зависят от параметров режима сварки, состава электродного металла и газовой среды, состояния поверхности проволоки, пространственного положения (рис. 5.4), где те силы, которые удерживают каплю на торце электрода, обозначены стрелкой вверх, а те, что способствуют ее переносу в сварочную ванну, обозначены стрелкой вниз — для нижнего положения.

Сила тяжести P_G существенно влияет на перенос электродного металла только при сварке на малых токах, когда она способствует попаданию капли в сварочную ванну, а в потолочном положении — капля падает вниз на сварщика.

Сила поверхностного натяжения P_σ (рис. 5.4, б) удерживает каплю, ее дееспособность зависит от природы металла, наличия поверхностно-активных элементов в его составе (кислород и сера уменьшают ее), объема капли и температуры (с увеличением объема и температуры P_σ уменьшается).

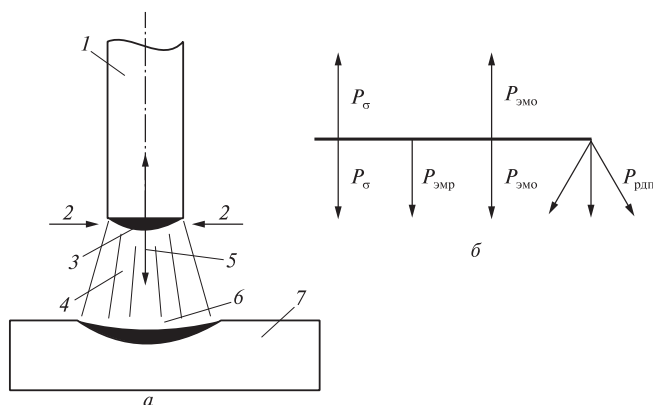


Рис. 5.4. Силы, действующие на каплю в дуговом промежутке (а), и направление их действия при сварке в нижнем пространственном положении (б):

1 — электрод; 2 — радиальная составляющая электромагнитной силы; 3 — активное пятно; 4 — столб дуги; 5 — осевая составляющая электромагнитной силы; 6 — линии тока на капле; 7 — деталь

Электромагнитные силы обусловлены взаимодействием проводника, по которому течет ток, и магнитного поля, образующегося под действием этого тока. Электромагнитная радиальная сила $P_{\text{эмп}}$ пытается деформировать проводник в радиальном направлении; наиболее существенно ее действие проявляется на границе твердый металл электрода — жидкий металл капли, что способствует отрыву капли от торца электрода. Эта сила носит название силы пинч-эффекта и пропорциональна квадрату силы тока. Электромагнитная осевая сила $P_{\text{эмо}}$ обусловлена измененным сечением проводника по его длине (электрод — капля — активное пятно — столб дуги). Если размеры активного пятна меньше, чем диаметр электрода (шейка), то линии тока направлены вверх и осевая сила препятствует переносу (что характерно для электродов с основным покрытием), и наоборот, если линии тока направлены вниз (что характерно для электродов с кислым покрытием).

Направление действия этих сил не зависит от пространственного положения, поэтому они играют важную роль в переносе металла при потолочной сварке.

Сила реактивного давления пара $P_{\text{рлп}}$ обусловлена испарением металла с поверхности капли и химическим взаимодействием

жидкого металла со шлаком или газовой фазой и зависит от размеров активных пятен, плотности тока в них, теплофизических свойств металла.

По мнению многих специалистов, равнодействующая реактивных сил приложена в центре активного пятна, что обуславливает значительную подвижность капель. Поэтому данная сила действует в разных направлениях и в значительной мере влияет на разбрызгивание электродного металла. Правда, ею можно управлять, если создать тугоплавкое покрытие, когда на торце электрода образуется «чехольчик», который способствует кумулятивному, направленному парогазовому потоку, проникновению дуги в глубь основного металла и увеличению провара. Если покрытие расплавляется одновременно со стержнем, эта сила способствует рассредоточению тепловой мощности дуги, что нужно для перекрытия больших зазоров при сварке плохо подогнанных кромок деталей (электроды с органическим покрытием).

Вид переноса зависит от соотношения сил, действующих на каплю:

- крупнокапельный, характерный для плавления электродов с основным покрытием;
- мелкокапельный, возникающий при использовании электродов с кислым покрытием и при сварке под флюсом;
- струйный — при сварке плавящимся электродом в среде аргона или смеси аргона с кислородом или углекислым газом, что достигается благодаря либо повышенной плотности тока, либо воздействию кислой среды, которая способствует уменьшению силы поверхностного натяжения. Этот вид переноса значительно уменьшает или ликвидирует полностью разбрызгивание электродного металла, что очень важно для чистоты околошовной зоны.

При сварке в среде CO_2 невозможно получить струйный перенос металла, поскольку на диссоциацию этого газа расходуется много энергии из сварочной дуги.

При сварке в среде аргона можно управлять переносом электродного металла благодаря импульсно-дуговому воздействию на каплю. Суть управления состоит в том, что на дугу постоянного тока накладываются через период мощные кратковременные импульсы тока, обеспечивающие формирование капли на торце электрода и ее перенос в сварочную ванну.

В промежутках между импульсами электрод расплавляется при небольшой силе тока. При наложении импульса тока увеличенной амплитуды резко возрастают электромагнитные силы. Радиальная способствует мгновенному образованию шейки, а осевая — интенсивному движению капли вдоль оси электрода в направлении сварочной ванны с последующим ее отрывом и переходом в ванну. Такой принудительный перенос возможен при сварке во всех пространственных положениях, что очень важно при использовании механизированных способов.

Под действием теплоты сварочной дуги (рис. 5.5) капли расплавленного электродного металла 3 направляются к основному расплавленному металлу, смешиваются с ним, образуя жидкую сварочную ванну 5, которая все время движется и перемешивается. Если сварка ведется покрытым электродом или под флюсом, поверхность ванны покрывает слой жидкого шлака 7, защищающий жидкий металл от воздействия компонентов воздуха вплоть до кристаллизации. При сварке в среде защитных газов плавильное пространство защищается газом, который оттесняет воздух.

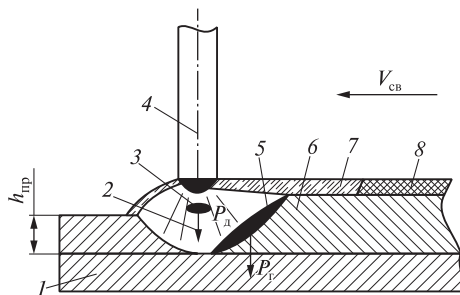


Рис. 5.5. Схема строения сварочной ванны и формирования сварного шва:

1 — основной металл; 2 — столб дуги; 3 — капли расплавленного электрода; 4 — электрод; 5 — жидкая металлическая ванна; 6 — закристаллизовавшийся металл шва; 7 — жидкий шлак; 8 — закристаллизовавшийся шлак

Границами ванны являются оплавленные участки основного металла и ранее образованного шва. Головная часть ванны, где металл интенсивно взаимодействует со шлаком и газами, нагревается до существенно более высокой температуры (2300 °С), чем ее среднее значение 1800 °С. В этой части столб дуги 2 осуществляет

ет механическое давление P_d на поверхность расплавленного основного металла, которое является результатом совместного действия упругого удара плазмы дуги, давления газов и магнитного дутья, обусловленного электродинамическими силами.

Давление дуги, пропорциональное квадрату силы сварочного тока, вытесняет жидкий металл из-под основания дуги и способствует ее проникновению в глубь металла, формируя глубину провара $h_{пр}$. Существует эмпирическая зависимость: каждые 100 А сварочного тока обеспечивают 1 мм провара на стали. Под действием давления жидкий металл отбрасывается в хвостовую часть плавильного пространства, в результате чего появляется разница в уровнях жидкости. Такая ситуация возможна только при равновесии между силой давления дуги P_d и гидростатическим давлением жидкого металла и шлака, которое пропорционально удельному весу металла P_r . Иначе говоря, при одинаковой силе сварочного тока глубина провара на алюминии будет больше этого показателя для стали в такой степени, в которой удельная масса алюминия меньше, чем у стали.

При удалении источника нагрева в хвостовой части плавильного пространства увеличивается отвод теплоты в массу основного металла по сравнению с притоком и начинается затвердевание — первичная кристаллизация сварочной ванны. Она начинается от частично оплавленных зерен основного металла или столбчатых кристаллов предыдущего слоя при многослойной сварке, которые являются готовыми центрами кристаллизации. Видимая граница между металлами исчезает, что свидетельствует о монолитности соединения. Шлак застывает позже металла (его температура плавления на 200—400 °С меньше, чем у металла), образуя шлаковую корку, которая защищает поверхность сварного шва до полного остывания. После сварки шлак надо удалить, но это не всегда легко удастся, потому что он строит свою решетку на готовом металлическом «фундаменте», достраивая ее. В случае большой разницы коэффициентов линейного расширения и параметров кристаллических решеток металла и шлака на границе металл—шлак в процессе затвердевания появляются большие напряжения, что облегчает удаление шлака или его свободное отделение. Это особенно важно при многослойной сварке.

Теплота, выделяемая сварочным источником нагрева, распространяется на зону термического влияния — участки шва, приле-

гающие к основному металлу, в котором изменяются структура и свойства металла. Ширина зоны изменяется в значительных пределах в зависимости от способа и параметров режима сварки, состава и толщины основного металла и т.д. Схему построения зоны термического влияния рассмотрим на примере сварки однослойного стыкового шва на конструкционной стали (рис. 5.6).

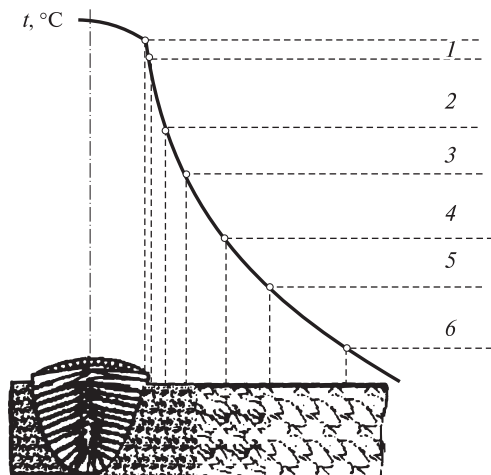


Рис. 5.6. Строение околошовной зоны:

1 — участок твердого состояния; 2 — участок перегрева; 3 — участок перекристаллизации; 4 — участок неполной перекристаллизации; 5 — участок перекристаллизации; 6 — участок старения

Первый участок зоны примыкает непосредственно к металлу шва. На этом участке основной металл находится в твердом состоянии. Здесь и происходит собственно сварка, т.е. формирование кристаллитов шва на частично оплавленных зернах основного металла. Участок небольшой ширины по своему составу и структуре отличается от соседнего участка основного металла. Во время контакта жидкой и твердой фаз в нем протекают диффузионные процессы и развивается химическая неоднородность. Совокупность первого участка околошовной зоны и приграничного участка металла шва именуют зоной сплавления или переходной зоной. Нередко свойства переходной зоны оказывают решающее влияние на работоспособность сварной конструкции.

Шестой участок — старение после закалки является результатом фиксирования в состоянии пересыщенного твердого раствора при быстром охлаждении металла от 720 °С до комнатной температуры примесей (углерода и азота) в количествах, соответствующих их максимальной растворимости при 720 °С. В процессе последующего вылеживания происходят распад пересыщенного твердого раствора и выделение избыточного количества углерода и азота в виде тонкодисперсных карбидов и нитридов, скапливающихся вокруг участков решетки. Тонкодисперсные выделения и скопления атомов уменьшают пластическую деформацию, что приводит к повышению прочности металла и снижению его пластичности.

При многослойной сварке околошовная зона есть не только в основном металле, но и в металле шва. Она отличается от рассмотренных выше улучшенными свойствами металла шва благодаря повторному термическому воздействию источника нагрева при наложении следующего слоя.

Особенности металлургических процессов. При сварке расплавленный металл интенсивно поглощает газы из окружающего воздуха, несмотря на использование различных средств защиты — электродных покрытий, флюсов, защитных газов. Следовательно, взаимодействующими фазами являются жидкий и твердый металлы, газ и жидкий шлак. Главные особенности металлургических реакций при сварке — высокая температура нагрева, относительно малый объем расплавленного металла и короткое время протекания процесса. Все процессы взаимодействия протекают одновременно, но для удобства будем рассматривать их отдельно.

При сварке кислород, азот, водород проникают в жидкий металл из воздуха, а также вместе со сварочными материалами, от поверхностных загрязнений и т.п. Они могут растворяться в металле, например водород, или образовывать химические соединения. Так, железо образует с кислородом оксиды FeO , Fe_3O_4 , FeO_2 , а с азотом — нитриды Fe_2N и Fe_4N . Эти химические соединения в свою очередь могут растворяться, ухудшая качество металла, либо не растворяться в расплаве, переходя в шлак. При температуре плавления металла растворимость газов снижается скачкообразно, они не успевают полностью выделиться из ванны и остаются в затвердевшем шве в виде пор.

Жидкий металл может также окисляться водяным паром, диоксидом углерода, поэтому при сварке таких химически активных металлов, как алюминий, титан и их сплавы, надо использовать бескислородные флюсы или инертные газы.

При плавлении электродного покрытия, флюса, сердечника порошковой проволоки образуется шлак, который изолирует жидкую металлическую ванну от воздуха. В ванне протекают реакции вытеснения из шлака в металл одного элемента другим или реакции распределения элемента между металлом и шлаком. Первые из них описываются уравнениями:



Здесь и далее символы в квадратных скобках обозначают металлическую фазу, а в круглых — шлаковую; стрелки показывают, что реакции могут идти в обоих направлениях: при высоких температурах (в головной части сварочной ванны) реакции идут слева направо (восстановления кремния и марганца из шлака), а при снижении температуры (в хвостовой части сварочной ванны) равновесие реакции смещается справа налево (марганец и кремний окисляются и переходят из металла в шлак). Направление реакции зависит также от активности реагирующих веществ.

Реакция распределения серы вида $[\text{FeS}] \leftrightarrow (\text{FeS})$ характерна для взаимодействия кислого шлака с жидкой сталью, когда сера распределяется между шлаком и металлом путем перехода через межфазную границу молекул сульфида железа. Шлак и металл интенсивно взаимодействуют в жидком состоянии. Менее эффективно жидкий шлак действует на твердый металл, в результате чего на его поверхности могут протекать окислительные процессы с образованием оксидной пленки, которая укрепляет сцепление слоя шлака с этой поверхностью. В сварных швах есть неметаллические включения эндогенной природы (оксиды, сульфиды, нитриды и др.) и экзогенной (мелкие частицы шлака, застрявшие в металле). Основная причина их появления — уменьшение растворимости загрязняющих веществ в металле при понижении температуры или фазовые превращения в металле в твердом состоянии.

Нужный состав шва может быть обеспечен путем введения в него легирующих элементов из основного и электродного метал-

лов, электродного покрытия или флюса. Легирующие элементы добавляют в виде ферросплавов FeMn, FeTi, FeSi, FeV, что позволяет увеличить коэффициент перехода элемента в шов и удешевить процесс.

Химический состав металла шва можно рассчитать по формуле:

$$C_{\text{ш}} = C_0 Y_0 K_{\text{по}} + C_3 Y_3 K_{\text{пе}},$$

где $C_{\text{ш}}$ — содержание элемента в шве, %; C_0 , C_3 — содержание элемента соответственно в основном металле и электроде, %; $Y_0 = F_0/F_0 + F_3$, $Y_3 = 1 - Y_0$, Y_0 , Y_3 — доли основного и электродного металла в шве; F_0 , F_3 — площади шва, образованные соответственно основным и электродным металлами; $K_{\text{по}}$ — коэффициент перехода элемента из основного металла в металл шва, зависит от химической активности элемента, вида и технологии сварки и т.д., определяется опытным путем; $K_{\text{пе}}$ — коэффициент перехода элемента электродного металла в металл шва, зависит от тех же обстоятельств, но количественно выше, чем $K_{\text{по}}$, вследствие большей температуры капель электродного металла.

При ручной дуговой сварке $Y_0 = 0,15-0,4$, при автоматической сварке под флюсом электродной проволокой Y_0 может достичь 0,7, а при наплавке лентой $Y_0 = 0,1-0,15$.

Показатели свариваемости и методы ее определения. *Свариваемость* определяется совокупностью технологических характеристик основного металла, его реакцией на термический цикл сварки и на способность при принятом технологическом процессе обеспечить получение надежного в эксплуатации экономичного сварного соединения. Этот сложный процесс может быть разделен на физическую и технологическую составляющие.

Физическая свариваемость — способность материалов при сварке образовывать твердые растворы, химические соединения и способствовать диффузионным процессам, что необходимо для получения монолитного соединения. Такую способность имеют практически все конструкционные металлы и сплавы.

Технологическая свариваемость характеризует реакцию металла на термический цикл сварки и способность образовывать сварное соединение с заданными эксплуатационными свойствами. С этой точки зрения металлы и сплавы можно разделить на не-

сколько групп — с хорошей свариваемостью, удовлетворительной, ограниченной и плохой.

Основными показателями технологической свариваемости являются:

- окисляемость, определяемая химическими свойствами металла: чем больше он склонен к окислению, тем более качественная защита требуется при сварке;
- чувствительность к термическому циклу изменений температуры металла при сварке — главный из показателей свариваемости.

Вследствие того что температуры нагрева и охлаждения в разных зонах соединения различны (рис. 5.6), в них происходят различные структурные и фазовые превращения, часто негативно влияющие на свойства шва.

Как правило, чем выше прочность свариваемого материала и выше степень его легирования, тем более он чувствителен к термическому циклу, тем сложнее технология сварки. Этот показатель оценивают по свойствам различных зон соединения при статических, динамических, вибрационных испытаниях и металлографических исследованиях.

Горячие трещины — хрупкое межкристаллитное разрушение металла шва и околошовной зоны, появляется в твердотвердом состоянии в процессе кристаллизации, а также в твердом металле при высоких температурах. Для оценки стойкости металла шва против образования трещин используют ряд технологических проб, которые имитируют реальные сварные соединения.

Образцы (не менее трех) испытывают, когда надо определить качество основного металла и сварочных материалов, при проверке новых видов и режимов сварки и при приемочных испытаниях. Трещины обнаруживают внешним осмотром поверхности контрольного шва, излома шва после его разрушения или на вырезанных из него макрошлифах. При этом получают качественную характеристику устойчивости против образования горячих трещин.

Для количественной оценки применяют машинные испытания, которые выполняются на специальной машине со сменными зажимами для сборки и сварки тавровых и стыковых соединений. Их растягивают или изгибают при сварке. Устойчивость определяется критической скоростью деформации — той максимальной скоростью, при которой еще не возникают продольные трещины.

Чем выше эта скорость, тем больше стойкость металла против образования горячих трещин.

Для предотвращения возникновения трещин необходимо контролировать содержание в металле вредных примесей – серы и фосфора, правильно выбирать присадочный материал и технологию сварки.

Холодные трещины – локальное межкристаллическое разрушение, которое появляется в сварных соединениях при температурах ниже 200 °С. Причинами их появления могут быть хрупкость металла вследствие образования закалочных структур при быстром охлаждении, остаточные напряжения в соединениях, повышенное содержание водорода в сварных швах, который усиливает негативное влияние первых двух факторов.

Оценка проводится при сварке технологических проб, подобных реальным сварным соединениям.

Трещины наиболее полно проявляются через 5–20 суток после сварки, после чего осматривают образцы и их макрошлифы.

К косвенным методам оценки склонности к образованию холодных трещин можно отнести определение углеродного эквивалента:

$$C_{\text{эк}} = C + \frac{\text{Mn}}{6} + \frac{\text{Si}}{24} + \frac{\text{Ni}}{10} + \frac{\text{Cr}}{5} + \frac{\text{Mo}}{4} + \frac{\text{V}}{14}.$$

Символ каждого элемента означает максимальное содержание его в металле (в процентах). Если углеродный эквивалент $C_{\text{эк}} > 0,45 \%$, то для обеспечения устойчивости против образования холодных трещин требуются предварительный, а иногда и сопутствующий подогрев до температуры 100–400 °С и проведение термообработки.

Контрольные вопросы

1. Что собой представляет электрическая дуга? Расскажите о ее строении и свойствах.
2. В результате чего воздушный промежуток становится электропроводным?
3. Какие составляющие тепловой мощности определяют плавление основного и присадочного металлов?
4. Для чего предназначен источник питания сварочной дуги?

5. Что называют статической характеристикой сварочной дуги?
6. Какую характеристику источника питания называют внешней?
7. Как обеспечить устойчивое горение дуги с помощью источника питания?
8. Какие особенности характерны для горения дуги переменного тока?
9. Как регулируется сварочный ток с помощью источника?
10. Назовите основные технические параметры источника питания сварочной дуги.
11. Что называют относительной продолжительностью нагрузки? Как она связана с силой номинального сварочного тока?
12. Какие силы действуют на каплю электродного металла? Охарактеризуйте их влияние на ее перенос в сварочную ванну.
13. Можно ли осуществить управляемый перенос электродного металла? При каких условиях?
14. Как формируется сварной шов?
15. Как зона термического влияния воздействует на свойства металла?
16. Какие металлургические реакции протекают в сварочной ванне?
17. Как рассчитывается состав сварного шва?
18. Какова природа горячих и холодных трещин?

РУЧНАЯ ДУГОВАЯ СВАРКА

Сварка неплавящимся графитовым электродом. Суть способа заключается в том, что сварочная дуга горит между неплавящимся (ранее угольным, позже графитовым) электродом и изделием, в результате чего расплавляются основной металл и присадочный, который подается в столб дуги. Капли расплавленного присадочного металла смешиваются с расплавленным основным металлом в сварочной ванне, которая кристаллизуется, образуя сварной шов. Как правило, плавильное пространство плохо защищено от воздействия внешней среды. В качестве флюса используется бура, которую наносят на свариваемые кромки и на присадочный прут.

Основными параметрами режима являются характеристики сварочного процесса, обеспечивающие получение сварных швов заданных размеров, формы и качества:

- род тока, полярность — сварка выполняется на постоянном токе прямой полярности, благодаря чему обеспечивается более стабильное горение дуги и не науглероживается сварочная ванна; иногда используется переменный ток;
- диаметр графитового электрода — графитовые электроды для сварки и наплавки изготавливают круглыми (омедненными или неомедненными) длиной 250 мм, диаметром 4, 6, 8, 10, 15 и 18 мм; эти электроды в процессе сварки не расплавляются, расход графита связан только с его испарением. Применяют также пластинчатые электроды;
- сила сварочного тока — выбирается в зависимости от диаметра электрода: для диаметра электрода 6, 8, 10 и 15 мм сила сварочного тока соответственно 120–140, 180–200, 200–300 и 300–500 А. Рабочий торец электрода на длине 10–20 мм затачивают на конус с притуплением 1,5–2 мм;

- диаметр присадочного прутка — может колебаться в пределах от 2 до 10 мм.

Техника сварки с присадочной проволокой аналогична той, что применяется при газовой сварке.

Сварка графитовым электродом используется очень редко, главным образом для получения сварных соединений неответственного назначения при изготовлении изделий из низкоуглеродистых сталей, цветных металлов и сплавов и заварки дефектов на чугунном литье. Этот несложный способ доступен для практического использования на любом сварочном посту.

При *изготовлении тонколистовых конструкций* эффективна сварка с отбортовкой кромок без присадки.

Чугун имеет плохую свариваемость, но существует несколько технологий его сварки с использованием различных по составу материалов, которые обеспечивают получение металла с широким спектром свойств. При горячей сварке обязателен предварительный (а иногда сопутствующий) подогрев до температуры 650—700 °С. Сварка осуществляется быстро, без перерывов, с использованием графитового электрода диаметром 20—35 мм с присадкой чугунным прутком диаметром 8—12 мм (сварка на постоянном токе прямой полярности). Сила тока в пределах 1000—1400 А. После сварки — медленное охлаждение со скоростью не более 50—100 °С/ч. Целесообразно поместить изделие в печь, нагретую до 700 °С, и вести охлаждение в ней; это лучший способ сварки чугуна: сварной шов имеет структуру соответствующего чугуна со всеми свойствами основного металла. Несмотря на тяжелые условия труда сварщика и значительную трудоемкость, способ используют при ремонте сваркой ответственных тяжело нагруженных массивных чугунных изделий.

Сварку меди ведут длинной дугой, чтобы предотвратить вредное воздействие оксида углерода на сварочную ванну. Присадку, которая содержит раскислители, например из бронзы БрКМц3—1, не погружая в ванну, держат под углом 30° к поверхности изделия на расстоянии 5—6 мм от поверхности, а сам графитовый электрод держат под углом 75—90° к изделию.

Для *сварки латуни* применяют латунную проволоку таких марок, как ЛК60—05; ЛК80—3, а для сварки бронз — отлитые стержни того же состава, что и основной металл, используя тот же флюс,

что и для газовой сварки, нанося его на пруток или засыпая на расчищенную поверхность. Сварку ведут правым и левым способами. Правый более производительный, так как на основном металле концентрируется больше теплоты. Сварка выполняется в нижнем положении на графитовых подкладках с формирующими канавками. После сварки рекомендуется проковка.

Никелевые сплавы сваривают с использованием присадки марки НМц2,5 и такого же флюса, что при газовой сварке. Металл малой толщины 3–5 мм сваривают на режиме $d_s = 6\text{--}8\text{ мм}$, $I = 120\text{--}140\text{ А}$, $U_d = 22\text{--}26\text{ В}$. Использование этого способа очень эффективно для сварки нихромовых спиралей или лент, которые применяются как нагреватели в печах, реостатах и т.д. Сварку можно вести и на переменном токе силой 60–90 А без присадки, быстро, до образования шариков оплавленного металла.

Свинец при толщине до 6 мм сваривают без разделки кромок. Кромки толстого металла сваривают с V-образной разделкой с углом 70° , притупление 4 мм. Процесс выполняют за несколько проходов. При работе в монтажных условиях рекомендуется закладывать присадку в виде проволоки или «лапши» длиной 300–350 мм в зазор стыка, что препятствует вытеканию металла сварочной ванны и соответственно способствует повышению производительности. Сварка ведется на скорости, большей, чем при газопламенном процессе. Графитовый электрод устанавливают под прямым углом к изделию, а присадку — под углом $30\text{--}45^\circ$ к поверхности листа. Сварной шов сразу после сварки рекомендуется проковать.

В некоторых случаях, например при соединении алюминиевых шин, электрических вводов можно использовать сварку графитовым электродом. Металл толщиной до 2,5 мм сваривают без разделки кромок, возможна отбортовка кромок. Толстые листы требуют разделки с углом $70\text{--}90^\circ$. Флюс используют тот же, что и при газовой сварке, — марки АФ-4^а.

Сварка покрытым электродом. Способ дуговой сварки плавящимся электродом, изобретенный Н. Славяновым в 1888 г., отличался от предыдущего только тем, что сам электрод расплавлялся и доставлял металл в сварочную ванну, но плавильное пространство было также не защищено от воздействия внешней среды.

Опираясь на сформулированные О. Кельбергом принципы, на стержень начали наносить покрытие, компоненты которого способствовали повышению стабильности горения дуги, а также физической и химической защите сварочной ванны и сварного шва, благодаря чему качество сварного соединения стало достаточно высоким.

Ручная дуговая сварка покрытыми электродами является универсальным способом получения сварных изделий почти из всех конструкционных металлов и сплавов в цеховых, монтажных и полевых условиях, в различных пространственных положениях, в воздухе и под водой.

Сущность этого способа заключается в том, что дуга, которая питается постоянным или переменным током, горит между стержнем 4, на который нанесено покрытие, и изделием 1 (рис. 5.5). Капли расплавленного электродного металла смешиваются с расплавленным основным металлом, образуя сварочную ванну, которая вследствие отвода теплоты кристаллизуется в виде сварного шва.

Расплавляемые компоненты покрытия образуют газовую и шлаковую защиту, препятствуют доступу воздуха в плавильное пространство, причем жидкий шлак защищает поверхность хотя и твердого, но высокотемпературного сварного шва до момента затвердевания с образованием шлаковой корки.

Основные параметры режима следующие:

- род тока и полярность — возможно использование источников питания: переменного тока, постоянного тока прямой или обратной полярности. При выборе этого параметра в первую очередь надо руководствоваться соображением обеспечения высокой стабильности горения дуги, которая определяется свойствами компонентов покрытия. Если возможно использовать все три варианта, необходимо учитывать такие факторы, как глубина провара (больше на постоянном токе обратной полярности), производительность (больше на постоянном токе прямой полярности), наличие магнитного дутья (меньше на переменном токе), стоимость оборудования (источники питания переменного тока дешевле, надежнее в эксплуатации);
- диаметр электрода — определяется толщиной свариваемого металла, пространственным положением (для потолочного положения диаметр электрода не превышает 4 мм), номером

прохода (при многослойной сварке диаметр электрода первого прохода не более 4 мм). Используют электроды с диаметрами в пределах 2–6 мм. Для металла толщиной 2–2,5 мм при сварке в нижнем пространственном положении применяют электроды диаметром 2–2,5 мм. При толщинах металла 2–5, 5–10 и более 10 мм диаметр электрода составляет соответственно 3–4, 4–6 и 5–6 мм;

- сила сварочного тока зависит от диаметра электрода $I = kd$, где $k = 25–50$ — эмпирический коэффициент, зависит от электрофизических характеристик металла стержня, пространственного положения сварки, свойств покрытия, наличия предварительного подогрева (для ручной сварки находится в пределах 50–350 А);
- напряжение на дуге — зависит от свойств покрытия, пространственного положения, наличия предварительного подогрева, находится в пределах 18–30 В, но надо придерживаться указаний по колебанию этого параметра, приведенных в паспортных данных на этикетке пачки.

При сварке многослойных швов число слоев зависит от толщины металла, а площадь поперечного сечения валиков — от пространственного положения, толщины и номера прохода.

Толщина металла	1–5	6	8	10	12	14	16	18–20
Число слоев при сварке швов:								
стыковых	1	2	2–3	3–4	4	4–5	5–6	5–6
угловых	1	1	1	2	2–3	3–4	5	5–6

При выполнении многопроходных швов применяются специальные приемы в зависимости от пространственного положения сварного шва.

Первое движение. Сварщик зажигает дугу кратковременным прикосновением конца электрода к изделию. Торцевой электрод быстро нагревается до высокой температуры вследствие протекания тока короткого замыкания и наличия контактного сопротивления, и после отрыва электрода от изделия устанавливается дуговой разряд так, что длина дуги составляет 3–4 мм. Этот мо-

мент называют «горячий старт». Существует несколько способов улучшить его осуществление:

- на торец электрода наносят слой электропроводного в твердом состоянии шлака (не надо стучать электродом или «чиркать» по изделию);
- применяют электроды с двойным покрытием — внутренний слой имеет стабилизирующие компоненты, внешний — все остальные; такие покрытия способствуют легкому зажиганию дуги при любой длине электрода и рекомендуются для начинающих сварщиков;
- использование графитовой пластины — возбуждение дуги на платине и перенос ее на изделие;
- применение специальных приборов — осцилляторов или стабилизаторов, которые подают в дуговой промежуток стабилизирующий импульс в момент короткого замыкания. После возбуждения дуги электрод начинает плавиться со скоростью плавления $V_{пл}$, поэтому сварщик должен подавать его в плавленное пространство со скоростью подачи электрода $V_{пз} = V_{пл}$. Если $V_{пз} \neq V_{пл}$, то возникает ситуация обрыва дуги или короткого замыкания.

Второе движение сварщик выполняет вдоль сварного шва со скоростью $V_{св}$, которая зависит от диаметра электрода, сварочного тока, вида шва и т.д. Она жестко не регламентируется, так как нет приборов для ее контроля.

Полученный в результате первого и второго движений шов имеет ширину $(0,5-1,5)d_э$ и называется ниточным. Такие швы используют при сварке тонкого металла, первого слоя при многопроходной сварке электродом, при холодной сварке чугуна и т.п.

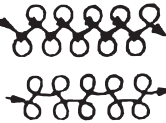
Третье движение — поперечное колебание — сварщик выполняет для надежного проплавления свариваемых кромок и хорошего формирования шва. Это увеличивает ширину шва до $(2-3)d_э$. Данное движение определяется формой разделки, размером и пространственным положением шва, свойствами металла, квалификацией сварщика и т.д. (табл. 6.1).

Стыковые соединения без разделки кромок сваривают широким односторонним или двусторонним швом с разделкой однослойным или многослойным способом в зависимости от толщины и формы подготовки кромок. Число слоев выбирается, как указа-

но выше. Сварку начинают с тщательного провара корня шва электродом диаметром не более 4 мм, а последующие слои наплавляют широкими валиками электродами большего диаметра. В ответственных конструкциях корень вырубает механическим или удаляют термическим способом, после чего наплавляют подварочный шов.

Таблица 6.1

Основные траектории движения рабочего конца электрода при ручной дуговой сварке

Вид траектории	Характеристика и назначение
	Прямолинейное движение без поперечных колебаний для наложения узких (ниточных) валиков шва. Применяется при сварке тонкого металла, сварке первого слоя многослойного шва и подварке дефектов
	Возвратно-поступательные движения. Короткие колебания, используемые для некоторого увеличения ширины шва, способствуют дегазации ванны и улучшению внешнего вида шва. Длинные колебания необходимы при сварке в потолочном и вертикальном положениях
	Движения, используемые для увеличения ширины шва. Применяются при сварке в нижнем положении стыковых соединений без разделки кромок и при наплавке
	Движения, способствующие прогреву одной из кромок, например при сварке металлов разных толщин
	Движения, обеспечивающие усиленный прогрев корня шва
	Движения, способствующие усиленному прогреву кромок и корня шва. Используются при сварке стыковых соединений со скосом двух кромок и угловых соединений в нижнем и вертикальном положениях
	Движения, дающие возможность сильно прогреть обе кромки. Применяются при сварке угловых швов
	Движения, обеспечивающие хороший прогрев кромок. Используются при сварке стыковых и угловых швов за один проход

Угловые швы лучше всего сваривать «лодочкой», при этом хорошо проплавляются как угол, так и стенки листов без подрезов и непроваров; к тому же за один проход можно получать швы большого сечения. В других случаях катет однослойного углового шва не должен превышать 8 мм.

Короткие стыковые швы длиной до 250 мм сваривают напроход, швы средней длины (250–1000 мм) — от середины к краям, длинные швы — возвратно-ступенчатым способом, причем длина каждой ступени находится в пределах 100–350 мм, а сварка ведется либо последовательно, либо вразброс от середины к краям (рис. 6.1).

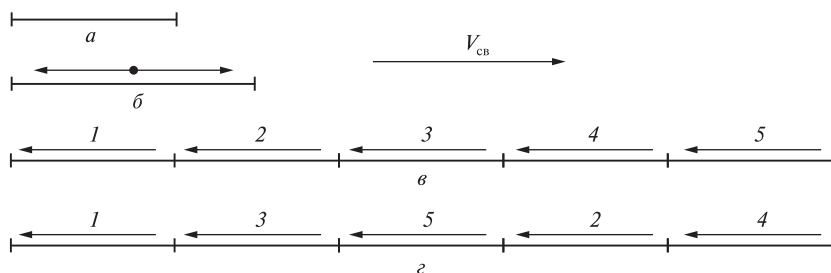


Рис. 6.1. Схемы выполнения сварных швов:

а — напроход; *б* — от середины к краям; *в* — возвратно-ступенчато последовательно; *г* — возвратно-ступенчато вразброс

При изготовлении металлоконструкций из толстолистового металла для снижения сварочных напряжений сварку ведут каскадом или горкой — способами, которые дают возможность поддерживать высокую температуру в районе корня шва и тем самым обеспечить пластическую деформацию и предотвратить возникновение трещин (рис. 6.2).

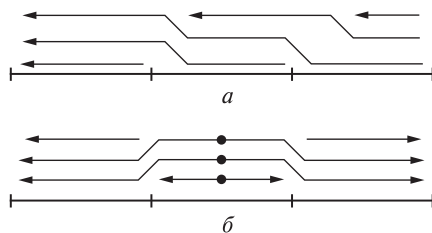


Рис. 6.2. Последовательность выполнения многослойных швов при ручной и полуавтоматической сварке:

а — каскадом; *б* — горкой

Когда сварщик заканчивает оплавление электрода (остается огарок длиной 30–40 мм), на поверхности сварочной ванны образуется кратер — усадочная раковина, что ослабляет сечение шва и является причиной возникновения трещин. Кратер заваривают, удлиняя дугу до естественного обрыва.

Пространственное положение выполнения сварочных работ зависит от размеров, формы и характера конструкции. Легче сваривать швы в нижнем положении.

Вертикальные швы выполняют двумя способами:

- при сварке снизу вверх затвердевший шов образует полку, на которой удерживаются капли металла;
- при сварке сверху вниз жидкий металл подтекает под основание дуги, уменьшая провар, благодаря чему можно сваривать тонкостенный металл без угрозы его прожога. Однако это возможно лишь при соответствующем покрытии и высоком мастерстве сварщика.

Сварка ведется короткой дугой, поперечные колебания имеют амплитуду $(1,5-2)d_z$, сварочный ток меньше на 15–20 %, чем в нижнем положении, а диаметр электрода не должен превышать 4–5 мм.

Горизонтальные швы выполнять сложнее. Стыковые швы с V-образной и X-образной разделкой должны иметь нижнюю кромку без скоса, что облегчает натекание наплавленного металла. Сила тока и диаметр электрода такие же, как и для вертикального положения.

Потолочные швы являются наиболее трудными в исполнении. Сварку ведут электродом диаметром не более 4 мм, короткой дугой, сила тока на 20–25 % меньше, чем в нижнем положении. Присадочный металл нужно перемещать капля за каплей в сварочную ванну, где жидкость удерживается в таком положении только силами поверхностного натяжения, в связи с чем ванна должна иметь минимальный объем. При этом нужно стараться размещать изделие так, чтобы все его швы располагались в наиболее выгодном для сварки положении — нижнем, для чего используют манипуляторы, вращатели, позиционеры и т.д.

Качество сварного шва зависит от квалификации сварщика, который работает в тяжелых условиях, поэтому производительность его труда невысока, и определяется коэффициентами расплавления α_p , наплавки α_n и потерь ψ .

Коэффициенты α_p , α_n , г/(А·ч), показывают, сколько металла за 1 г расплавляется или переходит в сварной шов при силе тока 1 А:

$$\alpha_p = G_p / (I_{св} \tau),$$

где G_p и G_n — массы соответственно расплавленного и наплавленного в шов электродного металла, г; $I_{св}$ — сила сварочного тока, А; τ — время сварки, ч.

Коэффициент потерь ψ , %, металла на угар, разбрызгивание и испарение определяется по формуле

$$\psi = (\alpha_p - \alpha_n) / \alpha_p.$$

Значения коэффициентов α_p , α_n , ψ зависят от способа сварки, пространственного положения, типа электрода и параметров режима.

Основным показателем производительности является коэффициент α_n :

<i>Способ сварки</i>	α_n , г/(А·ч)
Ручная дуговая покрытыми электродами	6–12
То же с покрытием, содержащим железный порошок	12–15
Автоматическая под флюсом	14–18
В среде защитных газов плавящимся электродом	18–22
Электрошлаковая	25–26

Чтобы уменьшить время сварки

$$\tau = \frac{G_n}{\alpha_n I_{св}} = \frac{F_n l \gamma}{\alpha_n I_{св}},$$

где F_n — площадь поперечного сечения наплавленного металла, см²; l — длина шва, см; γ — удельная масса металла, г/см³, нужно увеличивать сварочный ток и коэффициент наплавки α_n и сокращать F_n .

Ток и массу наплавленного металла можно увеличить, используя электроды больших диаметров (6–10 мм) или несколько электродов меньшего диаметра (пучком), но это требует увеличения массы кабелей для подвода тока и электрододержателей, что приведет к быстрому утомлению сварщика. Данный способ приемлем при заварке дефектов литья и заполнении разделки толстолистого металла в нижнем положении.

Чтобы уменьшить F_H , можно использовать электроды, содержащие железный порошок в покрытии, электроды с глубоким проваром (за счет специального тугоплавкого покрытия на торце образуется «чехольчик», который направляет силы газового дутья в глубь металла) и др.

Наибольшая производительность достигается при использовании специализированных разновидностей сварки, например *сварки наклонным электродом*. Этот способ был предложен в 1930-е гг. П. Силиным и усовершенствован в 1950-е гг. японскими изобретателями, которые назвали его гравитационной сваркой. Схема его приведена на рис. 6.3.

Специальный электрод с электропроводным флюсом на торце устанавливается в электрододержатель, закрепленный на изолированной втулке, которая скользит по направляющей специальной треноги (рис. 6.3, а), установленной под определенным углом к месту сварки. При включении сварочного тока покрытие на торце электрода расплавляется, возникает дуга и электрод, опираясь в угол соединения, начинает плавиться, скользя вниз под действием силы тяжести. Когда почти весь электрод расплавится, центр тяжести электрододержателя смещается вправо (рис. 6.3, б), он удаляется от шва и сварка прекращается. Сварщик меняет электрод, перемещает треногу на новое место, и процесс сварки повторяется.

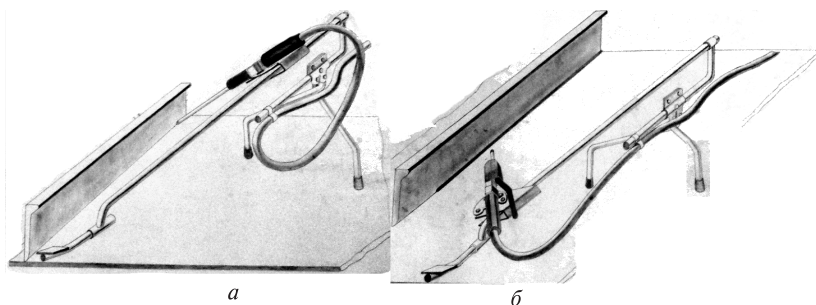


Рис. 6.3. Схема гравитационной сварки

Этот способ широко используется в судостроении при сварке тавровых соединений с применением специальных электродов ОЗС-17Н, ОЗС-22Н и треног. Данный производительный способ сварки не требует высокой квалификации сварщика, быстро ос-

ваивается в производстве; один сварщик может обслуживать одновременно не менее четырех таких приспособлений (рис.  2), а масса металла, наплавленного за 1 ч, может достигать 40–45 кг.

Электроды для ручной дуговой сварки представляют собой стальные стержни с нанесенным покрытием. В качестве стержней могут использоваться цельнотянутые проволоки или литые прутки. Электроды классифицируются:

- по назначению — для сварки сталей, чугуна, меди и т.д.;
- по технологическим условиям использования — для сварки во всех пространственных положениях, в нижнем положении, для сварки с глубоким проваром и т.п.;
- по типу покрытия — рутиловое, основное, органическое;
- по способу изготовления — опрессовкой или окунанием.

В состав покрытия входят следующие компоненты:

- стабилизирующие K, Na, Ca (в виде солей угольной кислоты K_2CO_3 , Na_2CO_3 , $CaCO_3$), снижающие эффективный потенциал ионизации;
- для химической защиты плавильного пространства — раскислители Mn, Si, Ti, которые имеют большее сродство к кислороду, чем железо, и вводятся в виде ферросплавов. Так они лучше усваиваются и стоят дешевле;
- для физической защиты плавильного пространства — шлакообразующие (ильменитовый и рутиловый концентраты, полевой шпат, плавленый шпат, кремнезем, гранит, мрамор), которые при расплавлении покрывают шлаком поверхность сварочной ванны, препятствуя проникновению воздуха, и газообразующие $CaCO_3$, $MgCO_3$, крахмал, целлюлоза, которые в зоне дуги распадаются или сгорают с образованием CO_2 и пара H_2O , вследствие чего воздух оттесняется от плавильного пространства и осуществляется защита, главным образом от азота;
- легирующие Mn, Si, Ti, Cr, V, W и др., улучшающие свойства сварного шва, которые вводятся в виде ферросплавов;
- связующие — водные растворы силикатов натрия и калия — жидкое стекло, и пластификаторы (бентонит, каолин, декстрин, слюда), улучшающие пластические свойства покрытия. Иногда для повышения производительности в покрытие добавляют железный порошок (до 60 % массы покрытия).

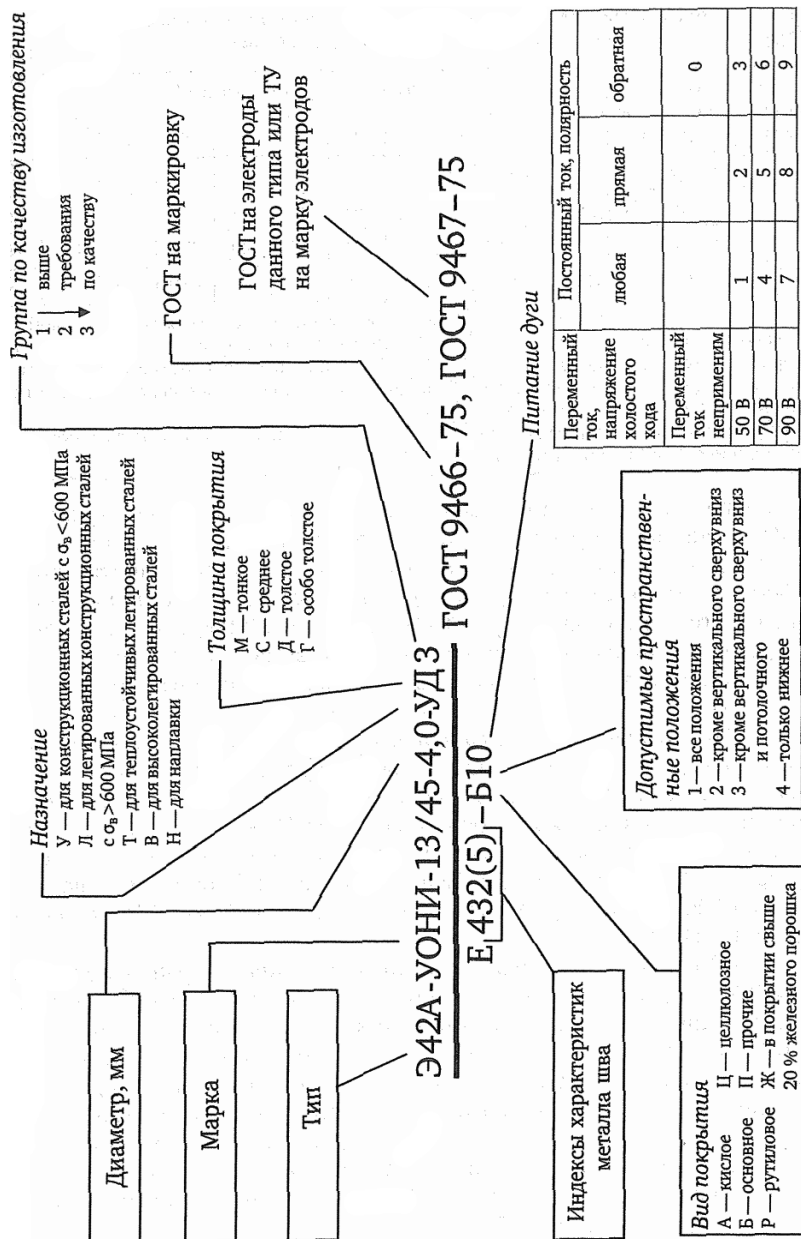


Рис. 6.4. Условные обозначения покрытых электродов для сварки и наплавки стали (по ГОСТ 9466—75)

Условные обозначения электродов для дуговой сварки и наплавки сталей по ГОСТ 9466–75 приведены на рис. 6.4. Расшифровка условного обозначения: электроды марки УОНИ 13/45 обеспечивают получение наплавленного металла с пределом прочности не ниже 420 МПа с уменьшенным содержанием серы и фосфора, диаметром 4 мм, для сварки конструкционных сталей с пределом прочности менее 600 МПа, с толстым покрытием третьей группы качества, основного типа, во всех пространственных положениях на постоянном токе обратной полярности. Обеспечивают получение временного сопротивления разрыву $\sigma_B = 430$ МПа с относительным удлинением 22 % и ударной вязкостью не менее 0,35 МДж/м² при температуре –40 °С.

На рис. 6.5 даны условные обозначения электродов согласно EN-499 (согласованные с немецким промышленным стандартом DIN (немецкие промышленные нормы) и стандартом AWS/ASME (Американское общество сварщиков/Американское общество инженеров-механиков)), что важно для изготовления металлоконструкций, применимых в современном глобальном мире.

Типы электродов и расшифровка индексов металла шва зависят от группы электродов по назначению. Число в обозначении типа электрода соответствует временному сопротивлению разрыву σ_B , кг/мм² (согласно ГОСТ 9466–75). Механические свойства для электродов типа Э38–Э60 установлены в состоянии после сварки, а для электродов типа Э70–Э150 – после термообработки.

Электроды для дуговой сварки легированных теплоустойчивых сталей характеризуются составом наплавленного металла. Например, электроды типа Э-09МХ содержат 0,09 % углерода, до 1 % молибдена и хрома. Индексы их механических свойств расшифрованы в ГОСТ 9467–75. Аналогично обозначаются типы электродов для дуговой сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами, например Э-04Х20Н9 (содержат 0,04 % углерода, 20 % хрома, 9 % никеля). Их механические и особые свойства регламентирует ГОСТ 10052–75.

Условные обозначения электродов для наплавки такие же, как и электродов для сварки. Согласно ГОСТ 10051–75, они подразделяются на типы по химическому составу наплавленного металла. Индексы металла шва в условном обозначении электродов двой-

E 46 6 1Ni B 4 2 H5			
Символ ручной дуговой сварки			
Цифра кода	σ_{Tmin}^* Н/мм ²	σ_B Н/мм ²	δ_{min}^* %
35	355	440...570	22
38	380	470...600	20
42	420	500...640	20
46	460	530...680	20
50	500	560...720	18

Символ или цифра кода	Минимальная ударная вязкость 47 Дж/см ² при t, °C
Z	Не регламентируется
A	+20
0	0
2	-20
3	-30
4	-40
5	-50
6	-60

Значение, полученное при испытаниях трех образцов по ISO — с V-образным надрезом образцов, из которых только один может иметь показатель ниже 47, но выше 32 Дж/см²

Символ сплава	Химический состав, %*		
	Mn	Mo	Ni
Без символа	2,0	—	—
Mo	1,4	0,3...0,6	—
Mn Mo	1,4...2,0	0,3...0,6	—
1Ni	1,4	—	0,6...1,2
2Ni	1,4	—	1,8...2,6
3Ni	1,4	—	2,6...3,8
Mn 1Ni	1,4...2,0	—	0,6...1,2
1Ni Mo	1,4	0,3...0,6	0,6...1,2
Z	Любой другой согласованный состав		

* Если не обозначено, то Mo<0,2, Ni<0,3, Cr<0,2, V<0,08, Nb<0,05, Cu<0,3

Символ	Максимальное содержание водорода в металле шва, см ³ /100 г
H5	5
H10	10
H15	15

Цифра кода	Положение шва
1	Все
2	Все, кроме вертикального сверху вниз
3	Стыковой в нижнем, угловой в нижнем и горизонтальном положениях
4	Стыковой и угловой в нижнем положении
5	Вертикальный сверху вниз и положения по коду 3

Цифра кода	Коэффициент веса покрытия	Род тока*
1	<105	Переменный, постоянный
2	<105	Постоянный
3	>105 ≤125	Переменный, постоянный
4	>105 ≤125	Постоянный
5	>105 ≤160	Переменный, постоянный
6	>105 ≤160	Постоянный
7	>160	Переменный
8	>160	Постоянный

* При сварке на переменном токе напряжение холостого хода должно быть не менее 65 В

Символ	Тип покрытия
A	Кислое
C	Целлюлозное
R	Рутиловое
RR	Толстое рутиловое*
RC	Рутил-целлюлозное
RA	Рутил-кислое
RB	Рутил-основное
B	Основное

* Отношение диаметров покрытия и стержня не менее 1,6

Рис. 6.5. Условные обозначения покрытых электродов для ручной дуговой сварки конструкционных термически улучшенных сталей с мелкозернистой структурой согласно европейскому стандарту EN-499

ные: первая группа индексов — средняя твердость наплавленного металла по Виккерсу и Роквеллу (через косую черту); второй индекс показывает, что твердость наплавленного металла обеспечивается без термообработки (индекс 1) или после термообработки (индекс 2). Если твердость регламентируется в обоих случаях, то в скобках приводится вторая группа индексов. Например, электроды марки Т620— $\frac{\text{Э—320Х23С2ГТР—Т620—}\varnothing\text{—НГ}}{\text{Е—}\frac{700}{58}\text{—1—Б40}}$ обеспечи-

вают состав наплавленного металла: 3,2 % углерода, 23 % хрома, 2 % кремния, до 1 % марганца, титана и бора, определенного диаметра, наплавочные, с особо толстым покрытием, твердостью по Виккерсу 700, по Роквеллу 58 без термической обработки, с основным типом покрытия, только для наплавки в нижнем положении на постоянном токе обратной полярности. Наиболее распространенные марки электродов имеют широкую номенклатуру диаметров.

Выбор типа и марки электродов основывается на многих соображениях: преимущества и недостатки электродов, степень ответственности назначения конструкции, место выполнения сварочных работ (в цехе или в условиях монтажа), толщина свариваемого металла, производительность и т.п.

Например, электроды с кислым покрытием (рутиловые и целлюлозные) имеют следующие преимущества:

- возможна сварка плохо подогнанных и плохо зачищенных от ржавчины и грязи кромок;
- сварку можно выполнять на любом токе любой полярности;
- электроды имеют довольно высокую производительность и требуют низкотемпературного нагрева перед сваркой (100–180 °С в течение 1–2 ч).

Однако:

- наплавленный металл отличается повышенной газонасыщенностью и склонностью к старению, поэтому его пластические характеристики, особенно динамические, со временем уменьшаются почти вдвое;
- электроды вызывают повышенное разбрызгивание.

Преимуществом целлюлозных электродов по сравнению с рутиловыми является большая способность перекрывать значительные зазоры, а недостатком — еще большее разбрызгивание.

Преимущества электродов с основным покрытием связаны со свойствами шлаковой системы $\text{CaO}-\text{CaF}_2$, которая обеспечивает получение насыщенного газами металла шва, не подверженного старению, имеет рафинирующие свойства (уменьшается количество вредных примесей — серы и фосфора) и нейтральна относительно легирующих элементов (обеспечивается их сохранение в процессе сварки).

Недостатками указанных электродов являются:

- требование тщательной подготовки кромок к сварке, их зачистка до металлического блеска, минимальные зазоры;
- ведение сварки очень короткой дугой, чтобы избежать порообразования и выгорания легирующих элементов, только на постоянном токе обратной полярности;
- невысокая производительность и необходимость высокотемпературной проковки ($200-400^\circ\text{C}$ в течение 1–2 ч).

Электроды с основным покрытием используются для изготовления металлоконструкций особо ответственного назначения, а также (за редким исключением) для сварки и наплавки всех легированных сталей и сплавов.

Сертификация и одобрение электродов различными классификационными обществами является важным показателем их качества, например Речным регистром Российской Федерации, Морским регистром Российской Федерации (MRS), Германским Ллойдом GL, Британским Ллойдом LRS, французским бюро Веритас (BV), норвежским бюро Веритас (DNV) и такими независимыми организациями, как Общество технического надзора в Германии, и т.д. Это немаловажное обстоятельство следует учитывать при изготовлении сварной металлоконструкции на экспорт.

Производительность электродов, режим проковки и затраты на 1 кг наплавленного металла всегда указаны на этикетке с паспортными данными на конкретную марку электродов. Для ориентировочных расчетов следует иметь в виду: коэффициент наплавки у электродов для сварки низкоуглеродистых и низколегированных сталей находится в пределах 8–10 г/(А·ч), для высоколегированных сталей 10–16 г/(А·ч), коэффициент расхода для всех марок и типов электродов — в пределах 1,4–1,8.

Рекомендации о необходимости подогрева учитываются, если сварка металлоконструкций выполняется на открытом воздухе при отрицательных температурах.

Так, при ручной дуговой и полуавтоматической сварке решетчатых и листовых конструкций из углеродистых сталей по мере роста толщины с 16 до 40 мм и более не требуется подогрев при рабочих температурах соответственно от -30°C до 0°C . Для конструкций из низколегированных сталей тех же толщин температурный интервал смещается в сторону положительных температур от -20°C до $+10^{\circ}\text{C}$.

При автоматической дуговой сварке конструкций из тех же сталей температурный интервал смещается в сторону отрицательных температур — от -30°C до -10°C . Если рабочая температура ниже указанной, то металл в околошовной зоне нужно подогреть до $120\text{--}160^{\circ}\text{C}$.

Электрошлаковая сварка этих сталей не требует подогрева независимо от температуры воздуха.

Теплоустойчивые стали даже при плюсовых температурах требуют предварительного и сопутствующего подогрева, а среднелегированные — только предварительного. Далее приведены температуры предварительного $t_{\text{предв}}$ и сопутствующего $t_{\text{соп}}$ подогрева при ручной дуговой сварке теплоустойчивых сталей, а также предварительного подогрева при сварке среднелегированных высокопрочных сталей под флюсом: $150\text{--}250^{\circ}\text{C}$ — стали 20ХГС, 25ХГСА; $250\text{--}300^{\circ}\text{C}$ — 30ХГСНА, 30ХГСА; $400\text{--}500^{\circ}\text{C}$ — 15Х2М2ФБС, 15ХМФКР.

Большинство металлоконструкций изготовляют из хорошо свариваемой низкоуглеродистой стали Ст3, в которой содержание углерода не превышает 0,23 %. Сварка изделий обычного назначения из этой стали проводится электродами типа Э42. При изготовлении конструкций особо ответственного назначения применяют электроды типа Э42А, обеспечивающие наплавленный металл с меньшим содержанием вредных примесей серы и фосфора, в результате чего металл шва имеет более высокие пластические и динамические характеристики. Низколегированные стали, например 09Г2, 10ХСНД, имеют хорошую свариваемость, но они более чувствительны к наличию концентраторов напряжений и подвержены подкалке в начале сварки толстолистового металла; для их сварки применяют электроды типа Э42А.

Чаще сварщики имеют дело с трубными конструкциями, изготовленными из теплоустойчивых сталей. Виды обработки кромок

труб и деталей трубопроводов под сварку приведены в ГОСТ 16037–80. Для прихватки и сварки изделия из этих сталей предварительно подогреваются. При сварке теплоустойчивых сталей типа 15Х1МФ, 20ХМФЛ и подобных толщиной более 10 мм по РТМ-1С–89 нужно обеспечить температуру подогрева при прихватке стыка 200–300 °С, а при сварке – в пределах 250–350 °С.

Среднеуглеродистые и среднелегированные стали относятся к группе сталей с плохой свариваемостью, и, чтобы избежать горячих трещин, надо выбирать марки сталей с минимальным содержанием углерода и легирующих элементов. Для преодоления склонности к образованию холодных трещин сварку ведут с предварительным подогревом на оптимальной погонной энергии

$$q_{\text{пог}} = Q_{\text{эф}} / V_{\text{св}},$$

где $Q_{\text{эф}}$ – эффективная тепловая мощность, Дж; $V_{\text{св}}$ – скорость сварки, м/ч. Так, для толщины 20 мм погонная энергия без подогрева должна составлять 23–38 кДж/см, при подогреве до 100 °С – от 19 до 30 кДж/см, до 150 °С – от 13,5 до 24 кДж/см.

Среднеуглеродистые стали для обеспечения равнопрочности сварного шва, околошовной зоны и всего сварного соединения сваривают, например, покрытыми электродами, легирующими металл шва элементами, которые улучшают прокаливаемость, – кремнием, марганцем и хромом. После сварки изделий из этих сталей осуществляется полная термическая обработка – закалка и отпуск.

Высокопрочные стали сваривают по двум принципиально разным технологиям:

1) ведение сварки стали с предварительным подогревом, а иногда и с сопутствующим, с использованием близкого по составу присадочного материала, после чего проводится полный цикл термообработки, при этом достигается наилучшее сочетание прочности и пластичности сварного соединения;

2) сварку выполняют без предварительного подогрева с использованием присадочного материала аустенитного типа. В этом случае прочность сварного соединения определяется прочностными показателями металла шва.

Высоколегированные стали и сплавы составляют наиболее многочисленную группу конструкционных материалов. Для выбора оптимальной технологии их сварки и термической обработ-

ки нужно уметь определять, к какому структурному классу они относятся.

Стали аустенитного класса можно разделить на две группы:

- типа 18–8 (X18H9T, X18H11B, X18H12M2T и т.д.) – нержавеющие и жаропрочные, сохраняющие свои свойства до 750 °С;
- типа 25–20 (X25H20C2, X23H18 и др.) – окалиностойкие, могут работать в агрессивной газовой среде до 1100–1150 °С.

При сварке аустенитных сталей основными трудностями являются: хрупкость металла шва в процессе эксплуатации и низкая стойкость металла шва к возникновению кристаллизационных трещин вследствие теплофизических свойств – низкой теплопроводности и высокого коэффициента линейного расширения, что приводит к появлению напряжений и их неравномерному распределению.

Наличия эвтектической составляющей, которая располагается на границах столбчатых кристаллов, например $\text{Ni}_3\text{S}_2 + \text{Ni}$ с температурой плавления 645 °С, можно избежать, вводя либо вторую фазу – феррит, который выделяется в процессе кристаллизации и «лечит» трещины, заполняя их (используют электроды, обеспечивающие содержание в металле шва 2–4 % феррита), либо модификаторы – РЗМ, путем снижения содержания вредных примесей, использования технологических средств (благоприятная форма сварочной ванны, отсутствие глубокой разделки, многослойная сварка).

Общая коррозионная устойчивость обеспечивается наличием в сварном шве более 13 % хрома. Локальная коррозионная устойчивость может быть ухудшена вследствие длительного пребывания металла шва в интервале температур 450–850 °С, что характерно для многослойной сварки и сварки перекрестных швов. При таких условиях по границам аустенитных зерен выпадают комплексные карбиды железа и хрома, вследствие чего содержание хрома на границах аустенитных зерен уменьшается до 12 %. Образующиеся карбиды некогерентно связаны с основой, что приводит к появлению напряжений. Границы зерен растворяются под влиянием агрессивной среды, образуются микротрещины, которые под действием нагрузки переходят в макротрещины, вследствие чего возникает аварийное разрушение металлоконструкции. Это можно предотвратить, используя присадочный металл с низким (0,02–0,03 %) содержанием углерода; при таких условиях карбиды не образуются. Кроме того,

гомогенный твердый раствор закаляют (нагрев до 1050 °С, выдержка, охлаждение на воздухе), при этом карбиды хрома распадаются, а углерод и хром переходят в твердый раствор. Также используют электроды, в состав которых входят ниобий и титан, имеющие большее сродство с углеродом, чем хром, поэтому карбиды последнего не образуются.

Хрупкость металла шва в процессе эксплуатации обусловлена образованием σ -фазы интерметаллидного происхождения, а также выпадением мелкодисперсных карбидов в интервале температур 650–900 °С. Для устранения этого недостатка осуществляют нагрев до 1000–1150 °С, выдержку 1 ч и быстрое охлаждение, в результате чего σ -фаза растворяется в аустените и в дальнейшем уже не образуется.

Стали ферритного класса содержат более 17 % Сг и до 0,15 % С, характеризуются высокой коррозионной стойкостью и жаростойкостью до 1000–1100 °С. При их сварке проявляются такие недостатки, как рост зерна, хрупкость и межкристаллитная коррозия. Для получения качественных швов сварку выполняют на малой погонной энергии, используют модификаторы РЗМ для измельчения зерна, уменьшают содержание углерода в шве. Методы борьбы с межкристаллитной коррозией такие же, как и при сварке аустенитных сталей.

Стали мартенситного класса (20Х13, 10Х17Н2 и др.) имеют высокую жаропрочность и коррозионную стойкость при температурах до 550 °С. Металл шва представляет собой легированный мартенсит (его называют игольчатым ферритом), в результате чего увеличиваются твердость и хрупкость, а ударная вязкость снижается. Если необходимо получить однородные свойства металла шва и основного металла, применяют электроды, близкие по составу к основному металлу, предварительный подогрев выше 250 °С и последующую термообработку: нагрев до 900 °С, медленное охлаждение до 600 °С, после чего охлаждение на воздухе; иногда можно ограничиться высоким отпускком (680–720 °С).

Сварка разнородных сталей и сплавов требует учета не только общих положений свариваемости, но и дополнительных факторов:

- изменение состава шва в участках, прилегающих к металлу, имеющему легирование, отличное от легирования наплавленного металла;

- наличие в зоне сплавления малопрочных и хрупких кристаллизационных и диффузионных слоев переменного состава;
- наличие остаточных напряжений в соединениях различных структурных классов, которые невозможно снять термической обработкой.

Развитие факторов, способствующих химической, структурной и механической неоднородности сварных соединений, можно регулировать, изменяя химический состав электродных материалов, имея в виду, что с повышением степени аустенитности электродных материалов легче получить качественное сварное соединение.

Так, разнородные высокохромистые мартенситные, ферритные и мартенситно-ферритные стали успешно свариваются вручную с использованием электродов типа Э-10Х25Н13Г2, под флюсами марок АН-26, АН-17 с проволоками Св-07Х25Н13, Св-08Х20Н9Г7Т, а в защитных газах — с проволоками Св-0Х14ГТ. При этом мартенситные стали толщиной до 10 мм при нежестком закреплении можно сваривать без подогрева, а в других случаях требуется предварительный подогрев до 250—300 °С и отпуск при 700—750 °С сразу после сварки.

Разнородные хромоникелевые аустенитные стали марок 08Х10Н20Т2, 08Х18Н10, 08Х18Н12Б, аустенитно-ферритные 12Х21Н5Т, 08Х18Г8Н2Т и аустенитно-мартенситные 20Х13Н4Г9, 09Х17Н7Ю свариваются вручную с использованием электродов типа Э-04Х20Н9, Э-10Х25Н13Г2, под флюсами АН-26, АН-18 проволоками Св-04Х19Н9, Св-07Х25Н13, в защитных газах — проволоками Св-04Х19Н9С2, Св-Х20Н9Г7Т.

Чугун не подлежит горячей сварке, а при ремонте небольших дефектов используют принципиально отличную технологию — холодную сварку. Повышение качества соединений достигают получением ферритно-перлитной структуры путем связывания избыточного углерода в дисперсные карбиды, их равномерного распределения, образованием в шве сплавов железа с цветными высокопластичными металлами — медью, никелем.

По технологии холодной сварки процесс осуществляется постепенно, на небольших участках длиной 30—50 мм, с малой погонной энергией, ниточными швами, взброс, с охлаждением каждого валика до 70—100 °С, иногда с проковкой горячего металла. В этом случае металл шва отличается от чугуна, а качество ре-

монтажных работ в значительной степени зависит от использованных электродных материалов. Наплавленный этими электродами и проволоками металл имеет основу стали или цветного металла, удовлетворительно обрабатывается обычным режущим инструментом, что является одним из требований к его качеству.

Медь толщиной до 4 мм сваривают без разделки, толщиной до 10 мм с V-образной разделкой, под углом 60–70° и притуплением 1–3 мм. При больших толщинах рекомендуется двусторонняя X-образная разделка. При сварке используют электроды марок «Комсомолец-100» со стержнем из меди М1 или ЗТ с бронзовым стержнем БрКМц 3–1. Сварка производится короткой дугой с возвратно-поступательным движением электрода, в нижнем положении на подъем. При использовании электродов «Комсомолец-100» достигается равнопрочность основного металла и шва. Электроды марки ЗТ обеспечивают лишь 80 % прочности шва и худшую электрическую проводимость, чем чистая медь.

Разработанные в ИЭС им. Е.О. Патона электроды марки АНЦ-1 благодаря экзотермическим компонентам в покрытии позволяют сваривать металлы толщиной до 15 мм без подогрева.

При сварке бронз в качестве стержней применяют проволоки или такого же состава заготовки диаметром 5–8 мм, на которые наносится покрытие основного типа, что не очень удобно при выполнении тонких работ. В Запорожском национальном техническом университете разработана технология изготовления специальной композитной проволоки для сварки или наплавки алюминиевой бронзы любого состава, основанная на совместном волочении медной ленты и алюминиевой, стальной, никелевой или марганциновой проволоки определенных размеров, что позволяет получить конечную проволоку диаметром 2–5 мм и использовать ее в виде либо стержней со специальным покрытием (электроды марки ЗМИ-1), либо проволоки для механизированной сварки в среде аргона.

Никель сваривают на постоянном токе обратной полярности без подогрева до толщины 15 мм. При больших толщинах металл предварительно подогревают до 200–250 °С. Никель толщиной 4–12 мм требует V-образной разделки, а толщиной 12–20 мм – X-образной. Для сварки используют электроды «Прогресс 50» или ОЗЛ-32 со стержнем из никеля Н1 и НП-2. Сварку выполняют

с продольными незначительными колебаниями электрода для лучшего газоудаления на медных подкладках. Металл сварного шва по своим свойствам не отличается от основного.

Технический алюминий и его сплавы типов АМг и АМц покрытыми электродами сваривают при изготовлении малонагруженных конструкций, а также при заварке дефектов литья из силумина. Металл толщиной до 20 мм не требует разделки кромок. Стыки собираются с зазором 0,5–1 мм, для больших толщин рекомендуется V-образная разделка под углом 70–90°, притупление 3–5 мм и зазор 1,5–2 мм. Сварку выполняют на стальных подкладках с использованием электродов марок ОЗА-1 (для алюминия и сплавов АМг и АМц) и ОЗА-2 (для силуминового литья).

В состав покрытия электродов входят фтористые и хлористые соли щелочно-земельных металлов, которые под действием постоянного тока обратной полярности разрушают оксидную пленку Al_2O_3 и переводят ее в легкоплавкий шлак. Поскольку алюминиевый электрод расплавляется в 2–3 раза быстрее стального, скорость сварки должна быть также увеличена. При обрывах дуги кратер шва покрывается шлаком, как и торец электрода, что затрудняет повторное зажигание дуги, поэтому сварку надо вести непрерывно электродом до конца.

Прихватку кромок выполняют с предварительным подогревом до 200–250 °С, а при сварке температуру повышают до 300–400 °С.

Прихватки и нижележащие слои зачищают от шлака особенно тщательно, а после сварки остатки шлака смывают теплой водой, после чего проводят травление 5–10%-ным раствором азотной кислоты.

Оборудование для сварки и его технические характеристики. Разработана единая система обозначения типов электросварочного оборудования, которое выпускают предприятия электротехнической промышленности. Например, условное обозначение источника ВДГМ-1602УЗ расшифровывают так: Выпрямитель для Дуговой сварки в защитных Газах Многопостовой с номинальным током 1600 А, вторая модификация У для стран с Умеренным климатом для работы в Закрытых помещениях.

Условное обозначение содержит элементы классификации источников.

Источники можно классифицировать следующим образом:

- по роду тока и типам — переменного — трансформаторы (Т); постоянного тока — выпрямители (В), генераторы (Г), преобразователи (П); агрегаты (А); установки (Б);
- по виду сварки — для дуговой (Д) или плазменной (П) сварки;
- по способу сварки — для ручной сварки; сварки под флюсом (Ф); в защитных газах (Г); универсальные (У);
- по числу обслуживаемых постов — многопостовые (М) и однопостовые;
- по номинальному току — на 125, 160, 200, 250, 310, 400, 500, 630, 1000, 1250, 1600, 2000, 2400, 3150, 5000 А;
- по климатическому исполнению — для стран с умеренным (У) или тропическим (Т) климатом;
- по категории размещения — для работы на открытом воздухе (1); в помещениях, где колебания температуры и влажности незначительно отличаются от колебаний на открытом воздухе (2); в закрытых помещениях, где колебания температуры и влажности и влияние песка и пыли намного меньше, чем на открытом воздухе (3); в помещениях с искусственным регулированием климатических условий (4); в помещениях с повышенной влажностью (5).

Конструкция и принцип действия источника зависят от назначения. В частности, как показано выше, для различных видов и способов сварки нужны источники внешней характеристики различных типов. В производственных условиях часто возникает потребность выполнять на одном месте и ручную сварку покрытыми электродами, и полуавтоматическую в углекислом газе. В таком случае применяют универсальные источники, тип их внешней характеристики меняют несложными настройками. В цехах с большим числом сварочных постов более экономичны многопостовые источники.

Номинальный ток является главным из основных параметров при выборе источников. Источники для ручной сварки рассчитаны на ток от 125 до 500 А, для полуавтоматической — на ток от 200 до 1000 А, для автоматической — от 500 до 2000 А, многопостовые источники — на номинальный ток от 1000 до 5000 А.

Номинальное рабочее напряжение также относится к основным параметрам. Например, однопостовые источники с падаю-

шей характеристикой, предназначенные для ручной сварки, имеют номинальное напряжение от 25 до 40 В.

Важной характеристикой является напряжение холостого хода в источниках для ручной сварки ($U_{xx} = 60\text{--}80$ В).

Источники работают в одном из следующих режимов:

- перемежающемся, когда работа с нагрузкой в течение времени t_n чередуется с холостым ходом в течение t_{xx} , при этом источник не выключается из сети. Такой режим характеризуется относительной продолжительностью нагрузки, %:

$$TH = 100 \frac{t_n}{t_n + t_{xx}}.$$

Номинальная продолжительность нагрузки источников для ручной сварки 60 %;

- повторно-кратковременном, когда работа с нагрузкой чередуется с периодическими выключениями источника из сети на время t_0 . Такой режим характеризуется относительной продолжительностью включения, %:

$$TB = 100 \frac{t_n}{t_0 + t_n};$$

- продолжительном, когда источник питания непрерывно работает с нагрузкой ($TB = 100$ %).

Трансформаторы — самые распространенные при сварке источники переменного тока. Ими пользуются при ручной дуговой сварке, автоматической сварке под флюсом, они просты в изготовлении и эксплуатации, имеют высокий коэффициент полезного действия (до 90 %). Действие трансформатора основано на явлении электромагнитной индукции.

Сварочный трансформатор (рис. 6.6) имеет стержневой сердечник 2 и смонтированные на нем первичную 1 и вторичную 3 обмотки.

Режим холостого хода трансформатора (см. рис. 6.6, а) устанавливают (при разомкнутой цепи вторичной обмотки) в момент подключения первичной обмотки к сети переменного тока с напряжением U_1 . При этом в первичной обмотке течет ток I_1 , который создает в сердечнике переменный магнитный поток Φ_1 . Поток наводит во вторичной обмотке переменное напряжение U_2 .

Поскольку цепь вторичной обмотки разомкнута, то ток в ней не течет и нет затрат энергии во вторичной цепи. Поэтому вторичное напряжение при холостом ходе максимальное, эту величину называют напряжением холостого хода U_{xx} .

Отношение напряжений на первичной и вторичной обмотках при холостом ходе называется коэффициентом трансформации K , оно равно отношению чисел витков первичной обмотки W_1 и вторичной W_2 . В сварочных трансформаторах сетевое напряжение 220 или 380 В преобразуется в более низкое напряжение 60–90 В, такие трансформаторы называются понижающими.

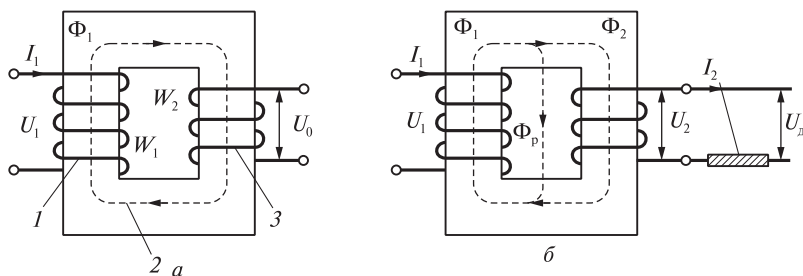


Рис. 6.6. Работа трансформатора при холостом ходе (а) и нагрузке (б)

Режим нагрузки (см. рис. 6.6, б) устанавливают при замыкании цепи вторичной обмотки в момент зажигания дуги. При этом под действием напряжения U_2 во вторичной обмотке и дуге появляется ток I_2 , который создает в сердечнике свой переменный магнитный поток; он стремится уменьшить поток, создаваемый первичной обмоткой. Противодействуя этому, сила тока в первичной обмотке увеличивается в соответствии с законом сохранения энергии — потребление энергии от сети первичной обмотки должно быть равно отдаче энергии дуге вторичной обмоткой. Следовательно, понижая с помощью трансформатора напряжение в K раз, во столько же раз увеличивают ток во вторичной цепи. Поэтому в сварочных трансформаторах вторичный ток в 3–6 раз больше первичного.

Падающая внешняя характеристика в сварочном трансформаторе получается благодаря большому рассеянию магнитного потока. С этой целью первичную и вторичную обмотки располагают на значительном расстоянии друг от друга, например на разных стержнях. При нагрузке (см. рис. 6.6, б) часть потока трансформатора замыкается по воздуху, образуя поток рассеяния Φ_p . Поэтому

поток Φ_2 , пронизывающий вторичную обмотку, при нагрузке меньше, чем поток Φ_1 , пронизывающий первичную обмотку. Соответственно напряжение U_2 , наводимое потоком Φ_2 во вторичной обмотке, уменьшится по сравнению с U_0 , наводимым при холостом ходе потоком Φ_1 , на некоторую величину E_p , которую называют ЭДС рассеяния. Таким образом, вторичное напряжение трансформатора снижается из-за потерь на внутреннем сопротивлении, называемом индуктивным сопротивлением трансформатора X . С ростом тока вторичной обмотки увеличивается поток и ЭДС рассеяния. Поэтому с повышением нагрузки напряжение на выходе трансформатора U_2 уменьшается, т.е. внешняя характеристика такого трансформатора — падающая. Крутизна наклонной внешней характеристики тем больше, чем больше индуктивное сопротивление трансформатора.

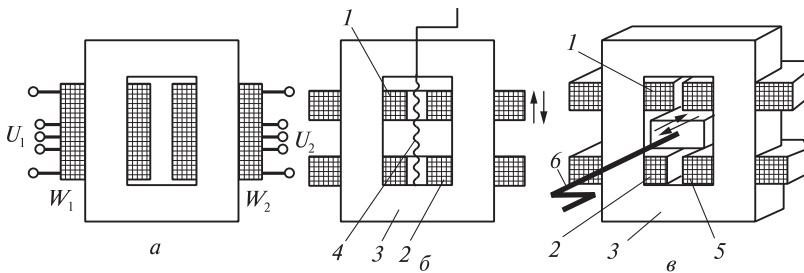


Рис. 6.7. Регулирование сварочного тока

Регулирование тока обеспечивается изменением как напряжения холостого хода, так и сопротивления трансформатора.

Напряжение холостого хода трансформатора $U_{xx} = U_1 W_2 / W_1$. Если дугу подключить к крайним контактам вторичной обмотки (рис. 6.7, а), то увеличится число витков W_2 , участвующих в работе. При этом повысится напряжение холостого хода и, следовательно, сварочный ток. Очевидно, что при увеличении числа витков первичной обмотки W_1 ток уменьшится. Секционированные обмотки позволяют регулировать ток только ступенчато, сравнительно грубо. Поэтому указанный способ регулирования часто дополняют плавным регулированием путем изменения индуктивного сопротивления трансформатора.

Плавное регулирование тока (рис. 6.7, б) осуществляют, например, перемещением по сердечнику 3 подвижных обмоток 1

с помощью винтового механизма 4. Если увеличить расстояние между первичной обмоткой 1 и вторичной 2, то возрастут поток рассеяния и ЭДС рассеяния, т.е. увеличатся потери энергии внутри трансформатора, что вызовет уменьшение тока. Следовательно, увеличение расстояния между обмотками приводит к росту индуктивного сопротивления трансформатора. Подобным образом введение магнитного шунта 5 между обмотками (рис. 6.7, в) уменьшит магнитное сопротивление на пути потока рассеяния, а сам поток увеличится, что приведет к снижению тока. Изменяя положение шунта при помощи регулятора 6, плавно регулируют сварочный ток. Для регулирования тока можно использовать неподвижный магнитный шунт, подмагничиваемый с помощью обмотки управления постоянного тока. Если увеличить ток в обмотке управления, то в результате насыщения железа шунта его магнитное сопротивление возрастет. При увеличении магнитного сопротивления на пути потока рассеяния этот поток уменьшится, что приведет к росту сварочного тока.

Изменяя способы соединения обмоток, можно ступенчато регулировать сопротивление трансформатора. Обычно трансформатор имеет две первичные и две вторичные обмотки. Пусть при использовании только одной первичной и одной вторичной обмотки сопротивление трансформатора X_r равно X . При последовательном соединении двух первичных обмоток и последовательном двух вторичных общее сопротивление трансформатора увеличится до $X_r = 2X$. При параллельном соединении первичных обмоток и параллельном соединении вторичных общее сопротивление уменьшится до $X_r = X/2$. Таким образом, при изменении соединения обмоток можно получить три ступени грубого регулирования, обеспечивающего четырехкратное изменение тока.

Для ручной сварки чаще всего используют трансформаторы с подвижными катушками типов ТД и ТДМ. Для выполнения сварочных работ в монтажных условиях выпускают переносные трансформаторы с подвижными катушками и шунтами, а также трансформаторы типа ТДК-315У2, которые регулируются намоткой сварочного кабеля, и др.

Источники постоянного тока целесообразно использовать в тех случаях, когда устойчивость заметно влияет на качество сварки или на саму ее возможность (сварка на малых токах, сварка электродами со слабо стабилизирующим фтористо-кальциевым

покрытием, полуавтоматическая сварка в углекислом газе), так как постоянный ток обеспечивает более высокую устойчивость дуги, чем дуга переменного тока. В качестве источников постоянного тока используют выпрямители, сварочные генераторы, преобразователи и агрегаты. Агрегатами пользуются главным образом при ручной сварке в монтажных и полевых условиях. Они менее экономичны и надежны, чем выпрямители, однако обеспечивают возможность питания при отсутствии электрической сети.

Сварочные выпрямители представляют собой статические преобразователи переменного тока в постоянный, используемый в процессе сварки; имеют значительные преимущества по сравнению со сварочными генераторами: обеспечивают высокий КПД и меньшие потери холостого хода, характеризуются меньшими массой и габаритами, отсутствием вращающихся узлов и бесшумностью в работе.

Выпрямители бывают одно- и многопостовыми. По назначению однопостовые выпрямители могут быть: с падающими внешними характеристиками для ручной сварки и механизированной сварки под флюсом; с пологопадающими внешними характеристиками для механизированной сварки в углекислом газе; с крутопадающими и пологопадающими характеристиками (их называют универсальными) для всех видов дуговой сварки. Многопостовые выпрямители также выпускают для ручной сварки и сварки под флюсом, для сварки в защитных газах и универсальные.

Основные элементы выпрямителя (рис. 6.8) — силовой трансформатор 1 для понижения сетевого напряжения до необходимого при сварке значения; блок вентиля 2 для выпрямления переменного тока; стабилизирующий дроссель 3 для уменьшения пульсаций выпрямленного тока дуги 4. Если выпрямитель управляемый, то в схему входит дополнительный узел 6, содержащий систему управления вентилями. Для защиты выпрямителя от повреждений при аварийных режимах в его систему входит блок 5 защиты и сигнализации. Основной узел выпрямителя — выпрямительный блок 2 представляет собой набор вентиля — селеновых и кремниевых полупроводниковых диодов и кремниевых управляемых вентиля — тиристоров, включенных по определенной схеме.

Выпрямители различают по способу регулирования силы тока или напряжения и конструктивному исполнению.

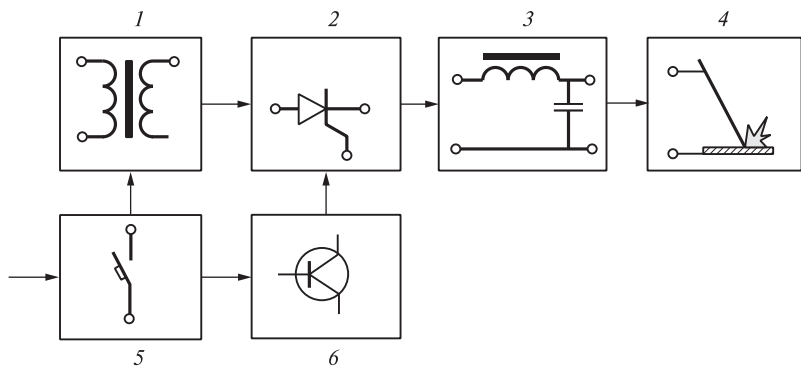


Рис. 6.8. Блок-схема выпрямителя

Для ручной сварки применяются выпрямители с механическим регулированием, силовой трансформатор которых выполнен по схеме с подвижными катками (типа ВД). Для механизированной сварки в углекислом газе выпускают выпрямители, которые регулируются изменением коэффициента трансформации силового трансформатора (типа ВС), методом магнитной коммутации (типа ВСЖ), а также с помощью дросселя насыщения (типа ВДГ) или тиристорами.

Универсальные выпрямители имеют тиристорное регулирование и обеспечивают устойчивое горение дуги как при ручной сварке, так и при механизированной благодаря тому, что имеют две внешние характеристики — падающую и жесткую с небольшим наклоном. Это очень удобно, так как позволяет на одном сварочном посту выполнять ручную дуговую сварку и механизированную полуавтоматическую в среде CO_2 или порошковой самозащитной проволокой. Такие выпрямители можно использовать при ручной сварке, механизированной сварке в защитных газах и под флюсом. Внешние характеристики выпрямителей перестраиваются за счет применения управляемых вентиля-тириستоров и специальной схемы управления: при ручной и сварке под флюсом они имеют падающую форму, при сварке в защитных газах — жесткую или пологопадающую.

Промышленностью выпускаются универсальные тиристорные выпрямители ВДУ-504, ВДУ-504–1, ВДУ-1201, ВДУ-1601.

Выпрямитель ВДУ-504 выполнен передвижным на колесах (рис. 6.9). Тиристорный выпрямительный блок 2, магнитопро-

вод 5 и обмотки 3 силового трансформатора, уравнивающий реактор 4 охлаждаются вентилятором 1. На задней стенке выпрямителя расположены зажимы для подключения сетевого напряжения, автоматический выключатель и переключатель 6 диапазонов напряжения. На передней стенке расположены разъемы 14 для подсоединения сварочных кабелей — один «плюс» и два «минус». Вся аппаратура управления расположена на выдвижном блоке. На панель управления вынесены кнопки «Пуск» 13 и «Стоп» 12, аварийная кнопка «Стоп» 11, переключатель внешних характеристик 8, сигнальная лампа, потенциометр для регулирования тока и напряжения выпрямителя 9, переключатели места регулирования 7 и местного включения сварочного тока 10, измерительные приборы.

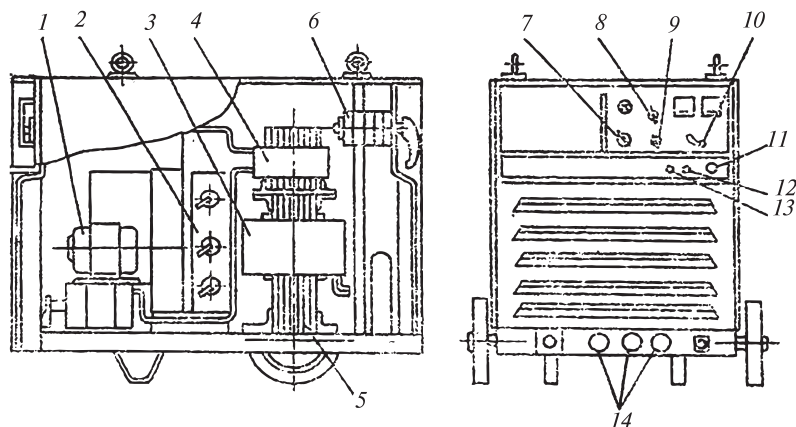


Рис. 6.9. Универсальный выпрямитель ВДУ-504

Порядок включения выпрямителя ВДУ-504 следующий:

- 1) подключают сварочные кабели к соответствующим гнездам;
- 2) в зависимости от способа и режима сварки устанавливают в необходимое положение переключатель диапазонов на задней стенке и переключатель вида характеристик на лицевой панели;
- 3) устанавливают переключатель места регулирования режима в положение, соответствующее местному или дистанционному управлению;
- 4) рубильником подключают выпрямитель к сети;
- 5) ставят рукоятку автоматического выключателя в положение «Включено», при этом загорается сигнальная лампа на лицевой панели блока управления;
- 6) нажатием на кнопку «Пуск» подключают напряжение се-

ти к силовому трансформатору и цепям управления; 7) зажигают дугу и потенциометром настраивают нужный режим, следя за показаниями амперметра или вольтметра.

Источники питания инверторного типа в настоящее время получают все большее распространение. Принципом их действия является трансформация сетевого напряжения в сварочное напряжение, которая осуществляется при повышенной частоте.

Схема работы инверторного источника сварочного тока следующая: 1) напряжение сети 380 В промышленной частоты преобразуется сетевым выпрямителем в постоянное напряжение 500 В; 2) это напряжение преобразуется инвертором в переменное напряжение повышенной частоты (в несколько кГц), которое поступает на понижающий высокочастотный трансформатор; 3) вторичная обмотка трансформатора подключена к диодному выпрямителю, с выхода которого через сглаживающий дроссель подается питание на сварочную дугу. Это позволяет в 4–5 раз уменьшить массу аппаратов, в 7–8 раз — их габаритные размеры, на 7–10 % увеличить КПД и значительно повысить сварочные показатели и динамические свойства по сравнению с обычными источниками.

Необычайно широкие возможности для сварщика предоставляет универсальный синергетический источник «Transsynergic TS-331» австрийской компании «Fronius» с транзисторным инвертором на 60 кГц. Он обеспечивает ручную сварку покрытыми и неплавящимися электродами, механизированную сварку в CO_2 , аргоне и их смесях проволокой диаметром 0,8–1,6 мм. Сварка ведется на постоянном токе в синергетическом режиме, т.е. при автоматической настройке режима с одновременным управлением несколькими параметрами — током, напряжением дуги, скоростью подачи проволоки и др. Установка режима сварки производится с помощью регуляторов, на которых указаны марка свариваемого металла и диаметр электродной проволоки. Источник обеспечивает стабильность сварочных параметров и почти полное отсутствие брызг даже при сварке в CO_2 короткой дугой. Блок памяти выпрямителя вмещает до 32 сварочных программ. Например, при четырехтактном режиме четырьмя последовательными нажатиями кнопки можно обеспечить три уровня сварочного тока: горячий пуск — сварка — заварка кратера.

Таблица 6.2

Возможности использования ручного дугового способа для сварки металлов и сплавов

Наименование материалов	Способ сварки					
	Графитовый электрод			Покрытый электрод		
	Постоянный ток, полярность		Переменный ток	Постоянный ток, полярность		Переменный ток
	прямая	обратная		прямая	обратная	
Низкоуглеродистые стали для изготовления конструкций ответственного и обычного назначения	+	—	$\pm$	+	+	+
Низкоуглеродистые стали для конструкций особо ответственного назначения	—	—	—	—	+	+
Среднеуглеродистые низко- и среднелегированные стали	—	—	—	—	+	+
Высоколегированные стали и сплавы	—	—	—	—	+	+
Чугуны	+	—	+	—	+	+
Медь и ее сплавы	+	—	$\pm$	—	+	$\pm$
Никель и его сплавы	+	—	$\pm$	—	+	$\pm$
Свинец	+	—	—	—	—	—
Титан и его сплавы	—	—	—	—	—	—
Алюминий и его сплавы	$\pm$	—	$\pm$	—	+	—
Магний и его сплавы	—	—	—	—	—	—

Примечание: + сварка целесообразна; $\pm$ сварка ограничена; — сварка нецелесообразна или отсутствует надежная информация.

В табл. 6.2 показаны возможности сварки ручным дуговым способом с учетом особенностей конструкционных материалов, специфики способов и использования оборудования.

Контрольные вопросы

1. В чем сущность ручной дуговой сварки графитовым электродом? Назовите параметры режима, укажите преимущества и недостатки этого способа сварки.
2. Как определяется производительность дуговой сварки и каковы ее показатели для различных способов?
3. Что собой представляет гравитационная сварка? Как она выполняется? Какие имеет преимущества?
4. Какие компоненты входят в состав электродного покрытия? Какую роль они играют при сварке?
5. Как условно обозначаются штучные электроды?
6. Что означает понятие «тип электрода»?
7. Назовите марки распространенных электродов для сварки углеродистых и легированных сталей.
8. Какие преимущества и недостатки характерны для электродов с кислым и основным покрытием? Назовите области их использования.
9. Какие материалы и технология применяются при сварке низкоуглеродистых и низколегированных сталей?
10. Какие материалы и технология используются при сварке средне- и высоколегированных сталей?
11. Каким образом выбирают электроды для сварки разнородных сталей?
12. Какая технология и материалы применяются при холодной и горячей сварке чугуна?
13. Какие электродные материалы и технологии используются для сварки цветных металлов?
14. Опишите принцип действия сварочного трансформатора.
15. Какие преимущества и недостатки характерны для применения при сварке переменного и постоянного тока?
16. Какие производители современного сварочного оборудования вам известны?

ТЕМА 7

СВАРКА В СРЕДЕ ЗАЩИТНЫХ ГАЗОВ

При сварке в защитных газах зона дуги и расплавленного металла защищается струей газа, подаваемого с помощью горелки, хотя иногда сварка выполняется в камерах с контролируемой атмосферой. В качестве защиты используют инертные газы – аргон, гелий и их смеси, которые не взаимодействуют с металлом при сварке и не растворяются в нем, и активные газы, которые, наоборот, взаимодействуют с металлом, а также их смеси.

Сварка неплавящимся вольфрамовым электродом. При этой разновидности сварки дуга горит между вольфрамовым электродом 7 и основным металлом 5, причем дуга может питаться постоянным током прямой полярности или переменным током (рис. 7.1).

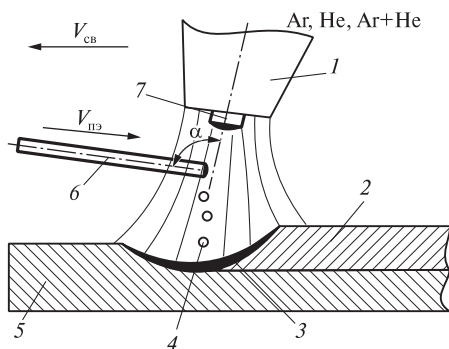


Рис. 7.1. Схема сварки вольфрамовым электродом

Инертный газ для защиты электрода и плавильного пространства подается под давлением, большим, чем атмосферное, через сопло 1. Хотя электрод называется неплавящимся, на самом деле на его торце образуется капля жидкого вольфрама, которая удерживается силой поверхностного натяжения.

живается силами поверхностного натяжения. В случае превышения сварочного тока или попадания кислорода в защитную струю капля может отрываться и, попадая в сварочную ванну, загрязнять ее. Под действием теплоты дуги расплавляются основной металл 5 и присадочный 6, капли которого 4, смешиваясь с основным металлом, образуют сварочную ванну 3, превращающуюся после кристаллизации в сварной шов 2. Качество защиты зависит от угла α между осями электрода и присадочного прутка, который должен быть около 90° . При меньшем угле ламинарное (равномерное) течение газа из сопла превращается в турбулентное, вследствие чего возникают зоны пониженного давления, куда устремляется воздух, ухудшая качество шва.

Для обеспечения ламинарного течения газа по всему сечению сопла мундштук «притапливают» в горелке, а внутреннюю полость сопла выполняют параболической или конической с цилиндрической частью на выходе. Внутри полости устанавливают устройства, которые способствуют ламинарности исходящего газового потока, — отражатели, сетки, металлокерамические вставки и т.д.

Основные параметры режима — это род тока, его полярность, диаметр вольфрамового электрода, сила сварочного тока, напряжение на дуге, диаметр присадочного металла и расход защитного газа.

Сварка ведется на постоянном токе прямой полярности (большая стабильность горения дуги и меньшие потери электрода) и на переменном токе при изготовлении конструкций из алюминиевых и магниевых сплавов, когда в моменты обратной полярности разрушается тугоплавкая оксидная пленка.

Диаметр вольфрамового электрода выбирают в пределах 1–6 мм в зависимости от состава и толщины свариваемого металла. Их изготавливают как из чистого вольфрама марки ЭВЧ, так и с различными активирующими добавками марок ЭВЛ, ЭВИ, ЭВТ, обеспечивающими стабильность горения дуги согласно ГОСТ 23949–80. Их используют для дуговой сварки неплавящимся электродом в среде защитных газов (аргона, гелия), а также для плазменных процессов резки, наплавки и напыления. Наиболее широко применяют лантанированные и итрированные электроды, они менее токсичны, чем торированные.

Сила сварочного тока зависит от типа и диаметра электрода, рода тока, его полярности и лежит в пределах 50–500 А.

Надо иметь в виду, что при работе на постоянном токе все электроды следует затачивать на конус, при работе на переменном токе электроды марок ЭВИ и ЭВЛ должны иметь плоскую заточку, а марок ЭВТ — заточку в виде сферы.

Напряжение на дуге U_d выбирается в зависимости от типа соединения, состава и толщины свариваемого металла. Если сварка ведется без присадки, используют короткую дугу 0,5–2 мм; при работе с присадкой ее увеличивают до 3–4 мм так, чтобы напряжение на дуге составляло 10–16 В.

Диаметр присадочного прутка 1,5–5 мм зависит от толщины свариваемого металла, силы тока, наличия разделки и т.д.

Расход защитного газа Q_r зависит от толщины металла, сварочного тока, рода защитного газа (расход аргона в 3–4 раза меньше, чем гелия), состава свариваемого металла, скорости сварки и т.д., и лежит в пределах 5–20 л/мин (при использовании аргона).

Выбор рода защитного газа не зависит от свойств свариваемого материала, потому что сам вольфрамовый электрод нуждается в защите лишь инертной защитной атмосферой, так как при нагревании выше 400 °С он интенсивно окисляется. В основном используют аргон по ГОСТ 10157–79, хотя при сварке в среде гелия по ГОСТ 20461–75 имеет место бóльшая проплавливающая способность дуги и улучшается коэффициент формы провара при высокой скорости сварки. Но гелий — дорогой и дефицитный газ, поэтому часто применяют смеси аргона и гелия. В качестве защитного газа иногда используют азот, который увеличивает тепловую мощность дуги, что нужно при сварке меди.

Техника ручной сварки вольфрамовым электродом имеет некоторые особенности, обусловленные свойствами электрода.

Зажигание дуги может выполняться касанием электрода к графитовой или медной подкладке с последующим переносом дуги на место сварки. После этого с помощью осциллятора (горелка своим соплом касается поверхности изделия под углом 20–25°, включается высокочастотный ток, горелка возвращается в рабочее положение) устанавливается дуга нужной длины. Если сварка ведется на постоянном токе, осциллятор выключается. При свар-

ке на переменном токе осциллятор работает, пока горит дуга; после обрыва дуги источник высоковольтного разряда автоматически отключается. Старт дугового разряда осуществляется ручным или ножным (педальным) выключателем, причем во всех случаях нажимать на него нужно не менее 5 с. Сначала подается защитный газ, а потом зажигается дуга.

Возбуждение дуги осуществляется в разделке или на ранее наплавленном металле шва. Дуга никогда не зажигается на поверхности свариваемого металла вне разделки. В начале шва надо разогреть кромки деталей, плавно перемещая дугу на небольшом участке, и после образования сварочной ванны подавать в нее присадочный пруток. При сварке многопроходного шва стыкового соединения с разделкой кромок сначала проплавляется корень шва без присадки, а затем выполняется нужное число проходов. Если есть угроза образования горячих трещин, корень шва заваривается с присадочным материалом.

Формирование обратного валика осуществляется на весу или с помощью подкладок из меди для сварки сталей и жаропрочных сплавов или из нержавеющей стали для алюминиевых и титановых сплавов. Подкладки выполняются с продольной канавкой глубиной 0,5–2 мм и шириной 3–20 мм. Защита обратной стороны шва выполняется через отверстия в подкладке, а при сварке корневого шва на весу защитный газ подается в трубу через заглушки, расположенные по обе стороны от стыка, например при односторонней сварке кольцевого шва трубы, когда невозможно установить съемные подкладки, а остающиеся не разрешаются. При сборке конструкции под сварку следует применять устройства, обеспечивающие выравнивание кромок, удаление зазоров и надежное прижатие кромок к подложке. При сварке угловых соединений продольная ось вольфрамового электрода должна совпадать с биссектрисой угла между стенкой и полкой, а присадочная проволока располагается в одной плоскости с вольфрамовым электродом.

Ось вольфрамового электрода отклоняется от вертикали на 15–20° в сторону, противоположную направлению сварки, а присадочная проволока подается перед столбом дуги в головную часть ванны под углом 15–20° к поверхности свариваемого металла.

Иногда горелкой и проволокой манипулируют, образуя возвратно-поступательные движения или серповидные колебатель-

ные движения поперек шва для обеспечения условий хорошего перемешивания и сплавления присадочного металла с основным. При этом надо следить, чтобы разогретый конец присадочной проволоки все время находился внутри потока защитного газа. Погружая проволоку в сварочную ванну, необходимо одновременно понемногу отводить от ванны конец вольфрамового электрода. Эти технические приемы подачи присадочной проволоки в сварочную ванну используются для всех сварных соединений во всех пространственных положениях при сварке.

Все перемещения выполняют плавно, без резких движений, которые могут нарушить течение защитного газа. Нельзя, во-первых, вводить конец присадочной проволоки в столб дуги, так как под действием высокой температуры он будет интенсивно расплавляться и разбрызгиваться; во-вторых, касаться торцом вольфрамового электрода расплавленной ванны жидкого металла, а если это случилось, загрязненный участок следует вырубить или зачистить. После принудительного обрыва дуги ее восстановление выполняют на расстоянии не менее 10–15 мм до обрыва, не допуская заметного усиления шва. Кратеры заваривают, постепенно уменьшая сварочный ток в течение не менее 5 с, а подачу газа прекращают через 10–15 с после выключения тока. При автоматической сварке используется специальное устройство заварки кратера, обеспечивающее постепенное уменьшение сварочного тока.

Плазменная сварка или сварка сжатой дугой, которая достигается искусственным сжатием за счет охлаждения ее внешних слоев в узком канале, является разновидностью сварки вольфрамовым электродом. При этом значительно (в 2–3 раза) повышается температура дуги и увеличивается ее способность проникать в глубь металла. Дуговой разряд можно создавать как между вольфрамовым электродом и изделием (дуга прямого действия), так и между электродом и соплом (дуга косвенного действия).

Нецелесообразно сваривать вольфрамовым электродом углеродистые, низколегированные стали и чугуны, поскольку производительность процесса низкая, а стоимость высокая. Исключением является использование этого способа при изготовлении трубных конструкций из низколегированных теплоустойчивых сталей для сварки корневого шва на весу, о чем говорилось выше. В то же время сварка вольфрамовым электродом очень эффективна при изготовлении тонколистовых конструкций из высоколеги-

рованных нержавеющей сталей с учетом требований к их сборке и сварке.

Для расширения диапазона свариваемых толщин, повышения производительности сварки вольфрамовым электродом и обеспечения стабильности провара разработан ряд вариантов процесса сварки: пульсирующим током, с подогревом присадочной проволоки, несколькими вольфрамовыми электродами, заостренным катодом, проникающей дугой и т.д. Эти разновидности процесса могут быть реализованы с использованием стандартного оборудования или в сочетании с дополнительными узлами и блоками.

Сварка пульсирующим током эффективна для высоколегированных сталей. Сущность ее в том, что металл расплавляется под действием импульса тока, а кристаллизуется во время паузы, вследствие чего при сварке шва точки частично перекрываются. Особенно ценно то, что стабильность формирования шва обеспечивается во всех пространственных положениях при невысокой точности собранных деталей, а вследствие пауз уменьшается перегрев сварного соединения и соответственно его деформация. Такая технология используется при сварке неповоротных стыков труб из стали 10Х18Н9Т.

При *сварке меди* в качестве присадочной проволоки рекомендуются бронза БрКМЦ 3–1, медно-никелевый сплав МНЖКТ 5–1–0,2–0,2 и т.д. Техника сварки зависит от используемых защитных газов. Для аргона и гелия длина дуги наименьшая, а при сварке в азоте дуга может быть в 2–2,5 раза длиннее.

Микроплазменная сварка очень эффективна для тонкостенных труб из меди и медных сплавов. Сварное соединение осуществляется встык без разделки кромок; плазмообразующий газ – аргон, защитный – гелий.

При *сварке никеля и его сплавов* в качестве защитного газа используется аргон или его смесь с водородом $\text{Ar} + 20\% \text{H}_2$, присадочным материалом являются прутки марок НМц2,5, НМц5, НМцАТ3-1,5–0,6 и т.п. Сварка производится левым способом при минимальной длине дуги на максимально возможной скорости с минимальными поперечными колебаниями электрода. При выполнении многопроходных швов последующий шов осуществляется после полного остывания предыдущего шва, зачистки его от шлака и обезжиривания.

Сварка титана и его сплавов производится с использованием вольфрамового электрода. Самую надежную защиту зоны сварки, шва и всего соединения может обеспечить лишь камера с контролируемой атмосферой. Для титана и его сплавов толщиной 0,5–2 мм эффективна импульсно-дуговая сварка, которая ведется импульсами постоянного тока прямой полярности. Между вольфрамовым электродом и изделием от автономного источника постоянного тока поддерживается «дежурная дуга» (0,8–2 А), на которую накладывается импульсная дуга. При таком способе сварочные деформации меньше на 15–30 %, чем при непрерывной дуге; кроме того, меньше зона термического влияния, лучше структура металла.

Сварку кольцевых поворотных и неповоротных стыковых соединений выполняют в местных или компактных камерах, но чаще всего сварка производится на воздухе с использованием специальных горелок с соплом увеличенного диаметра, в которое защитный газ поступает через «газовую линзу» — пакет из сеток с мелкой ячейкой (80–250 отв/см²) или вкладышей из пористого термостойкого материала, обеспечивающих ламинарное течение струи.

Для защиты охлаждаемых участков сварного соединения применяют специальные насадки-хвостовики, закрепленные на горелке, а в корень шва из-под специальной формирующей подкладки также подается защитный газ (на поддув). Качество защиты можно контролировать визуально. Наличие цветов побежалости (синих, фиолетовых, оранжевых, соломенных) сигнализирует о недостаточной защите, а объективным способом оценки может быть измерение твердости. Повышенная по сравнению с основным металлом твердость таких участков подтверждает вывод визуального наблюдения. Сварка осуществляется постоянным током прямой полярности без поперечных колебаний горелки, углом вперед, короткой дугой. Как обычно, аргон подается перед зажиганием дуги и после окончания процесса до остывания металла до 400 °С. В качестве присадки используют проволоку марки ВТ1–00 для сварки чистого титана и его низколегированных сплавов, а также специальные присадки более узкого назначения.

Металл толщиной до 3 мм сваривается без разделки кромок, более толстый требует разделки. Так, применяются V-образная разделка для толщин 4–10 мм, X-образная для 10–15 мм, и U-образная, если толщина металла более 15 мм.

Галогенные флюсы, содержащие фториды кальция, магния, лития и т.д., позволяют значительно повысить проплавливающую способность дуги. Они наносятся на поверхность, которая подлежит сварке. Благодаря повышенной концентрации тепловой энергии в активном пятне можно сваривать за один проход без разделки кромок металл толщиной до 12 мм. При этом на 15–25 % уменьшаются деформация изделия, зона термического влияния и улучшается структура сварного шва, что особенно важно при сварке высоколегированных термически упрочняемых титановых сплавов. Флюс наносят в виде пасты. Толщина слоя 0,1 мм при токе менее 150 А и 0,2–0,3 мм при токе более 150 А. Ширина слоя соответственно 15–20 и 40 мм.

Металлоконструкции из алюминия и его сплавов целесообразно сваривать вольфрамовым электродом со стенкой толщиной до 12 мм. Металл до 3 мм сваривают за один проход на стальной подкладке. При толщине 4–6 мм сварку выполняют с двух сторон, а начиная с 6–7 мм используют V- или X-образную разделку. Сварка ведется на переменном токе. Присадка подается короткими возвратно-поступательными движениями без поперечных колебаний вольфрамового электрода, длина дуги не превышает 1,5–2,5 мм, а расстояние от выступающего конца вольфрамового электрода до нижнего среза наконечника горелки при выполнении стыковых соединений составляет 1–1,5 мм, при тавровых и угловых – 4–8 мм. Кроме того, существует зависимость между диаметром электрода и диаметром выходного отверстия сопла. Для диаметра электрода 2–3 мм диаметр сопла составляет 10–12 мм. Для диаметров электрода 4, 5 и 6 мм диаметр сопла соответственно 12–16, 14–18 и 16–22 мм.

Механизированная сварка выполняется при большей силе тока за один проход или двусторонним швом. Вольфрамовый электрод устанавливается вертикально, а присадочная проволока подается механизмом подачи так, чтобы его конец опирался на край сварочной ванны.

Сварку магниевых сплавов выполняют на переменном токе при минимальной длине дуги 1–1,5 мм, используя стальные подкладки с формирующими канавками шириной 6–8 мм и глубиной 0,8–2 мм. Металл толщиной более 5 мм требует V- или X-образной разделки. Как и в случае сварки титана, при выполнении первого шва требуется защита корня шва инертным газом. Диаметр

выходного сопла горелки выбирают в зависимости от силы сварочного тока. Для $I_{\text{св}} = 50$ А диаметр сопла $d_c = 8$ мм. Для силы тока 100, 200, 300 и 400 А диаметр сопла соответственно 8–10, 10, 14–20 и 20 мм.

При многопроходной сварке требуется тщательная зачистка предыдущего слоя от черного налета оксидов. Присадочным металлом является проволока, полученная прессованием соответствующего сплава, например МА1, МА2–1.

Современный пост для ручной дуговой сварки вольфрамовым электродом состоит из источника питания, баллона для защитного газа с редуктором и расходомером-ротаметром и водоохлаждаемой станции, осуществляющей циркуляцию воды по замкнутому кругу. При этом охлаждаются горелка и токоподводящий кабель, в результате чего уменьшается его вес.

При сварке на небольшой силе тока (до 250 А) используют горелки с естественным воздушным охлаждением. Все установки обеспечивают бесконтактное возбуждение дуги в режиме ТИГ (сварка вольфрамовым электродом в среде инертных газов) на переменном и постоянном токе, постепенное нарастание и уменьшение сварочного тока в начале и в конце сварки, а также его регулирование, продолжительность времени подачи газа в горелку в начале и в конце сварки, оптимальное соотношение очищающего и проплавляющего действия дуги, подключение дистанционного пульта управления при работе на расстоянии от установки и т.п.

Все необходимые функции выполняет, например, универсальная установка Syncrowave*351 производства компании «Miller Electric» (США) (рис.  3, где также приведено описание панели пульта управления).

Такие установки сложны и дорогостоящи, требуют высокой культуры труда и проведения профилактических мероприятий. В случае, когда к качеству изготовления металлоконструкции не предъявляются слишком высокие требования, можно комплектовать источники питания переменного и постоянного тока, которые эксплуатируются на производстве, специальным возбудителем — стабилизатором дуги, например, марки ВСД-2 компании «SELMA». Его питание можно осуществлять от сети 36, 220 и 380 В в паре с источником; он имеет напряжение холостого хода

от 70 до 100 В. При небольшой мощности 50 Вт он обеспечивает возбуждение дуги и позволяет регулировать продувку газа до 30 с.

Горелка для ручной сварки (рис. 7.2) является важной частью специальных установок или постов сварки неплавящимся электродом и содержит систему охлаждения (водяную или воздушную), электрод, закрепленный в токоподводящей цанге 2, размещенный в пространстве, ограниченном газозащитным соплом 1. Диаметр электрода выбирают в зависимости от номинальной силы сварочного тока. Некоторые зарубежные модели обеспечивают поворот корпуса на 90°, что удобно при выполнении сварки в труднодоступных местах.

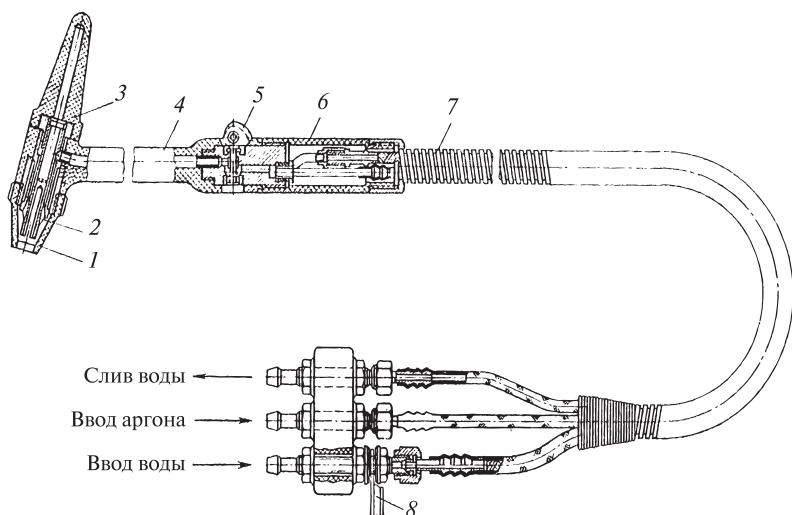


Рис. 7.2. Горелка для ручной сварки вольфрамовым электродом:
1 — сопло; 2 — цанга; 3 — колпачок; 4 — корпус; 5 — газовый клапан; 6 — рукоятка; 7 — кабель; 8 — токоподвод

При автоматической сварке применяются специальные горелки (рис. 7.3). В них электрод 10 зажат в токоподводящей цанге при помощи маховика 7. Для изменения положения электрода относительно сопла 1 служит маховик 5, при вращении которого охлаждаемая проточной водой обойма 6 передвигается в корпусе 4. Цанга 2 — сменная деталь, предназначенная для электродов определенного диаметра. Газ поступает через штуцер 8 по зазору между обоймой и корпусом 9. Керамические сопла и газопроницаемые

сеточные вкладыши 3 (газовые линзы) обеспечивают получение ламинарного потока газа.

Аппарат для сварки продольных и кольцевых швов металла средних толщин перемещается с помощью механизма по направляющим (головка) или непосредственно по изделию (трактор), а сварочная горелка имеет специальное устройство для крепления электрода и подвода присадочной проволоки, которая подается с помощью механизма, размещенного на каретке. Сварочный трактор АДСВ-6 массой 27 кг предназначен для сварки на постоянном и переменном токе силой до 315 А, с вольфрамовым электродом 1–5 мм диаметром и присадочной проволокой 0,8–2 мм на скорости сварки 5–80 м/ч. Сварочный автомат типа АСТ-1 предназначен для сварки неповоротных стыков труб из алюминия, стали и титана в цеховых условиях, а АСТ-2 — в монтажных условиях на токе 250–300 А при диаметре свариваемых труб 100–200 мм.

Сварка в среде инертных газов вольфрамовым электродом позволяет наблюдать за дугой и управлять ею, благодаря высокой концентрации теплоты получать сварные швы с минимальной длиной зоны термического влияния (что важно при сварке металлов и сплавов, склонных к структурным превращениям) и минимальными деформациями изделия (что важно для тонкостенных конструкций), вести процесс во всех пространственных положениях и особенно пригодна в работе роботизированных сварочных комплексов.

Сварка плавящимся электродом. Выполняется при расплавлении электродной проволоки, подаваемой в плавильное пространство,

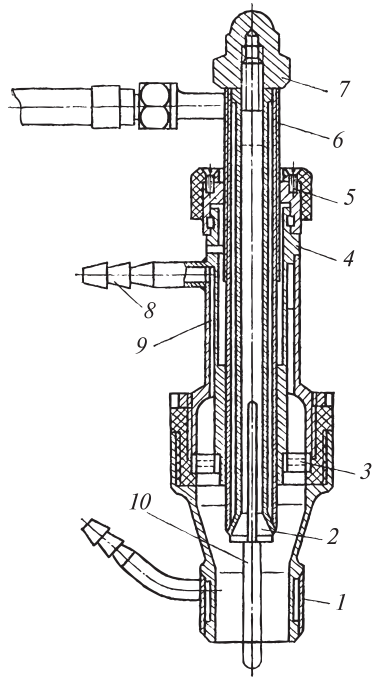


Рис. 7.3. Головка для автоматической сварки неплавящимся электродом

его защита от воздуха осуществляется подачей защитного газа — инертного, активного или их смесей под давлением, бóльшим атмосферного, вследствие чего воздух оттесняется и образуется соответствующая газовая среда (рис. 7.4). При этом способе сварки дуга горит между электродом 5, который подается в зону сварки с помощью специального механизма со скоростью $V_{пз}$, и изделием 4.

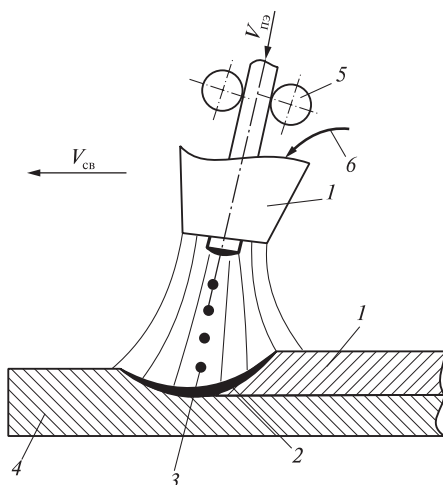


Рис. 7.4. Схема сварки плавящимся электродом в среде защитных газов

Капли расплавленного электродного металла 3 смешиваются с расплавленным основным металлом, образуя общую сварочную ванну 2, которая после кристаллизации превращается в сварной шов 1. Перемещение горелки вдоль сварного шва выполняется вручную сварщиком со скоростью сварки $V_{св}$. Защита плавильного пространства осуществляется инертным или активным газом 6, который подается через сопло 7 под давлением, бóльшим атмосферного. Образованная газовая среда определяет характер взаимодействия между газами и расплавленным металлом. Как и при сварке неплавящимся электродом, надо обеспечивать ламинарное течение газа из сопла, для чего используют такие же средства.

Основными параметрами режима являются следующие:

- род тока, полярность — сварка ведется на постоянном токе обратной полярности, что обеспечивает наиболее стабильное горение дуги;
- диаметр электродной проволоки — зависит от толщины свариваемого металла и пространственного положения; находится

в пределах 0,5–2,0 мм для полуавтоматической сварки и 2–4 мм для автоматической;

- сила сварочного тока $I_{\text{св}} = 50\text{--}500$ А — зависит от диаметра электродной проволоки, пространственного положения и скорости ее подачи;
- напряжение на дуге $U_{\text{д}} = 18\text{--}35$ В — зависит от пространственного положения, силы сварочного тока, диаметра и состава электродной проволоки и рода защитного газа;
- скорость сварки $V_{\text{св}}$ при полуавтоматической сварке не задается по тем же соображениям, что и при ручной, при автоматической находится в пределах 10–60 м/ч;
- вылет электрода $l_3 = 10\text{--}30$ мм — зависит от диаметра электродной проволоки и ее электрофизических свойств. При малом вылете возможны оплавление мундштука, увеличение забрызгивания внутренней поверхности сопла, что приводит к нарушению ламинарного течения защитного газа. При большом вылете ухудшается защита плавильного пространства, проволока вследствие перегрева теряет свою жесткость, ухудшается направление ее в место сварки. Однако вследствие подогрева проволоки на участке увеличенного вылета возрастают скорость ее плавления и производительность процесса. Это явление можно реализовать, используя специальные керамические направляющие мундштуки;
- расход защитного газа $Q_{\text{г}} = 5\text{--}30$ л/мин — зависит от силы сварочного тока, защитного газа (расход аргона и диоксида углерода в 3–4 раза меньше, чем гелия), состава свариваемого металла, скорости сварки и т.д.

Выбор защитного газа определяется в первую очередь свойствами свариваемого металла. Одни высоколегированные стали и сплавы, титан и его сплавы требуют лишь инертной защитной атмосферы, а другие высоколегированные стали и сплавы, алюминий и его сплавы могут быть сварены как в инертной атмосфере, так и с примесями к ней активных газов, например 2–5 % кислорода. При этом достигается струйный перенос металла, уменьшается разбрызгивание и не появляется пористость от водорода. Сварку углеродистых и низколегированных сталей можно выполнять в активных газах (CO_2 по ГОСТ 8050–85, $\text{CO}_2 + 20\text{--}30\%$ O_2), в смеси активных и инертных газов. Так, смесь $\text{Ar} + 25\%$ O_2 способствует струйному переносу электродного металла и позволяет

предотвратить разбрызгивание. Состав защитных газов влияет и на другие технологические характеристики процесса. При сварке в аргоне короткая и длинная дуга обеспечивает благоприятные условия сварки металлов малых и средних толщин в нижнем положении. При сварке в гелии и азоте и в их смесях с аргонном благодаря повышенной тепловой мощности обеспечиваются большая глубина провара и благоприятная его форма, что способствует повышению скорости сварки.

При выборе рассмотренных взаимосвязанных характеристик следует руководствоваться данными, приведенными в табл. 7.1.

Таблица 7.1

Рекомендованные соотношения между диаметром электрода и силой тока, напряжением на дуге и вылетом электрода

Параметр	Диаметр электрода, мм						
	0,5	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,5
Ток, А	30–100	60–150	80–180	90–220	120–350	200–500	250–600
Напряжение, В	18–20	18–22	18–24	18–28	18–32	22–34	24–38
Вылет электрода, мм	6–10	8–12	8–14	10–15	14–20	15–25	15–35

Техника полуавтоматической сварки в среде защитных газов плавящимся электродом достаточно проста и имеет много общего с техникой ручной дуговой сварки. Роль сварщика сводится к поддержанию постоянного вылета электрода и расстояния сопла до изделия, равномерного перемещения горелки вдоль свариваемых кромок и иногда к выполнению необходимых манипуляций и колебаний электродом. Форма колебаний зависит от диаметра проволоки; при сварке тонкой проволокой (до 1,6 мм), как и при ручном процессе при больших диаметрах, зависит от типа соединения. Корневые швы сваривают при возвратно-поступательном перемещении электрода, средние слои стыковых швов при перемещении электрода по вытянутой спирали, а верхние слои — с поперечными колебаниями «змейкой». Сварку ведут с наклоном электрода углом вперед и углом назад до 10–30°. В первом случае глубина провара меньше, чем во втором, вследствие подтекания жидкого металла под основание дуги.

Возвратно-поступательные движения горелки уменьшают пористость, особенно при применении активных газов вследствие улучшения защиты, перемешивания и замедления охлаждения жидкой ванны, что способствует извлечению из нее газов.

Подготовка кромок под сварку и размеры сварных швов регламентирует ГОСТ 14771–76, согласно которому можно качественно сваривать металл толщиной начиная с 0,8 мм.

Сварку стыковых швов тонкостенных изделий во всех случаях лучше вести в вертикальном положении сверху вниз или «на весу», а дугу направлять на ванну жидкого металла и выполнять такой шов за один проход. Если детали собраны с зазором, процесс ведут с периодическими остановками, уменьшением мощности или поперечными колебаниями. Кольцевые стыковые швы сваривают, как и прямолинейные. Металл толщиной до 4 мм сваривают в полупотолочном или вертикальном положении сверху вниз проволокой малого диаметра или импульсной дугой. Более толстые изделия сваривают в нижнем положении со смещением электрода с зенита в сторону, противоположную вращению детали; размер смещения зависит от диаметра детали, силы тока и скорости сварки. Соединение металла внахлест толщиной до 1,5 мм сваривают, направляя дугу на верхнюю кромку, при большей толщине сваривают «на весу» с наклоном электрода поперек шва, а дугу направляют в угол среза кромки верхнего листа.

Угловые соединения сваривают «лодочкой» наклонным электродом под углом 50–60° к полке. Если толщина металла менее 5 мм, дугу направляют в угол. При большей толщине электрод смещают в сторону полки на 0,8–1,5 мм, а сварку ведут углом вперед.

Сварку электрозаклепками и точками применяют для стыковых, угловых и соединений внахлест металла толщиной до 2 мм во всех пространственных положениях с пробивкой или без пробивки отверстий в верхних листах, а стык деталей обеспечивают прижатием сопла, которое имеет отверстия для выхода газа.

При *сварке вертикальных швов* на тонком металле используют свободное формирование шва: процесс ведут сверху вниз, углом назад, направляя дугу на переднюю часть ванны, что обеспечивает проплавление кромок и исключает прожоги. Сварка сверху вниз не требует высокой точности сборки деталей и выполняется в 2–2,5 раза быстрее, чем снизу вверх. Сварку металла толщиной более 6 мм выполняют снизу вверх, что обеспечивает надежный

провар и отсутствие несплавления по краям шва, короткими частыми замыканиями, пересекая электродный металл капля за каплей в сварочную ванну. При значительной длине прямолинейные вертикальные швы на стали толщиной от 8 до 40 мм рекомендуется сваривать с принудительным формированием шва с помощью медных водоохлаждаемых ползунов, используя порошковую проволоку или подавая небольшое количество флюса в плавильное пространство. Сварка выполняется специальным автоматом. Использование импульсно-дугового процесса значительно упрощает сварку таких швов.

Сварку горизонтальных швов ведут с наклоном электрода, снизу вверх и углом назад без поперечных колебаний, направляя дугу на сварочную ванну. При толщине металла более 4 мм производят разделку верхней кромки листа, а металл толщиной более 6 мм сваривают с наклоном электрода сверху вниз. При этом корневой шов сваривают тонкой проволокой с частыми короткими замыканиями, импульсной дугой или неплавящимся электродом. Основную разделку заправляют плавящимся электродом на больших токах, а облицовочный шов — тем же способом, что и корневой.

Потолочные швы — сложные в исполнении, их сваривают углом назад на минимальных силах тока и напряжении, а диаметр электрода выбирают в пределах 0,5–1,4 мм. Дугу и поток защитного газа направляют на ванну жидкого металла для уменьшения ее стекания при увеличенном расходе газа, поперечных колебаниях электрода, частых коротких замыканиях.

Полуавтоматическая сварка в среде защитных газов полностью вытеснила полуавтоматическую сварку под флюсом и стала доминирующей среди механизированных способов сварки при изготовлении металлоконструкций ответственного и особо ответственного назначения благодаря таким преимуществам, как высокая производительность, легкость транспортирования защитной среды к плавильному пространству, отсутствие шлаковой корки и шлаковых включений, уменьшение ширины зоны термического влияния и сварочных деформаций, сварка во всех пространственных положениях, возможность наблюдения за дугой и управления ею.

Углеродистые, низколегированные и некоторые среднелегированные стали можно сваривать в сильно- или слабоокислительной среде, используя электродную проволоку с повышенным со-

держанием элементов-раскислителей. Дело в том, что углекислый газ только защищает от азота плавильное пространство, а сам образует в нем кислую среду за счет диссоциации:



Жидкий металл в головной части сварочной ванны может реагировать как с самим диоксидом углерода, так и с продуктами его реакции:



в результате чего сварочная ванна насыщается кислородом. При охлаждении расплавленного металла углерод, который присутствует в стали, может окисляться, образуя оксид углерода:



Выделяясь из сварочной ванны в виде пузырей, СО может вызвать пористость; если сварочная проволока легирована кремнием и марганцем, оксиды железа будут раскисляться главным образом в результате взаимодействия с ними, а не с углеродом, обеспечив качественный металл шва и отсутствие пор:



Эти реакции протекают в хвостовой части сварочной ванны, поэтому оксиды кремния и марганца в виде очень тонкой шлаковой корки покрывают поверхность сварного шва. Существенным недостатком использования углекислого газа для сварки является повышенное разбрызгивание: забрызгиваются внутренняя поверхность сопла горелки и околошовная зона, а отделение брызг от основного металла требует применения тяжелого непрестижного ручного труда.

Для предотвращения этого явления используют специальные источники питания, применяют газовые смеси, которые способствуют мелкокапельному переносу электродного металла ($\text{CO}_2 + \text{O}_2$) или струйному ($\text{Ar} + \text{CO}_2$), ведут сварку специальными порошковыми или активированными проволоками или наносят на околошовную поверхность специальные лакокрасочные покрытия, которые, однако, эффективно действуют только при однопроводной сварке, после чего их нужно обновлять.

С учетом специфики защиты плавильного пространства углекислым газом сварку различных соединений из углеродистых и низ-

колегированных сталей ведут с использованием специальных электродных проволок Св-08Г2С, Св-08ГСМТ, Св-08ХГСМФ и т.д.

При сварке высоколегированных сталей, которые имеют в своем составе элементы, высокоактивные к кислороду (алюминий, титан, ниобий и т.д.), нужно использовать только инертные газы, в других случаях возможно применение смеси аргона с кислородом в комбинации с соответствующими проволоками: Св-01Х19Н9, Св-08Х19Н10Г2Б, Св-08Н50, Св-ХН75М6ТЮ и т.п.

Медь и ее сплавы сваривают в аргоне, гелии и азоте. С целью экономии аргона и повышения производительности труда рекомендуется газовая смесь 70–80 % Ar + 30–20 % N₂. Однако лучшее формирование шва достигается при сварке в аргоне и гелии. В качестве присадки используется проволока из кремнисто-марганцевой бронзы БрКМц3–1. Перед началом процесса требуется подогрев кромок до 200–500 °С.

Для механизированной сварки высокопрочной коррозионно-стойкой бронзы марки БрАНМцЖ-8,5–4–4–1,5 разработана специальная композитная проволока, которая обеспечивает получение сварного шва того же состава на параметрах режима: $d_s = 2,8$ мм, $I_{св} = 350–380$ А, $U_d = 24–26$ В, $Q_{Ar} = 16–17$ л/мин.

Титан и его сплавы толщиной более 4 мм сваривают только в среде инертных газов высокой степени чистоты. Размеры сварных швов и их формирование зависят от рода газа. В гелии швы имеют более плавный переход усиления к основному металлу, в аргоне проплавление шва глубже и шов уже. Рекомендуется вести сварку присадочной проволокой марки ВТ1–00.

Для сварки на монтаже рекомендуется использовать импульсно-дуговой процесс с использованием гелия.

Сварка должна выполняться в палатке, чтобы исключить сдувание защитной струи из плавильного пространства. В цеху надо пользоваться камерой с контролируемой атмосферой.

Алюминий и его сплавы толщиной более 4 мм сваривают в среде аргона или в смеси 30 % Ar + 70 % He. В качестве присадочной проволоки используются сплавы типа АМц и АМг, а также сплавы состава, близкого к основному металлу.

По сравнению со сваркой вольфрамовым электродом сварные швы имеют пониженную на 15 % прочность вследствие большего перегрева электродного металла при переходе через дуговой про-

межуток. Преимуществами являются надежное перемешивание сварочной ванны и ее очистка от оксидных включений, а также высокая производительность, которую можно значительно увеличить, применяя импульсно-дуговой процесс. Введение модификаторов (циркония, титана, бора) в проволоку повышает стойкость сварных швов к кристаллизационным трещинам.

При сварке высоколегированных термически упрочняемых сплавов прочность может снижаться почти наполовину, поэтому после сварки изделия надо подвергать термической обработке — закалке с последующим старением. Повышение устойчивости к усталости соединения достигается снятием усиления сварного шва.

Сварку магниевых сплавов плавящимся электродом в аргоне целесообразно выполнять для толщин металла начиная с 6 мм. Лучшие результаты можно получить на параметрах режима сварки, соответствующих струйному переносу металла. При этом скорость плавления магниевой проволоки вдвое больше, чем алюминиевой при той же силе сварочного тока.

Надежная защита обеспечивается при расстоянии от сопла до поверхности изделия и от токоведущего мундштука до среза сопла соответственно 10—15 и 5—10 мм. Листы толщиной до 5 мм сваривают встык без разделки кромок, 10—20 мм — с V-образной разделкой с углом 50—60° и притуплением 2—6 мм, более 20 мм — с X-образной разделкой с углом 60—80° и притуплением 2—3 мм. Ось электрода составляет угол 90° к изделию при сварке стыковых соединений без разделки или с небольшой разделкой. При большей глубине разделки сварку ведут углом вперед с углом 7—15° к вертикали.

Сварка плавящимся электродом в среде защитных газов производится с помощью полуавтоматов и автоматов, причем наиболее распространены первые.

Для **полуавтоматической сварки** предназначена установка, основные составные части которой даны на рис. 7.5. Сварочная проволока 7 подается из катушки с помощью подающего механизма 5 по специальному шлангу 4 к горелке 3. Источник 9 питает как сварочную дугу, которая горит между проволокой горелки 3 и изделием, так и блок управления 6, где размещены элементы пускорегулирующей аппаратуры, источник питания подающего механизма, рукоятка регулирования скорости подачи проволоки, электрога-

зовый клапан и т.д. Защитный газ подается из баллона через редуктор 10 по шлангу 8 к блоку управления 6 на электрогазовый клапан. Эта магистраль до начала сварки заполнена газом. От электрогазового клапана к подающему шлангу идет магистраль подачи газа 4 к горелке 3, которая перед сваркой заполнена воздухом. С блока управления к подающему шлангу идут провода управления 1 на кнопку, расположенную на горелке. На источнике питания находятся рукоятка регулирования напряжения на дуге, а также амперметр и вольтметр для контроля электрических параметров сварки. Сварочные кабели 2 соединяют изделие с подающими роликами механизма 5. При сварке в среде CO_2 на газовой магистрали после вентиля баллона устанавливаются подогреватель и осушитель газа.

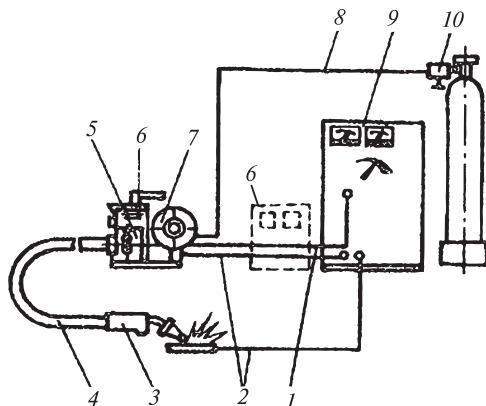


Рис. 7.5. Монтажная схема установки для полуавтоматической сварки плавящимся электродом в среде защитного газа:

1 – провода управления; 2 – сварочные провода; 3 – горелка; 4 – шланг; 5 – механизм подачи; 6 – блок управления; 7 – кассета; 8 – шланг для газа; 9 – источник питания; 10 – аппаратура для регулирования и измерения параметров защитного газа

В работе полуавтомата очень важно обеспечить надежность подачи электродной проволоки специальным механизмом по шлангу к горелке. Подавляющее большинство подающих механизмов проталкивает проволоку к горелке по шлангу, и требуемое усилие достигается прижатием проволоки двумя роликами. Эта схема упрощает подающий механизм, уменьшает его габаритные размеры

и массу. Однако подача проволоки, особенно тонкой и нежесткой, требует значительных усилий прижима, что ведет к ее деформации, затрудняет прохождение направляющего канала в шланге, приводит к его преждевременному износу, а иногда делает невозможной надежную постоянную работу. Поэтому сейчас применяют четырехроликовые подающие механизмы, значительно улучшающие надежность подачи электродной проволоки. Подающий механизм 5 соединяется с горелкой 3 шлангом 4, по которому транспортируется сварочная проволока, подаются сварочный ток, ток цепи управления, защитный газ и в случае необходимости вода, охлаждающая сопло горелки (при сварке на токах выше 350 А).

Устройство рабочей части горелки для сварки плавящимся электродом показано на рис 7.6. Горелка содержит изогнутый мунштук 7 с переходной втулкой 2 и наконечником 5, рукоятку 1 с гашеткой 9, пусковую кнопку, защитный щиток 8 и сопло 4 для создания вокруг зоны сварки защитной атмосферы 6. Сопло электрически изолировано от наконечника и может легко заменяться. Переходная втулка имеет ряд отверстий 3, расположенных перпендикулярно направлению подачи проволоки и предназначенных для подвода защитного газа в зону сопла. Это обеспечивает получение ламинарного газового потока.

При сварке в углекислом газе образующиеся брызги прилипают к соплу и наконечнику, ухудшая газовую защиту зоны сварки и образуя токоведущую перемычку между соплом и наконечником горелки. Для снижения прилипания брызг применяют охлаждаемые сопла, составные с изоляционной прокладкой, металло-керамические и др., а также теплостойкие покрытия или хромирование сопла и защитные смазки, например силиконовые (раствор кремнийорганических соединений). При наличии смазки на поверхности сопла и наконечника брызги металла не привариваются, а только прилипают и потом легко удаляются.

Некоторые зарубежные производители изготавливают горелки, в которых наконечник тела между рукояткой и соплом выполнен из эластичного гибкого материала, что позволяет выгибать сопло под любым углом для достижения любого места сварки.

Для сварки в защитных газах плавящимся электродом используют выпрямители с пологопадающими или жесткими внешними характеристиками.

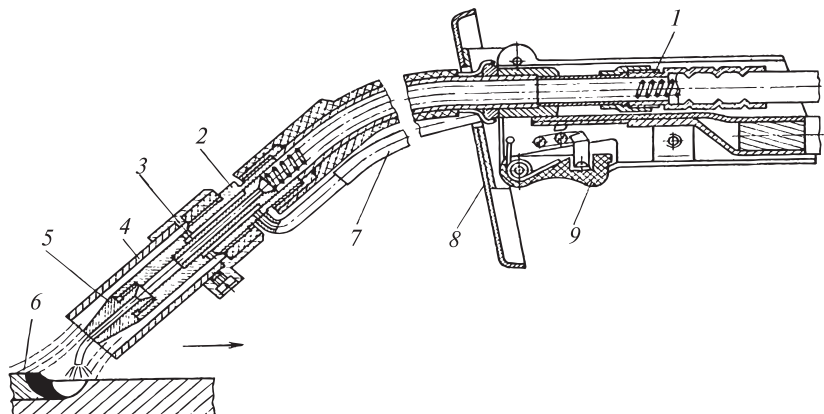


Рис. 7.6. Устройство рабочей части горелки для сварки плавящимся электродом в среде защитных газов

В табл. 7.2 приведены итоговые сведения относительно возможности сварки конструкционных материалов с учетом их особенностей, специфики способов и использования оборудования.

Таблица 7.2

Возможности использования сварки металлов и сплавов в среде защитных газов

Материал	Способ сварки					
	Вольфрамовый электрод			Плавящийся электрод		
	Постоянный ток, полярность		Пере- менный ток	Постоянный ток, полярность		Пере- менный ток
	прямая	обрат- ная		прямая	обрат- ная	
Низкоуглеродистые стали: конструкции неответственного и обычного назначения	—	—	—	—	+	—
Конструкции особо ответственного назначения	±	—	—	—	+	—
Среднеуглеродистые низко- и среднелегированные стали	±	—	—	—	+	—

Окончание табл. 7.2

Материал	Способ сварки					
	Вольфрамовый электрод			Плавящийся электрод		
	Постоянный ток, полярность		Пере- менный ток	Постоянный ток, полярность		Пере- менный ток
	прямая	обрат- ная		прямая	обрат- ная	
Высоколегирован- ные стали	+	—	±	—	+	—
Чугуны	±	—	—	—	—	—
Медь и ее сплавы	+	—	±	—	±	—
Никель и его сплавы	+	—	—	—	—	—
Свинец	+	—	—	—	—	—
Титан и его сплавы	+	—	—	—	+	—
Алюминий и его сплавы	—	—	+	—	+	—
Магний и его сплавы	—	—	+	—	+	—

Примечание: + сварка целесообразна; ± сварка ограничена; — сварка нецелесообразна или отсутствует надежная информация.

Сварка порошковой проволокой. Сварка в защитных газах может быть успешно выполнена только в цеховых условиях, где защита плавильного пространства осуществляется наиболее эффективно. В то же время многие металлоконструкции изготавливают на открытом воздухе в монтажных и полевых условиях с помощью покрытых электродов вручную, малопроизводительным способом.

Схема процесса сварки самозащитной порошковой проволокой открытой дугой показана на рис. 7.7. Электрическая дуга горит между оболочкой 1 порошковой проволоки и основным металлом 9. За счет теплоты дуги плавятся оболочка и сердечник 2 проволоки с образованием на торце проволоки каплей 3, которые растут и переносятся в сварочную ванну 5. При расплавлении минералов, руд и химикатов, входящих в состав сердечника, образуется шлак 6, покрывающий тонким слоем капли и сварочную ванну. Дуга 4 горит между каплей или оболочкой и сварочной ванной. При разложении карбонатов и органических материалов сердеч-

ника выделяются газы 10, которые защищают расплавленный металл от воздуха. Проволока по мере оплавления автоматически подается в зону сварки. При удалении дуги жидкий металл сварочной ванны кристаллизуется, образуя сварной шов 8, покрытый слоем затвердевшего шлака 7.

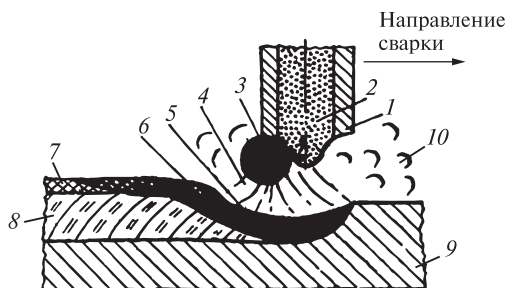


Рис. 7.7. Схема процесса сварки самозащитной порошковой проволокой

Порошковые проволоки различного назначения позволяют осуществить механизацию сварочных работ и соответственно повысить производительность сварки в несколько раз при достаточно высоком качестве сварных швов.

Порошковая проволока представляет собой непрерывный электрод трубчатой или более сложной конструкции с оболочкой, изготовленной из низкоуглеродистой ленты и заполненной смесью порошков – шихтой (рис. 7.8). В состав шихты входят стабилизирующие, шлако- и газообразующие, раскисляющие и легирующие компоненты. С целью увеличения производительности труда и получения высоких сварочно-технологических свойств вводится железный порошок. Можно сказать, что шихта содержит все те компоненты, которые по назначению вводят в состав покрытий электродов для ручной дуговой сварки. Самые распространенные проволоки трубчатой конструкции показаны на рис. 7.8, а–в. Они просты в изготовлении. Но при трубчатой конструкции проволоки часть шихты может попадать в сварочную ванну нерасплавленной и процесс плавления шихты заканчивается уже в ванне. Это может быть причиной неравномерного распределения отдельных элементов по длине и высоте сварного шва и даже возникновения дефектов. Кроме того, компоненты шихты вследствие различной плотности подвержены сепарации, а наличие неплотности оболочки приводит к возможности ее просыпания при изгибах проволоки. Предварительное спекание (агломерация) компонентов и изготов-

ление бесшовной проволоки предотвращают высыпание сердечника и проникновение в него влаги, что улучшает качество шва.

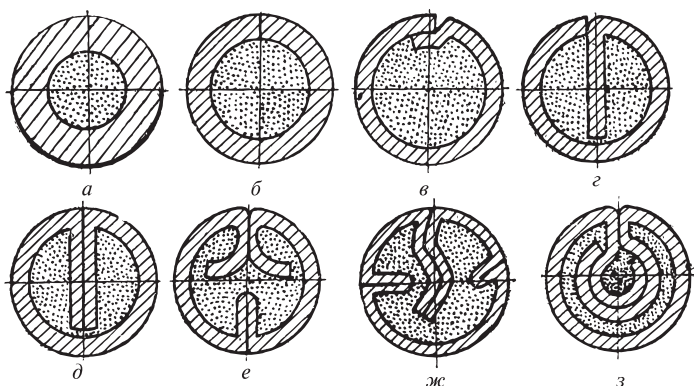


Рис. 7.8. Разновидности конструкций порошковых проволок

Проволоки, где часть оболочки введена внутрь сердечника (рис. 7.8, г–з), обеспечивают большую жесткость и равномерность плавления проволоки и соответственно высокое качество шва, но сложнее в изготовлении.

Оптимальным является одновременное плавление оболочки и шихты, когда на стадии капли получается почти готовый сплав соответствующего состава. Этого можно добиться, используя проволоку сложной конструкции или трубчатую проволоку малого диаметра, где значительна доля оболочки в формировании такой капли. Порошковые проволоки используют для сварки открытой дугой, для сварки и наплавки в защитных газах и под флюсом, для электрошлаковой сварки.

Основными параметрами режима сварки порошковыми проволоками являются:

- род тока, полярность — сварка ведется на постоянном токе обратной полярности, что обеспечивает стабильное горение дуги и меньшее разбрызгивание;
- диаметр электродной проволоки $d_3 = 0,8–3,5$ мм;
- сила сварочного тока $I_{св} = 110–500$ А в зависимости от диаметра проволоки и пространственного положения при сварке;
- напряжение на дуге $U_d = 18–35$ В, определяемое составом шихты, диаметром проволоки, пространственным положением при сварке;

- вылет электрода $l_3 = 15\text{--}60$ мм в зависимости от диаметра проволоки, состава ее шихты;
- расход газа $Q_{\text{CO}_2} = 8\text{--}20$ л/мин при сварке с использованием защитного газа CO_2 в зависимости от диаметра электрода, силы сварочного тока, пространственного положения сварки.

Техники сварки порошковой проволокой и сплошной проволокой в CO_2 несколько различаются. Для надежного возбуждения дуги первичный вылет проволоки карбонатно-флюоритного типа не должен превышать 30 мм, а для проволоки рутил-органического типа первичный вылет устанавливается в пределах 15–20 мм.

При сварке стыковых швов проволока устанавливают перпендикулярно изделию и углом назад с отклонением от вертикали до 15° .

Корневой шов выполняют либо возвратно-поступательными движениями, либо полукруговыми, последующие слои накладывают полукруговыми движениями торца электрода.

Сварку вертикальных швов начинают с наведения ванны: для однослойных швов — на всю площадь поперечного сечения разделки, а для многослойных — на площадь сечения накладываемого слоя. При наложении однослойных валиковых швов на конструкции толщиной 8–10 мм угол наклона электрода к оси шва должен составлять не менее 110° . При этом дугу следует зажигать в корне шва и вести по одной из скошенных кромок, проплавляя ее с задержкой дуги у края сварочной ванны на расстоянии 2–3 мм от поверхности свариваемой конструкции (рис. 7.9, а, б, в). После образования достаточного количества расплавленного металла сварочная дуга перемещается к корню шва и переводится на противоположную кромку стыка.

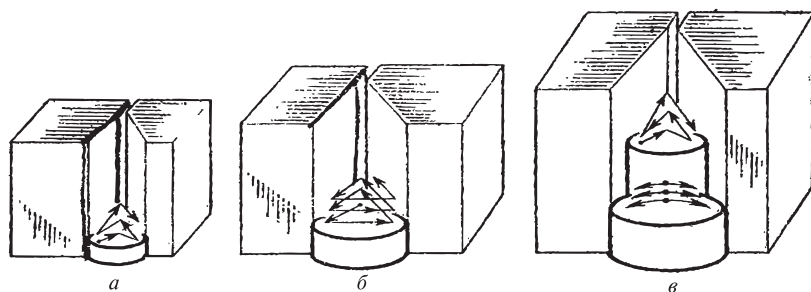


Рис. 7.9. Схема выполнения вертикального сварного шва

При выполнении валика *многослойных горизонтальных швов* дугу возбуждают на нижней кромке и круговым движением с задержкой в зазоре переводят на верхнюю кромку (рис. 7.10, *а, б*). После наведения устойчивой ванны конец порошковой проволоки перемещают углом назад по краю ванны дугообразным возвратно-поступательным движением, не давая металлу ванны затекать вперед дуги, и тщательно выгоняют шлак на верхнюю и нижнюю кромки с задержкой дуги в хвостовой части сварочной ванны.

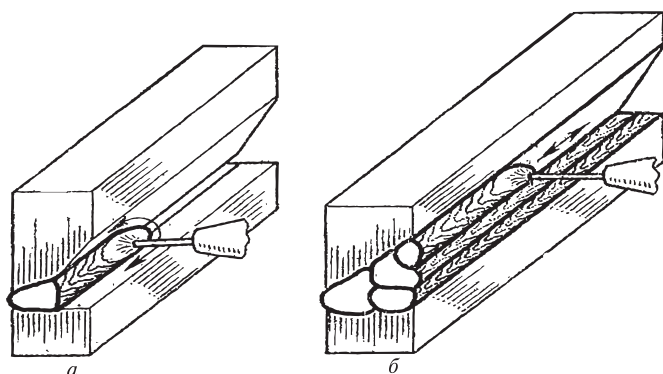


Рис. 7.10. Техника выполнения горизонтальных швов

Классификации порошковых проволок по механическим свойствам пока не существует, поэтому их оценивают, сравнивая характеристики металла швов, выполненных порошковой проволокой и сваренных покрытыми электродами вручную. Правила подготовки кромок под сварку и размеры сварных швов регламентируются ГОСТ 5264–80.

Сварка металлоконструкций обычного назначения может выполняться с использованием самозащитных проволок рутил-органического типа. Проволоки карбонатно-рутилового типа рекомендуются для сварки низколегированных сталей. Для сварки конструкций особо ответственного назначения используются порошковые проволоки для сварки в среде CO_2 , при этом обеспечивается стабильное горение дуги, особенно при сварке на малых токах, уменьшается разбрызгивание и достигается высокое качество сварных швов. Выбор марки порошковой проволоки производится в зависимости от требований к уровню механических свойств и способа сварки.

При сварке вследствие разбрызгивания можно повредить околошовную зону, что приведет к ухудшению свойств основного металла, поэтому нужно обеспечить ее защиту, например нанести специальное лакокрасочное покрытие. Брызги, попадая на покрытие, расходуют часть энергии на его разрушение, а не свариваются с металлом, и легко отделяются от поверхности.

Простейшее покрытие — раствор жидкого стекла с мелом. Сложные содержат эпоксидно-полиамидные смолы с цинковой пылью, поливинил-бутераль с примесями алюминия и цинка, специальные грунты, которые наносятся на металлопродукцию на металлургических предприятиях, например грунт дель-таль и т.д.

Сварку чугуна, механизированную горячую и холодную, можно выполнять с помощью самозащитных порошковых проволок марок ППЧ-3М, ППЧВ-1 диаметром 3—3,5 мм, предназначенных для горячей заварки дефектов на обрабатываемых поверхностях ферритно-перлитных серых чугунов с шаровидным графитом. Для холодной сварки и сварки дефектов тонкостенных изделий из серого и высокопрочного чугуна применяют тянутую самозащитную проволоку из высоколегированного сплава марки ПАНЧ-11 диаметром 1 мм. При этом надо соблюдать технику и технологию ведения процесса так же, как и при ручной сварке покрытыми электродами.

Механизированную сварку меди толщиной до 10 мм незащищенной дугой можно выполнять, используя специально разработанные проволоки марки МРЗКМцТ0,3—0,3—0,1—0,3 сплошного сечения, комплексно-легированные редкоземельными элементами и сильнодействующими раскислителями, благодаря чему обеспечивается не только стабильное горение дуги на воздухе, но и качественное формирование шва без пор и трещин, поэтому сварные швы на меди имеют удовлетворительные механические характеристики.

Полуавтоматическую сварку порошковой проволокой можно осуществлять с использованием как специальных аппаратов А-765, ПДГО-508С и т.д., так и полуавтоматов для сварки в защитных газах, например ПДГ-351. Обязательным условием для аппарата в последнем случае должно быть наличие четырех подающих роликов, чтобы не повредить проволоку, которая имеет малую жесткость и может терять шихту через стык оболочки при изгибах. В этом случае не требуется сопло на горелке.

При автоматической сварке можно использовать аппараты для сварки как под флюсом, так и в среде защитных газов с двумя

подающими роликами, поскольку путь проволоки к сварочной ванне короткий и прямолинейный, без изгибов. В качестве источника питания применяются те же аппараты, что и для сварки в защитных газах.

С учетом особенностей конструкционных материалов, специфики способов и использования оборудования в табл. 7.3 приведены итоговые сведения относительно возможности их сварки.

Таблица 7.3

Возможности использования сварки порошковой проволокой металлов и сплавов

Материал	Способ сварки					
	В защитных газах			Открытой дугой		
	Постоянный ток, полярность		Пере- менный ток	Постоянный ток, полярность		Пере- менный ток
	прямая	обрат- ная		прямая	обрат- ная	
Низкоуглероди- стые стали, конструкции неответствен- ного и обычно- го назначения	—	+	—	—	+	—
Низкоуглероди- стые стали, кон- струкции особо ответственного назначения	—	+	—	—	—	—
Среднеуглеро- дистые низко- и среднелегиро- ванные стали	—	±	—	—	±	—
Высоколегиро- ванные стали и сплавы	—	—	—	—	±	—
Чугуны	—	—	—	—	+	—
Медь и ее сплавы	—	—	—	—	+	—
Никель и его сплавы	—	—	—	—	—	—

Материал	Способ сварки					
	В защитных газах			Открытой дугой		
	Постоянный ток, полярность		Пере- менный ток	Постоянный ток, полярность		Пере- менный ток
	прямая	обрат- ная		прямая	обрат- ная	
Свинец	—	—	—	—	—	—
Титан и его сплавы	—	—	—	—	—	—
Алюминий и его сплавы	—	—	—	—	—	—
Магний и его сплавы	—	—	—	—	—	—

Примечание: + сварка целесообразна; ± сварка ограничена; — сварка нецелесообразна или отсутствует надежная информация.

Контрольные вопросы

1. В чем сущность сварки вольфрамовым электродом в защитных газах?
2. Как выбрать род защитного газа при сварке вольфрамовым электродом?
3. Какие параметры характеризуют режим сварки вольфрамовым электродом?
4. В каких случаях целесообразно использовать сварку вольфрамовым электродом?
5. В чем сущность режима сварки плавящимся электродом в защитных газах? Назовите ее основные параметры.
6. Какие преимущества характерны для сварки плавящимся электродом в защитных газах по сравнению со сваркой под флюсом?
7. Что следует учитывать при выборе газа для сварки плавящимся электродом?
8. Какие электродные материалы и технология используются при сварке вольфрамовым и плавящимся электродами в защитных газах?
9. Что собой представляет порошковая проволока? Какие компоненты входят в состав ее шихты?
10. Какими преимуществами обладает наплавочная и сварочная порошковая проволока по сравнению с цельнотянутой?
11. Какие изделия целесообразно сваривать порошковой проволокой?

АВТОМАТИЧЕСКАЯ СВАРКА ПОД ФЛЮСОМ

В начале 1940-х гг. учеными Института электросварки АН УССР под руководством Е.О. Патона разработан новый способ механизированной сварки — автоматическая сварка под флюсом. Благодаря увеличению мощности сварочной дуги, надежной защите плавильного пространства от воздуха удалось в несколько раз повысить производительность процесса, обеспечить высокое качество сварного шва, улучшить условия труда и значительно снизить расходы электродных материалов и электроэнергии.

Схема автоматической сварки под флюсом приведена на рис. 8.1.

При сварке под флюсом дуга *1* горит между свариваемыми деталями *2* и плавящимся электродом *15* (электродной проволокой). Из бункера *4* перед дугой насыпают слой флюса *3*. Под ним образуется сварочная ванна *14* и формируется шов *13*. Под действием теплоты дуги часть флюса расплавляется, слой жидкого шлака *9* оттесняется давлением разогретых газов и паров металла и в виде газифлюсового пузыря закрывает зону сварки, образуя плавильное пространство *10*. Электродная проволока *15* из бобины *6* подающим механизмом *7* через снабженный токоподводом мунштук *8* непрерывно подается в плавильное пространство *10*. Все устройства смонтированы на тележке *5*, перемещающейся по направляющим вдоль свариваемого стыка. При сварке кольцевых или круговых стыков тележка может быть неподвижной, а вращается изделие.

После затвердевания шва *13* на его поверхности образуется шлаковая корка *12*, которая легко удаляется. Нерасплавившийся флюс может во время сварки удаляться флюсоотсосом *11* и использоваться повторно. Слой флюса и шлака защищает зону свар-

ки и остывающий шов от воздуха. Неметаллические включения переходят в шлак, металл становится более чистым. Шлак плотно облегают плавильное пространство, в нем повышается давление, дуга обжимается, возрастают ее эффективный КПД и проплавляющая способность. Отсутствует разбрызгивание электродного металла. Это позволяет применять силу тока, большую, чем при ручной сварке. Потери электродного металла не превышают 2–4 %.

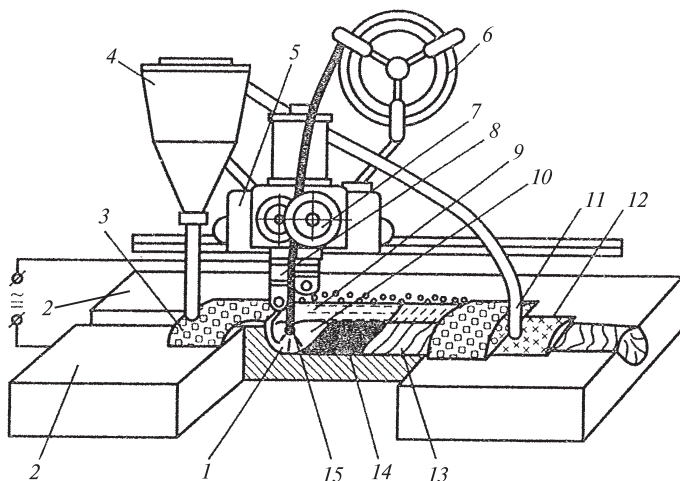


Рис. 8.1. Схема автоматической сварки под флюсом:

1 – дуга; 2 – свариваемые детали; 3 – слой флюса; 4 – бункер; 5 – тележка; 6 – бобина; 7 – подающий механизм; 8 – мундштук; 9 – слой жидкого шлака; 10 – плавильное пространство; 11 – флюсоотсос; 12 – шлаковая корка; 13 – шов; 14 – сварочная ванна; 15 – плавящийся электрод

Процесс чистый: выделяется лишь немного газа, пыли и паров флюса. Производительность возрастает в 5–10 раз за счет использования сил тока (до 1500–2000 А), больших, чем при ручной дуговой сварке (350–400 А). Это позволяет увеличить проплавляющее действие дуги и варить металл толщиной до 15–16 мм с одной стороны без разделки кромок, вследствие чего доля основного металла в шве возрастает до 70 %, а наличие газоплюсового пузыря сводит до 1–3 % расход металла на угар, разбрызгивание и испарение. Поверхность околосшовной зоны свободна от брызг. Сварной шов имеет постоянные размеры в поперечном и продольном сечениях, его состав и свойства по всей длине постоянные.

Сварщику нет необходимости пользоваться маской — дуга невидима под слоем флюса, а процесс обучения квалификации сварщика-автоматчика требует значительно меньше времени, чем обучение сварщика, работающего вручную. Недостатком этого прогрессивного и высокопроизводительного процесса является возможность его использования только в нижнем и в ограниченной степени вертикальном и горизонтальном положениях, а также его неэффективность при сварке коротких швов, швов сложной конфигурации и находящихся в труднодоступных местах. Автоматическая сварка очень эффективна при выполнении длинных швов на толстолистовом металле, при износостойкой наплавке. Ее производительность можно повысить, используя несколько электродов, каждый из которых подключен к своему источнику питания. При таких условиях можно увеличить скорость сварки до 180–200 м/ч.

Основными параметрами режима автоматической сварки под флюсом являются следующие:

- род тока, полярность — сварка может быть выполнена на трех разновидностях этого параметра; соображения относительно преимуществ и недостатков те же, что и при ручной сварке, но в связи с большим сварочным током усиливаются факторы производительности (больше на постоянном токе прямой полярности) и глубины проплавления (больше на постоянном токе обратной полярности);
- диаметр электродной проволоки $d_s = 2\text{--}5$ мм в зависимости от толщины свариваемого металла, номера прохода при многослойной сварке;
- сила сварочного тока $I_{\text{св}} = 200\text{--}1500$ А в зависимости от диаметра электрода и пределах глубины проплавления (табл. 8.1);
- напряжение на дуге $U_d = 30\text{--}45$ В в зависимости от силы сварочного тока, диаметра электродной проволоки, рода тока, полярности, состава сварочного флюса;
- скорость сварки $V_{\text{св}}$ определяется величиной погонной энергии и зависит от числа дуг: при одnodуговой сварке находится в пределах 20–70 м/ч, при двух- и трехдуговой увеличивается до 150–180 м/ч;
- вылет электрода $l_s = 20\text{--}100$ мм в зависимости от диаметра электрода, электрофизических характеристик электродного материала.

Таблица 8.1

Зависимость силы сварочного тока, А, от диаметра электродной проволоки Св-08 и глубины проплавления при сварке под флюсом АН-348А

Диаметр проволоки, мм	Глубина проплавления, мм						
	3	4	5	6	8	10	12
2	20	300	350	400	500	600	700
3	300	350	400	500	625	750	875
4	375	425	500	550	675	800	925
5	450	500	550	600	725	825	930

Подготовка кромок деталей для автоматической сварки под флюсом выполняется по стандарту ГОСТ 8713–79. Для предотвращения дефектов сварку начинают и заканчивают на специальных выводных планках шириной до 150 мм и длиной до 250 мм, которые имеют толщину и параметры разделки, как и основной металл. После сварки они удаляются. Для предотвращения вытекания в зазор между свариваемыми кромками расплавленного металла и шлака используют различные приемы, обеспечивая формирование корня шва, например предварительную подварку — ручную или механизированную, применение подкладок, которые могут быть несъемные, если это допускается условиями эксплуатации изделия, или съемные — медные, керамические или стекловолоконные. В последнем случае требуется надежное прижатие подложек к свариваемым деталям так, чтобы зазор не превышал 0,5 мм.

Сварка на флюсовой подушке для прямолинейных швов или флюсоремной подушке для кольцевых швов обеспечивает полный провар кромок, хорошее формирование корня шва при невысокой точности сборки кромок. Свариваемые кромки фиксируются грузами или электромагнитами на специальных стационарных или передвижных стендах. Недостатками такого способа формирования шва является ненадежность плотности поджатия флюса под стык по всей его длине. Для качественного формирования корня шва применяют специальные медные водоохлаждаемые ползуны, которые передвигаются независимо от сварочной головки, но синхронно с ней; такие ползуны, жестко связанные

со сварочным трактором, используют, например, в установке ТС-44. Благодаря этому можно с одной стороны сварить стыковой шов на металле толщиной до 15 мм. При больших толщинах рекомендуется двусторонняя сварка.

Флюсы. В процессе сварки расплавленный флюс не только осуществляет физическую и химическую защиту плавильного пространства от окружающей среды, но и способствует поддержанию стабильного горения дуги и качественному формированию сварного шва.

Современные флюсы классифицируются по следующим признакам:

- по назначению — для сварки углеродистых сталей, алюминия, титана и т.д.;
- по химическому составу — кислые (высококремнистые марганцовистые АН-348А и ОСЦ-45), основные (низкокремнистые безмарганцовистые АН-20С, АН-20П, АН-26С, АН-26П, АН-17М и АН-22) и бескислородные (бескремнистые безмарганцовистые ОФ-6, АН-30, АН-70);
- по способу изготовления — плавленные, когда все первичные компоненты измельчаются, смешиваются, сплавляются в газопламенных или электродуговых печах, затем разливаются, измельчаются и гранулируются до необходимой фракции, и керамические, когда первичные компоненты смешиваются с жидким стеклом, спекаются в печи, затем измельчаются и гранулируются до нужной фракции;
- по строению и размеру частиц — стекловидные (насыпная масса 1,4–1,8 г/см³), пемзовидные (насыпная масса 0,7–1,0 г/см³) и кристаллические; частицы флюса мелкозернистой фракции имеют зерна размером 0,1–1,0 мм, среднезернистой — 0,25–1,6 мм, крупнозернистой — 0,35–5,0 мм. Допускается некоторое количество пылевидной фракции.

Сварочно-технологические свойства флюса определяются его химическим составом. Так, кислый высокомарганцовистый высококремнистый флюс, например марки АН-348А (41–44 % SiO₂; 34–38 % MnO; 6,5 % CaO; 5–7,5 % MgO, 4,5 % Al₂O₃, 2 % Fe₂O₃; 4–5,5 % CaF₂), обеспечивает стабильное горение дуги на любом токе любой полярности, качественное формирование шва и отделение шлаковой корки, но окисляет легирующие элементы.

Основной безмарганцовистый низкокремнистый флюс, например марки АН-20 (19–24 % SiO_2 , 0,5 % MnO ; 3–9 % CaO ; 9–13 % MgO ; 27–32 % Al_2O_3 , 1 % Fe_2O_3 ; 25–33 % CaF_2), требует только постоянного тока обратной полярности и при хорошем формировании и отделении шлаковой корки обеспечивает сохранение легирующих элементов.

Бескислородный безмарганцовистый бескремнистый флюс, например ОФ6 (4 % SiO_2 ; 16–23 % CaO , 3 % MgO ; 20–27 % Al_2O_3 , 1,5 % Fe_2O_3 ; 45–60 % CaF_2), как и предыдущие, требует постоянного тока обратной полярности и при удовлетворительном формировании шва и отделении шлаковой корки обеспечивает лучшее сохранение легирующих элементов, в том числе легкоокисляемых.

Содержание вредных примесей – серы и фосфора – снижается постепенно от 0,15 % в флюсе АН-348А до 0,08 % в флюсе АН-20 и до 0,025 % в флюсе ОФ6 каждого.

Выбор флюса зависит прежде всего от состава свариваемой стали и требований к свойствам сварного шва; для устранения недостатков, присущих сварочно-технологическим свойствам флюсов, соответственно подбираются параметры режима и техника выполнения сварки.

Сварка стыковых швов без разделки кромок возможна при ручной подварке, на флюсовой подушке, на флюсомедной подложке или медном водоохлаждаемом ползуне. Для последнего используется постоянный ток прямой полярности (чтобы не повредить ползун).

Сварку под флюсом используют как для изготовления труб, так и для приварки к ним фланцев.

Теплоустойчивые стали перлитного класса относятся к группе сталей с плохой свариваемостью. Они очень чувствительны к термическому циклу сварки, поэтому требуют предварительного и сопутствующего подогрева, а после сварки – проведения отпуска – термообработки для снятия сварочных напряжений.

Высокопрочные стали марок 14Х2МР, 14Х2ГМ и им подобные свариваются под низкокремнистыми флюсами марок АН-42, АН-47 проволоками марок Св-08ХГСМА, Св-08ХН2ГМЮ, а легированные конструкционные стали марок 30ХГСА, 30ХГСНА – под флюсом АН-15М проволоками Св-18ХМА, Св-10ХМ.

Хромистые (13%-ные) *коррозионно-стойкие стали* марок 08Х13, 12Х13, 20Х13 свариваются под флюсом марки АН-26 с использованием проволок марок Св-07Х25Н13, Св-0Х14ГНТ.

Хромоникелевые аустенитные коррозионно-стойкие жаропрочные стали марок 12Х18Н19, 08Х18Н1ЮТ также свариваются под флюсом АН-26, но с использованием проволок марок Св-06Х19Н10Т, Св-07Х18Н9ТЮ.

Сварка меди толщиной 4–10 мм может выполняться под стандартными плавными флюсами АН-348А, ОСЦ-45, АН-20С, АН-26С. Для больших толщин нужно использовать специальный флюс сухой грануляции АНМ-13. В качестве присадочного материала применяют или нагартованную медную проволоку марки М1, или проволоку из бронзы БрКМц3–1, БрХ07, БрОЦ4–3 и т.д.

Для формирования обратной стороны шва применяют графитовые подкладки или флюсовые подушки с зазором не больше 1 мм. Свариваемые кромки и проволоку тщательно зачищают, а сварочные материалы и графитовые блоки прокаливают.

Латуни хорошо свариваются под флюсами АН-20, МАТИ-53, как присадочный материал используют проволоку из бронзы БрКМц3–1, БрОЦ4–3, БрАМц9–2. За один проход можно сварить металл толщиной до 12 мм без разделки кромок, при больших толщинах выполняют V- или X-образную разделку.

Алюминиевые бронзы марок БрАМц9–2, БрАЖ9–4, БрАЖМц10–3–1,5 успешно сваривают под флюсом АН-20 с проволоками БрАМц9–2 диаметром 5 мм. Для лучшего удаления газа высота слоя флюса не должна превышать 25–30 мм.

Сварку никеля можно выполнять с использованием специально разработанного керамического флюса марки ЖН-1, а в качестве присадки применять никелевую проволоку марок НП-1, НП-2 или НМц2,5.

Никелевые сплавы можно сваривать под основными или бескислородными флюсами, используя как присадку проволоку близкого по составу сплава диаметром 3–5 мм. Сварку ведут швами небольшого сечения для предотвращения перегрева и роста зерна.

Сварку титана под флюсом выполняют при изготовлении изделий с толщиной стенки от 3 до 40 мм. Для этого используют флюсы системы $\text{CaF}_2\text{—BaCl}_2\text{—NaF}$, основным компонентом которых (90–95 %) является CaF_2 . Высота слоя флюса — не менее вылета электрода, который составляет 17–19 мм для электрода диамет-

ром 3–4 мм и 20–22 мм для электрода диаметром 5 мм. Присадкой служит проволока марки ВТ1–00. Для сварки конструкций особо ответственного назначения применяют комбинированную флюсогазовую защиту. Благодаря специальному строению бункера флюс продувается аргоном, что исключает попадание воздуха в сварочную ванну. Металл толщиной до 12 мм сваривают однопроходными швами без разделки кромок, толщиной 13 мм — с двусторонней сваркой и Х-образной разделкой с углом 90° и притуплением 3–5 мм.

Сварку алюминия ведут на постоянном токе обратной полярности с использованием флюсов марок АН-А1 (20 % NaCl, 50 % KCl, 30 % Na₃AlF₆), МАТИ-10 (30 % NaCl, 2 % Na₃AlF₆, 68 % BaCl₂). Такая технология используется при изготовлении цистерн, котлов, других емкостей из технического алюминия и сплава АМц толщиной 10–30 мм без предварительного подогрева. Сварку ведут одной проволокой на стальных подкладках двусторонними швами. В качестве присадки применяют проволоки марок СвА5, СвАМц, СвАМг3, СвАК5 и т.д. в соответствии с составом свариваемых сплавов, поэтому достигается вполне удовлетворительное качество сварных швов независимо от разновидности сварки.

Автомат для сварки. Основной частью данного автомата является сварочная головка — комплекс механизмов и электроаппаратуры для подачи электродной проволоки в сварочную ванну и поддержания стабильного горения дуги, которая может оборваться вследствие возмущений, вызванных изменением зазора, рельефа, толщины электродной проволоки, размеров частиц флюса и т.д. Во всех случаях должны быть равными скорость подачи проволоки и скорость ее плавления. При таких условиях не будет ни обрыва дуги, ни короткого замыкания.

Работа существующих сварочных головок основана на двух принципах — саморегулирования дуги и автоматического регулирования напряжения на дуге.

Первый принцип, открытый выдающимся ученым В. Дятловым в 1942 г., заключается в том, что возмущения, возникающие в сварочной дуге, отрабатываются самим источником питания. На принципе саморегулирования сварочной дуги построена большая часть оборудования как для автоматической, так и полу-

автоматической сварки. Благодаря ему значительно упрощается подающий механизм, повышается надежность его работы. Но это возможно лишь при условии высокой плотности сварочного тока и использовании сварочных проволок диаметром 1–3 мм. При диаметрах проволоки 4–6 мм вследствие значительной инерционности процесса плавления возмущения исчезают позже и процесс горения дуги становится нестабильным. Поэтому при выборе параметров режима сварки вводят ограничения или переходят на другую схему.

Вторая принципиальная схема — автоматического регулирования напряжения сварочной дуги — обеспечивает отработку возмущений в дуговом промежутке за счет изменения скорости подачи сварочной проволоки, что является функцией напряжения дуги. При этом становится возможной сварка на малых плотностях сварочного тока, что немаловажно, например, при сварке тонколистового металла под слоем флюса. Но данная технология сложнее, менее надежна в работе, поэтому аппараты такого типа менее распространены, но их использование расширяет границы применения механизированных способов сварки.

В настоящее время выпускается широкая номенклатура универсальных и специализированных аппаратов, подвесных и самоходных головок и тракторов.

Сварочные автоматы общего назначения бывают:

- тракторного типа, имеющие малую массу и габариты, не связанные жестко с производственным участком в цехе, используемые как в стационарных условиях, так и на монтажных площадках, внутри изделий. Они могут перемещаться непосредственно по изделию или по направляющим в виде уголка, «прихваченного» к поверхности изделия;
- в виде сварочных головок, самоходных и подвесных, имеющих большие массу и габаритные размеры, они перемещаются по специальным направляющим рельсам и могут обслуживать ограниченный участок в цехе, используются для сварки крупногабаритных конструкций — балок коробчатого сечения, обечаек, труб, приварки ребер жесткости к листовым конструкциям и т.д., наплавки изношенных деталей.

В качестве источников питания могут использоваться аппараты переменного и постоянного тока с жесткими и пологопадающими характеристиками.

Возможности использования сварки под флюсом и электрошлаковой сварки металлов и сплавов

Наименование материалов	Способ сварки					
	Под флюсом			Электрошлаковая		
	Постоянный, ток полярность		Пере- менный ток	Постоянный ток, полярность		Пере- менный ток
	прямая	обрат- ная		прямая	обрат- ная	
Низкоуглероди- стые стали, кон- струкции неот- ветственного и обычного на- значения	+	+	+	—	—	+
Низкоуглероди- стые стали, кон- струкции особо ответственного назначения	+	+	+	—	+	+
Среднеуглероди- стые, низко- и среднелегиро- ванные стали	—	$\pm$	$\pm$	—	+	+
Высоколегиро- ванные стали и сплавы	—	+	—	—	+	—
Чугуны	—	—	—	—	—	+
Медь и ее спла- вы	—	+	$\pm$	—	—	+
Никель и его сплавы	—	+	—	—	+	—
Свинец	—	—	—	—	—	—

Наименование материалов	Способ сварки					
	Под флюсом			Электрошлаковая		
	Постоянный, ток полярность		Пере- менный ток	Постоянный ток, полярность		Пере- менный ток
	прямая	обрат- ная		прямая	обрат- ная	
Титан и его сплавы	—	+	—	—	—	+
Алюминий и его сплавы	—	+	—	—	—	+
Магний и его сплавы	—	—	—	—	—	—

Примечание: + сварка целесообразна; ± сварка ограничена; — сварка нецелесообразна или отсутствует надежная информация.

Контрольные вопросы

1. В чем сущность автоматической сварки под флюсом? Назовите ее параметры.
2. Как осуществляется формирование обратной стороны шва при автоматической сварке под флюсом?
3. Какими сварочно-технологическими свойствами обладают флюсы?
4. Какие присадочные проволоки применяются при сварке углеродистых сталей?
5. Какие флюсы и присадочные проволоки применяются при сварке цветных металлов?
6. Какими достоинствами обладают сварочные тракторы?
7. Где рационально использовать подвесные самоходные сварочные головки?

ЭЛЕКТРОШЛАКОВАЯ СВАРКА

Электрошлаковая сварка была изобретена, можно сказать, случайно. Научный сотрудник Института электросварки АН УССР Г. Волошкевич совершенствовал технологию автоматической сварки под флюсом вертикальных швов с принудительным формированием. В ходе исследований он заметил, что при некоторых параметрах процесса дуга исчезала, но сварка не прекращалась. Так появился этот вид электротермической обработки металлов, который не только расширил возможности изготовления толстостенных массивных металлоконструкций, но и дал толчок к созданию отдельной и очень важной отрасли специальной электрометаллургии сплавов — электрошлакового переплава.

Плавление основного и электродного металла в процессе электрошлакового переплава осуществляется за счет теплоты, которая выделяется в расплавленной и перегретой до температуры 1700–2200 °С шлаковой ванне при протекании через нее сварочного тока:

$$Q = I_{\text{св}}^2 R_{\text{шл}},$$

где $I_{\text{св}}$ — сварочный ток, А; $R_{\text{шл}}$ — электрическое сопротивление расплавленного шлака, Ом.

Кромки свариваемого металла, находящиеся на некотором расстоянии друг от друга, разогреваются до температуры плавления, и пространство между ними заполняется расплавленным присадочным металлом.

Схема процесса представлена на рис. 9.1. В пространстве, образованном кромками свариваемых изделий 1 и шлакоудерживающими приспособлениями 3, создается ванна расплавленного шлака 4, в которую погружаются металлические стержни-элек-

троды 2. Ток, протекая между электродами и основным металлом, нагревает расплав и поддерживает в нем высокую температуру и электрическую проводимость. Температура шлаковой ванны должна превышать температуру плавления основного и электродного металлов. Шлак расплавляет погруженный в него электрод и кромки изделия. Расплавленный основной металл вместе с электродным собирается на дне шлаковой ванны и создает металлическую ванну 5, которая, затвердевая, образует шов 6, соединяющий кромки изделия. По мере расплавления электрод подается вниз.

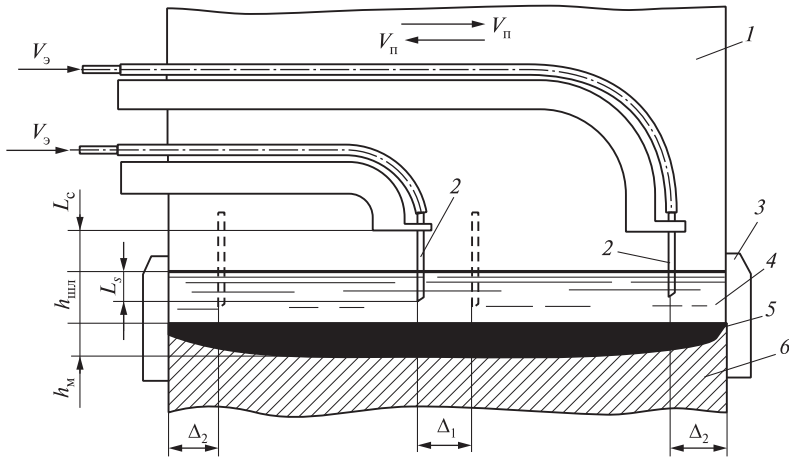


Рис. 9.1. Схема электрошлаковой сварки:

h_m — глубина металлической ванны; $h_{шл}$ — глубина шлаковой ванны; L_c — глубина погружения электрода в сварочную ванну; L_s — сухой вылет электрода; $V_э$ — скорость подачи электродной проволоки; $V_п$ — скорость поперечных перемещений мундштука; Δ_1 — расстояние между крайними положениями двух мундштуков; Δ_2 — расстояние между мундштуком и ползуном

Одно из условий течения электрошлакового процесса — наличие достаточно глубокой шлаковой ванны. Наиболее просто ее получить при вертикальном положении оси шва. Поэтому электрошлаковую сварку применяют обычно в сочетании с принудительным формированием шва.

Хотя наиболее нагретая зона расположена в зоне протекания тока электрод—металлическая ванна, вследствие действия маг-

нитных полей шлаковая ванна интенсивно перемешивается и ее температура почти выравнивается по объему. Поскольку теплота отводится в глубину основного металла и в водоохлаждаемые ползуны, металлическая ванна кристаллизуется с образованием сварного шва 6, который покрыт шлаковой коркой небольшой толщины. Вся система со сварочной головкой и ползунами перемещается снизу вверх со скоростью сварки $V_{\text{св}}$, а для создания равномерного теплового градиента шлаковой ванны и обеспечения надежного провара по всей толщине изделия мундштуку с электродом сообщается поперечное движение от ползуна к ползуну со скоростью поперечных колебаний $V_{\text{пк}}$.

При этом поперечное перемещение электродов ограничивается расстоянием $\Delta_1 = \Delta_2$. В процессе сварки часть шлака расходуется на испарение и образование шлаковой корки, поэтому в шлаковую ванну периодически небольшими порциями добавляется флюс.

Разработано несколько разновидностей электрошлаковой сварки в зависимости от используемого электрода. Чаще всего применяются проволочные электроды диаметром 2–3 мм (очень редко диаметром 5 мм), что позволяет сваривать металл толщиной до 450 мм тремя проволоками, которые одновременно подаются в плавильное пространство при поперечных колебаниях мундштуков. Металл больших толщин сваривают электродами в виде пластины или нескольких пластин толщиной 10–12 мм. Их ширина зависит от мощности источника питания. Высота изделия не должна быть более 1 м.

Более толстые и высокие конструкции (рис. 4) сваривают, комбинируя две первые разновидности, плавящимся мундштуком, в виде набора нескольких пластин с направляющими каналами, через которые подаются сварочные проволоки. Пластины жестко закреплены в зазоре между свариваемыми деталями и изолированы от них. Формирование плавильного пространства осуществляется специальным водоохлаждаемым кристаллизатором. Эта разновидность сварки позволяет сваривать детали практически неограниченных размеров и конфигураций.

Параметрами режима при электрошлаковой сварке являются:

- род тока и полярность — сварку выполняют на переменном токе или на постоянном токе обратной полярности;

- диаметр электрода $d_э$, мм, или сечение пластинчатого электрода, которые выбираются в зависимости от толщины свариваемого металла и мощности источника питания;
- число электродов n , зависящее от толщины свариваемого металла. Обычно не превышает трех, но в некоторых случаях может быть больше, например при сварке плавящимся мундштуком. Так, одной проволокой без колебаний можно сварить металл толщиной до 60 мм, а с колебаниями — до 150 мм. Наибольшая толщина, которая может быть сварена тремя электродами с колебаниями, составляет 450 мм.

Размер пластинчатых электродов и их число выбирают в зависимости от толщины свариваемого металла при постоянной толщине пластины 10–12 мм.

Металл толщиной 200 мм можно сварить или одним электродом шириной 200 мм или двумя электродами шириной 92–94 мм. При сварке металла толщиной 400 мм применяют три электрода шириной 122–125 мм. Если толщина металла 800 мм, ширина каждого из трех электродов 258–268 мм;

- сила сварочного тока $I_{св} = 500–2500$ А в зависимости от сечения электрода и скорости его подачи и в некоторой степени от скорости сварки;
- напряжение на шлаковой ванне $U_{шв} = 25–50$ В в зависимости от силы сварочного тока при падающей характеристике и практически равно напряжению холостого хода при жесткой характеристике источника питания;
- скорость сварки $V_{св} = 0,5–2,5$ м/ч в зависимости от скорости подачи электрода и его сечения, числа электродов, толщины свариваемого металла и размера зазора.

Дополнительными параметрами режима являются:

- сухой вылет электрода $l_э = 45–60$ мм в зависимости от диаметра электрода, его перегрева при протекании тока;
- глубина шлаковой ванны $h_{шв} = 35–60$ мм в зависимости от количества теплоты, которая выделяется при протекании через нее сварочного тока. При малой глубине процесс переходит в дуговой, при большой — шлаковая ванна «замерзает» вследствие недостаточного ее нагрева;
- размер зазора 25–35 мм, определяющий возможность размещения мундштука без угрозы его касания свариваемых деталей независимо от толщины свариваемого металла;

- скорость возвратно-поступательных движений мундштука $V_{\text{пк}} = 60\text{--}90$ м/ч и продолжительность задержки его в крайнем положении у ползунов $t_3 = 4\text{--}6$ с, определяющие равномерность прогрева и проплавления по всей толщине металла.

Техника электрошлаковой сварки сложнее, чем рассмотренных ранее способов. Подготовку кромок и размеры сварных швов регламентирует ГОСТ 15164–80. Стандарт устанавливает характер и чистоту обработки торцевых поверхностей свариваемых кромок (выполняется механической или газовой резкой), состояние боковых поверхностей кромок, по которым будут перемещаться или устанавливаться формирующие устройства, взаимное расположение участков свариваемых частей после сборки с помощью специальных П-образных планок, входного кармана и выводных планок.

В отличие от рассмотренных выше способов электрошлаковая сварка должна выполняться от начала до конца без перерывов, чтобы избежать образования в шве дефектов, которые трудно ликвидировать. Процесс сварки завершается на выводных планках, куда выводятся шлаковая ванна и верхняя часть сварного шва, которая, как правило, содержит дефекты в виде газовых полостей, шлаковых включений, трещин и т.п. После окончания процесса карман и выводные планки отрезают.

Таким же способом сваривают угловые и тавровые соединения. Самыми сложными в техническом исполнении являются кольцевые швы, требующие особо тщательной подготовки и высокой квалификации исполнителей.

Флюсы для электрошлаковой сварки должны удовлетворять наряду с общими особым требованиям, обусловленным спецификой самого процесса, которые удовлетворяются при соответствующих значениях электрической проводимости и вязкости шлаков.

При электрошлаковой сварке, как и при дуговой, технологические особенности процесса зависят от химического состава флюса. Окислительный высококремнистый марганцовистый флюс, например марки АН-8 (33–36 % SiO_2 ; 21–26 % MnO ; 4–7 % CaO ; 11–15 % Al_2O_3 ; 13–19 % CaF_2 ; 1,5–3,5 % Fe_2O_3), обеспечивает стабильность процесса на любом токе, не способствует отжиму пол-

зунов и вытеканию сварочной ванны и не требует высокой точности сборки под сварку. Однако в процессе сварки выгорают легирующие элементы.

Основной фторидный флюс, например марки АНФ-14 (14–16 % SiO_2 ; 8 % CaO ; 4–8 % MgO ; 10–12 % Al_2O_3 ; 60–65 % CaF_2 ; 1 % Fe_2O_3), обеспечивает сохранение легирующих элементов, но стабильность процесса поддерживается на постоянном токе обратной полярности. Флюс вызывает отжимание ползунов и вытекание сварочной ванны, требует высокой точности сборки деталей под сварку.

Содержание вредных примесей — серы и фосфора — в окислительных флюсах составляет 0,1–0,12 %, во фторидных — по 0,05 % каждой.

Низкоуглеродистые и низколегированные стали марок Ст3, 20, 22К, 10Г2С1, 09Г2ДТ сваривают с применением проволоки марок Св-10Г2, Св-10Г2С, высокопрочных сталей марок 25Х2ГМТ, 35НЗМФА — проволоки Св-20ХНЗМФА.

В зависимости от толщины и эквивалента углерода при электрошлаковой сварке иногда требуется предварительный подогрев. Так, в связи с тем что термический цикл электрошлаковой сварки обеспечивает замедленное охлаждение металла шва и околошовной зоны, котельные стали 20К, 22К длительное время находятся при высокой температуре, что ведет к росту аустенитного зерна, образованию игольчатой структуры, в результате чего ухудшаются пластические свойства соединения. Поэтому после сварки их подвергают термообработке — нормализации при 900–910 °С и отпуску при 650–670 °С. Иногда сварку сочетают с термообработкой с помощью газовых горелок, которые передвигаются вслед за ползунами. От термообработки можно отказаться, если сваривать специально разработанную для электрошлаковой сварки низколегированную сталь 09Г2ДТ с первичным мелким зерном.

Для *высоколегированных сталей и сплавов* при изготовлении металлоконструкций электрошлаковая сварка ограничена в применении вследствие перегрева околошовной зоны, в связи с чем изделия обязательно подвергают термообработке. Сварку проводят под фторидными флюсами.

Для *сварки чугуна* термический цикл электрошлакового процесса очень благоприятный, так как обеспечивает замедленное

охлаждение изделия и выделение углерода в виде графита, благодаря чему сварные швы имеют высокие механические свойства и хорошо обрабатываются обычным режущим инструментом. В качестве электродов применяют пластины и стержни, отлитые из чугуна того же состава, что и основной металл, и порошковые проволоки марок ППЧ-2 и ППЧ-3. Сварку ведут под флюсом марки АНФ-6. Этот процесс целесообразно использовать при ремонтных работах и сварке сквозных и несквозных дефектов литья, когда поперечное сечение превышает 10 см.

Дефекты должны быть расчищены и подготовлены с образованием формирующих устройств и выходных колец из графита. Техника сварки такая же, как и для стали. Наведение шлаковой ванны может выполняться предварительным расплавлением нужного количества флюса, перегревом его и заливкой в образованное правильное пространство, после чего включается сварочный ток и начинается движение электрода.

Для *меди* электрошлаковая сварка требует увеличения погонной энергии, что достигается использованием пластинчатого электрода или плавящегося мундштука. Необходимое тепловыделение и достаточное оплавление соединяемых кромок, а также очистка сварного шва достигаются применением специального легкоплавкого флюса марки АН-М10 на основе фторидов щелочно-земельных металлов (50–70 % NaF, 10–20 % LiF, 10–20 % CaF₂, 5–10 % SiO₂, 3 % CaO). Для формирования ванны используют графитовые пластины. Медные заготовки сечением 140×160 мм сваривают пластинчатым электродом толщиной 18 мм на повышенных сварочных токах 8000–10 000 А при $U_{шв} = 40–50$ В, зазор 55–60 мм, глубина шлаковой ванны 60–70 мм.

Сварка никеля и его сплавов может выполняться как проволоками, легированными марганцем, например Св-НМц2,5, Св-НМц5 (для удаления серы), так и пластинчатыми электродами под фторидными флюсами марок АНФ-5, АНФ-8 и т.п. Техника и параметры режима сварки близки к тем, что используют при сварке сталей.

Титан и его сплавы можно соединять всеми способами электрошлаковой сварки под тугоплавкими флюсами на основе систем CaF₂–BaCl₂–NaF и CaF₂–MgF₂–SrF₂ марок АНТ-2, АНТ-4, АНТ-6 с дополнительной защитой плавильного пространства ар-

гоном, разогретой поверхности шва возле ползунов и титанового электрода на вылете.

Поскольку все фторидные шлаки отличаются высокой жидкотекучестью, зазоры между формирующими подкладками, ползунами и кромками свариваемых деталей не должны превышать 0,5 мм, для чего их механически обрабатывают. Для улучшения пластичности и вязкости некоторых двухфазных титановых сплавов после сварки рекомендуется провести диффузионный отжиг изделий при температуре 750–850 °С. Электрошлаковую сварку титана осуществляют на специализированных установках, которые питаются переменным сварочным током.

Для алюминия и его сплавов электрошлаковая сварка выполняется пластинчатыми электродами и плавящимся мундштуком из металла того же состава, что и основной металл, с использованием флюса марки АН-А301 (20 % LiCl, 50 % KCl, 10 % BaCl, 8 % LiCl, 2 % AlF₃). Процесс ведется на погонной энергии, большей, чем для стали. По прочности сварной шов чистого алюминия не уступает основному металлу, прочность швов на сплавах типа АМг составляет 0,7–0,9 прочности основного металла.

Для обеспечения саморегулирования процесса плавления электрода используют источники питания переменного и постоянного тока с жесткими внешними характеристиками.

Аппаратура для электрошлаковой сварки должна обеспечивать одновременный нагрев шлаковой ванны, свариваемых кромок и присадочного металла до температуры их плавления, подачу в зазор между кромками электродного металла с подводом к нему сварочного тока и возможность возвратно-поступательного движения мундштука от ползуна к ползуну, удержание сварочной ванны в плавильном пространстве при перемещении ее вместе с формирующими устройствами. Все эти операции обеспечивает комплекс механизмов, многие из которых выполняют аналогичные функции в аппаратах для дуговой сварки. Например, головки для сварки проволочными электродами имеют такое же строение, как и для дуговой сварки. По способу перемещения могут быть самоходными (рельсовыми и безрельсовыми) и подвесными.

Формирующие ползуны представляют собой медные водоохлаждаемые пластины. При образовании шва они двигаются или не двигаются. Конструкция ползунов зависит от типа швов, состояния кромок, качества сборочных работ и т.п. Так, при сварке ме-

талла небольшой толщины и при высоком качестве сборки применяют жесткие ползуны. При перекосе кромок целесообразно применять гибкие ползуны — шарнирные, составные, которые обеспечивают независимое прижатие к каждой из кромок. Разработаны ползуны для угловых швов и швов внахлест или для формирования наплавленного металла. Ползуны для сварки титана и его сплавов имеют устройство для подачи защитного газа через верхний край.

Тип аппарата выбирают в зависимости от толщины свариваемого металла, условий выполнения работ, номенклатуры, числа изделий.

Возможности электрошлаковой сварки тех или иных конструкционных материалов приведены в табл. 8.2.

Контрольные вопросы

1. Что собой представляет электрошлаковая сварка?
2. Назовите разновидности электрошлаковой сварки.
3. Как наводится шлаковая ванна при использовании проволочных и пластинчатых электродов?
4. Для какой цели предназначены входной карман и выводные планки?
5. Как осуществляется сборка под сварку деталей при электрошлаковой сварке?
6. Какие особые требования предъявляются к флюсам для электрошлаковой сварки?
7. Какие электродные материалы применяются для электрошлаковой сварки углеродистых сталей?
8. Какие параметры режима назначаются при электрошлаковой сварке углеродистых сталей?
9. Какое оборудование применяется для электрошлаковой сварки?

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ КОНТАКТНАЯ СВАРКА

Физика процесса. Все способы контактной сварки основываются на генерировании джоулевой теплоты во время протекания электрического тока между электродами сварочной машины в металле деталей и на контактных сопротивлениях электрод—деталь и деталь—деталь, а также пластическом деформировании нагретого металла. Нагрев и деформирование обеспечивают сближение контактирующих поверхностей деталей на расстояние, достаточное для образования неразрывных межатомных металлических связей.

Количество выделяемой теплоты определяется по формуле Джоуля—Ленца:

$$Q = I_{\text{св}} R_{\text{св}} \tau,$$

где $I_{\text{св}}$ — сварочный ток, кА; $R_{\text{св}} = 2R_{\text{кэд}} + R_{\text{кдд}} + 2R_{\text{д}}$; $R_{\text{кэд}}$ — контактное сопротивление на границе электрод—деталь (должно быть как можно меньше); $R_{\text{кдд}}$ — контактное сопротивление на границе деталь—деталь (должно быть одинаковым по всей площади контакта); $R_{\text{св}} = \rho \frac{4S}{\pi d_j^2}$; ρ — удельное электрическое сопротивление свариваемого материала, Ом·см; d_j — диаметр рабочей части электрода, определяющий размер сварной точки, мм; S — суммарная толщина свариваемых деталей, см; τ — время протекания сварочного тока, с.

В момент включения сварочного тока вследствие большого сопротивления в контактах происходят их быстрый нагрев, расплавление и деформация и оно практически исчезает, в связи с чем весь ток протекает через свариваемые детали, вызывая их нагрев и расплавление с образованием сварной точки нужного размера под действием приложенного усилия.

При точечной сварке (рис. 10.1) детали, собранные внахлест или с отбортовкой, соединяются на отдельных участках, ограниченных контактной площадью электродов, которые подводят ток и передают усилие сжатия. Обычно для сварки используют кратковременный (0,01–0,5 с) ток большой силы (до десятков килоампер) при незначительном напряжении (3–12 В).

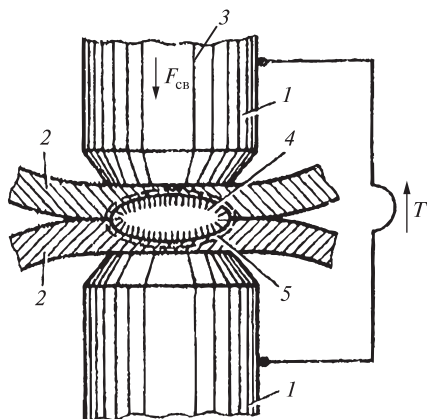


Рис. 10.1. Схема точечной сварки с двусторонним подведением электрического тока:

1 – сварочные электроды;
2 – свариваемые детали; 3 – линии сварочного тока; 4 – сварная точка; 5 – уплотняющий поясик; $F_{св}$ – сварочное усилие; T – сварочный трансформатор

Тепловой эффект при точечной сварке обуславливается силой сварочного тока, его продолжительностью, усилием на электродах, формой и размерами рабочей части электродов, контактными сопротивлениями (двух сопротивлений электрод–деталь и одного деталь–деталь), удельными сопротивлениями материала деталей и электродов и т.д.

В момент включения сварочного тока металл в контактах электрод–деталь и деталь–деталь разогревается и деформируется. С увеличением температуры и удельного сопротивления металла, который находится непосредственно рядом с контактом деталь–деталь, теплота выделяется главным образом благодаря подогреву деталей. Ток пропускается, пока не образуется нужный объем жидкого металла.

Оксиды и остатки загрязнений на поверхности деталей разрушаются, во время расплавления дробятся и размешиваются в жидком металле точки под действием электродинамических сил. В жидкой фазе образуются металлические связи.

Одновременно с процессом расплавления вокруг ядра возникает уплотняющий поясик вследствие вытекания нагретого пла-

стичного металла из-под электродов в зазор между деталями. Этот пояс сок удерживает жидкий металл от выплесков, а также предотвращает его взаимодействие с газами воздуха. В зоне уплотняющего пояска может наблюдаться сварка деталей без расплавления — в твердой фазе.

Металл точек обычно имеет дендритную структуру.

При охлаждении и кристаллизации объем точки уменьшается и появляются остаточные напряжения. Для уменьшения напряжений и предупреждения возникновения трещин и усадочных раковин сварные соединения проковываются дополнительным усилием на электродах после выключения сварочного тока.

Вокруг точки есть зона термического влияния, в которой в процессе сварки существенно меняются начальная структура и свойства металла деталей.

Для уменьшения температуры нагрева электродов и предотвращения перегрева и подплавления металла в контакте электрод—деталь электроды изготавливают из медных сплавов с высокими теплопроводностью и электрической проводимостью, например из хромоциркониевой бронзы БрХЦрА, кадмиевой БрКд1, хромистой БрХ08, кремний-никелевой БрКН-1—4. Последние две бронзы обладают повышенной износостойкостью, из них изготавливают электроды-губки стыковых машин. Кроме того, электроды охлаждаются водой.

Точечной сваркой соединяют листовые или профильные детали (элементы) конструкций, выполненные из различных сталей и сплавов, а также изделия из арматурных стержней.

Типовой технологический процесс изготовления сварных узлов и изделий точечной сваркой состоит из следующих операций: изготовление деталей-заготовок, подготовка их поверхностей к сварке, сборка, прихватывание, сварка, правка, механическая обработка и антикоррозионная защита.

При *подготовке поверхностей* к контактной сварке должны соблюдаться три основных требования: в контактах электрод—деталь обеспечивается как можно меньшее электрическое сопротивление ($R_{\text{эд}} \rightarrow \min$); в контакте деталь—деталь сопротивление должно быть одинаковым по всей площади контакта; сопрягаемые поверхности деталей должны быть ровными, плоскости их стыка при сварке должны совпадать.

Выбор конкретного способа подготовки поверхностей определяется материалом деталей, исходным состоянием их поверхностей, характером производства.

Критерием качества подготовки поверхности является значение контактных сопротивлений $R_{\text{эл}}$ и $R_{\text{дл}}$. При их измерении детали зажимают между электродами сварочной машины, но сварочный ток не включают. Сопротивление измеряют микроомметром при помощи шупов. Для сталей сопротивление более 200 мкОм свидетельствует о низком качестве поверхности. Высокое $R_{\text{эл}}$ приводит к перегреву электродов и подплавлению поверхности деталей, вследствие чего происходит наружный и внутренний выплеск металла и под электродами образуется чрезмерная вмятина.

Чтобы обеспечить высокую точность, сборку деталей производят в приспособлениях: универсальных в единичном и мелкосерийном производствах и специальных — в крупносерийном и массовом. Для фиксации деталей используют их технологические отверстия, выступы, рельефы. Детали прихватывают в приспособлениях и окончательно сваривают в свободном состоянии. Иногда в приспособлениях выполняют весь процесс сварки. Приспособления должны обеспечивать свободный доступ электродов к месту прихватки и сварки, быстрое и надежное закрепление деталей, точность сборки и неизменность режима сварки. Первые прихватки располагают в местах большей жесткости, остальные — от середины к краям.

Основные параметры режима способов точечной контактной сварки — это сила сварочного тока, длительность его импульса и усилие сжатия деталей, диаметр рабочей поверхности электрода или радиус сферической поверхности электрода определенного диаметра.

Для определения этих параметров на практике чаще всего пользуются справочными таблицами. Например, сварка изделий из низкоуглеродистых сталей толщиной до 2 мм может выполняться как на мягких режимах, так и на жестких при ограниченных усилиях на электродах. При больших толщинах сварка осуществляется с предварительным обжатием деталей и с проковкой увеличенным усилием. При сварке разнотолщинных деталей рабочие параметры режима выбирают по меньшей толщине.

Иногда для повышения тепловыделения в контакте деталь—деталь на поверхности одной из деталей выполняют техно-

логический выступ—рельеф или между электродом и тонкой деталью устанавливают тепловой экран из металла с меньшей теплопроводностью в виде ленты толщиной 0,15–0,3 мм. Экран аккумулирует теплоту в тонкой детали, а иногда является дополнительным источником теплоты.

Шовная сварка применяется для соединения деталей из листового металла внапуск или с отбортовкой при изготовлении емкостей — баков, цилиндрических сосудов, труб и т.д. При этом используются электроды в форме дисков (рис. 10.2), которые подводят ток, передают усилие сварки и перемещают детали с нужной скоростью в результате вращения вокруг собственной оси. Соединения формируются в жидкой фазе непрерывными или прерывистыми швами с подводом тока с обеих или одной стороны деталей.

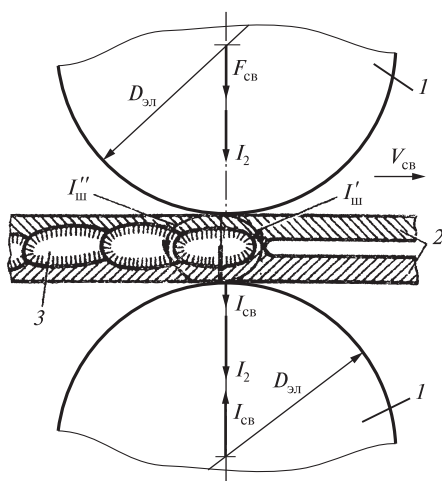


Рис. 10.2. Схема шовной сварки: 1 — электрод; 2 — свариваемые детали; 3 — шовное соединение; $V_{св}$ — скорость сварки; I_2 — вторичный ток; $I'_ш$, $I''_ш$ — токи шунтирования

При шовной сварке часть вторичного тока машины шунтируется — протекает мимо зоны расплавления через точки, возникшие ранее, и уплотняющий поясок впереди ролика-электрода. Это явление особенно заметно при сварке металлов с низким удельным сопротивлением. При сварке металлов с повышенным удельным сопротивлением или при сварке на больших скоростях шунтируемая часть вторичного тока незначительна.

Вследствие повышения температуры металла, где формируется новое литое ядро, джоулевой теплоты на контактных сопротив-

лениях (электрод—деталь и деталь—деталь) выделяется существенно меньше, чем при точечной сварке. Поэтому уменьшается скорость кристаллизации ядра и соответственно остаточные напряжения в сварной конструкции.

Пластическое деформирование металла при шовной сварке имеет свои особенности. Образование первой точки происходит по схеме формирования соединения, как при точечной сварке, когда часть нагретого металла выдавливается из-под электродов в зазор между деталями вследствие теплового расширения металла в контакте деталь—деталь. Возникновение следующих точек сопровождается выдавливанием металла перед электродами, как при точечной сварке, а в зоне за электродами металл вытягивается за роликами. Из-за такого характера пластической деформации появляется «серповидный» рельеф на поверхности швов и уплотняется предыдущая точка вследствие повторного нагрева и пластического деформирования металла за электродом. Когда этого не происходит, например, во время затвердевания жидкого металла, который имеет длительный интервал кристаллизации, для предотвращения возникновения рыхлот, горячих трещин, уменьшения остаточных напряжений и уплотнения литого ядра применяется шаговое вращение электродов. Остановка электродов в момент протекания тока способствует уплотнению швов, а также интенсивному охлаждению зоны сварки и электродов, уменьшению температуры в контактах электрод—деталь.

Общая степень деформации и размеры уплотняющего пояска при шовной сварке больше, чем при точечной, что дает возможность уменьшать время и усилие сварки.

Литой металл швов обычно имеет низкую пластичность, особенно если детали изготовлены из высокопрочных сталей, чувствительных к термическому циклу сварки, или сплавов, склонных к возникновению ликвационных зон.

В металле околошовной зоны вследствие влияния термомеханического цикла шовной сварки происходят изменения исходной структуры и механических свойств. Здесь обнаруживаются участки закалки, отпуска, перегрева, рекристаллизации и ликвационные зоны. Развитие процессов, вызывающих подобные явления, можно частично регулировать, изменяя скорость сварки, ток и усилие сварки, а также охлаждением деталей и электродов.

Неоднородность химического состава и структурного состояния металла шва и зоны термического влияния исправляют термической обработкой сварной конструкции.

Подготовку деталей к шовной сварке выполняют так, как при точечной. Более жесткие требования предъявляются к очистке поверхностей деталей, так как сварка недостаточно чистых деталей сопровождается повышенным шунтированием, что снижает качество сварного соединения.

При сборке деталей под шовную сварку не допускаются большие зазоры, поскольку они вызывают перегрев, продавливание и коробление деталей, тогда как очень плотная сборка приводит к шунтированию тока.

Коробление деталей уменьшают прихватками с шагом 80–150 мм, для герметичных швов шаг прихватки уменьшают до 30–60 мм; сила тока прихватки на 10–20 % меньше, чем сварочного. Протяженные швы прихватывают от середины к краям, обечайки прихватывают поочередно точками, расположенными диаметрально противоположно. При больших зазорах детали прихватывают стальными роликами.

Параметрами режима являются сила сварочного тока, время его протекания и время паузы, усилие сжатия электрода, скорость сварки и размеры электрода. Их выбирают по справочным таблицам.

Выбор способа стыковой сварки зависит от формы и площади сечения детали в месте соединения, свойств металла, возможностей производства, требований эксплуатации к качеству сварных соединений, а также от типа самого производства (серийное, массовое и т.д.). Так, детали круглого сечения (площадью до 200 мм² из низкоуглеродистой стали, меди, алюминия и их сплавов площадью сечения до 100 мм²) соединяются сваркой сопротивлением. Детали большего сечения сваривают с принудительным формированием стыка или в среде защитного газа. Детали из низкоуглеродистых сталей компактного поперечного сечения до 1000 мм², а также трубы, листы и другие детали с тонкими стенками большого сечения соединяют сваркой с непрерывным оплавлением.

Стыковая сварка сопротивлением (рис. 10.3) использует нагрев стыков джоулевой теплотой до пластического состояния и деформирование металла с последующим осаждением.

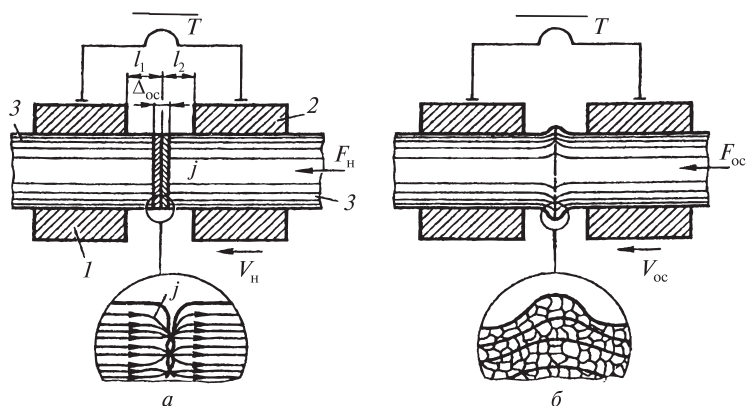


Рис. 10.3. Схема стыковой сварки сопротивлением:

а — стык до сварки; *б* — стык после сварки; 1, 2 — электроды-губки; 3 — свариваемые детали; *T* — трансформатор сварочный; F_H , $F_{ос}$ — усилия нагрева и осадки; V_H , $V_{ос}$ — скорость нагрева и осадки; j — линии тока; $\Delta_{ос}$ — припуск на осадку; l_1 , l_2 — установочные длины

Сварка осуществляется следующим образом. Сначала детали зажимают в токоподводящих губках-электродах сварочной машины и плотно сжимают в осевом направлении усилием нагрева, после чего включают электрический ток. Нагрев деталей происходит вследствие генерирования теплоты на сопротивлениях самих деталей (на установочной длине), а также на контактом сопротивлении деталь—деталь.

Теплота, которая выделилась в контакте между деталями, в балансе общей теплоты не превышает 10–15 %. Однако она выделяется за короткое время и в узкой приконтактной зоне, что достаточно для формирования сварных соединений. Торцы деталей в этой зоне подогреваются до температуры $T_{св} = (0,8 - 0,9)T_{пл}$ ($T_{пл}$ — температура плавления металла).

Интенсивность и характер нагрева (градиент температур) деталей определяются начальным усилием (давлением) сжатия, жесткостью импульсов сварочного тока, установочной длиной деталей, состоянием поверхностей деталей в контакте деталь—деталь и физико-механическими свойствами металла деталей и оксидов на их поверхности. После выключения тока детали пластически деформируются осадкой таким усилием, как и при нагревании, или больше него.

Деформация осадки приводит к выдавливанию приконтактных слоев металла с пленками грязи и оксидами из зоны сварки. Металл, вытесненный в зазор, образует утолщение, размер которого позволяет ориентировочно судить о качестве соединений. Вследствие ограниченности деформации выводится не более 60–70 % оксидов, что объясняет низкие пластические свойства такого соединения. Применение схемы с принудительным формированием стыка позволяет локализовать деформацию и увеличить площадь обновления поверхности стыков. Чтобы уменьшить окисление разогретого металла, используют инертные защитные газы. Для выравнивания структуры и твердости в металле шва и околошовной зоне после сварки проводят термическую обработку в губках сварочной машины или в печи. Подготовка торцов деталей под сварку предполагает их механическую обработку, а иногда и травление. При этом диаметры свариваемых деталей не должны различаться больше чем на 15 %, а толщины – на 10 %.

Рабочими параметрами режима являются усилие при нагреве или программа изменения усилия при сварке, плотность тока или сила тока сварки, время нагрева, установочная длина и усилие зажатия деталей в губках-электродах сварочной машины, которые выбираются по справочным таблицам.

При *стыковой сварке оплавлением* происходят разогрев металла до температуры плавления и его последующая осадка, при которой реализуется процесс рекристаллизации сварного шва. Она применяется при соединении деталей с большим поперечным сечением.

Машины для контактной сварки бывают стационарные, передвижные и подвесные (сварочные клещи). По роду тока в сварочном контуре различают машины переменного или постоянного тока от импульса тока, выпрямленного в первичной цепи сварочного трансформатора или от разряда конденсатора, по способу сварки – машины для точечной, рельефной, шовной и стыковой сварки.

Любая машина для контактной сварки состоит из электрической и механической частей, пневмо- или гидросистемы и системы водяного охлаждения (рис. 10.4).

Электрическая часть включает в себя силовой сварочный трансформатор *I* с переключателем ступеней 7 его первичной обмотки, с помощью которого регулируют вторичное напряжение,

вторичный сварочный контур 2 для подвода сварочного тока к деталям, прерыватель 8 первичной цепи сварочного трансформатора 1 и регулятор 6 цикла сварки, обеспечивающий заданную последовательность операций цикла и регулировку параметров режима сварки.

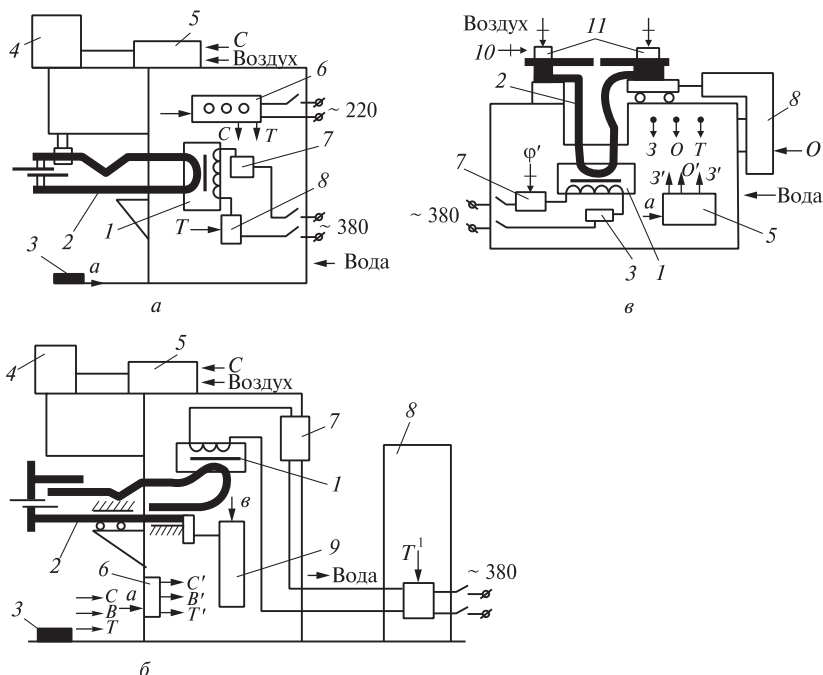


Рис. 10.4. Типовые схемы машин для контактной точечной (*a*), шовной (*б*) и стыковой (*в*) сварки:

1 – трансформатор; 2 – вторичный сварочный контур; 3 – орган включения (педаль); 4 – привод сжатия; 5 – аппаратура подготовки; 6 – регулятор; 7 – переключатель ступеней; 8 – прерыватель первичной цепи; 9 – привод вращения роликов; 10 – привод осадки деталей; 11 – привод зажатия деталей

Механическая часть состоит из привода сжатия 4 точечных и шовных машин, привода зажатия деталей и привода осадки деталей стыковых машин. Шовные машины снабжены приводом 9 вращения роликов.

Пневмодравлическая система включает в свой состав аппаратуру 5 подготовки (фильтры, лубрикаторы, которые смазывают

движущиеся части), регулирования (редукторы, манометры, дроселирующие клапаны) и подвода воздуха к приводу (электропневматические клапаны, запорные вентили, краны, штуцеры).

Система водяного охлаждения содержит штуцеры разводящей и приемной гребенок, охлаждаемые водой полости в трансформаторе 1 и вторичном контуре 2, разводящие шланги, запорные вентили и гидравлические реле, отключающие сварочную машину, если вода отсутствует или ее мало.

Все машины снабжены органом включения 3. У точечных и шовных машин это ножная педаль с контактами, у стыковых — комплект кнопок. От органов управления поступают команды на сжатие *С* электродов или зажатие *З* деталей, на включение *Т* и отключение *О* сварочного тока, на вращение *В* роликов, на включение *а* регулятора цикла сварки. Эти команды отрабатываются соответствующими блоками машины, обеспечивая выполнение операций цикла сварки.

Кроме универсальных применяются специальные машины, приспособленные для сварки конкретных конструкций и типов размеров изделий, например машины для контактной точечной сварки кузовов автомобилей, встроенные в автоматические линии, машины для стыковой сварки оплавлением продольных швов труб в прокатном производстве.

Контрольные вопросы

1. В чем сущность электрической контактной сварки?
2. Где и почему выделяется наибольшее количество теплоты при точечной сварке?
3. Как влияют на количество выделяющейся теплоты параметры режима сварки?
4. За счет чего образуется непрерывный шов при роликовой сварке?
5. Что такое шунтирование тока? Как оно влияет на качество сварного шва?
6. На каком принципе основано действие стыковой сварки сопротивлением? В каких областях она применяется?
7. На каком принципе основано действие стыковой сварки оплавлением? Назовите области ее применения.
8. Перечислите основные узлы машин для точечной, шовной и стыковой сварки.

СВАРОЧНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ И ДЕФОРМАЦИИ В СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

Физика процесса. Работа металлоконструкций связана с их способностью противодействовать разрушению вследствие воздействия сил:

- внешних — действия приложенной силы, давления рабочей среды, других видов нагрузок; внешние нагрузки могут быть статическими (постоянно действующими во время эксплуатации изделия), динамическими (переменными по амплитуде и направлению) и ударными;
- внутренних — изменения температуры изделия в процессе эксплуатации, структурных превращений в металле под воздействием внешней нагрузки, проведения сварочных или резательных работ при ремонте и т.п.

Поперечные сечения опор металлоконструкций выбираются в зависимости от амплитуды и вида действующих нагрузок, прочностных характеристик металла, наличия коррозионных факторов и т.д. (Все это предмет рассмотрения специального курса — сопротивления материалов.)

Известно, что металлы при нагревании расширяются, а при охлаждении — сжимаются, так как при изменении температуры меняется их структура, что ведет к перегруппировке атомов из одного типа кристаллической решетки в другой и соответственно сопровождается увеличением или уменьшением объема, в результате чего возникают значительные внутренние напряжения. Если процессы нагрева и охлаждения протекают в условиях равномерного, свободного от сопротивления расширения и сжатия, отдельные части тела смещаются одинаковым образом и внутренние на-

пряжения не возникают. В процессе сварки напряжения возникают из-за неравномерного нагрева основного металла, литейной усадки шва и структурных изменений при охлаждении. При сварке основной металл, прилегающий к шву, пластически сжимается: его свободное температурное расширение невозможно, потому что соседние участки относительно холодные и после сварки и охлаждения сварного соединения препятствуют свободному укорочению металла шва и пластично сжатого при нагревании основного металла. Когда температуры сравняются, сварной шов и прилегающий к нему основной металл растянутся, а остальные участки сварного соединения сожмутся, в результате чего появляются собственные напряжения.

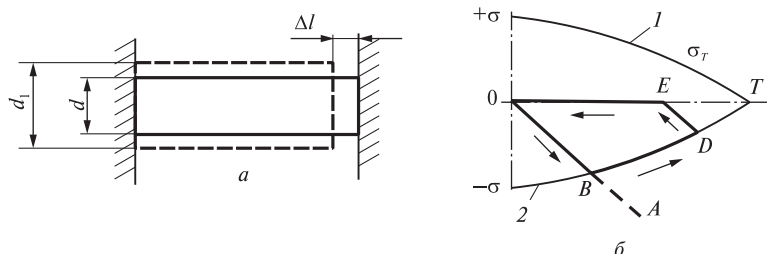


Рис. 11.1. Схема нагрева и охлаждения стержня, зажатого между твердыми стенками:

a — схема установки стержня; *б* — зависимость напряжений от температуры нагрева; *1* — напряжения растяжения; *2* — напряжения сжатия

В качестве примера рассмотрим случай, когда стержень, сжатый между двумя неподвижными стенками, которые не позволяют ему удлиняться при нагревании и допускают укорочение при охлаждении, подвергается равномерному нагреву и охлаждению (рис. 11.1). В начале нагрева в стержне возникнут напряжения (линия *OB* на рис. 11.1, *б*), которые могли бы вызвать упругие деформации. Но так как стенки не позволяют стержню удлиниться, то в нем будут оставаться напряжения сжатия. С повышением температуры они возрастают и достигают предела текучести (точка *B*), вызывая в процессе повышения температуры пластическую деформацию сжатия (осаживание, обжатие) стержня (линия *BD*). При укорочении стержня его диаметр (сечение) увеличивается, а длина не изменяется. При охлаждении стержня происходит разгрузка от напряжений (линия *DE*) и они становятся равны нулю

(точка E). С этого момента (линия EO) при дальнейшем охлаждении стержень потеряет контакт с опорными стенками и будет свободно укорачиваться без появления новых внутренних напряжений. При полном охлаждении стержень получит остаточную деформацию (рис. 11.1, a) $\Delta l = \alpha l T$, т.е. остаточное укорочение пропорционально термическому линейному коэффициенту α , длине стержня l и температуре нагрева T . В стержне отсутствуют остаточные напряжения, так как он после равномерного нагрева (со стесненным расширением) равномерно охлаждался. Данный пример объясняет появление деформаций, направленных поперек шва, при сварке незакрепленных деталей. Роль неподвижных стенок выполняют холодные части металла, граничащие со швом; свариваемые детали изгибаются в сторону широкой части шва.

Нагрев и охлаждение стержня с защемленными концами показан на рис. 11.2. При нагреве стержня возникновение и нарастание в нем термических напряжений и деформаций происходят так же, как в предыдущем случае. Однако свободному укорочению препятствует защемление стержня; возникают растягивающие напряжения (линия EE на рис. 11.2, b); они могут быть меньше предела текучести или равны ему в зависимости от температуры.

При достижении растягивающими напряжениями предела текучести (точка N на рис. 11.2, b) происходит вытяжка металла по длине стержня. К моменту полного охлаждения у стержня будут первоначальные геометрические размеры, а металл стержня будет испытывать остаточные напряжения, равные пределу текучести σ'_0 . Если освободить стержень от защемления после полного охлаждения, то он укоротится на $\Delta l/l \leq 0,2\%$ (для сталей), т.е. на величину деформации в пределах упругих напряжений.

Процессами, происходящими при нагреве и охлаждении защемленного стержня, объясняется появление напряжения и деформаций, действующих параллельно сварному шву.

Если длина сварного соединения в несколько раз превосходит его ширину, то сопротивляемость холодного металла удлинению при нагреве и укорочению при охлаждении очень велика, причем более значительна в продольном направлении сварного соединения, чем в поперечном. Вследствие этого в сварных соединениях остаточные продольные напряжения растяжения, как правило, равны пределу текучести (для сталей), а остаточное продольное укорочение меньше поперечного.

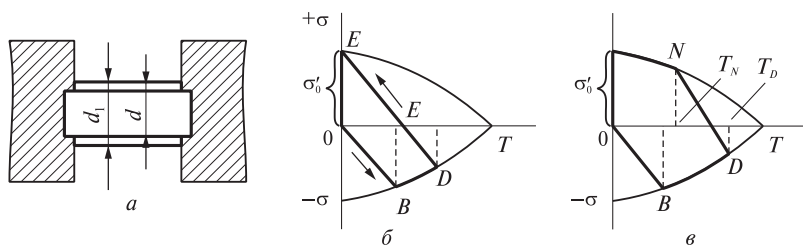


Рис. 11.2. Схема нагрева и охлаждения защемленного стержня:
а — схема защемления; *б* и *в* — зависимости напряжений от температуры нагрева

Таким образом, при сварке в нагреваемом металле возникают пластические продольные и поперечные деформации.

При сварке металлов с относительно низкой пластичностью в исходном состоянии эти напряжения и деформации могут привести к появлению трещин в сварных соединениях в любом направлении. Разрушение сварных изделий при сварке и их эксплуатации могут предупредить только специально предусмотренные мероприятия.

При сварке закаливающихся сталей появляются структурные напряжения вследствие образования мартенсита, плотность которого меньше, чем у феррита или перлита. Поэтому участок с мартенситной структурой сопоставим с объяснительной схемой, в которой стержень имеет препятствие для расширения. При охлаждении такого участка разрушительное напряжение вызывает появление трещин в любом направлении сварного соединения (рис. 5).

Таким образом, остаточные напряжения и деформации в металлоконструкциях образуются от продольной и поперечной усадки при сварке. Характер общей деформации от продольной усадки определяется размещением швов относительно оси, проходящей через центр тяжести поперечного сечения конструкции, режимом сварочного нагрева, размерами и формой самой конструкции и ее отдельных элементов. Общую деформацию разделяют на три разновидности:

- укорочение длины или высоты конструкции, что характерно для изделий, в которых швы имеют одинаковые сечения, симметрично расположенные относительно продольной оси конструкции и параллельно ей (двутавровые балки, балки коробчатого сечения, ребристые трубы и т.д.);

- поперечный изгиб (прогиб) изделия, характерный для конструкций со смещенным центром тяжести поперечных сечений швов относительно центра тяжести поперечного сечения всего изделия (сварные трубы с прямолинейным швом, балки таврового сечения и т.п.);
- искривление конструкции от потери устойчивости сжатых элементов в виде выпучивания, волнистости, искривления формы (баки, коробка, оболочки и другие изделия, где тонкостенные сжатые элементы теряют устойчивость). От продольной и поперечной усадок появляются напряжения, которые действуют в поперечном направлении к линии шва; при этом наиболее опасны напряжения от поперечной усадки. Их причинами являются: неодновременность нагрева и охлаждения металла по длине шва, неравномерность нагрева и охлаждения шва по толщине металла, жесткость свариваемых элементов, закрепление элементов в процессе нагрева и охлаждения металла.

Поэтому прочность и высокая работоспособность сварных конструкций может быть достигнута, если выполняются конструктивные и технологические требования по уменьшению собственных напряжений и деформаций при сварке.

Для снижения собственных напряжений в процессе сварки нужно:

- вести сварку незакрепленных деталей на повышенной погонной энергии, что увеличивает объем разогретого металла и уменьшает скорость охлаждения. При сварке больших толщин и закаливающихся сталей необходим предварительный (а иногда сопутствующий) подогрев. При сварке встык жестко закрепленных деталей следует, наоборот, снизить погонную энергию, уменьшая тем самым поперечную усадку, применять многослойную сварку, выполняя первые швы посменно по кромкам разделки, а затем заполняя середину шва;
- сваривать в первую очередь швы, которые находятся в свободном состоянии. Например, поскольку в стыковых швах поперечная усадка больше, чем в угловых, стыковые швы надо выполнять первыми. При сварке цилиндрических изделий сначала выполняют стыковые швы каждой обечайки, а последними — кольцевые швы;
- выполнять сварку швов напроход или от середины к краям;

- размещать сборочные прихватки не ближе 500 мм от сечения шва;
- уменьшать зазоры в стыковых швах и глубоко проваривать корень шва, а сам процесс вести быстро, чтобы металл шва по толщине и длине охлаждался равномерно;
- выполнять швы больших сечений многослойными, «каскадом» или «горкой», чтобы реализовать эффект частичного отпуска;
- добиваться равномерного и умеренного охлаждения;
- обеспечивать высокую точность сборки под сварку;
- вести сварку в специальных кондукторах с зажимами, которые жестко закрепляют детали или позволяют перемещаться им при усадке швов;
- переваривать надежно сборочные прихватки;
- выполнять проковку сварного шва сразу после сварки. При этом металл осаждается по толщине и образуется пластическая деформация удлинения в плоскости, перпендикулярной направлению удара. Благодаря этому достигается уменьшение растягивающих или даже появление сжимающих остаточных напряжений;
- прикладывать статическую или динамическую нагрузку при сварке с целью создания растягивающих напряжений для уменьшения остаточных напряжений растяжения и усадочной силы вследствие пластической деформации;
- использовать термическую обработку сварной конструкции (общий или местный высокий отпуск), что может значительно (на 70–90 %) снизить сварочные напряжения. Еще лучше использовать нормализацию, чтобы дополнительно уменьшить размер зерна в зоне термического влияния. Однако проведение термообработки не всегда возможно.

Поскольку при сварке изделий невозможно полностью предотвратить остаточные деформации, рассматривают такие конструктивные и технологические приемы сварки, которые позволяют получать сварные конструкции с минимальными формоизменениями. К *конструктивным мерам и способам* относятся:

- уменьшение числа сварных швов и их сечения; использование высококонцентрированных источников теплоты (по степени повышения концентрации газовая сварка—ручная дуговая штучным электродом—автоматическая под флюсом—сварка в среде защитных газов), замена V-образной разделки на X-об-

разную при многослойной сварке: чем меньше наплавленного металла, тем меньше деформации;

- проведение двусторонней сварки, симметричное расположение швов и рациональная последовательность их выполнения для уравнивания деформаций;
- симметричное расположение ребер жесткости и минимальное использование накладок и косынок;
- выбор параметров режима сварки, таких, что уменьшают ширину зоны нагрева и плотность сварочного тока, вследствие чего нагрев по толщине будет равномерным, а провар корня шва будет глубже; повышение погонной энергии для увеличения зоны нагрева при выполнении других симметричных относительно оси конструкции швов (при этом усилия при усадке второго шва полностью ликвидируют прогиб, возникший при выполнении первого шва);
- размещение швов на более жестких элементах или вблизи их в конструкциях с тонкостенными элементами;
- необходимо обеспечение возможности исправления конструкции после ее сварки во всех случаях проектирования.

К *технологическим приемам* относятся:

- выбор рациональной последовательности сборочно-сварочных операций: жесткая сборка, при ручной сварке выполнение швов от середины к краям обратноступенчатым методом, сварка «каскадом», расчленение конструкции на отдельные узлы, которые могут быть легко исправлены, а затем собраны с минимальными деформациями;
- предварительный изгиб деталей в сторону, противоположную ожидаемой деформации, что позволяет успешно бороться с угловыми деформациями при сварке встык и внахлест; предварительный обратный изгиб можно создать за счет наклепа кромок и стенок балок или нагревом до 700–750 °С;
- уменьшение коробления и волнистости листовых деталей, свариваемых по одной кромке, путем установки на противоположной свободной кромке прихватки временной жесткости (уголок, полоса), которую удаляют после сварки;
- использование кондукторов для сборки и сварки в закреплённом состоянии, что сводит деформации к минимуму;
- устранение деформации после сварки путем механической правки в холодном состоянии (осаждение металла под прес-

сом, вибрацией, прокаткой, вручную кувалдой) или термической правки, что не исключает использование механического или ручного труда. Ее выполняют местным нагревом газопламенными горелками, причем качество выполненной работы полностью зависит от квалификации правильщика. Благодаря простоте, универсальности и маневренности термическая правка нашла широкое применение как в цеховых условиях, так и в монтажных (рис. 11.3).

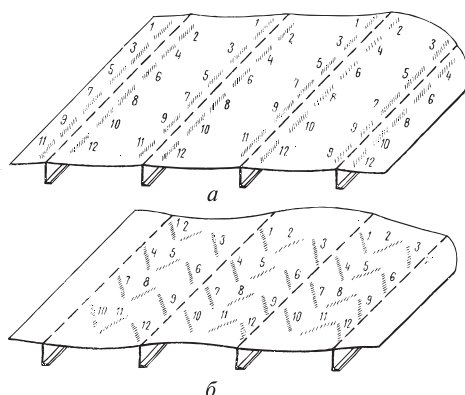


Рис. 11.3. Схемы расположения участков нагрева при правке конструкции из листов газовым пламенем:

а — правка параллельными линиями; *б* — правка косыми линиями

Поскольку и при холодной, и при горячей правке есть существенный недостаток — сохранение остаточных напряжений в конструкции, по завершении этих работ рекомендуется провести высокий отпуск для их снятия.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение деформации.
2. Как определяются напряжения?
3. Как зависят напряжения от температуры нагрева?
4. В чем проявляются структурные напряжения?
5. Как влияют техника и последовательность выполнения сварных швов на сварочные напряжения и деформации?
6. Как уменьшают сварочные напряжения?
7. Как уменьшают деформации при нагреве?

ЗАВИСИМОСТЬ РАЗМЕРОВ, ФОРМЫ И СОСТАВА ШВА ОТ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА СВАРКИ

Разработка технологии сварки конкретных материалов начинается с выбора:

- способа сварки, который определяется характером производства (единичное, серийное, массовое), толщиной свариваемых деталей, длиной шва и его пространственным положением, свойствами сварного соединения;
- сварочных материалов, что зависит от химического состава свариваемого материала, способа сварки, требований к свойствам сварного соединения, подогрева, термообработки;
- конструктивных типов и элементов подготовки кромок, параметров режима сварки и техники сварки. Эти характеристики существенно влияют на размеры, форму, состав сварного шва и определяют свойства сварного соединения.

Поскольку размер и форма провара не зависят от типа шва, рассмотрим условие его формирования при дуговой сварке на примере стыкового соединения (рис. 12.1).

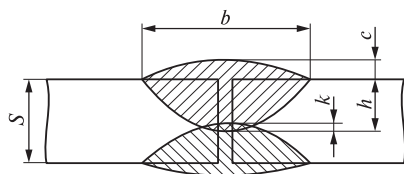


Рис. 12.1. Схема двустороннего стыкового сварного соединения

Сварной шов имеет размерные параметры (b — ширина; h — глубина провара; c — усиление; k — перекрытие) и безразмерные ($\psi_{\text{пр}} = b/h$ — коэффициент формы провара и $\psi_{\text{ус}} = b/c$ — коэффициент формы усиления). Среди размерных параметров только

перекрытие k — относительно постоянная величина и равна 2–4 мм, а другие зависят от параметров режима сварки. Хотя безразмерные параметры также зависят от параметров режима сварки, для них установлены диапазоны их значений. Так, коэффициент формы провара $\psi_{\text{пр}}$ должен быть в интервале от 2 до 5. При меньших значениях появляется угроза образования горячих трещин, при больших — нерационально используется тепловая мощность и требуется больше проходов.

Коэффициент формы усиления $\psi_{\text{ус}}$ должен быть равным или больше 5. При меньших значениях в точке перехода от основного металла к сварному шву увеличивается коэффициент концентрации напряжений, что значительно снижает вибрационную прочность изделия, поэтому в некоторых случаях выдвигается требование удаления усиления, особенно для изделий, изготовленных из таких чувствительных к концентрации напряжений металлов, как алюминий и титан.

Рассмотрим, как влияют основные и дополнительные параметры режима дуговой сварки одним электродом на формирование шва, считая, что, во-первых, общие закономерности влияния пригодны и для случаев сварки несколькими электродами, лентой и т.п.; во-вторых, при изучении влияния одного из параметров остальные остаются неизменными; в-третьих, глубина провара не превышает 0,7–0,8 толщины основного металла.

Род тока и его полярность — при сварке на постоянном токе обратной полярности глубина провара на 40–50 % больше, чем на прямой полярности, вследствие выделения большей тепловой мощности на изделии. В то же время производительность процесса больше на 30–40 % при сварке на прямой полярности вследствие того, что расплавляется больше электродного металла при меньшей температуре перегрева.

Сила тока — с ее увеличением глубина провара и погонная энергия увеличиваются, так как возрастает давление плазменного потока, который оттесняет жидкий металл из головной части ванны в хвостовую. На ширину шва два первых параметра существенно не влияют.

Диаметр электрода — с уменьшением диаметра электрода снижается подвижность столба дуги, увеличивается глубина провара и сокращается ширина шва.

Напряжение на дуге — при его повышении возрастают длина дуги и ее блуждание, в результате чего тепловая мощность рассеивается, ширина шва значительно увеличивается, а глубина провара уменьшается.

Скорость сварки — при малых значениях $V_{\text{св}} = 10\text{--}12$ м/ч глубина провара с увеличением скорости несколько возрастает, но дальнейший ее рост приводит к снижению этого показателя вследствие уменьшения погонной энергии. При скорости сварки до 25 м/ч ширина шва связана с глубиной провара обратной зависимостью, а при $V_{\text{св}} > 25$ м/ч с уменьшением глубины провара ширина шва также уменьшается. Значительное отклонение параметров режима от оптимальных приводит к неблагоприятному формированию шва, увеличенному разбрызгиванию и появлению дефектов в виде подрезов (рис. 12.2).

Поперечное колебание конца электрода приводит к рассеиванию тепловой мощности, уменьшению проплавления и увеличению ширины шва. Такие особенности имеет сварка расщепленной дугой и электродной лентой, которая используется при наплавочных работах.

Вылет электрода — при его увеличении ускоряется плавление электрода, растет производительность, но снижается сварочный ток, что ведет к уменьшению проплавления.

Химический состав и строение частиц флюса — с уменьшением объемной массы флюса (пемзовидный флюс) растет объем газо-флюсового пузыря, дуга становится подвижной, появляется блуждание, тепловая мощность дуги рассеивается, глубина провара уменьшается, а ширина шва возрастает, что полезно при наплавке. У стекловидного флюса объемная масса почти вдвое больше, все процессы осуществляются противоположным образом, что полезно при сварке.

Положение электрода — при сварке углом назад жидкий металл сварочной ванны интенсивно вытесняется из-под дуги, вследствие чего провар больше, а ширина шва меньше, чем при вертикальном положении. При сварке углом вперед протекают обратные процессы.

Положение изделия — при сварке сверху вниз (на спуск) жидкий металл сварочной ванны все время подтекает под основание дуги, уменьшая проплавление и увеличивая ширину шва; такое положение изделия используется при наплавке. Наоборот, при сварке сни-

зу вверх (на подъем) дуга больше проникает в глубь металла, увеличивая проплавление и уменьшая ширину шва. Поэтому при механизированной сварке угол наклона изделия не должен превышать $3-4^\circ$, а при ручной $8-10^\circ$, иначе возможно появление дефектов.

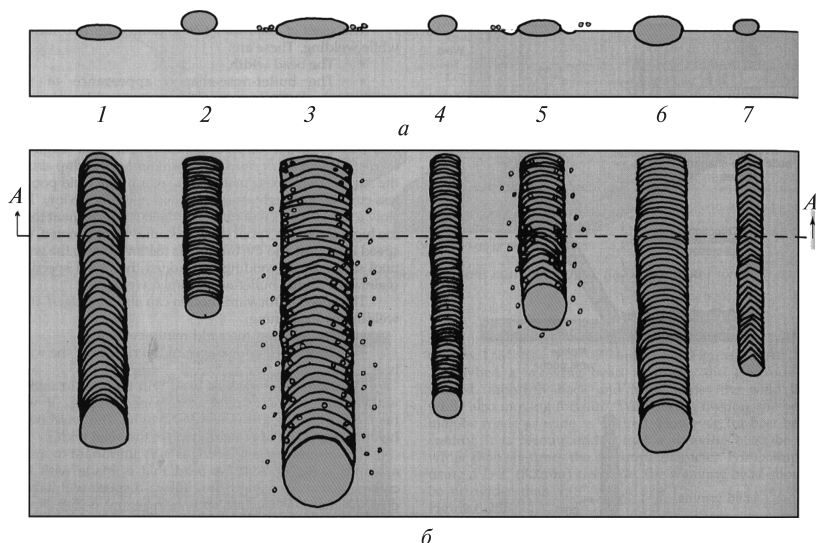


Рис. 12.2. Влияние параметров режима сварки на качество формирования шва при ручной дуговой сварке:

a — поперечное сечение; *б* — вид сверху; 1 — оптимальные параметры; 2 — малый сварочный ток; 3 — большой сварочный ток; 4 — малое напряжение на дуге; 5 — большое напряжение на дуге способствует подрезу и разбрызгиванию; 6 — малая скорость сварки; 7 — большая скорость сварки

Это особенно важно учитывать при механизированной сварке или наплавке цилиндрических изделий небольшого диаметра, когда электрод надо смещать с зенита в сторону, противоположную вращению деталей.

Начальная температура изделия в пределах от -60 до $+80^\circ\text{C}$ не оказывает влияния на формирование шва. В случае подогрева до $100-400^\circ\text{C}$ несколько возрастают глубина провара и ширина шва, что связано с увеличением погонной энергии. Поскольку электрические параметры режима сварки, рекомендованные в справочниках, приведены для случая сварки в обычных условиях, при использовании подогрева их надо корректировать.

Параметры режима сварки существенно влияют на состав шва. Только при сварке неплавящимся электродом без присадки сварной шов состоит из расплавленного основного металла, во всех остальных случаях он по своему составу не соответствует ни основному, ни присадочному металлу, а является их смесью.

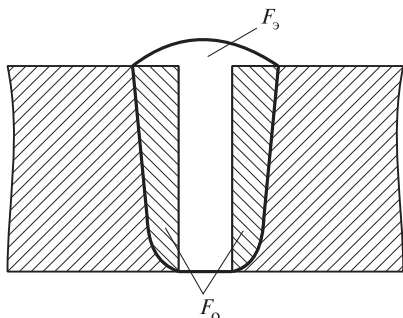


Рис. 12.3. Поперечное сечение сварного шва

Площадь поперечного сечения сварного шва (рис. 12.3) определяется как

$$F = F_0 + F_3,$$

где F_0 , F_3 — площади, которые отвечают соответственно расплавленному основному металлу и электродному металлу.

Сварной шов состоит из частей этих двух металлов, а доли участия того и другого металла вычисляются по формуле:

$$\gamma_0 = F_0 / F_0 + F_3,$$

где γ_0 — доля основного металла; $\gamma_3 = 1 - \gamma_0$; γ_3 — доля электродного металла. Полную площадь шва можно определить на макрошлифе с помощью планиметра. Для механизированной сварки площадь

$$F_3 = F_{\text{пр}} (V_{\text{пэ}} / V_{\text{св}}),$$

где $F_{\text{пр}}$ — площадь сечения сварочной проволоки; $V_{\text{пэ}}$ — скорость подачи сварочной проволоки; $V_{\text{св}}$ — скорость сварки.

Таким образом, все параметры режима, которые увеличивают проплавление, способствуют повышению доли основного металла в сварном шве и наоборот. При сварке ее надо повышать, а при наплавке — уменьшать. Параметры режима подбирают по справочникам, и перед внедрением полезно предварительно их проверить на образцах и в случае необходимости подкорректировать.

Контрольные вопросы

1. Какие основные размерные и безразмерные параметры сварного шва существуют?
2. Каких значений безразмерных параметров нужно избегать? Почему?
3. Какие параметры режима сварки влияют сильнее других на глубину проплавления?
4. Какие параметры режима сварки влияют сильнее других на ширину шва?
5. Перечислите основные параметры режима сварки.
6. Перечислите дополнительные параметры режима сварки.
7. В каких случаях нужно увеличивать долю участия основного металла в составе шва?
8. В каких случаях полезно увеличивать долю участия электродного металла в составе шва?
9. Можно ли при выполнении сварочных работ использовать без изменений данные по параметрам режима сварки из справочников?

СВАРКА, НАПЛАВКА И НАПЫЛЕНИЕ КАК МЕТОДЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Срок службы быстроизнашивающихся деталей машин определяет рентабельность машин и механизмов. Современные процессы интенсификации производственных процессов связаны с увеличением рабочих давлений, скоростей, температур и агрессивности сред, что приводит к ускорению износа деталей, а общая тенденция автоматизации и роботизации еще более актуализирует проблему повышения их работоспособности. В промышленности и сельском хозяйстве тратятся сотни тысяч тонн металла и большое количество человеческого труда на изготовление запасных частей и замену быстроизнашивающихся деталей. При этом вследствие замены изношенных деталей снижается производительность машин и аппаратов и увеличиваются простои агрегатов и целых линий.

Сегодня, когда оборудование многих предприятий значительно изношено, а средства для его замены на новое в ближайшее время весьма ограничены, повышение износостойкости и увеличение срока службы машин требуют постоянного внимания, а именно: рационального конструирования, создания соответствующих условий эксплуатации, выбора материала, из которого изготовлена деталь.

На практике применяются многочисленные способы улучшения свойств материалов в зависимости от конкретных условий эксплуатации, например разновидности термической и химико-термической обработки поверхностных слоев, использование биметаллических конструкций, износостойкая наплавка метал-

лов и сплавов, нанесение тонких слоев методами напыления и металлизации. Методы наплавки позволяют многократно проводить работы как по восстановлению геометрических размеров изношенных деталей и использовать наплавочные материалы, повышающие срок службы. Не случайно, что отечественные ученые сварщики Н. Бенардос и Н. Славянов применяли сварку прежде всего при ремонте и восстановлении поврежденного оборудования.

Тип наплавленного металла выбирают в зависимости от его способности противостоять определенным видам износа. Однако пока не существует стандартных методов определения износостойкости материалов, подобных тем, по которым определяют такие характеристики, как предел прочности, предел текучести, ударная вязкость, твердость и т.д.

Износостойкость наплавленного металла определяют с помощью относительно распространенных и признанных методик лабораторных испытаний, а в некоторых случаях ее характеристикой может быть твердость поверхностного слоя, измеренная с помощью нескольких способов (Бринелль, Роквелл, Виккерс и т.п.). В зависимости от разновидностей изнашивания и на основании результатов исследований выбирается тип наплавленного металла. В чистом виде отдельные виды износа встречаются очень редко, обычно одна и та же деталь одновременно подвергается нескольким видам износа.

Износ при трении металла при нормальных условиях имеет место в подшипниках скольжения (коленчатые валы, оси, пальцы ковшовых цепей), при трении качения (крановые колеса, детали ходовой части гусеничных машин), при наличии между металлами абразивных частиц (окалина, песок, руда и др.). Для наплавки таких деталей чаще всего используют низкоуглеродистые, низко- и среднелегированные стали: Ст3, 15Г2Х, 20Х2Г2М, 30ХГСФ и проч.

Абразивный износ вызывает разрушение поверхности трения вследствие отдельных актов местного пластического деформирования, микроцарапания и микрорезания абразивными частицами, что характерно для работы всех почвообрабатывающих машин (ковши экскаваторов, ножи бульдозеров, лемехи плугов, пресс-формы для изготовления огнеупоров и строительного кирпича

и т.д.). Этот вид износа очень часто сочетается с ударами, причем часто их интенсивность неопределенная и характеризуется такими качественными терминами, как «незначительная», «умеренная», «сильная». Это влияет на выбор наплавочных сплавов:

- сплавы I группы (У30Х23Р2С2ТГ, У45Х35ГЗР2С, У25Х20СЗР и т.п.) наиболее хрупкие, рекомендуются для условий, когда ударные нагрузки отсутствуют;
- сплавы III группы (Г13Н4, 25Х5ФМС, 20Г4 и др.) наименее хрупкие, рекомендуются для условий, когда есть удары;
- сплавы II группы (У20Х12М, У25Х17Т, У12Х12В12Р и проч.) занимают промежуточное положение.

Иногда ударно-абразивный износ сочетается с коррозионным (ковши дноуглубляющих снарядов, пульпопроводы гидротранспорта, улитки и рабочие колеса земснарядов, черпаки золотодобывающих драг), что значительно ухудшает условия их эксплуатации и ускоряет износ. Высокохромистые чугуны имеют наибольшую износостойкость в таких условиях.

Газоабразивный износ возникает, если абразивные частицы перемещаются с потоком газа при обычных или повышенных температурах (детали трасс пневмотранспорта, лопадки мельничных вентиляторов и насосов, детали засыпных устройств доменных печей, сопла реактивных двигателей); при этом разрушение происходит за счет срезания, выкрашивания, выбивания и многократного пластического деформирования поверхностных микрообъемов. Интенсивность такого износа зависит от угла атаки запыленного потока и свойств абразива и является наименьшей при использовании высокохромистых чугунов.

Термическая усталость — изменение структуры и формы, которое сопровождается разрушением материалов в результате циклического действия нагрева и охлаждения в виде трещин. Их становится больше с увеличением числа циклов, в результате чего образуется сетка разгара и начинают откалываться макрообъемы металла. Этому виду износа подвергаются валки горячей прокатки, штампы горячей штамповки, пресс-формы для отливки под давлением; наплавляют их хромовольфрамовыми сталями, карбидными композициями и жаропрочными сплавами.

Кавитационная эрозия является результатом импульсного механического воздействия гидравлических микроударов потока жидкости на поверхность металла. Этот специфический вид из-

нашивания типичен для работы деталей гидромашин (гребные винты быстроходных судов, лопасти и камеры проточного тракта гидротурбин, уплотнительные поверхности запорно-перепускной арматуры). Наличие коррозионной среды ускоряет процесс кавитационного разрушения. Поэтому обязательным условием для такого вида эксплуатации является использование прежде всего коррозионно-стойких материалов — хромоникелевых сталей типа 18—8, хромомарганцевых 30Х10Г10, алюминиевых бронз типа БрАН12.

Наплавка используется как для восстановления изношенных размеров, так и для создания износостойкого слоя с целью увеличения срока службы деталей машин. Она эффективна только тогда, когда масса наплавленного металла не превышает 5—6 % общей массы детали.

Выбор рационального способа и технологических приемов наплавки определяется необходимостью получения детали требуемых размеров и наплавленного слоя с нужными свойствами. При этом должны быть обеспечены максимальная производительность и экономичность процесса.

Технологические приемы и режимы дуговой наплавки зависят от формы и размеров изделий и весьма важны для получения наплавленного слоя надлежащего качества и состава.

Параметры режима для выполнения наплавки задаются те же, что и для сварки, но при их назначении следует учитывать некоторые особенности:

- род тока, полярность — высокая производительность на постоянном токе прямой полярности, более дешевый и доступный процесс на переменном токе, но электроды с основным покрытием и основные флюсы, используемые для наплавки легированных сталей и сплавов, работают только на постоянном токе обратной полярности, что уменьшает производительность и увеличивает долю участия основного металла в наплавленном слое, а это заставляет увеличивать число слоев;
- диаметр электрода — его увеличение повышает производительность и уменьшает долю основного металла; иногда наплавка производится несколькими электродами малого диаметра, собранными в «пучок»;

- сварочный ток — его увеличение повышает производительность, но в то же время увеличивает глубину проплавления основного металла;
- напряжение дуги — повышение этого параметра уменьшает долю участия основного металла, но появляется угроза выгорания легирующих элементов, особенно высокоактивных, в дуговом промежутке;
- скорость сварки — при ее увеличении ухудшаются формирование шва и качество наплавленной поверхности;
- смещение электрода с зенита — важный параметр при наплавке цилиндрических поверхностей, осуществляется в сторону, противоположную вращению, обеспечивает удержание сварочной ванны и формирование шва;
- шаг наплавки и перекрытие валиков — обеспечивают заданную высоту наплавленного слоя и степень однородности химического состава наплавленного металла.

Необходимо, чтобы параметры режима и техника наплавки обеспечивали меньшее проплавление основного металла, максимальное сохранение легирующих элементов, формирование качественно наплавленной поверхности, минимальные припуски для последующей механической обработки детали. Это может быть достигнуто выбором перекрытия валиков при наплавке каждого слоя (особенно первого). Так, при наложении первого слоя согласно рис. 13.1, *a* без перекрытия ($m/b \rightarrow 1$) доля основного металла γ_0 составляет примерно 0,65, а при перекрытии по ширине $m/b = 0,46$ эта доля уменьшается до 0,45. В связи с этим такой метод перекрытия весьма распространен при наплавке.

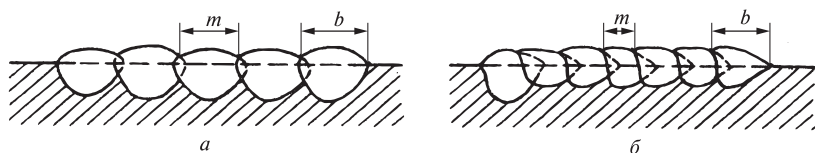


Рис. 13.1. Влияние шага наплавки на долю основного металла в составе наплавленного слоя:

a — шаг m близок к ширине валика b , $\gamma_0 = 0,65$; *б* — шаг $m = 0,46b$, $\gamma_0 = 0,45$

При ручной наплавке $m/b \approx 0,35$, при автоматической под флюсом сплошными проволоками круглого сечения $m/b = 0,4-0,5$. Увеличение m/b может привести к неблагоприятной

форме выпуклости валика и непровару места перехода от предыдущего валика к последующему. Значение m/b может быть заметно уменьшено при наплавке ленточным электродом или несколькими плавящимися электродами, обеспечивающими в один проход достаточно широкий слой.

При наплавке цилиндрических поверхностей деталей небольшого диаметра по винтовой линии следует учитывать возможность стекания ванны, что ограничивает выбор режима по току и напряжению (рис. 6), но при диаметрах, больших 500–600 мм, эти ограничения несут незначительные. Если производится наплавка вблизи торца детали, надо приваривать к нему диск — фланец большего диаметра, а в местах перехода от меньшего диаметра к большему наплавлять валик, захватывающий проваром стенку этого перехода. При наплавке поверхностей малой ширины (торцов ножей ножниц блюмингов) надо ограничивать стекание шлака и металла дополнительными устройствами — графитовыми, медными формирующими пластинами. Детали сложного профиля требуют ручной наплавки с использованием покрытых электродов или полуавтоматической порошковой проволокой.

Способы дуговой металлизации и плазменного напыления используют, если необходимо наносить покрытие небольшой толщины. Напыление и металлизацию применяют в тех случаях, когда нужно восстановить малую толщину изношенной детали, нанести тонкий поверхностный слой со специальными свойствами (коррозионно-стойкий, износостойкий, декоративный и т.д.).

Сущность газопламенного или плазменного напыления заключается в том, что напыляемый материал в виде проволоки, прутка или порошка подается вместе с газокислородной смесью и сжатым воздухом или плазменной струей в пистолет, на выходе из сопла которого материал под действием теплоты сначала расплавляется, а затем распыляется и в таком виде наносится на специально подготовленную поверхность (рис. 13.2).

Детонационное напыление, являющееся разновидностью газопламенного, состоит в том, что газовоздушная или газокислородная смесь подрывается вместе с порошком в специальной пушке или пистолете, в результате чего расплавленный металл выстреливается в направлении поверхности со скоростью 760 м/с. Благодаря

ря такому импульсному действию нанесенный слой покрытия имеет высокую прочность и большую плотность.

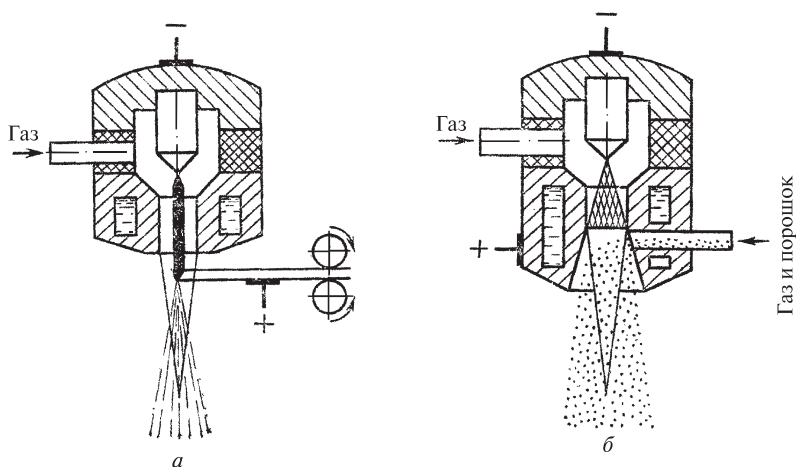


Рис. 13.2. Схема распыления дуговой плазмой токоведущей проволоки (а) и напыляемого порошка (б)

Дуговая металлизация является наиболее дешевым среди способов нанесения тонких покрытий, но она не позволяет наносить покрытия любого заданного состава, что доступно только при использовании порошкообразных материалов в комбинации с газо-пламенным или плазменным напылением.

Технология плазменного напыления состоит из нескольких последовательных операций:

- подготовка порошков — сушка, просеивание и охлаждение (все это за 2–3 ч до напыления);
- подготовка поверхности — обезжиривание, травление, пескоструйная и дробеструйная обработка, механическая обработка, подогрев;
- нанесение покрытий.

За один проход плазмотрона наносят слой толщиной 15–100 мкм.

При нанесении самофлюсующихся порошков для повышения прочности сцепления и снижения пористости проводят оплавление покрытий (газовым пламенем, плазмотроном, в печи токов высокой частоты и в солевых растворах). Общим правилом при

плазменной наплавке является предварительный подогрев деталей до 450–600 °С в зависимости от их размеров и формы, после чего они загружаются в печь с температурой 550–650 °С; детали выдерживаются 2–3 ч и медленно охлаждаются вместе с печью.

При восстановительной и износостойкой наплавке могут быть использованы все способы сварки и сварочные материалы. Главным является вопрос достижения заданного состава наплавленного металла при высокой производительности процесса.

Выбирая способ легирования наплавленного слоя, материалов и технологии наплавки, учитывают условия эксплуатации деталей, их размеры и конфигурацию, допустимую величину и характера износа, наличие необходимых материалов и т.д.

Ручная дуговая наплавка с использованием электродов как общего назначения, так и специального наиболее распространена, особенно в монтажных и полевых условиях или при небольших объемах наплавочных работ. Производительность процесса 0,3–2,0 кг/ч. Она выполняется графитовым электродом, порошками и их смесями на постоянном токе прямой полярности с такими параметрами режима: $d_{\text{э}} = 10\text{--}15$ мм, $I_{\text{св}} = 180\text{--}210$ А, $U_{\text{д}} = 27\text{--}30$ В, толщина слоя порошка 7–9 мм, толщина наплавленного слоя 2–3 мм. Производительность процесса 1–1,5 кг/ч.

Этот метод легирования обеспечивает необходимое качество наплавленного металла в малом диапазоне параметров режима, но наиболее доступен для использования и рекомендуется для наплавки деталей, условия работы которых точно не определены и имеет место фактор случайности.

При наплавке высоколегированных сплавов вольфрамовым электродом в аргоне применяют прутки, изготовленные методом литья. Производительность процесса 0,3–0,8 кг/ч.

Гранулированные порошки и их смеси можно использовать как для дуговой наплавки, так и для индукционной. Последняя часто применяется при ремонте и изготовлении деталей землеройных машин и сельскохозяйственной техники. Производительность наплавки токами высокой частоты составляет 9–10 кг/ч.

Электрошлаковая наплавка является наиболее производительным способом, который позволяет за один проход нанести слой толщиной 30–40 мм, но она требует очень сложных устройств,

оборудования и высокой квалификации операторов-наплавщиков. Производительность составляет 15–120 кг/ч.

Обычную сварочную проволоку нужного состава, которая дает наплавленный металл небольшой твердости или специальную наплавочную проволоку, с помощью которой можно получить наплавленный металл средней и высокой твердости, используют, если необходимо восстановить изношенные геометрические размеры детали.

Механизированные способы наплавки следует использовать для стационарных, цеховых условий при больших объемах наплавочных работ.

Автоматическая наплавка в сочетании с плавленным флюсом необходимого состава — лучший способ легирования, который обеспечивает высокую степень однородности наплавленного металла в самом широком диапазоне параметров режима наплавки. Но он не позволяет получить металл любого заданного состава; это достигается комбинацией порошковой проволоки с плавленным флюсом или при использовании самозащитной порошковой проволоки. Показатель качества металла (переход легирующих элементов, однородность их распределения) не хуже, чем предыдущими способами.

Плавленные флюсы для наплавки выбирают исходя из тех же соображений, что и для сварки, но предпочтение отдают пемзовидным флюсам, которые обеспечивают меньший провар основного металла и большую долю электродного металла в наплавленном слое. Разработаны специальные наплавочные флюсы. Например, флюс марки АН-70 используется для наплавки средне- и высоколегированных сталей с низкой окислительной способностью. В связи с тем что он короткий и тугоплавкий, его используют при наплавке цилиндрических деталей малого диаметра. Шлак легко отделяется при температурах до 800 °С.

Легирование наплавленного металла через керамические флюсы менее эффективно, чем через порошковую проволоку; необходимое качество наплавленного металла достигается еще в меньшем диапазоне параметров режима, а содержание металлических компонентов в нем не может превышать 25–30 %. Но этот метод может быть более доступным и экономически эффективным.

Производительность процесса плавящимся электродом в защитных газах и самозащитной проволокой 1,5–6 кг/ч, автоматического

под флюсом проволокой сплошного сечения 3–8 кг/ч, порошковой проволокой 13–25 кг/ч, лентой 5–20 кг/ч. При этом использование самозащитной порошковой проволоки позволяет выполнять наплавку в полевых условиях без демонтажа изношенной детали, что значительно ускоряет и удешевляет проведение ремонтных работ.

Для уменьшения доли основного металла в наплавленном слое и получения более ровной наплавленной поверхности применяют сварочные электродные порошковые и спеченные ленты.

Для напыления и металлизации чаще всего используют порошки, но они не всегда обеспечивают стабильность качества покрытий вследствие сегрегации компонентов при смешивании и транспортировании смеси от дозирующих устройств в струю. В настоящее время широко распространены гибкие шнуровые материалы (ГШМ), которые получают экструзией специального материала — смеси порошкового наполнителя и органической связки, которая исчезает при нагревании выше 400 °С и не откладывается на подложку.

Благодаря прочности и эластичности гибкие шнуры могут использоваться, как проволока, и покрытие наносится с помощью газопламенных аппаратов проволочного типа. Технология изготовления ГШМ позволяет получать в составе любые сочетания материалов, различающихся гранулометрическим составом. Сейчас разработано несколько серий ГШМ: «Сфекорд-Экзо» на основе сплавов металлов с экзотермическим эффектом, благодаря чему нагрев основного металла не превышает 250 °С; «Сфекорд-Керамика» на основе оксидов алюминия, титана, хрома, циркония и т.д.; «Сфекорд-НР» на основе самофлюсующихся сплавов с карбидом вольфрама.

Технология ремонта таких весьма сложных конструктивно изделий, как ковш экскаватора (рис. 7), предусматривает проведение комплекса работ: 1) демонтируют ковш и очищают от грязи; 2) проводят его тщательную дефектацию с целью составления и плана ремонтных работ; 3) определяют материал, из которого изготовлено изделие, с целью подбора соответствующих сварочных материалов, технологии, техники и последовательности выполнения отдельных операций с учетом условий эксплуатации отдельных участков ковша.

Изделие работает в условиях ударно-абразивного износа, причем зубья подвергнуты в большей степени ударному, чем абразивному действию, в то же время щеки и стенки ковша должны обеспечить как общую прочность и жесткость конструкции, так и сопротивление главным образом абразивному износу. Наконечники зубьев литые, и их заменяют на новые путем механического крепления и заварки по периметру. Обычно их изготавливают из стали 110Г13Л, лучшей для таких условий эксплуатации. Значительные повреждения, например разрыв торцевой планки на первом плане, правят с подогревом, с разделкой кромок и многопроходной сваркой вручную или полуавтоматом.

Для механизированной наплавки в защитных газах, под флюсом и открытой дугой можно использовать стандартное оборудование для сварки этими способами, но в случае больших объемов ремонтно-восстановительных работ, особенно в цеховых условиях, целесообразно применять специализированные аппараты с соответствующими источниками питания, механическим оборудованием — вращателями, кантователями, токарными станками и т.д., а также комплексное оборудование со всеми необходимыми составляющими.

Оборудование для напыления, дуговой и плазменной металлизации бывает ручное и механизированное. Бесспорным лидером в этой области нанесения покрытий является швейцарская компания «Sulzer Metco». Металлизационный пистолет (рис.  8, а) имеет турбинный привод подачи металлической проволоки или ГШМ и работает от сжатого воздуха; он же выполняет функции транспортирующего газа. На пистолете предусмотрено устройство для его неподвижного закрепления, например, на суппорте токарного станка, что позволяет механизировать процесс нанесения покрытий на тела вращения. В случае необходимости выполнения больших объемов дуговой металлизации используют роботизированные комплексы (рис.  8, б), а сам процесс ведется в специальных закрытых камерах для уменьшения запыленности пространства и шума.

Контрольные вопросы

1. Назовите основные виды износа металла. Приведите конкретные примеры.
2. Каким образом определяют критерии износостойкости?

3. Какие типы наплавленного металла используют для повышения износостойкости деталей машин?
4. Какие параметры режима наплавки существуют?
5. Что такое шаг валика и величина его перекрытия?
6. Каким образом уменьшают долю участия основного металла в наплавленном?
7. В чем суть газотермического и плазменного напыления? Какие у него преимущества и недостатки?
8. Какие материалы используют для наплавки деталей, работающих в условиях кавитационной эрозии?
9. Расставьте в ряд способы легирования с точки зрения равномерного распределения легирующих элементов в наплавленном металле.
10. Как влияет степень определенности условий эксплуатации детали на выбор типа и точности легирования?
11. Что собой представляет ГШМ?
12. Какие преимущества использования ГШМ по сравнению с порошками при напылении?
13. В какой последовательности производится ремонт изделия с множеством повреждений?
14. В чем заключается специфика оборудования для наплавки по сравнению с оборудованием для сварки?

СБОРОЧНО-СВАРОЧНЫЕ УСТРОЙСТВА И ОСНАСТКА ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ

При изготовлении сварных конструкций необходимо обеспечить заданное технологическим процессом взаимное расположение соединяемых деталей и наиболее благоприятные условия для формирования качественного изделия. Это достигается за счет использования специальных технологических приспособлений и оснастки, с помощью которых начинается процесс сборки под сварку. Он заключается в подгонке и предварительном соединении элементов конструкций в более сложные для дальнейшего конечного закрепления их сваркой, причем трудоемкость сборочных работ составляет от 40 до 60 % общей трудоемкости работ сборочно-сварочного цеха.

В процессе сборки узлов и секций выполняются:

- взаимная установка свариваемых элементов в положение, заданное чертежом и необходимое для выполнения;
- проверка и придание всей конструкции или ее отдельным частям заданной формы в пределах установленных допусков;
- сборка собранных сопряжений элементов на прихватках или с помощью зажимных устройств;
- установка при необходимости временных распорок, стяжек или других устройств, которые обеспечивают жесткость изделия при транспортировании или предотвращение значительных сварочных деформаций.

Цель сборки корпусных конструкций — выполнение линейных и поверхностных сопряжений — промежуточных (до сварки) закрепленных взаимных соединений кромок или поверхностей со-

бираемых частей, удовлетворяющих требованиям обеспечения дальнейшего процесса сварки. При сборке сложных конструкций подгоняется не единичное сопряжение, а одновременно несколько сопряжений, размещенных рядом или пересекающих друг друга. Сварку конструкции или отдельных швов на ней можно выполнять после окончания всей сборки, одновременно с ней или поочередно со сборочными операциями.

Технологические сборочные базы — поверхности, линии или точки, определяющие положение собираемых элементов конструкций, выбираются для установки и ориентирования деталей, первичного наведения и проверки. В таком качестве могут выступать общие (неподвижные) базы, которые существуют на сборочных участках и не изменяются в процессе сборки узла, и местные, которые служат для выполнения отдельных операций, после чего они теряют свою необходимость (торец ранее установленного листа, разметочные риски и т.д.). Правильно выбранные технологические базы упрощают сборку и значительно повышают ее качество.

При выполнении операции сборки к собираемому изделию прикладывают определенные усилия. Незначительное перемещение деталей производится вручную рычагом или ударами кувалды, а для стягивания сопряжений, связанного с частичным упругим деформированием кромок деталей, могут потребоваться существенные усилия. Это объясняется тем, что при любой точности обработки собираемый лист или профиль упруго меняет свою форму под действием веса, остаточных напряжений после прокатки или правки, или от сварочных деформаций, возникающих при прихватке или сварке смежных участков конструкции. Типичные случаи стягивания сопряжений при сборке узлов листов и профилей показаны на рис. 14.1.

Прикладываемые усилия зависят от типа сопряжения, зазора между элементами, которые сопрягаются, формы и геометрических характеристик самих элементов, от характера закрепления участков, смежных с местом сопряжения. Наблюдение и расчеты дают следующие значения усилий, которые необходимы, например, для стягивания незакрепленных листов в тавровых сопряжениях:

<i>Толщина листов, мм</i>	<i>Усилие, кг</i>
8	2000
12	3000
15	4000

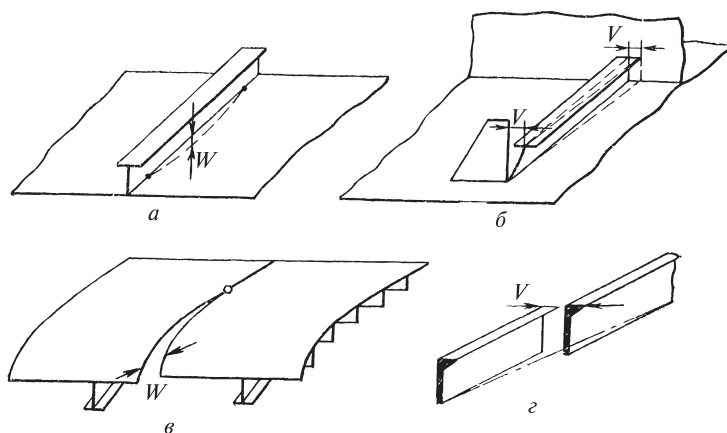


Рис. 14.1. Типовые случаи стягивания простых сопряжений при сборке: *а* — подтягивание листа к набору; *б* — смещение торцов тавровой балки; *в* — стягивание кромок двух листов; *г* — совмещение концов полособульбов

При выравнивании листов в стыковых сопряжениях усилия в 2 раза меньше.

Требуемые сборочные усилия создаются с помощью инструментов (ломики, струбцины и т.д.) или силовых элементов специальных устройств (рис. 14.2).

Стягивающие и прижимные устройства для сборки крепят к собираемым деталям через отдельные приваренные планки или обухи, или с помощью входящих в состав вакуумных или электромагнитных присосок. Последнее значительно увеличивает производительность сборочного труда; так, удерживающая сила, отнесенная к 1 кг веса переносных устройств с вакуумными присосами, составляет от 34 до 56 кг, а с электромагнитными — от 50 до 90 кг.

Прихватка планок или обухов увеличивает трудоемкость сборки и может повредить поверхность конструкции, в то же время использование присосок ограничено опорной площадью электромагнита, весом этих устройств и необходимостью иметь гидравлический или гидропневматический привод.

Стягивающие и распорные устройства служат для сборки, выравнивания кромок и вмятин, для разжима цилиндрических изделий. Собранные под сварку сопряжения закрепляют прихватками длиной от 20 до 60 мм, выполняемыми самими сборщиками. Раз-

нообразие приемов сборки, широкая номенклатура собираемых изделий по размерам конструкции, толщине, сортаменту металла и т.д. затрудняют создание более механизированных с малыми объемами ручного труда устройств. Такие специализированные сборочные, а иногда сборочно-сварочные машины созданы для изготовления сравнительно простых и многочисленных узлов и секций — балок таврового сечения, плоских листовых конструкций, плоских секций с ребрами жесткости одного направления, цилиндрических обечаек.

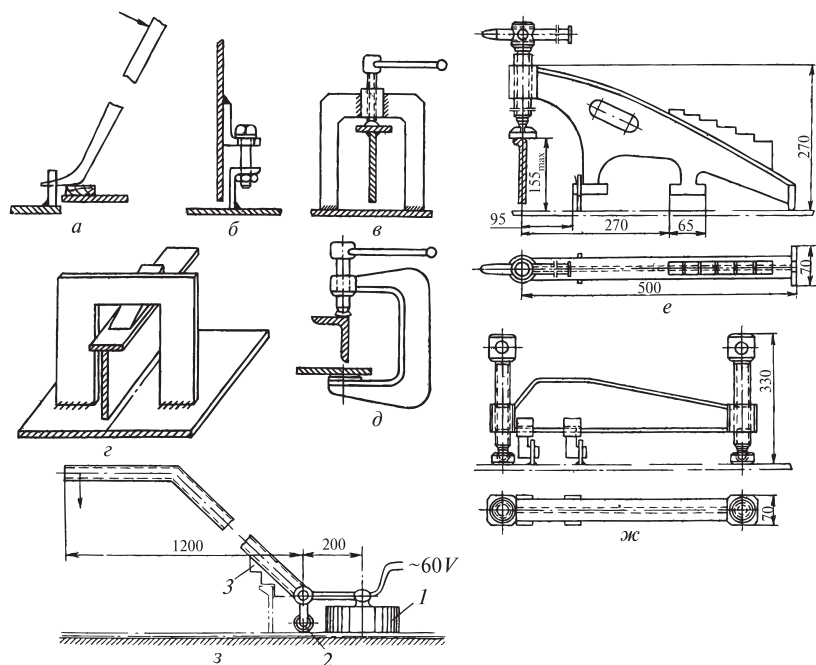


Рис. 14.2. Некоторые из распространенных инструментов и приспособлений:

а — ломик; *б* — приварные угольники с болтом; *в* — приварная скоба с винтом; *г* — приварная скоба с клином; *д* — струбцина сборочная; *е* — приспособление «рыбий хвост»; *ж* — двойной прижим с передвижным гаком; *з* — передвижной сборочный лом с электромагнитом; *1* — электромагнит; *2* — ролик; *3* — гребенка для упора профилей

При массовом производстве одинаковых изделий применяют специализированные сборочные и сборочно-сварочные кондук-

торы, имеющие надежные и быстродействующие механизмы для зажатия деталей.

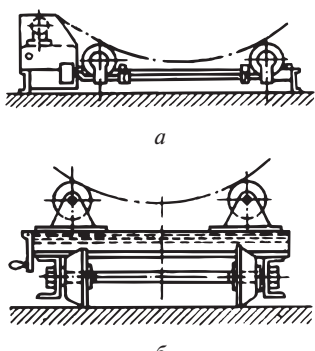
Часто по окончании сборки изделие снимается с кондуктора и укладывается на другое механизированное приспособление, например:

- роликовый стенд, состоящий из холостых и приводных роликовых опор, смонтированных на общей фундаментной плите. Такие стенды применяют для вращения цилиндрических изделий во время сварки круговых швов и установочного перемещения при сварке продольных швов (табл. 14.1);
- кантователь, применяемый для поворота свариваемого изделия с целью установки его в удобное для сварки положение;
- манипулятор — поворотное приспособление, предназначенное для сварки изделия в определенном пространственном положении.

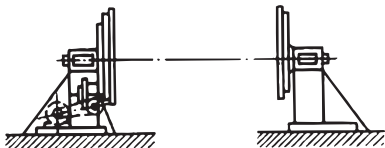
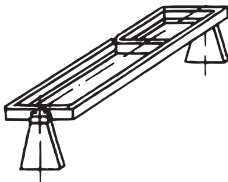
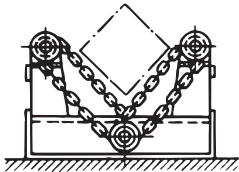
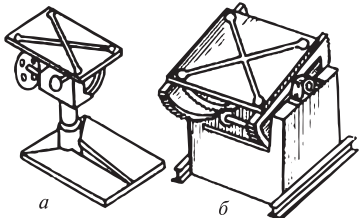
Позиционером называют приспособление, в котором производится сварка закрепленного изделия в одной определенной позиции (положении); он пригоден для сварки определенного вида изделий, в то время как манипулятор употребляется для нескольких видов изделий, и сварку каждого изделия можно выполнять в различных позициях.

Таблица 14.1

Поворотные приспособления для сборки и сварки изделий

Приспособление	Эскиз	Область применения
Роликовые опоры: <i>a</i> — стационарные <i>б</i> — передвижные ручные и механические	 <i>a</i> <i>б</i>	Для сварки тяжелых изделий и узлов, цилиндров, балок и других изделий

Окончание табл. 14.1

Приспособле- ние	Эскиз	Область применения
Кантователь		Универсальные для сварки изделий и узлов массой 2–12 т
Поворотный стенд ручной механический		Для сварки средних и крупных узлов и деталей, для поворота на 360°. Рамы вагонов, фермы и другие изделия
Цепной кантователь		Для сварки громоздких и длинных изделий нецилиндрического сечения
Манипулятор: а – ручной б – механический		Для сварки мелких и средних деталей в массовом производстве

Контрольные вопросы

1. Чем обусловлена высокая трудоемкость сборочных работ при изготовлении металлоконструкций?
2. С какой целью выполняются сопряжения?
3. Какие усилия прилагаются к деталям при выполнении сопряжений?
4. Какие сборочные инструменты и приспособления используются при сборке под сварку?
5. Какие размеры имеют прихватки и с какой частотой устанавливаются?
6. Какие специальные приспособления облегчают осуществление процессов сборки и сварки?

МЕТОДЫ РЕЗКИ МЕТАЛЛОВ

Резкой металлов называют отделение частей (заготовок) от сортового, листового или литого металла. Различают резку механическую (ножницами, пилами, резцами), ударную (рубка) и термическую.

Термической резкой называют обработку металла (вырезку заготовок, строжку, создание отверстий) посредством нагрева; она отличается от других видов высокой производительностью при относительно малых затратах энергии и возможностью получения заготовок любого, сколь угодно сложного контура при большой толщине металла.

Рез — паз, образующийся между частями металла в результате резки. По форме и характеру реза резка может быть разделительная и поверхностная, по шероховатости поверхности реза — заготовительная и чистовая.

Выделяют три группы процессов термической резки:

- резка окислением, когда металл в зоне резки нагревают до температуры воспламенения в кислороде, затем сжигают его в струе кислорода, используя образующуюся теплоту для подогрева следующих участков металла. Продукты сгорания выдувают из реза струей кислорода и газов, образующихся при горении металла. К резке окислением относятся газопламенная (кислородная) и кислородно-флюсовая резка;
- резка плавлением, когда металл в месте резки нагревают мощным концентрированным источником теплоты выше температуры его плавления и выдувают расплавленный металл из реза с помощью силы давления дуговой плазмы, реакции паров металла, электродинамических и других сил, возникающих при действии источника теплоты, либо специальной

струей газа. К способам этой группы относятся дуговая резка, воздушно-дуговая, сжатой дугой (плазменная), лазерная и термогазоструйная;

- резка плавлением-окислением, когда одновременно применяются процессы, на которых основаны две предыдущие группы способов резки. К способам этой группы относятся кислородно-дуговая резка, кислородно-плазменная, кислородно-лазерная.

Окислением можно резать только металлы, отвечающие следующим трем условиям. Во-первых, температура их воспламенения в кислороде ниже температуры их плавления; такой металл горит в твердом состоянии, рез получается ровным по ширине, с гладкой поверхностью, продукты горения легко удаляются кислородной струей.

Во-вторых, температура плавления образующихся при горении оксидов должна быть ниже температуры плавления разрезаемого металла. Тогда они при температуре резки жидкотекучи и легко удаляются из реза.

В-третьих, разрезаемый металл должен иметь небольшую теплопроводность, чтобы зона резки легко нагревалась до температуры воспламенения.

Всем этим условиям удовлетворяют углеродистые стали.

Температура горения железа в кислороде 1050–1360 °С, температура его плавления 1539 °С. Оксиды FeO и Fe₃O₄ плавятся при температурах соответственно 1350 и 1400 °С. Теплопроводность железа меньше, чем у других конструкционных материалов.

Для сравнения рассмотрим, каким условиям, необходимым для возможности резки окислением, удовлетворяет алюминий. Температура его воспламенения в кислороде 900 °С, а плавления – 660 °С, следовательно, гореть он будет только в жидком состоянии, поэтому невозможно получить стабильную форму реза. Алюминий образует оксид Al₂O₃ с температурой плавления 2050 °С. Такой оксид при резке будет твердым, удалить его трудно. Наконец, высокая теплопроводность алюминия потребует для резки большой концентрации мощности, теплоты от его горения будет недостаточно. Поэтому алюминий невозможно резать окислением.

Некоторые легирующие сталь металлы образуют оксиды с высокой температурой плавления, например оксиды хрома плавятся

при температуре около 2270 °С, никеля – при 1985 °С, меди – при 1230 °С. Поэтому высоколегированные хромоникелевые стали не поддаются резке окислением.

Разрезаемость углеродистых сталей, т.е. их способность подвергаться кислородной резке, ухудшается с увеличением содержания в них углерода. Легирующие элементы в стали также препятствуют кислородной резке. Разрезаемость стали можно ориентировочно определить, зная ее химический состав по эквиваленту углерода как сумму процентных содержаний в стали этих элементов, умноженных на эмпирические коэффициенты:

$$C_3 = C + 0,16Mn + 0,3(Si + Mo) + 0,4Cr + 0,2V + 0,04(Ni + Cu).$$

Если $C_3 < 0,6$, сталь обладает хорошей разрезаемостью, если $C_3 = 0,6–0,8$ – удовлетворительной, но зимой нужен подогрев зоны реза до температуры 150 °С. При $C_3 = 0,8–1,1$ разрезаемость плохая, на кромках реза возможно образование закалочных структур, перед резкой необходим подогрев до температуры 300 °С. Если $C_3 > 1,1$, резка окислением требует применения флюсов.

К *параметрам режима кислородной резки* относятся:

- мощность пламени, характеризуемая расходом горючего газа в единицу времени, зависящая от толщины разрезаемого металла и выбираемая такой, чтобы обеспечить быстрый подогрев металла в начале резки до температуры воспламенения и необходимый нагрев при резке. Для ручной резки нужна мощность в 1,5–2 раза больше, чем при машинной. При резке литья ее повышают в 3–4 раза, так как поверхность отливок покрыта песком и пригаром. Для резки стали толщиной до 300 мм применяют нормальное пламя, для большей толщины – науглероживающее, с избытком ацетилена. Длина факела такого пламени должна быть больше толщины разрезаемого металла;
- давление режущего кислорода – параметр, зависящий от толщины металла, формы режущего сопла и чистоты кислорода. Давление может составлять 0,3–0,4 МПа при толщине 5–20 мм и 0,7–0,9 МПа при 60–100 мм. Избыток давления, так же как и его недостаток, уменьшает производительность резки и ухудшает качество поверхности реза;
- скорость резки, которая должна соответствовать скорости окисления металла по толщине разрезаемого листа. При за-

медленной скорости верхние кромки разрезаемого листа оплавляются и поток искр из реза вытекает с обратной стороны реза в направлении резки. Если скорость слишком большая, то пучок искр будет слабым и сильно отклонится в сторону, обратную направлению резки; при этом линия реза будет отклоняться от вертикали, отставать, возможно непрорезание металла. При нормальной скорости поток искр должен быть спокойный и почти параллелен струе режущего кислорода, но немного отклоняется от направления резки. Уменьшение чистоты кислорода на 1 % снижает скорость резки на 20 %. Поэтому для резки нужно применять кислород чистотой не менее 98,5 %. Скорость резки и ширина реза зависят от толщины металла: с увеличением толщины скорость снижается, а ширина реза возрастает.

При резке нужно поддерживать постоянное расстояние между мундштуком и поверхностью разрезаемого металла. Оно влияет на качество реза и зависит от толщины металла: это расстояние лучше устанавливать 2–3 мм при толщине 3–10 мм и 7–10 мм при толщине 100–300 мм.

Различают два основных вида кислородной резки:

- разделяемая (рис. 15.1), образующая сквозные разрезы и используемая при вырезке деталей из листа, резке металла на отдельные части, разделке кромок под сварку;
- поверхностная, которая образует на поверхности углубления, канавки овальной формы (удаление дефектов литья, сварных швов, строгание поверхности).

Форма реза определяется соотношением ширины реза с верхней стороны $Ш_в$ и с нижней $Ш_н$. Лучше всего, если $Ш_в = Ш_н$, однако на практике $Ш_н = (1,1–1,5)Ш_в$. В результате разницы этих величин возникает неперпендикулярность кромки реза к поверхности листа. Причины этого – расширение струи кислорода и искажение формы пламени в результате засорения или износа сопел мундштука; недостаточная чистота кислорода: металл плохо горит в нижних слоях листа. Из-за этого также происходит отставание Δ бороздок на поверхности кромок реза от оси мундштука в процессе резки, вызывающее криволинейность бороздок. Отставание зависит от давления струи режущего кислорода. Его можно уменьшить наклоном мундштука углом вперед в направлении резки. Глубина бороздок e зависит от давления кислорода, а также от ско-

рости резки, равномерности перемещения резака и вида горючего — при резке на природном газе или водороде рез получается ровнее. Оплавление кромок, образующее их закругление радиусом r , прямо зависит от мощности подогревающего пламени и уменьшается с увеличением скорости резки. Норма перпендикулярности поверхности реза $f = 0,2\text{--}2,5$ мм при толщине металла 5–100 мм. Норма шероховатости для этих же толщин $e = 0,05\text{--}1$ мм.

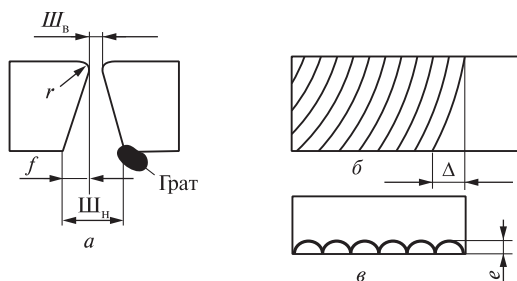


Рис. 15.1. Основные параметры реза при разделяемой кислородной резке: a — поперечное сечение реза; $б$ — вид поверхности реза; $в$ — вид сверху вдоль реза; $Ш_в$ — ширина реза сверху; $Ш_н$ — ширина реза внизу; f — неперпендикулярность реза; e — глубина бороздок — показатель шероховатости реза; Δ — отставание; r — радиус оплавления верхней кромки

При большой ширине нижней стороны реза на кромках образуется грат — прилипший к кромкам шлак, который приходится счищать после резки.

Реальная картина состояния кромок представлена на рис. 9. Здесь a — оптимальный рез, линии опоздания реза вертикальные и нерезко выявлены; $б$ — пламя для подогрева недостаточной мощности, а скорость резки слишком мала, из-за чего плохо сформировалась нижняя часть реза; $в$ — пламя для подогрева слишком длинное, поэтому сверху поверхность расплавлена, а кромка режется неравномерно вследствие избыточного налипания шлака; $г$ — давление режущего кислорода слишком низкое, что вызывает чрезмерное расплавление верхней кромки из-за низкой скорости резки; $д$ — давление режущего кислорода слишком высокое, а размер сопла слишком мал, вследствие чего теряется контроль за резанием; $е$ — скорость резки слишком мала, поэтому очень явно опоздание реза; $ж$ — скорость резки слишком ве-

лика, поэтому линии опоздания реза разрушены; 3 — перемещение горелки выполняется с непостоянной скоростью, вследствие чего кромка реза волнистая и неровная; *и* — рез прерывается и неаккуратно возобновляется, образуя дефекты в точках возобновления процесса.

Классы точности вырезаемых деталей и заготовок, допустимые нормы шероховатости поверхностей разреза и отклонения их от перпендикулярности устанавливает ГОСТ 14792—80.

Шероховатость поверхности реза определяется числом и глубиной борозд, оставленных струей кислорода вследствие отставания Δ от оси мундштука режущей струи кислорода (рис. 15.1). Чем больше толщина металла и меньше чистота кислорода, тем больше отставание. Оно изменяется от 1 до 15 мм при прямолинейном резании металла толщиной от 5 до 200 мм. Скорость резания листового металла толщиной 3—20 мм может быть увеличена в 2—3 раза за счет наклона резака на 45° в сторону, противоположную направлению перемещения, но при этом качество реза ухудшается.

Перед началом резки нужно подготовить разрезаемый лист. Его укладывают на подкладки так, чтобы зазор между его нижней поверхностью и полом был не менее 100 мм плюс половина толщины разрезаемого металла. Обычно резку производят в нижнем положении. Однако в монтажных условиях пространственное положение реза может быть различным, так как оно незначительно влияет на качество реза. Поверхность листа в месте реза зачищают. При ручной резке пламенем резака очищают полосу шириной 30—50 мм. Перед резкой на стационарных машинах листы сначала правят на листопрямильных вальцах, а затем очищают всю поверхность химической или дробеструйной обработкой.

Процесс резки начинают с нагрева металла в начале реза до температуры его воспламенения в кислороде, затем пускают режущий кислород и, убедившись, что началось окисление металла по всей толщине, перемещают резак по линии реза. Если режут сталь толщиной до 50 мм, резак в начале реза устанавливают вертикально. При большей толщине резак вначале отклоняют от плоскости торца листа на 5° , а после начала резки увеличивают этот угол до $20\text{--}30^\circ$ от вертикали, наклоняя резак в сторону, противоположную направлению реза.

Если резку начинают не с края, а с середины листа, то предварительно выполняют отверстие. При резке металла толщиной до 20 мм отверстие пробивают резак. Для этого: 1) нагревают участок в начале реза так же, как и при резке с края листа; 2) плавно открывая вентиль, пускают режущий кислород; 3) закрывают подачу ацетилена — гасят подогревающее пламя; 4) после образования отверстия вновь пускают ацетилен, пламя загорается от раскаленного металла. Этот прием предохраняет от хлопков пламени и обратного удара. При толщине металла более 50 мм отверстие диаметром 5–10 мм высверливают. При машинной резке возможна пробивка отверстий резак. при толщине до 100 мм. В этом случае при подаче режущего кислорода начинают перемещение резака по вырезанному контуру, благодаря чему на мундштук движущегося резака не попадают брызги металла, уменьшается вероятность его засорения и возникновения обратных ударов. Желательно пробивать отверстие на том участке листа, который после резки направляется в отходы.

Кислородной резкой обрабатывают листы толщиной не менее 3 мм. При меньшей толщине теплоты, выделяемой при сгорании металла в зоне реза, недостаточно. Поэтому, если в условиях серийного производства необходимо резать тонкие листы, применяют пакетную резку следующим образом: 1) несколько листов укладывают друг на друга в пакет со смещением торцов так, чтобы верхний лист выступал, а нижние листы были сдвинуты относительно него на угол 3–5° (это облегчает начало резки); 2) сжимают струбцинами или придавливают сверху толстым листом; 3) производят резку пакета как одного толстого листа.

При резке из-за неравномерности нагрева и охлаждения листа возникают его деформации, вызывающие искажение формы вырезаемой заготовки. Снизить деформации можно тремя путями:

- уменьшать нагрев кромок, увеличивая скорость резки или охлаждая металл водой в процессе резки;
- нагревать разрезаемый лист по возможности равномерно, для чего вырезку деталей из листа производить в такой последовательности, чтобы деформации действовали в противоположных направлениях, или осуществлять резку несколькими резаками, сохраняя постоянным расстояние между торцом мундштука и поверхностью разрезаемого металла — это устранил местную неравномерность нагрева; равномерность нагрева

и охлаждения повышает предварительный подогрев всего разрезаемого листа до температуры 300–500 °С;

- жестко закреплять вырезаемые детали, предохраняя их от перемещений во время нагрева и охлаждения, что обеспечивается с помощью струбцин и других приспособлений. При большой длине реза можно на его отдельных участках вбивать в рез клинья, чтобы скрепить разделенные части. Резку мелких деталей производят после вырезки крупных. Резку начинают с кромки заготовки, имеющей наибольшую длину, и заканчивают на короткой кромке, причем начинают не с прямой линии, а с зигзагообразной, чтобы не так сильно уменьшить жесткость остающегося контура. Во всех случаях, определяя порядок вырезки конкретных деталей, нужно добиваться, чтобы жесткость листа по мере резки снижалась минимально.

При ручной резке пользуются простыми приспособлениями — опорным роликом для резака, циркулем, направляющими линейками и т.д. (рис. 15.2).

При машинной резке поверхность металла должна быть чистой и размещаться горизонтально, чтобы стрела прогиба не превышала 3 мм/м. После установки параметров режима: 1) зажигают пламя резака; 2) подогревают место начала реза до температуры сгорания; 3) постепенно открывают вентиль режущего кислорода, одновременно опуская резак и увеличивая давление режущего кислорода до оптимального (на современных режущих машинах этим процессом управляют специальные устройства); 4) пробивают отверстия вне контура вырезаемой детали (минимальное расстояние от отверстия до контура составляет 6–45 мм для металла толщиной от 10 до 100 мм).

При резке, как и при сварке, заготовки деформируются. Деформации имеют вид укорочения, удлинения или изгиба элемента.

Вырезанные элементы больших размеров, как правило, имеют изгиб, элементы малой ширины (до 100 мм) становятся выпуклыми.

Способами борьбы с деформациями при резке являются:

- выбор рациональной технологии — правильное начало резки на оптимальном режиме, избегание мощного подогреваемого пламя, вырезание заготовки не из целого листа, а из предварительно нарезанных карт. При вырезке деталей из большого листа сначала режут по тем сторонам детали, которые имеют наименьший припуск на обработку кромок. При машинной

резке процесс ведут непрерывно, напроход по всему периметру детали одновременно несколькими резаками;

- применение жесткого закрепления концов реза: сначала выполняют продольные резы, не доводя их до конца, а затем поперечные с образованием перемычек. Тогда деформация вырезанных полос будет одинаковой. Перемычки выполняют также при вырезании фигурных деталей;
- предварительный подогрев места вырезки детали до температуры 300–500 °С, что способствует равномерному охлаждению металла. Этот способ рекомендуется для вырезки мелких и тонких элементов, а также для плохо разрезаемых и склонных к образованию закалочных структур сталей. Деформации можно уменьшить, непрерывно охлаждая водой зоны термического влияния, а саму резку выполняя на стеллажах с большим числом опор.

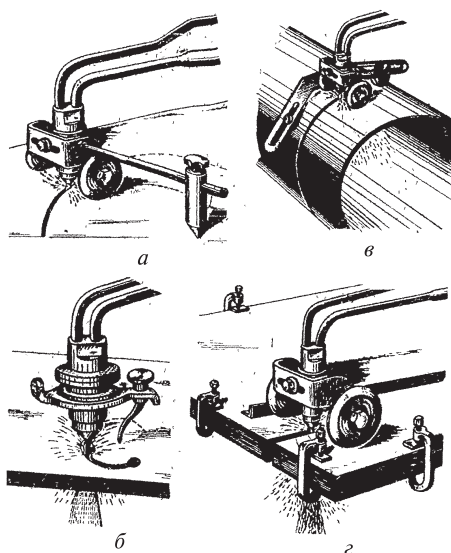


Рис. 15.2. Приспособления к резаку:

а — для вырезки фланцев;
б — для вырезки отверстий;
в — для резки труб; *г* — для пакетной резки

Кислородно-флюсовая резка состоит в том, что в зону реза с режущим кислородом вводится специальный порошкообразный флюс, при сгорании которого выделяется дополнительная теплота, повышается температура; причем продукты сгорания флюса, взаимодействуя с тугоплавкими оксидами, легко удаляются из зоны разреза.

Состав флюсов определяется в зависимости от вида резки и свойств разрезаемого металла или сплава. Так, для раздельной и поверхностной кислородно-флюсовой резки нержавеющей сталей применяют железный порошок (100 %), раздельная резка чугуна осуществляется с помощью смеси 65–75 % железного порошка и 3–25 % доменного феррофосфора. Для резки меди применяют флюс с 70–80 % железного порошка и 30–20 % алюминиевого порошка и т.д.

Разрезаемость легированных сталей зависит от их состава и условий выполнения процесса.

Хромоникелевые аустенитно-ферритные стали разрезаются без ограничений; при резке желательно интенсивное охлаждение.

Для получения качественного реза хромоникелевых аустенитных сталей требуется интенсивное охлаждение кромок при резке или дальнейшая термообработка — нагрев до температуры 1050–1150 °С и быстрое охлаждение.

Резку высокохромистых сталей с 16–30 % Cr и до 0,3 % C следует вести с максимальной скоростью; после резки металл нагревают до температуры 750–850 °С и охлаждают в воде или струей сжатого воздуха. Высокохромистые стали с 12–18 % Cr и C до 0,15 % подогревают до 250–300 °С; после резки целесообразно провести отжиг при температуре 650–950 °С. Хромистые стали (5–15 % Cr и до 0,5 % C) предварительно подогревают до 250–300 °С; после резки рекомендуется закалка с отпуском.

Техника кислородно-флюсовой резки такая же, как и кислородной. Она может быть и ручной, и механизированной. Наилучшие результаты получают при резке хромоникелевых и хромистых сталей, удовлетворительные — при резке чугуна. Качество резов меди и алюминия низкая, и после кислородно-флюсовой резки требуется механическая обработка кромок. В настоящее время плазменно-дуговая резка вытесняет кислородно-флюсовую.

Кислородное копье — тонкостенная стальная трубка с флюсом с внешним диаметром 20–35 мм — подсоединяется к рукоятке с вентилем для кислорода, который подается к месту реза. Перед началом процесса конец трубки подогревают до температуры возгорания, горячим концом копья сильно прижимают к изделию (металл, бетон, железобетон) и прожигают отверстие. Образующиеся шлаки давлением кислорода и газов удаляются в зазор меж-

ду копьём и стенкой проплавленного отверстия, для чего копьём сообщают возвратно-поступательное и вращательное движения.

В качестве флюса используется смесь 85 % железного и 15 % алюминиевого порошков, а стальные трубки имеют диаметр $\frac{1}{4}$ ", $\frac{3}{8}$ " и $\frac{1}{2}$ ". Наиболее эффективно использование кислородно-флюсового копия диаметром $\frac{3}{8}$ " при расходе флюса 30 кг/ч.

Резаки для кислородной резки служат для смешивания горючего газа с кислородом, образования подогревающего пламени и подачи струи режущего кислорода к разрезаемому металлу. Самые распространенные резаки — универсальные инжекторные, которыми можно резать сталь толщиной от 3 до 300 мм (рис. 15.3). Такой резак имеет каналы 1 и 2 для подвода кислорода и ацетилена, смонтированные в рукоятке 3, соединенной с корпусом 4, в котором расположен инжектор 6. Часть кислорода вентилем 15 направляется в инжектор 6 и засасывает ацетилен, подаваемый через вентиль 5. В смесительной камере 8 образуется смесь газов, которая по трубке 9 подается в наружную часть 12 мундштука и, выходя из него через кольцевую щель вокруг внутренней части мундштука, сгорает, образуя подогревающее пламя. Обе части мундштука ввинчены в головку 10. Смесительная камера 8 с трубкой 9 крепится к корпусу 4 накидной гайкой 7.

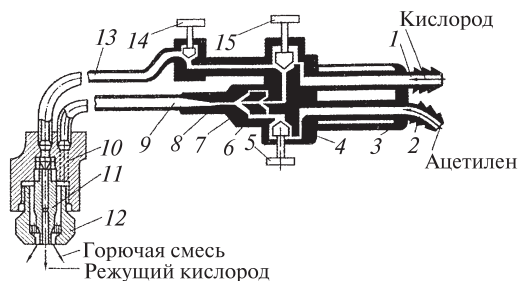


Рис. 15.3. Схема универсального инжекторного резака «Факел»:

1, 2 — каналы для подвода кислорода и ацетилена; 3 — рукоятка; 4 — корпус; 5, 14, 15 — вентили; 6 — инжектор; 7 — накидная гайка; 8 — смесительная камера; 9, 13 — трубки; 10 — головка; 11 — внутренняя часть мундштука; 12 — наружная часть мундштука

После разогрева зоны реза открывают вентиль 14 режущего кислорода, который по трубке 13 поступает во внутреннюю часть 11 мундштука, имеющую центральное отверстие, которое

образует струю режущего кислорода. Ниппели на концах трубок, образующих каналы 1 и 2, имеют разные резьбы для соединения резака со шлангами, по которым подаются газы: правую резьбу для кислорода и левую для ацетилена.

Резаки снабжаются сменными мундштуками, обеспечивающими различную мощность пламени и расход режущего кислорода. Выбирают их в зависимости от толщины разрезаемого металла и различают по номерам — от 0 до 6 в порядке возрастания мощности пламени. Мундштуки могут быть щелевыми, дающими кольцевое пламя, и многосопловыми. В тех и других режущий кислород проходит по центральному каналу. Щелевые мундштуки применяют чаще, так как они проще в изготовлении и более надежны в эксплуатации, а в многосопловых мундштуках засорение отверстий сопла легко приводит к хлопкам и обратным ударам пламени.

Все мундштуки изготавливаются из бронзы БрХ0,5, на ее поверхности образуется тугоплавкая пленка оксида хрома, которая уменьшает возможность прилипания брызг.

Специальные вставные резаки применяют при монтажных и ремонтных работах, когда есть частые переходы от сварки к резке и наоборот; эти резаки подключают к стволам универсальных сварочных горелок.

Керосинорезы довольно распространены, и в них для образования подогревающего пламени используют в смеси с кислородом пары керосина, образующиеся в специальной испарительной камере, через которую проходит керосин и нагревание которой осуществляется дополнительным пламенем. Чаще всего керосинорезы используют при ремонтных работах на монтаже, внутри изделий, когда использование горючих газов связано с трудностями транспортирования баллонов и соображениями безопасности труда.

Машинная кислородная резка выполняется на стационарных и переносных аппаратах.

Стационарные аппараты применяются при массовой подготовке деталей к сварке, для вырезки однотипных заготовок, раскроя листового металла и т.д. Они осуществляют как прямолинейную резку, так и фигурную. Каждая машина состоит из несущей части, одного или нескольких резаков, ведущего механизма и пульта управления. Основным узлом стационарных машин явля-

ется система копирования — фотоэлектронного, дистанционно-масштабного и программного.

Переносные машины представляют собой самоходные тележки, оснащенные машинными резаками и приводом — электродвигателем, пружинным механизмом или газовой турбиной. Они размещаются непосредственно на листе или трубе и выполняют те же функции, что и стационарные машины. Их движение осуществляется по разметке, циркульному устройству, направляющим или гибкому копиру.

Разработанная для кислородно-флюсовой резки установка УРИС-5 состоит из флюсопитателя ФП-1–65 с регулируемым цикловым устройством, специального кислородно-флюсового резака РАФ-1–65 и работает по схеме внешней подачи флюса, благодаря чему с помощью специальной оснастки для этого процесса можно переоборудовать любые ручные и машинные резаки.

Установка УФР-5 применяется для кислородно-флюсовой резки железобетона, огнеупоров, для порошково-копьевой резки и прожигания и состоит из копьедержателя, флюсопитателя с тележкой и ручного резака.

Некоторые итоговые данные о возможности и целесообразности использования способов термической резки приведены в табл. 15.1.

Таблица 15.1

Современные способы термической резки черных и цветных металлов

Металл	Дуговая	Воздушно- дуговая	Плазмен- но-дуговая	Газо- кисло- родная	Кислород- но-флюсовая
Низкоуглероди- стая сталь	+	+	+	+	±
Коррозионно- стойкая сталь	+	+	+	—	+
Чугун	+	+	+	—	+
Алюминий и его сплавы	±	±	+	—	—
Медь и ее сплавы	+	±	+	—	±
Никель	±	±	+	+	±
Титан	±	±	+	—	±

Окончание табл. 15.1

Металл	Дуговая	Воздушно- дуговая	Плазмен- но-дуговая	Газо- кисло- родная	Кислород- но-флюсовая
Магний и его сплавы	—	—	+	—	—
Бетон, огнеупоры	—	—	+	—	+

Примечания: + резка целесообразна; ± резка нецелесообразна; — резка невозможна.

Дуговая и плазменная резка металлов. Хорошие результаты при разделительной резке металлов достигаются при использовании *воздушно-дуговой резки*, когда сжатый воздух подается в зону плавления, выдувая расплавленный металл с линии разреза. Резка выполняется во всех пространственных положениях на постоянном токе обратной полярности или на переменном с использованием графитовых электродов, которые применяют также для устранения дефектов сварных швов, поверхностных повреждений, например от кавитационной эрозии, разделки кромок под сварку и т.д.

Недостатками воздушно-дуговой резки являются науглероживание поверхности резания и необходимость дополнительной механической обработки.

При *плазменно-дуговой резке* металл проплавляется на узком участке по линии реза, а затем удаляется струей плазмы, образующейся в дуге. Вследствие того что температура плазменной дуги выше, чем обычной, можно обрабатывать металлы и сплавы, которые не поддаются кислородной резке (высоколегированные стали, алюминий, медь и их сплавы), и получать качество реза, более высокое, чем воздушно-дуговым способом.

С увеличением толщины металла от 10 до 80 мм для коррозионно-стойких сталей, медных и алюминиевых сплавов ширина реза увеличивается с 5–6 мм до 12–15 мм, а припуск на механическую обработку возрастает с 2 до 5 мм.

В зависимости от свойств разрезаемых металлов для образования плазменного потока применяются различные газовые среды (табл. 15.2). Толщина разрезаемого металла ограничивается рабочим напряжением процесса.

Таблица 15.2

Рабочая среда для плазменной резки

Газ		Разрезаемый металл		
Плазмобразующий	Защитный	Сталь		Алюминий
		Низкоуглеродистая	Нержавеющая	
Воздух	Воздух	++	++	++
O ₂	Воздух	+++	—	—
N ₂	CO ₂	+	++	+++
N ₂	Воздух	+	++	++
N ₂	H ₂ O	+	+++	+++
Ar + 35 % H ₂	N ₂	—	+++	+++

Примечания: +++ исключительно высокое качество реза, не нужно дополнительной механической обработки кромок, высокая стойкость электрода;

++ хорошее качество реза, высокая стойкость электрода;

+ удовлетворительное качество реза, требуется механическая обработка кромок, высокая стойкость электрода;

— использование не рекомендуется.

При максимально допустимом рабочем напряжении плазматрона 120–140 В наибольшая толщина разрезаемых коррозионно-стойких и углеродистых сталей, алюминиевых и медных сплавов составляет 80–100 мм.

Если в качестве плазмобразующего газа применяется кислород, поверхность реза низкоуглеродистой стали пригодна для сварки без дополнительной обработки. При использовании воздуха или азота механическая обработка кромок обязательна.

Параметрами режима плазменно-дуговой резки являются: сила тока, диаметр сопла, напряжение плазменной дуги, скорость резки и расход газа.

С целью улучшения условий труда, повышения качества кромок, уменьшения тепловых деформаций деталей и увеличения скорости резки процесс выполняют с дополнительной подачей воды в зону резания. Техника плазменно-дуговой резки такая же, как и газокислородной и воздушно-дуговой, зажигание дуги осуществляется с помощью осциллятора, который выключается сразу после образования дуги.

При *лазерной резке* благодаря высокой концентрации энергии в световом луче происходят локальное плавление и испарение материала любого состава — стали, стекла, пластмассы, дерева, керамики, текстиля и т.д. Параметрами режима этого вида резки являются:

- мощность, которая зависит от толщины и природы материала;
- вид режущего газа (кислород, азот, воздух), определяемый природой материала и его толщиной;
- скорость резки, зависящая от природы металла, его толщины и мощности лазера.

Электродуговая резка покрытыми и графитовыми электродами выполняется на оборудовании и аппаратуре для ручной дуговой сварки. Плазменная резка осуществляется ручным и механизированным способами.

Резаки для воздушно-дуговой резки конструктивно подобны обычным электрододержателям для ручной дуговой сварки. Отличие лишь в том, что они имеют дополнительную втулку с отверстием для подвода сжатого воздуха. Для резки используют как самодельные электрододержатели, так и промышленного изготовления для ручной и полуавтоматической строжки и резки.

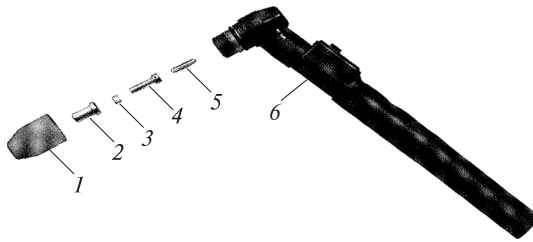


Рис. 15.4. Резак для ручной плазменной резки

Резак (рис. 15.4) является главным узлом горелки для плазменной резки. К стволу 6 через палец клапана 5 присоединяется электрод 4. За электродом расположены кольцевой завихритель 3 и сужающееся сопло 2, где плазменный поток становится жестким, его энергия более концентрированной, а скорость и режущая способность дуги растут. На конце резака находится керамическое сопло 1, по центру которого проходит плазменный поток, а по периферии подается газ для защиты зоны резки металла. Кроме того, защитный газ охлаждает резак.

Материал электрода зависит от вида плазмообразующего газа. Если это аргон или аргоноводородная смесь, материалом электрода является чистый вольфрам или вольфрам с примесями лантана, тория или иттрия. В других случаях используют сменные гильзовые медные электродные пленочные катоды с гафниевыми или циркониевыми вставками, которые образуют соответствующие оксидные электропроводные пленки и могут довольно длительное время работать в окислительной среде. Работоспособность катодного узла зависит от силы тока (чем она больше, тем скорее изнашивается катод) и вида системы охлаждения (водоохлаждаемый катод служит дольше). Так, для машинных плазмотронов с циркониевыми катодными вставками и водным охлаждением при силе тока 250–300 А продолжительность работы катода не превышает 4–6 ч.

Все элементы резака должны плотно прилегать друг к другу, но их пережатие недопустимо, так как приведет к порче резьбы на стволе. Для плазменной резки в качестве источника питания применяют дугу постоянного тока с крутопадающими вольт-амперными характеристиками и напряжением холостого хода 180–500 В.

Машинная резка выполняется на оборудовании, принцип работы и конструкция которого не отличаются от машин для кислородной резки.

Возможность и целесообразность использования некоторых термических видов резки приведены в табл. 15.1 и 15.2.

Контрольные вопросы

1. В чем особенности газокислородной резки?
2. Перечислите условия разрезаемости сталей и сплавов.
3. Как влияют легирующие элементы на разрезаемость сталей?
4. Назовите параметры режима резки. Как они влияют на качество реза?
5. Как влияет степень чистоты кислорода на качество реза?
6. Какие параметры характеризуют рез?
7. Что собой представляют шероховатость и неперпендикулярность реза?
8. Какие устройства упрощают процесс резки листового и профильного металла?
9. Как связаны толщина разрезаемого металла и параметры режима резки?

10. В чем сущность кислородно-флюсовой резки? Где она применяется?
11. Каким образом выполняют отверстия в железобетонных изделиях?
12. Какое устройство снабжено резаком для газокислородной резки?
13. Как устроен резак для керосинокислородной резки?
14. Где используется оборудование для механизированной резки? Какое его устройство?
15. Каким образом можно разрезать металл сварочной дугой?
16. В чем сущность воздушно-дуговой резки? В каких областях она используется?
17. В чем сущность плазменной резки?
18. Как влияют условия газовой среды на качество реза?
19. Как устроен резак для воздушно-дуговой резки?
20. Какое устройство имеет резак для плазменно-дуговой резки?
21. В каких областях используется механизированная плазменная резка?
22. Какие особенности характерны для газолазерной резки?

ДЕФЕКТЫ СВАРНЫХ ШВОВ

Технология производства сварных конструкций. Исходными данными для разработки технологического процесса изготовления сварной конструкции являются:

- чертежи изделия и технические условия, которые содержат сведения о материале заготовок, их размерах и конфигурации, типах сварных соединений, уровне их ответственности, требованиях к материалам и оборудованию, к выполнению технологических и контрольных операций, критерии качества сварных соединений;
- программа выпуска, определяющая выбор оборудования, технологической оснастки и уровня механизации, что позволяет оценить экономическую эффективность технологического процесса, который состоит из основных последовательно выполняемых операций (заготовительных, сборочных, сварочных, контрольных, отделочных) и вспомогательных операций (транспортировочных, кантовочных и т.п.).

Все технологические операции для одиночного и мелкосерийного производства описываются на маршрутных картах по ГОСТ 3.1118–82, а для серийного и массового производства более подробно на операционных картах по ГОСТ 3.1407–86, где приводится описание всех операций различных видов работ в их технологической последовательности с указанием параметров режима сварки, оборудования, инструмента, оснастки, материалов и норм времени. Нередко карты дополняются набросками, схемами, таблицами, необходимыми для понимания и выполнения операций и переходов.

Качество сборки и сварки деталей зависит от качества их изготовления. Металлопрокат, поступающий на предприятие, часто требует правки, которая выполняется на многовалковых листо-

или сортоправильных машинах в холодном состоянии. Если получен толстый, сильно деформированный металл, используют локальный поверхностный нагрев газовыми горелками. Поверхность металла очищают от загрязнений, ржавчины и окалина на механизированных линиях, в которые встроены дробеметные механизмы с камерами для покрытия очищенных поверхностей грунтом, защищающим их от окисления.

Разметку выполняют вручную, используя стандартный инструмент (линейки, угольники, циркули, кернеры и т.п.), или с помощью шаблонов. Линии наносят мелом, кернером, графитовым карандашом или рисками с учетом припусков на механическую обработку и сварку.

Для *механической резки* применяют гильотинные, универсальные пресс-ножницы или дисковые ножницы, механические пилы, абразивные круги, штампы для вырубки.

Ручным и полуавтоматическим термическим способом разрезают по разметке, а автоматическим — по копиям, по чертежам-копиям или на машинах с программным управлением. Механическую обработку по разделке кромок выполняют на кромкострогальных или фрезерных станках, а иногда сочетают с термическими способами резки.

Детали цилиндрической или конической формы получают гибкой листов в трех- или четырехвалковых вальцах в холодном или горячем состоянии или штамповкой. Детали сложной кривизны изготавливают вытяжкой, вальцовкой, обтяжкой, выдавливанием на специальных машинах.

Гибка деталей из сортового проката (уголок, швеллер, труба и т.п.) выполняется на роликогибочных и трубогибочных станках, оснащенных комплектом гибочных роликов для каждого вида профиля. Кромки деталей зачищают от грата, заусенцев, ржавчины с помощью пневмозубил и шлифовальных машинок с абразивными или проволочными кругами.

Трудоемкость сборки деталей под сварку составляет от 10 до 32 % общей трудоемкости изготовления сварного изделия.

Существуют два варианта выполнения сборочных и сварочных работ: 1) последовательное присоединение деталей и их приварка к ранее сваренной части изделия; 2) поузловая сборка и сварка, когда изделие разделяют на технологические узлы, которые составляют и сваривают отдельно, а затем из них составляют

и сваривают изделие в целом. Относительно простые изделия с небольшим числом деталей простой формы изготавливают по варианту 1 или 2. Сложные пространственные конструкции целесообразно разделить на технологические узлы. Наиболее трудоемкой, особенно в единичном и мелкосерийном производстве, является работа сборщиков сварных изделий, где степень механизации не превышает 5 %.

Устройства и оснастка как сборочных, так и для сварки уже собранных узлов (см. гл. 14) несущественно облегчают труд рабочих. Лишь при значительных программах выпуска изделий возможно использование более производительных приспособлений и оснастки.

Дефекты сварных швов и причины их образования. Эксплуатационная надежность и экономичность металлоконструкций определяются качеством их изготовления. Наличие дефектов может не только ухудшать их работоспособность, но и приводить к созданию аварийных ситуаций. Дефекты возникают из-за использования некондиционных основных и сварочных материалов, низкой квалификации кадров, несоответствующих условий труда, плохого технического состояния оборудования и оснастки — всего того, что определяет технологическую культуру производства.

Внешние и внутренние дефекты сварных соединений (ГОСТ 30242–97) связаны с металлургическими, термическими, гидродинамическими процессами образования, формирования и кристаллизации сварочной ванны, ее охлаждения, с формированием сварных швов.

Кристаллизационные, или горячие, трещины появляются при затвердевании сварочной ванны — тогда, когда металл находится в твердожидком состоянии, т.е. в интервале температур ликвидус—солидус, и развиваются при дальнейшем охлаждении металла. Затвердевание его сопровождается действием растягивающих напряжений, возникающих вследствие неравномерного нагрева и охлаждения, жесткого закрепления деталей и затрудненного укорочения металла шва в процессе охлаждения. Кристаллизационные трещины могут иметь разную направленность (рис. 10).

Стойкость против горячих трещин снижают:

- вредные примеси — сера и фосфор, которые образуют легкоплавкие сульфидные и фосфидные прослойки на границах

растущих кристаллитов металла шва. Поэтому их содержание в электродных материалах ограничивают 0,02–0,04 % S и 0,03–0,06 % P;

- углерод, который усиливает действие серы, поэтому при сварке среднеуглеродистых сталей используют низкоуглеродистую проволоку, легированную кремнием, марганцем и хромом, и снижают долю основного металла в шве.

Важную роль играет форма сварного шва и ее показатель — коэффициент формы провара. При узком и глубоком проваре $\Psi = 0,8–1,2$ и кристаллиты растут навстречу друг другу; срастаясь, они мешают всплытию легкоплавких соединений, которые остаются в середине шва. С увеличением коэффициента Ψ до 2–5 углы растущих кристаллитов становятся острее и компоненты эвтектики могут всплывать на верх ванны. Такое значение Ψ может быть принято за оптимальное.

Чтобы увеличить стойкость против горячих трещин, измельчают первичную структуру, в результате чего уменьшается степень химической неоднородности и соответственно концентрация вредных примесей на границах кристаллитов. С этой целью в сварочную ванну вводят элементы-модификаторы — титан, редкоземельные металлы, создающие в жидком металле мелкие тугоплавкие частицы, которые становятся зародышами кристаллитов.

Растягивающие напряжения невозможно полностью устранить, нужно их максимально сократить, выбрав оптимальную форму разделки, уменьшить число и скопление швов и жесткость закрепления.

Холодные трещины возникают вследствие образования закалочных структур. Это характерно для сварки мартенситных и перлитных сталей, а также при избыточном содержании водорода. Чаше всего холодные трещины возникают в околошовной зоне, реже — в металле шва и в виде сколов в околошовной зоне (рис. 5).

Особенностью холодных трещин является то, что они могут возникать и через несколько минут после сварки, и через несколько десятков суток в результате чрезмерного содержания водорода в металле шва. Поэтому в ряде зарубежных стандартов, например в европейском EN 499 и немецком DIN 8529, предусмотрено, что максимальное содержание водорода в металле шва не должно превышать 5–15 см³/100 г. Склонность к образованию холодных тре-

щин можно уменьшить путем предварительного подогрева конструкции и ее замедленного охлаждения.

Пористость возникает при кристаллизации металла вследствие выделения газов из сварочной ванны. Поры могут быть как внутренними, так и выходить на поверхность шва (рис. ☁ 11).

Причиной образования пор является присутствие азота и оксида углерода, которые не успевают выделиться при кристаллизации и вследствие малой растворимости в твердом металле заполняют его в виде пузырьков. Рост скорости кристаллизации, характерный для меди, алюминия, способствует развитию пористости, тогда как снижение скорости сварки, увеличение объема сварочной ванны, уменьшение теплоотвода в основной металл, повышение его начальной температуры снижают скорость кристаллизации, способствуют уменьшению пористости.

Неметаллические включения представляют собой оксидные, нитридные, сульфидные и фосфидные соединения и обусловлены содержанием газов и вредных примесей в основном и электродном металлах. Хотя напрямую они не являются дефектами сварных швов, но они особенно негативно влияют на их пластические и динамические свойства в результате образования пленок, эвтектик, выделений на границах зерен. Такие включения являются концентраторами напряжений, способствуют образованию горячих и холодных трещин, старению и т.п. Поэтому к электродным материалам предъявляются требования минимального содержания вредных примесей.

Непровар — местное отсутствие сплавления двух свариваемых кромок как между основным металлом и швом, так и между отдельными слоями при многослойной сварке (рис. ☁ 12). Непровары уменьшают сечение шва, могут выступать концентраторами напряжений, иногда в пустоты затекает шлак, образуя шлаковые включения.

Причинами этого дефекта являются уменьшение силы тока, неточное размещение электрода относительно оси шва, неправильная последовательность наложения швов при многослойной сварке, неверное возобновление процесса сварки после замены электрода при ручной сварке, повышение скорости сварки и т.д.; можно сказать, что на качество существенно влияют квалификация сварщика и добросовестность выполнения им своих обязанностей.

Подрезы — местные уменьшения толщины основного металла на границе со швом, возникающие при сварке стыковых и угловых швов (рис. 16.1). Причиной их являются чрезмерно высокое напряжение на дуге, неверное положение электрода относительно оси шва, плохое растекание металла и т.д. Они являются концентраторами напряжений, уменьшают расчетное сечение шва и существенно ухудшают вибрационную прочность металлоконструкции. При небольших размерах (до 1–2 мм) их устраняют механической обработкой, при бóльших — заправляют швом достаточного сечения.

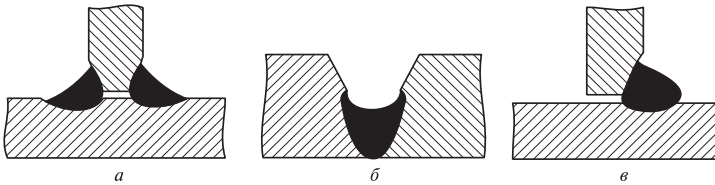


Рис. 16.1. Подрезы:

а — двусторонний при сварке углового шва; *б* — двусторонний при сварке первого слоя многослойного стыкового шва; *в* — односторонний с наплывом на вторую кромку при сварке углового шва

Наплывы — натекание расплавленного металла на поверхность основного металла без сплавления с ним. Наплывы (рис. ☁ 13) и *бугристость* (рис. ☁ 14) возникают вследствие избыточного расплавления металла при неверном выборе параметров режима сварки и плохой подготовке поверхности и являются концентраторами напряжений, в зазоре могут интенсивно протекать коррозионные процессы, которые ускоряют разрушение изделия. Для предупреждения этих дефектов надо корректировать параметры режима сварки и проводить разделку кромок для размещения в ней лишнего металла.

Шлаковые включения и каналы — заполненные и незаполненные шлаком полости, которые возникают при непроварах, подрезах, больших зазорах, остатках неочищенной шлаковой корки и т.п. При превышении в шве их допустимых размеров подлежат вырубке и повторной заварке.

Кратеры — углубления, образованные в результате усадки металла в конце шва при обрыве дуги, где скапливаются загрязнения сварочной ванны, рыхлоты, трещины и т.п. Они уменьшают рас-

четное сечение шва, являются концентраторами напряжений, поэтому подлежат обязательному устранению. При автоматической сварке их размещают на выводной планке, которая вместе с кратером вырезается после сварки шва. При ручной и полуавтоматической сварке кратер тщательно заваривают. Для заварки кратера разработаны специальные устройства, например в автоматах для автоматической сварки неплавящимся электродом.

Прожоги — полости в шве, образованные в результате вытекания сварочной ванны вследствие избыточного сварочного тока, особенно при сварке тонкостенного металла, увеличения зазора из-за некачественной подготовки кромок под сварку. Эти дефекты недопустимы и требуют повторной заварки.

Контрольные вопросы

1. Почему возникают дефекты в сварных швах?
2. Назовите причины возникновения горячих трещин, холодных трещин.
3. Назовите причины возникновения пор. Какова их допустимость?
4. Назовите причины возникновения непроваров.
5. Назовите причины возникновения подрезов и наплывов.
6. В каких случаях возникают прожоги?

МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Различают дефекты:

- внешние, которые могут быть обнаружены при внешнем осмотре и обмере сварных швов, — несоответствие шва заданным геометрическим размерам, подрезы, наплывы, трещины, поры, шлак на шве, незаплавленные кратеры, видимые непровары, бугристость, брызги металла, прожоги;
- внутренние, обнаруживаемые только с помощью специальных методов и приборов, — поры, трещины, непровары, шлаковые включения.

Степень допустимости дефектов сварного изделия регламентируется техническими условиями на его изготовление, а при изготовлении изделий общестроительного назначения — соответствующими нормами (СНиП).

Визуально-оптические методы. Для определения внешних дефектов в сварных швах осуществляют визуальный осмотр (ГОСТ 3242–79), часто с использованием лупы ($\times 10$). Перед осмотром сварной шов и околошовную зону по 20 мм с каждой стороны зачищают от шлака, брызг и загрязнений. Стыки паропроводов из аустенитных сталей подвергают механической и химической обработке. Размеры сварного шва и дефектных участков определяют измерительным инструментом (рис. 17.1) и по специальным шаблонам (рис. 15).

Обработку шва вырубкой, сверлением, термическим резанием осуществляют для определения дефектов в сомнительных местах после проведения контроля другими методами и для контроля угловых швов. Например, в шве сверлят углубления диаметром на 2–3 мм больше ширины шва, поверхность шлифуют и травят

15%-ным раствором азотной кислоты. При этом выявляются границы шва и возможные дефекты.

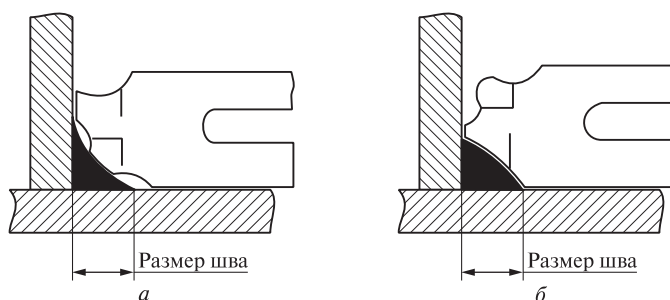


Рис. 17.1. Схемы замеров параметров вогнутого (а) и выпуклого (б) угловых швов

Границы трещин выявляют сверлением, подрубкой металла зубилом, шлифовкой дефектного участка и последующим травлением. После нагрева металла до вишнево-красного цвета появляются трещины в виде темных зигзагообразных линий. Если предусмотрена термообработка сварного соединения, контроль выполняют после нее.

Технологическая проба выполняется для определения сплавления металла, характера излома соединения (по шву или основному металлу), наличия непроваров и других внутренних дефектов с помощью лупы 10-кратного увеличения. Такая проба осуществляется при аттестации сварщиков, сварочных материалов и выбранной технологии сварки.

Люминесцентная и цветная дефектоскопия (ГОСТ 18442–80) осуществляется за счет введения флуоресцирующего раствора или ярко-красной проникающей жидкости (краска Судан III), которые затем удаляются с поверхности. При люминесцентной дефектоскопии под действием ультрафиолетовых лучей происходит видимое свечение раствора, адсорбированного в полости дефекта, при цветной – на белом фоне появляется красный рисунок, форма которого повторяет форму дефекта.

Контроль выполняется следующим образом: 1) наносят на поверхность индикаторную жидкость (смесь керосина со скипидаром с добавкой краски), проникающую внутрь дефекта; 2) смывают жидкость с поверхности, но в дефектах она остается; 3) наносят

на поверхность порошок или раствор проявителя (раствор каолина в этиловом спирте). Когда он высыхает, в него из дефекта вытягивается индикаторная жидкость, окрашивая места дефектов. Этим методом выявляются дефекты шириной от 1 мкм, глубиной от 10 мкм и длиной от 0,1 мм.

С помощью данных методов выявляются поверхностные дефекты, главным образом трещины, в том числе на сварных соединениях из немагнитных сплавов.

Для цветной дефектоскопии используют готовые комплекты типа ДАК-211.

Контроль плотности капиллярным методом (керосиновая проба EN 1289–2002) служит для определения плотности сварных швов на металле толщиной до 10 мм (способен обнаружить дефекты 0,1 мм и более) и осуществляется так: 1) покрывают доступную для осмотра сторону шва суспензией мела или каолина (350–400 г каолина растворяют в 1 л воды); для испытания при минусовых температурах суспензию готовят на основе спирта и наносят распылителем; 2) после высыхания суспензии противоположную сторону несколько раз смачивают керосином под давлением, например с помощью газорезательной горелки; 3) выдерживают изделие не менее 12 ч при плюсовой температуре и 24 ч при минусовой. В местах сплошных дефектов появляются индикаторные пятна.

Пневматические испытания на плотность базируются на возникновении с одной стороны шва избыточного давления воздуха и нанесении на другую сторону мыльной пены (100 г хозяйственного мыла на 1 л воды; зимой 60 % воды заменяют спиртом), которая образует пузыри под давлением проникающего через несплошности сжатого воздуха, в результате чего давление на манометре уменьшается. Небольшие сосуды под давлением опускают в воду и следят за появлением пузырей выходящего воздуха. Иногда швы обдувают сжатым воздухом под давлением 0,4–0,5 МПа на расстоянии до 50 мм.

Вакуумный метод испытаний на плотность осуществляется при образовании вакуума и регистрации проникновения воздуха сквозь дефекты на одной, доступной для испытания стороне шва. При этом выявляются неплотности размером 0,1 мм и больше в металле толщиной до 16 мм. В качестве индикатора используют раствор: 250 г хозяйственного мыла на 10 л воды, а зимой — вод-

ный раствор хлористой соли с концентрированным раствором экстракта лакричного корня (1 кг экстракта на 0,5 л воды). Для образования вакуума используют плоские, кольцевые и сегментные камеры с вакуумом 5–6 кПа. Продолжительность испытания 20 с.

Контроль плотности методом химических реакций выполняется путем нанесения на внешний шов 4%-ного спиртово-водного раствора фенолфталеина или наложения марли, пропитанной 5%-ным раствором азотистого серебра, и создания внутри изделия давления воздушно-аммиачной смеси (аммиак в количестве не менее 1 % количества воздуха накачивают при дальнейшем росте давления до 1,25 рабочего). После выдержки в течение 10 мин фенолфталеин в местах сплошных дефектов окрашивается в ярко-красный цвет с фиолетовым оттенком, азотистое серебро — в серебристо-черный. Этот способ рекомендуется для испытания сварных стыков диаметром до 50 мм, а также трубопроводов, сваренных под углом (вместо просвечивания).

Гидравлические испытания осуществляют следующим образом: наливают воду на полную высоту сосуда и выдерживают не менее 2 ч или поливают из шланга, из брандспойта (диаметр выходного отверстия 15–30 мм) под давлением не ниже 0,1 МПа (для открытых сосудов). При испытании с дополнительным давлением это давление создают в наполненном водой закрытом сосуде с помощью напорной трубы диаметром менее 30 мм, а также гидравлического насоса. Давление задается техническими условиями. Дефектные места определяют по наличию капель, струй воды или затопеваний.

Все эти методы предполагают использование относительно простых средств, которые входят в *специальный комплект для визуального контроля*:

- универсальный шаблон сварщика УШС-3 для контроля элементов разделки под сварной шов, электродов и элементов сварного шва;
- лупы: трехкратная ЛП-3, шестикратная ЛГТ06 для осмотра деталей, мелких предметов;
- лупа измерительная десятикратная ЛИ-10 для измерения линейных размеров плоских предметов с помощью шкалы на пластине из стекла;
- штангенциркуль ШЦ-1–125–0,1 с глубиномером;
- линейка металлическая Л-300;

- набор радиусных шаблонов для оценки радиусов выпуклых и вогнутых поверхностей № 1 ($R = 1-6$ мм), № 3 ($R = 7-25$ мм);
 - набор щупов для контроля зазоров № 4 (0,1–1 мм);
 - уголок металлический 150×100 мм У90;
 - фонарик миниатюрный;
 - смотровое (прямоугольное) зеркало (поворотное) $L = 140$ мм.
- Комплект инструментов размещается в специальном футляре.

Радиационные методы. В основе радиационных методов контроля (EN 12517–2002) лежат ионизационные излучения в виде рентгеновских лучей и гамма-излучений электромагнитной природы, обладающих энергией, большей, чем световая.

Рентгеновское излучение образуется в рентгеновской трубке при пропускании тока через катод из вольфрамовой проволоки; вследствие его нагрева до высокой температуры начинается эмиссия электронов в направлении анода, изготовленного в форме пластин из вольфрама или молибдена, откуда появляется так называемое тормозное излучение, имеющее непрерывный спектр.

Гамма-излучение образуется при распаде ядер радиоактивных материалов — искусственных изотопов, которые получают при бомбардировке ядер элементов нейтронами. Последние присоединяются к атому и переводят его в неустойчивое состояние, которое переходит в распад. При характеристике изотопов оперируют таким показателем, как период полураспада, продолжительность которого зависит от природы изотопа и может изменяться от десятков дней (тулий-170, иридий-192) до нескольких лет (цезий-137, кобальт-60). Гамма-излучение имеет очень короткую длину волны, не имеет заряда и не отклоняется ни магнитными, ни электрическими полями, может проникать сквозь стальные изделия толщиной до 500 мм.

Радиационные методы контроля основаны на регистрации и анализе ионизирующего излучения при его взаимодействии с контролируемым изделием. Обычно используют эффект проходящего излучения и его различное поглощение при прохождении через дефектный и бездефектный участки сварного соединения. Для выявления дефектов в изделиях с одной стороны устанавливают источник излучения, а с другой — детектор, который регистрирует информацию о внутреннем устройстве контролируемого объекта (рис. 17.2).

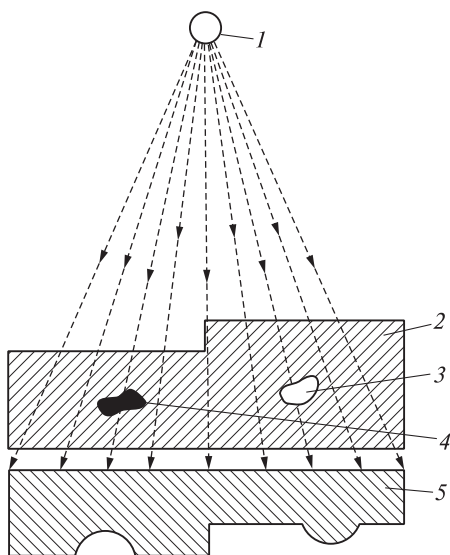


Рис. 17.2. Схема просвечивания изделия рентгеновским или гамма-излучением

Излучение от источника *1* проходит через изделие *2*, которое имеет внутренние дефекты *3, 4* с различной плотностью. В дефектных и бездефектных местах излучение будет поглощаться по-разному и выходить на детектор с разной интенсивностью. Если дефект *3* заполнен воздухом или газом (раковина), интенсивность ослабляется меньше, чем в основном металле, и наоборот, если дефект *4* заполнен более плотным материалом, например вольфрамом, чем основной, интенсивность излучения уменьшается, что видно из эпюры *5*.

В зависимости от типа используемого детектора существуют три основных метода радиационного контроля – радиографический, радиоскопический и радиометрический.

Радиография. Сварные швы необходимо надлежащим образом подготовить к просвечиванию: очистить их от шлака, загрязнений, поверхностных дефектов, промаркировать участки контроля, что после просвечивания позволит точно указать размещение внутренних дефектов. Таким же образом маркируются кассеты и пленки. Пленку заряжают в кассету, которую закрепляют на изделии, а со стороны источника излучения устанавливают эталон чувствительности. При просвечивании источник должен быть установлен жестко, без вибрации, чтобы отражение не было размытым.

Основные параметры режима просвечивания рассмотрены далее.

1. Энергия излучения, которая зависит от напряжения на рентгеновской трубке (чувствительность контроля увеличивается при ее росте) или выбора изотопа (Со-60 имеет большую энергию, чем Cs-173 или Ir-192). Для уменьшения рассеивания излучения используют специальные фильтры из оловянной (0,025 мм) или свинцовой (0,075–0,15 мм) фольги, расположенные между источником и объектом или между пленкой и объектом. Рентгеновские пленки бывают безэкранные и экранные — с использованием флуоресцентных усилительных экранов, обеспечивающих повышение чувствительности за счет уменьшения воздействия вторичного излучения, источником которого является сам контролируемый материал (табл. 17.1). Выбор пленки зависит от толщины и плотности контролируемого материала, а также производительности и чувствительности контроля.

Таблица 17.1

Технические характеристики радиографических пленок «Структурикс»

Толщина просвечиваемого металла, мм	Источник излучения	Пленка AGFA
5	Рентгеноаппарат	Д2
	Итербий-169	Д3
	Тулий-170	Д4, Д5
5–20	Рентгеноаппарат	Д3
	Тулий-170	Д4
	Селен-75	Д5
	Иридий-192	Д7
20–50	Рентгеноаппарат	Д5
	Иридий-192	Д5, Д7
50–100	Иридий-192	Д5
	Ускоритель электронов	Д7
	Кобальт-60	Д8
100–200	Ускоритель электронов	Д7
	Кобальт-60	Д8

2. Схема просвечивания — должна обеспечить оптимальное выявление дефектов.

3. Время экспозиции — выбирают по специальным номограммам, которые даются для конкретного типа пленки, фокусного расстояния и энергии излучения. Оно подлежит коррекции с помощью пробных снимков.

Процесс фотообработки пленки включает операции проявления, промежуточной промывки, фиксирования изображения, промывки и сушки пленки.

Расшифровка снимков — наиболее ответственный этап радиографического контроля, его выполняют в проходящем свете на неготоскопе — специальном приборе с закрытыми матовым стеклом осветительными лампами для образования равномерно рассеянного светового потока (само помещение затемняют). Расшифровка состоит из трех этапов:

- оценка качества изображения (есть ли на снимке дефекты фотообработки);
- анализ изображения и нахождение дефектов — оценка оптической плотности, которая, согласно ГОСТ 7512–82, составляет 1,4–4, проверка, все ли эталоны чувствительности видны на пленке, что гарантирует выявление недопустимых дефектов, проверка наличия изображений маркировочных знаков;
- заключение о качестве изделия — соответствие качества техническим условиям на изготовление и приемку изделия.

Мелкие дефекты измеряются с помощью лупы (ГОСТ 25706–83), большие 1,5 мм — прозрачной линейкой, в сомнительных случаях производится контрольный снимок. На снимке записывают: Т — трещины, Н — непровары, П — поры, Ш — шлаковые включения, В — вольфрамовые включения, Р — разнотолщинность, О — ослабление корня шва, См — смещение кромок; размер дефекта — наибольший размер дефекта на пленке, мм.

Автоматизация основных процессов радиографии достигается за счет:

- экспонометрии, которая обеспечивает получение необходимой плотности очертания снимка за счет использования специальных приборов — экспонометров;
- фотообработки, осуществляемой на автоматах ускоренными процессами проявления и фиксирования;
- расшифровки снимков — считывания с пленки информации в форме последовательных электрических сигналов, отражающих плотность почернений и их локализацию, классифика-

цию дефектов согласно существующим эталонам. При сравнении образца с эталоном класса и удовлетворительном совпадении с ним делают вывод, что образец относится к данному классу.

Метод вычислительной томографии позволяет получить объемное отображение дефектов в виде щелей, непроваров, включений. При этом слой за слоем анализируется сложная картина в пространственном сечении изделия, а информация поступает в вычислительный комплекс, где выполняется ее коррекция. Результаты представляются в виде матрицы; элемент ячейки каждой из них определяет значение параметров, которое сигнализирует о дефекте.

В радиационной дефектоскопии используют аппараты с постоянной нагрузкой и импульсные.

Аппарат-моноблок с рентгеновскими трубками и высоковольтным трансформатором смонтирован в единый блок, залитый маслом или наполненный газом. Эти аппараты имеют минимальные габариты и массу, но недостаточные такие показатели, как качество излучения и продолжительность непрерывной работы. Они используются там, где излучение должно быть удалено от пульта управления на большое расстояние (30 м и более) при высокой маневренности излучателя, например для контроля магистральных трубопроводов.

В аппаратах кабельного типа (передвижных) генератор, рентгеновская трубка и пульт управления отдалены друг от друга. Такие аппараты используют для работы в цеховых и лабораторных условиях. Некоторые из них, например РУП-100—10, благодаря малой массе блока излучения и возможности значительного расстояния между генератором и пультом управления от рентгеновской трубки (до 10 м) могут использоваться для контроля швов в труднодоступных местах.

Импульсные аппараты благодаря малой массе и габаритам эффективны при контроле швов в труднодоступных местах — в судовых, авиационных и монтажных металлоконструкциях.

Современные гамма-дефектоскопы разделяют на аппараты:

- общепромышленного назначения (универсальные шланговые дефектоскопы), позволяющие размещать малогабаритный источник излучения на расстоянии 5—12 м, что особенно эффективно при контроле в труднодоступных местах;

- специального назначения для фронтального и нормального просвечивания (затворного типа), разработанные для работы в полевых, монтажных условиях, в цехе, на стапелях, когда использование шланговых дефектоскопов невозможно вследствие ограниченных размеров радиационно-защитных зон.

Радиоскопия — метод контроля, основанный на просвечивании контролируемых объектов рентгеновским излучением с последующим преобразованием радиационного отображения объекта в светотеневое или электронное и передачей его на расстояние с помощью оптической или телевизионной техники для визуального анализа на выходных экранах. Целесообразность использования этого метода определяется исходя из того, что его производительность в 3–5 раз выше по сравнению с радиографией, хотя чувствительность к дефектам в 2 раза ниже. Этот метод позволяет просматривать внутреннюю структуру контролируемого изделия в процессе его перемещения относительно входного экрана со скоростью 0,3–1,5 м/мин в зависимости от типа преобразователя и толщины изделия.

В качестве преобразователя теневого радиационного отражения в светотеневое или электронное применяют флуороскопический экран, сцинтилляционный кристалл, электронно-оптическое устройство, электролюминесцентный экран, а также рентген-видикон, который превращает рентгеновское отображение объекта непосредственно в видеосигнал без потери информации. Если радиоскопический метод контроля удовлетворяет требованиям технических условий по выявлению дефектов, его можно использовать вместо радиографического метода; в противном случае в сочетании с радиографическим, а также для предварительного контроля.

Радиометрия — метод контроля, основанный на просвечивании изделий ионизирующим излучением с преобразованием плотности потока или спектрального состава прошедшего излучения в пропорциональный электрический сигнал. В качестве источника излучения используют гамма-изотопы, ускорители и рентгеновские аппараты. Детекторами излучения являются сцинтилляционные кристаллы с фотоэлектронными умножителями, ионизационные камеры и газоразрядные счетчики. Узкий пучок ионизирующего излучения перемещается по контролируемому объекту, последовательно просвечивая все его участки. Из-

лучение, прошедшее через объект, регистрируется счетчиком, на выходе которого образуется электрический сигнал, пропорциональный интенсивности проходящего излучения. Электрический сигнал, пройдя через усилитель, регистрируется самописцем, осциллографом, миллиамперметром и т.д. При наличии дефекта в шве устройство показывает повышение интенсивности. Этот метод характеризуется: высокой чувствительностью (0,3–3,0 %), возможностью бесконтактного контроля, высокой производительностью по сравнению с радиографией. Однако его применение затрудняют необходимость одновременного перемещения источника и детектора на одинаковом расстоянии по разные стороны от объекта, невозможность определения формы и глубины дефекта, влияние рассеянного излучения.

Акустические методы. *Ультразвуковой (УЗ) метод* (ГОСТ 14782–86) базируется на отражении направленного пучка высокочастотных (0,8–2,5 МГц) звуковых колебаний от металла сварного шва и существующих в нем дефектов в виде несплошностей.

УЗ-колебания возбуждаются специальным пьезоэлектрическим преобразователем, который преобразует электрические колебания в механические вследствие перестройки в расположении кристаллов пластины из кварца, титаната бария и т.д., оси которых под действием протекающего в металле тока изменяются, что приводит к изменению линейных размеров пластины. Эти изменения происходят непрерывно друг за другом, образуя волну. УЗ-волны бывают продольные, если направление колебаний совпадает с направлением движения волны (возникают в твердых, жидких и газообразных телах), и поперечные, если направление колебаний перпендикулярно движению волны (возникают только в твердых телах).

Существует два основных метода УЗ-дефектоскопии.

Первый метод — эхо-импульсный — базируется на использовании отражения УЗ-волн от несплошностей контролируемой детали, которые имеют отличное от основного металла акустическое сопротивление (рис. 17.3). Признаком дефекта по схеме на рис. 17.3, а служит появление эхо-сигнала на экране приемника. Этот метод используется для контроля всех основных типов сварных соединений — стыковых, угловых, тавровых, внахлест с элементами толщиной более 1000 мм, а дефекты площадью

до 7 мм^2 фиксируются на глубине до 100 мм. Контроль осуществляется при одностороннем доступе к соединению и использовании одного преобразователя для излучения и приема сигналов. Способ простой, но характеризуется низкой помехоустойчивостью и значительной зависимостью отражения сигнала от ориентации дефекта.

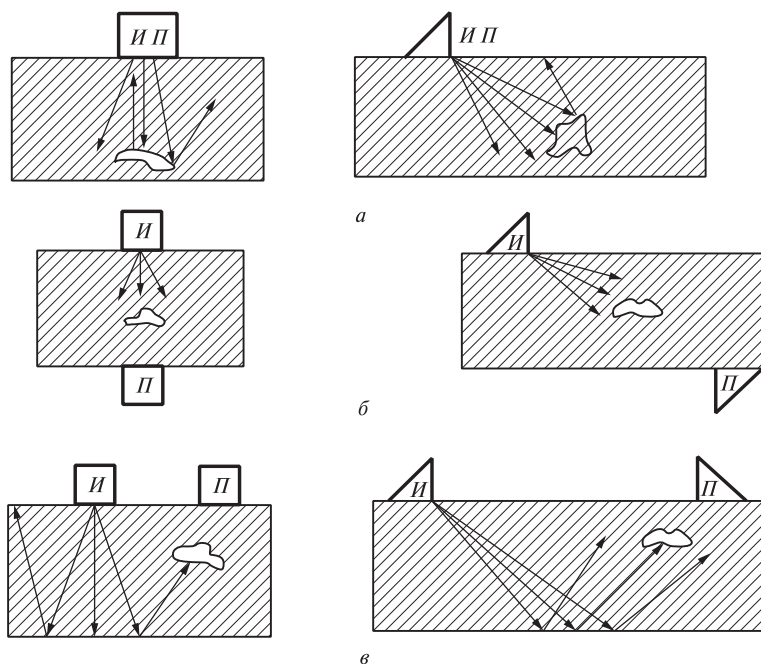


Рис. 17.3. Схемы основных методов УЗ-контроля сварных швов: *а* – эхо-метод; *б* – теневого; *в* – зеркально-теневого; *И* – излучатель; *П* – приемник

Второй метод предполагает определение дефектов за счет уменьшения амплитуды сигнала как при импульсном излучении, когда он носит название теневого (рис. 17.3, *б*), так и при непрерывном излучении, когда он носит название зеркально-теневого (рис. 17.3, *в*). Эти методы отличаются высокой помехоустойчивостью, но теневого вариант требует двустороннего доступа к дефекту. Оба варианта метода могут использоваться при контроле объектов с грубо обработанными поверхностями.

Аппаратура УЗ-контроля состоит из пьезопреобразователя, электронного блока и вспомогательного приспособления. Основной частью пьезопреобразователя является пьезоэлемент в виде диска (из кварца, титаната бария) толщиной, равной половине длины волны ультразвуковых колебаний. Преобразователи бывают:

- прямые — вводят продольную волну перпендикулярно контролируемой поверхности;
- наклонные — вводят продольную волну под углом 40° , 50° , 60° к контролируемой поверхности;
- раздельно-совместимые — вводят продольную волну под углом $5-10^\circ$ к плоскости, перпендикулярной поверхности ввода.

Дефектоскопы работают по следующей схеме. От блока синхронизатора тактовые импульсы подаются на генератор и запускают его, после чего зондируемые импульсы возбуждают в пьезопластине УЗ-колебания. Одновременно тактовые импульсы с синхронизатора подаются на генератор развертки электронно-лучевой трубки. Скорость развертки регулируется в зависимости от толщины контролируемого металла. Отраженные от дефекта импульсы упругих колебаний подаются на пьезопластину и преобразуются в электросигналы, которые усиливаются и передаются на экран электронно-лучевой трубки; при развертке расстояние от зондирующего импульса принятого сигнала пропорционально времени прохождения импульса от пьезопластины к дефекту и обратно. По скорости и времени прохождения УЗ-колебания можно определить координаты дефекта. Отклонение луча на телевизионной трубке в вертикальном направлении характеризует амплитуду сигнала и пропорционально размеру дефекта. Амплитуды измеряются специальными градуированными приборами — аттенюаторами, встроенными в дефектоскопы; кроме того, в аттенюаторе предусмотрен автоматизированный сигнализатор для звуковой и световой индикации дефектов.

Акустическая голография позволяет получить объемное изображение объекта интерференционным способом с помощью акустических волн, когда в результате взаимодействия двух звуковых волн — опорной и рассеянной объектом — образуется картина звукового поля и выстраивается изображение предмета. С помощью этого метода довольно точно фиксируются положение дефекта в металле и его длина, но оценивание его поперечного размера ненадежное.

Метод акустической эмиссии направлен на выявление состояния объектов путем определения и анализа шумов, сопровождающих процесс образования и роста трещины, и базируется на регистрации акустических волн, возникающих в металле сварных конструкций при нагрузке в результате пластических или хрупких деформаций. Этот метод применяют для выявления состояния предразрушения тяжело нагруженных сосудов, работающих под давлением, газопроводов, мостов и т.д.

При испытании объекта или в процессе его эксплуатации вследствие нагрузки в зоне предразрушения возникает акустический сигнал. Информация о времени распространения сигнала и его амплитуде, частотном спектре и т.п. воспринимается пьезоэлектрическими датчиками в широком диапазоне частот — от килогерц до мегагерц, расположенными на объекте. Результаты обработки полученной информации служат основой для вывода о природе, месте нахождения и росте дефекта. В некоторых случаях можно приблизительно оценить качество объекта по его свободным колебаниям от внешнего импульса, в частности так определяют качество бандажей колес железнодорожных вагонов на основе вибраций от удара молотка.

Магнитные и электромагнитные методы основаны на регистрации и измерении магнитных полей и их неоднородностей и применяются при контроле только ферромагнитных материалов. В намагниченной детали магнитные силовые линии имеют определенную направленность. При встрече с дефектом, магнитная проницаемость которого в тысячи раз меньше проницаемости основного металла, силовые линии обходят его и образуют поле рассеяния.

Дефекты, которые расположены вдоль магнитных линий, не создают существенных препятствий для распространения потока, поэтому их трудно определить; наоборот, дефекты, расположенные в направлении, перпендикулярном магнитным линиям, определяются значительно легче.

Магнитопорошковый метод (EN 1290—2002) предусматривает нанесение на предварительно очищенную контролируемую поверхность специальной суспензии или порошка и последующее намагничивание изделия. Под действием магнитного поля частицы ферромагнитного порошка перемещаются по поверхности де-

тали, скапливаясь в виде валиков над дефектами, которые фиксируются осмотром, после чего объект размагничивают. В зависимости от способа намагничивания можно определять различные дефекты.

Так, при продольном с постоянным магнитом-соленоидом намагничивании выявляются поперечные дефекты. При циркулярном намагничивании с пропусканием тока по детали выявляются продольные дефекты типа трещин и непроваров. При комбинированном, с пропусканием тока по детали с электромагнитом, определяются дефекты, по-разному расположенные в пространстве. При использовании постоянного тока увеличивается глубина контроля металла, тогда как детали толщиной до 20 мм целесообразно намагничивать переменным током, который не требует размагничивания. Более точно выявляются дефекты, расположенные под прямым углом к магнитному потоку.

Данный метод контроля позволяет определить длину и конфигурацию дефекта, но не информирует о глубине его залегания. Полезным дополнением является использование потенциометрических датчиков. Пропуская ток небольшого напряжения и регистрируя падение напряжения у поверхности, можно использовать зафиксированные числовые значения для калибровки глубины трещины.

Для контроля используют стационарные установки МД-5, ХМД-10П, переносные и передвижные ПМД-70, ПМД-50, портативные на постоянных магнитах МД-4П. В качестве порошка используют перемолотую закись железа, стальные опилки, цветные порошки. Кроме того, метод допускает применение суспензий (50–60 г порошка на 1 л керосина). Хотя чувствительность при использовании порошков выше, чем суспензий, последние довольно широко распространены вследствие простоты использования, безопасности и низкой стоимости.

Магнитографический контроль (ГОСТ 25225–82) базируется на выявлении полей рассеяния, образующихся в местах дефектов при намагничивании контролируемых изделий, которые фиксируются на эластичной магнитной ленте, плотно прижатой к поверхности шва. Запись ведется и считывается с помощью дефектоскопов. При этом выявляются поверхностные макротрещины, непровары, поры и шлаковые включения глубиной 2–7 % на металле толщиной 4–12 мм. Однако плохо выявляются поры круг-

лой формы, широкие непровары (2,5–3 мм), поперечные трещины, направление которых совпадает с направлением магнитного потока. Часто результаты магнитографического контроля проверяют просвечиванием.

Данный метод используется главным образом для контроля стыковых соединений, выполненных дуговой сваркой, например в соединениях трубопроводов со стенкой толщиной 20–25 мм. Наиболее эффективно обнаруживаются трещины, непровары, если их размер по вертикали составляет 10 % толщины, а также цепочки шлаковых включений, ориентированных перпендикулярно направлению магнитного потока. При удалении усиления чувствительность метода значительно повышается. Лучшие результаты достигаются при контроле швов, выполненных автоматическими методами сварки, так чтобы высота усиления не превышала 25 % толщины основного металла. Для выявления внутренних дефектов предпочтителен постоянный ток, для обнаружения внешних – переменный.

В диагностический комплект входит намагничивающее устройство с П-образным магнитопроводом и обмотками, которое размещено на немагнитных роликах, например ПНУ, ПНУ-М1, УНУ для контроля труб диаметром 150–1200 мм и плоских изделий толщиной до 16 мм. Магнитная лента (МК-2 шириной 35 мм) имеет лавсановую основу с нанесенными на нее мелкими магнитными частицами и может использоваться при температуре от –70 до +70 °С. Наиболее точными являются дефектоскопы марок МГУ-2У, МД10ИМ, МГК-1 с двойной индикацией.

Эффективность выявления дефектов зависит как от их положения, так и от методов неразрушающего контроля (табл. 17.2).

Таблица 17.2

Сравнительная характеристика выявления дефектов методами неразрушающего контроля (РД – радиационная дефектоскопия, УЗД – ультразвуковая дефектоскопия, МД – магнитная дефектоскопия, КД – капиллярная дефектоскопия)

Вид дефекта	Выявляемость дефекта, балл			
	РД	УЗД	МД	КД
Газовые поры и шлаковые включения	4	4	2	0

Окончание табл. 17.2

Вид дефекта	Выявляемость дефекта, балл			
	РД	УЗД	МД	КД
Непровары	3	4	3	0
Внутренние трещины	4	5	3	0
Поверхностные трещины	2	3	4	4

Общие представления относительно использования тех или иных методов неразрушающего контроля дает табл. 17.3.

Таблица 17.3

Сравнительная характеристика методов неразрушающего контроля

Методы контроля	Физический эффект	Дефект	
		Распознавание	Определение размещения
Визуальный	Блеск, цвет, контраст формы	Да	Нет
Магнитные	Рассеивание потока	Да	Да
Магнитными частицами	Проницаемость	Да	Ограниченное
Капиллярный	Капиллярный эффект	Да	Да
Электрические Потенциометрический	Электрическая проводимость	Нет	Ограниченное
Вихретоковый	Электрическая проводимость	Нет	Ограниченное
Радиографические	Поглощение	Да	Ограниченное
Рентгеновский	Интерференция	Ограниченное	Нет
Радиоактивное излучение	Поглощение	Да	Ограниченное
Гамма-излучение, бета-частицы	Поглощение	Ограниченное	Нет

Методы контроля	Физический эффект	Дефект	
		Распознавание	Определение размещения
Акустические Ультразвуковой пропусканием	Поглощение	Ограниченное	Нет
Эхоимпульсный	Отражение	Да	Да
Акустической эмиссией	Шум	Только распро- странение	Да
Акустическим датчиком	Специфический резонанс	Да	Нет

Организация службы контроля качества. Под *контролем качества* продукции понимают проверку соответствия ее показателей установленным требованиям, которые зафиксированы в стандартах, технических условиях, чертежах, паспорте изделия и других нормативных документах. В зависимости от места проведения контроля и этапа производственной деятельности выделяют контроль:

- входной — выполняется потребителем материалов с других предприятий и участков и позволяет предупредить возникновение дефектов по вине поставщика, собрать объективную информацию относительно поступающих материалов и сформулировать дополнительные требования к их качеству;
- операционный — выполняется в процессе осуществления технологии или после отдельной технологической операции;
- приемочный — выполняется на готовом изделии после завершения всех технологических операций; по его результатам принимается решение о пригодности изделия к эксплуатации;
- активный — предполагает использование результатов контроля для проектирования процесса изготовления продукции. Приборы активного контроля непрерывно передают данные о контролируемом параметре и используются для автоматического управления процессом изготовления продукции, например автоматическая сварка под флюсом с использованием оптических датчиков слежения за шириной разделки;

- сплошной (100 %) — используется при проверке конструкций ответственного назначения, предназначенных для работы в сложных эксплуатационных условиях, в некоторых случаях его использование экономически неэффективно (при большой длине сварных швов и т.п.);
- выборочный — проводится проверка определенного объема изделий. В этом случае участки контроля назначают, учитывая вероятность понижения или повышения выбора дефектных единиц (просвечивают или прозвучивают места пересечения швов, проверяют швы, сваренные в затрудненных условиях, и проч.).

Организация контроля на каждом предприятии базируется на системе технических и административных мер, направленных на обеспечение высокого качества. Перед службами контроля ставятся следующие задачи:

- тщательное проведение входного контроля и составление рекламаций поставщикам при выявлении дефектов;
- осуществление приемочного контроля в соответствии с требованиями технической документации и стандартов, оформление документов на забракованную продукцию;
- постоянный контроль за процессом изготовления продукции;
- контроль за сохранностью сырья, упаковки, маркировки;
- надзор за выполнением требований нормативной документации;
- проверка соответствия квалификации сварщиков выполняемой ими работы при изготовлении изделий особо ответственного назначения;
- проведение статистического анализа дефектов на разных стадиях изготовления, анализа причин брака, разработка действий по его устранению.

Структура системы контроля качества. Перечисленные меры реализуются главным образом отделом технического контроля (ОТК) предприятия. Его начальник подчиняется непосредственно руководителю предприятия. В состав ОТК входят цеховые бюро технологического контроля (БТК), которые контролируют выпуск продукции из цеха, оформляют документацию, подтверждающую ее качество, инспектируют качество выполнения процессов на рабочих местах, проверяют оборудование и оснастку, с помощью

которых изготавливается изделие. БТК подчинены мастера ОТК, которые в свою очередь управляют работой контролеров сварочных работ.

Параллельно ОТК действуют центральная заводская лаборатория, которая проводит перспективные исследовательские работы, выполняет контроль химического состава, металлографический анализ, испытания механических свойств, т.е. контроль изделий разрушающими методами, и отдел неразрушающих методов контроля (ОНМК) — самостоятельное структурное подразделение, подчиняющееся главному инженеру завода.

В функции ОНМК входят:

- разработка, совершенствование и освоение методов контроля изделий, составление инструкций, где отражены новые методики контроля, карт контроля, которые составляются на каждое индивидуальное изделие или группу изделий и содержат все необходимые сведения для того, чтобы контролер мог провести дефектоскопию, не обращаясь к дополнительным документам;
- проверка и текущий ремонт средств контроля, которые выполняются перед каждой контрольной операцией или в начале и конце смены. Простой ремонт аппаратуры, замену отдельных ее элементов, изготовление устройств выполняют мастерские ОНМК;
- подготовка кадров контролеров — специалистов среднего звена и рабочих, которая осуществляется централизованно в системе начального и среднего профессионального образования или на предприятиях; при этом ведомственные организации контролируют качество подготовки.

Для реализации всех функций в состав ОНМК входит несколько лабораторий.

Методическая лаборатория осуществляет разработку инструкций, стандартов предприятия, рекомендаций, технологических карт контроля, согласовывает всю конструкторскую и технологическую документацию на контроль, участвует на этапе внедрения научной организации контроля изделия, проводит организационную работу, связанную с подготовкой и повышением квалификации операторов-дефектоскопистов, участвует в поисках новых эффективных методов контроля, в исследовательских работах и т.д.

Лаборатории рентгеновского, ультразвукового, магнитного, капиллярной дефектоскопии и вакуумных методов контроля выполняют производственный контроль заготовок и готовых изделий различными средствами неразрушающего контроля (НК); проводят выборочный НК по требованиям ОТК и ведомственных организаций; по результатам дефектоскопии, зарегистрированным в специальных журналах, которые хранятся согласно существующим инструкциям, составляют заключение о качестве проверенной продукции и ее соответствия техническим требованиям нормативно-технической документации (ГОСТ, ТУ и т.д.). Дефектоскописты совместно со специалистами методической и исследовательской лабораторий участвуют в подборе режимов контроля и составлении нормативно-технической документации на контроль. При наличии крупной рентгеновской лаборатории (не менее 20 работников) в составе ОНМК должна быть дозиметрическая лаборатория, осуществляющая периодический контроль за состоянием биологической защиты рентгеновских помещений и за уровнем загрязнения радиоактивными веществами поверхностей оборудования, транспортных средств, контейнеров и т.д. Лаборатория контролирует получение, учет, хранение, перезарядку радионуклидов, участвует в ликвидации аварийных ситуаций.

Лаборатория ремонта и метрологического обеспечения проводит систематический контроль за эксплуатацией оборудования и приборов НК; профилактический, текущий ремонт электронной аппаратуры и ее метрологическую поверку; изготавливает простые технологические устройства и контрольные образцы, ведет монтаж и испытания нового оборудования и приборов, участвует в исследованиях, связанных с разработкой и модернизацией аппаратуры НК.

Исследовательская лаборатория самостоятельно и совместно с научными институтами и университетами выполняет исследования в области НК, ведет работы по изучению и использованию в производстве новых специальных методов и аппаратуры с целью повышения технологичности НК и производительности труда, а также ведет исследования по заданиям лабораторий завода; осуществляет внедрение результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок непосредственно на производственных участках.

Стандартизация в области контроля качества обеспечивает равноценный подход к проверке продукции в различных ведомствах, на разных предприятиях страны, в различных условиях ее производства и использования, а также соответствие средств контроля определенным требованиям. Она включает систему ГОСТов, обязательных для всей территории страны. Предприятия на основе стандартов выпускают инструкции и методики. Стандарт на неразрушающие методы контроля принадлежит одной из трех групп стандартов:

- общего назначения — включают классификацию методов контроля, терминологию, единую систему обозначений, например ГОСТ 183530–79;
- на средства контроля — разделяют приборы данного типа на группы по конкретным признакам, определяют основные части этих приборов и их параметры, отмечая их цифровые ряды или предельные значения, которые рекомендуется использовать;
- на методики контроля различных видов продукции определенными методами, например на радиационный контроль сварных соединений, УЗ-контроль и т.д. Стандарты указывают ограничения на виды продукции, типы выявляемых дефектов, требования к используемой аппаратуре, способы ее настройки, требования к подготовке изделий к контролю, оценке и оформлению результатов.

Метрологическое обеспечение — установление и использование научных и организационных основ, технических средств, правил и норм, необходимых для достижения единой и требуемой точности измерения (ГОСТ 1.25–76). Средства измерения, используемые для наблюдения за изменением физических величин без оценки их значений, называют индикаторными, они не нуждаются в метрологической проверке (капиллярный, магнитопорошковый контроль).

Метрологическое обеспечение средств НК — совокупность методов, средств и критериев, необходимых для нормирования и контроля таких параметров, которые с гарантированной достоверностью дают информацию о качественных и количественных характеристиках контролируемых объектов. Такими параметрами могут быть погрешности измерения физической величины, если

приборы имеют измерительные части, или пороговый (предельный) минимальный размер несплошности, возможность оценки характеристики несплошности — числа дефектов, их размеров и т.д. Метрологическую поверку осуществляют при разработке технического задания на измерительные приборы, при изготовлении пробных образцов, в порядке метрологического ухода и ревизии состояния измерительных приборов. На каждый индивидуальный прибор на основании результатов метрологической аттестации составляют протокол, в котором дается заключение о пригодности прибора к выполнению функций контроля.

Контролер является основной действующей фигурой в деле контроля качества. В его должностной инструкции изложены его основные права и обязанности, а также критерии эффективности труда.

Например, в задачи и должностные обязанности контролера ОТК при *изготовлении листовых резервуаров* входят:

- контроль качества и комплектности изготовленных заводом деталей, узлов, изделий и металлоконструкций и их соответствие чертежам, строительным нормам и правилам, техническим условиям и т.д.;
- клеймение и оформление документации на принятую и забракованную продукцию, оформление актов-предъявок, составление картотек на брак, выполнение эскизов, схем и разверток контролируемых конструкций, составление соответствующим образом оформленного технологического паспорта;
- контроль правильности использования металлопроката, электродов, флюса, сварочной проволоки, их соответствие указаниям чертежей и занесение результатов контроля в журнал, который ведется каждый день, с выводами относительно соблюдения норм и правил;
- выборочный контроль обработанных деталей путем проверки соответствия их размерам, указанным на чертежах, и правилам подготовки кромок по шаблонам, измерение толщины листового проката;
- контроль качества сборки под сварку путем проверки соответствия размеров собираемых или собранных деталей, указанных на чертеже, и допустимых зазоров;
- контроль соответствия параметров режима сварки по приборам и технологическим указаниям. Приборы должны иметь

клейма госповерки: одно на стекле спереди, второе — на корпусе с обратной стороны;

- стопроцентный внешний осмотр всех типов сварных соединений, их измерение;
- испытания сварных стыковых соединений на плотность в вакуум-камере;
- контроль качества сборки и сварки узлов, деталей и оснастки (шахтные лестницы, центральные стойки, бандажи для упаковки, подкладки);
- контроль за постановкой сварщиками личных клейм;
- контроль за правильностью маркировки готовых к отгрузке элементов конструкции;
- оформление журнала передачи смен;
- оформление технической документации.

Контролер ОТК имеет право:

- остановить прием и запретить дальнейшее изготовление и отгрузку продукции в случае отклонения ее параметров от технических условий и требований чертежей при обнаружении дефектов, недоделок, некомплектности и требовать их устранения с обязательным уведомлением мастера, руководства цеха, участка, начальника ОТК или его заместителя;
- исключать из приема предъявленную цехом продукцию, если данные в рабочих документах не соответствуют фактической продукции;
- составлять карты на брак в случае нарушения технологии изготовления и требовать их оформления руководством цеха;
- ходатайствовать перед начальником ОТК о наказании виновных в совершенных нарушениях.

Объективными критериями положительного оценивания деятельности контролера ОТК являются:

- своевременное и качественное выполнение задач и должностных обязанностей;
- выполнение требований документации, действующей на предприятии системы менеджмента качества, инструкций, методик и т.д.;
- высокая трудовая и производственная дисциплина;
- отсутствие рекламаций от заказчиков на качество продукции.

К числу объективных критериев негативного оценивания деятельности контролера ОТК принадлежат:

- невыполнение месячных и оперативных заданий руководства;
- принятие решений, которые не совместимы с целью выполненной работы;
- действия или поведение, которые ухудшают имидж предприятия;
- бесхозяйственность, небрежное отношение к материальным ценностям и имуществу предприятия;
- нарушение трудовой дисциплины, наличие рекламаций, ошибок, недоработок и неточностей в работе;
- упущения в работе, в результате которого возникнет значительный материальный ущерб.

Контролер ОТК несет организационную и финансовую ответственность:

- за правильность проведенного им контроля в соответствии с техническими условиями и инструкциями, чертежами, картами контроля, в том числе входного контроля сырья, материалов, комплектующих изделий, упаковки и подготовки к отгрузке;
- пропуск брака независимо от того, когда он будет обнаружен;
- необоснованное уклонение от приемки предъявленной продукции;
- нечеткое, неверное и несвоевременное оформление производственной документации;
- передачу данного ему грифа или клейма другому работнику;
- несвоевременный (не в соответствии с планом производства и программой цеха) контроль предъявленной ему продукции или изделий;
- нарушение трудовой и производственной дисциплины, правил внутреннего распорядка;
- невыполнение норм и правил охраны труда, техники безопасности и противопожарной защиты.

Виды ответственности за неисполнение или за ненадлежащее исполнение контролером ОТК своих должностных обязанностей определяются согласно действующему законодательству.

Контрольные вопросы

1. Какие документы определяют допустимость тех или иных дефектов?
2. Перечислите простейшие методы контроля качества.
3. Какие разрушающие методы контроля качества существуют?

4. Какие неразрушающие методы контроля качества наиболее распространены в производстве?
5. В чем сущность ультразвуковой дефектоскопии?
6. Чем отличается рентгенография от рентгеноскопии? В каких случаях применяется рентгенометрия?
7. Какой инструмент используется при визуальных методах контроля?
8. Какие схемы просвечивания сварных соединений используются на практике?
9. Какие методы УЗ-контроля наиболее распространены?
10. Какие схемы УЗ-контроля используются для проверки стыковых и тавровых швов?
11. Для чего нужны стандартные образцы при УЗ-контроле?
12. В чем суть электромагнитных методов контроля?
13. Какие функции выполняет ОНМК на предприятии?
14. Какие основные обязанности возложены на контролера сварных соединений на предприятии?

БЕЗОПАСНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ СВАРОЧНЫХ РАБОТ В ЦЕХУ И НА МОНТАЖЕ

Организация сварочных работ. В состав поста — места производственного участка, специально оборудованного для сварочных работ, входят источник питания или специальная установка для механизированной сварки, стол сварщика, регуляторы тока — балластные реостаты, пусковая и защитная аппаратура, сварочные кабели, электрододержатель или горелка. Постоянное рабочее место называют стационарным постом, переменное — передвижным.

Рабочее место сварщика в зависимости от габаритов свариваемых деталей и характера производства находится или в специальной кабине, или непосредственно у свариваемого изделия.

Кабина сварщика имеет размеры 2×2 или 2,5×2 м. Ее каркас изготавливают из металла, а стены и пол — из огнестойких материалов. В кабине для сварщика есть стул с подъемным винтовым сиденьем. Дверной проем закрывают брезентовым занавесом с огнестойкой пропиткой. Для сборки и сварки деталей используют металлические столы высотой 0,5–0,9 м с решетками и воздушной вытяжкой. К столу может быть прикреплен «карман» для электродов и огарков. Вместо стола в кабине можно устанавливать кантователи, манипуляторы и другое механическое оборудование, которое облегчает манипуляции изделием. Кабины могут оснащаться и консольными кранами для подачи заготовок для сварки.

Рядом с местом сварщика часто располагают стеллажи или контейнеры для заготовок и готовых изделий, тумбочки с ящиками для хранения личных вещей и документации.

На рабочем месте сварщик должен иметь дополнительный инструмент — стальную щетку для зачистки кромок изделия перед сваркой и удаления с поверхности швов остатков шлака, молоток для удаления шлаковой корки, брызг и для проковки швов, зубило, набор шаблонов для контроля размеров швов, личное клеймо, метр, отвес, стальную линейку и угольник. Иногда на посту сварщика есть шлифовальная машинка (КПМ-37) с набором абразивных кругов и металлических щеток.

Инструменты и электроды хранятся в специальных ящиках, сумках или пеналах.

Для сушки электродов используют специальные пеналы, подключаемые к сварочному источнику питания. Необходимая температура в пеналах 100–110 °С обеспечивается прикосновением на 40–60 с электрододержателя к выводной клемме пенала (спираль подогрева в его внутренней полости). Температура в пенале сохраняется 1–1,5 ч.

Рабочее место должно иметь специальный блок снижения напряжения холостого хода до 12 В при обрыве дуги, так как во время сварочных работ в неудобных для сварщика позах, внутри металлических сооружений или в других опасных условиях источники питания имеют напряжение более 70 В. Питание постов может быть централизованным и индивидуальным. В кабины от многопостового источника питания из машинного зала проводят медные шины по строительным колоннам.

Электрододержатели по конструктивному исполнению разделяют на пассатижные, рычажные, зажимные, винтовые.

Для подвода тока к электрододержателю изделия от источника питания применяют кабели марок РГД, РГДО, РГДВ. Длина гибкого кабеля, с которым соединяется электрододержатель, обычно составляет 2–3 м, остальная его часть может заменяться кабелями марок КРПГН, КРПТН, КРПСН.

Длина сварочных кабелей в условиях работы на строительных и монтажных площадках может достигать 40–50 м.

Для разъёмного соединения отрезков сварочных кабелей применяют соединительные муфты МС-2, МСБ-2, М-315, М-500 и т.п.

Неразъемные соединения сварочных кабелей получают с помощью соединителей типа ССП-2, которые состоят из токоподвода и винтов, соединяющих кабель.

К источнику питания сварочный кабель может подключаться через присоединительную муфту МС-3, одна из полумуфт которой аналогична полумуфте МС-2 или МСБ-2, а другая вместо конца с проводом имеет выходную деталь с отверстием, которая надевается на контактный болт источника питания.

Обратный кабель к заземляемому изделию присоединяют клеммами заземления типа КЗ-2 и КЗП-12. Сечение обратного кабеля должно соответствовать сечению основного сварочного кабеля.

При сварке неплавящимся вольфрамовым электродом в инертных защитных газах первичное возбуждение дуги осуществляется бесконтактным способом. Для этого используются осцилляторы типа ОСППЗ—300-М и возбудители дуги УПД-1.

Возбудители дуги могут быть подсоединены последовательно и параллельно для питания дуги переменным и постоянным током.

Защитные газы на рабочие места поставляются по трубопроводам централизованно от специальных поставочных баз, емкостей или автономных станций. Индивидуальная поставка защитных газов к каждому рабочему месту выполняется от одного или нескольких баллонов, которые располагают непосредственно у поста сварщика.

Снижение давления сжатого газа до нужного рабочего и поддержание его на определенном рабочем уровне независимо от давления в баллоне или в сети осуществляются редукторами.

Рабочие места сварщика-полуавтоматчика оборудованы специальной аппаратурой для подготовки и использования защитных газов и их смесей:

- подогревателем газа, изготовленным в виде электронагревателя-змеевика, через который пропускается газ, и применяемым при сварке в углекислом газе;
- осушителем — применяется при сварке в углекислом газе, полученном из пищевой (неосушенной) углекислоты, и используется для впитывания влаги. Его устанавливают на баллоне перед редуктором. Внутренняя полость корпуса осушителя заполнена абсорбентом влаги — обезвоженным путем прожарки при 200 °С в течение 2 ч медным купоросом или силикагелем марки ШСМ. Осушитель рассчитан на осушение 30–35 м³ углекислого газа при одной зарядке;
- смесителями газов для приготовления газовых смесей непосредственно на рабочем месте;

- расходомерами-ротаметрами различных типов для точного контроля расхода газов;
- электрогазовым клапаном для экономного расходования защитного газа, обеспечивающим его предварительную или последующую подачу относительно подачи сварочного тока и проволоки по соответствующим реле.

При работе в *монтажных и полевых условиях* рядом с изделием или на изделии, в местах концентрации рабочих обязательно устанавливают ширмы или светонепроницаемые щиты из негорючих материалов высотой не менее 1,8 м и радиусом 5 м от свариваемого стыка, в результате чего образуется запрещенная зона для посторонних лиц, не занятых непосредственно сваркой. Источники питания и вспомогательная аппаратура должны размещаться в будках или под навесом для защиты от механических повреждений и атмосферных осадков. Запрещено выполнять электросварочные работы во время дождя, снегопада и грозы. При работе в траншее нужно проверять крепления стенок, устойчивость временных ограждений места работы; просвет между почвой и свариваемым стыком должен быть не менее 500 мм. При работе на высоте (1,3 м и более) следует использовать леса или специальные площадки шириной не менее 1 м с ограждением высотой 1 м. Если невозможно использовать подмости или леса, используют предохранительный пояс и страховочный канат или строительные вышки, например ВС22. Запрещается использование приставных лестниц. При одновременной работе по одной вертикали на разных уровнях рабочие места необходимо оборудовать на каждом ярусе козырьками, глухими настилами и тентами от брызг расплавленного металла, огарков, искр и падающих предметов.

При работе в *закрытых или ограниченных пространствах* обязательны наличие страхующего рабочего со страховочным канатом, непрерывная вентиляция объема, где выполняется сварка; в некоторых случаях сварщик использует шланговый противогаз с принудительной подачей свежего воздуха к органам дыхания, обязательно делая перерывы для выхода на свежий воздух.

Газы и аэрозоли вне кабины удаляются передвижными вентиляционными устройствами, которые работают, как обычный пылесос.

Не допускается выполнение сварочных работ внутри сосудов, работающих под давлением, не очищенных от легковоспламеняе-

мых, взрывоопасных, горючих и токсичных веществ, свежеекрашенных конструкций до полного высыхания краски, одновременное выполнение электро- и газосварочных работ внутри замкнутых пространств.

Индивидуальными средствами защиты сварщика являются защитная каска из токонепроводящих материалов, которая часто сочетается с маской, и защитный щиток, которые изготавливаются из фибры или специальных пластмасс и имеют светофильтры, марки которых выбираются в зависимости от способа сварки и силы тока.

В некоторых зарубежных масках реализовано электронное управление затемнением светофильтра в зависимости от силы тока: если дуги нет, светофильтр прозрачный, а после зажигания дуги он становится затемненным через 0,00004 с, поэтому сварщику не нужно каждый раз поднимать маску. Кроме того, увеличивается зона обзора, улучшаются условия труда. С внешней стороны светофильтр закрывают прозрачным стеклом толщиной до 2,5 мм, которое меняют при загрязнении.

С целью предотвращения тепловых ожогов сварщик должен работать в спецодежде (рис.  16), рукавицах и ботинках, поверх которых при сварке и резке в вертикальном, горизонтальном и потолочном положениях надеваются специальные гетры.

Костюм сварщика из ткани (65 % хлопка, 35 % полиэстера), пропитанной специальным составом, устойчив к горению и воздействию ультрафиолетовых лучей. Ткань не впитывает металлическую пыль и влагу, выдерживает до 40 циклов стирки и соответствует требованиям европейских стандартов EN 470—1, EN 531 и EN 533. При потолочной сварке костюм дополняется брезентовыми нарукавниками, которые плотно завязывают на кистях рук. При выполнении сварки на самом изделии применяются войлочные маты с резиновыми прослойками, наколенники и налокотники для защиты от холодного металла. При работе внутри сосудов сварщик пользуется диэлектрическим ковриком, галошами и резиновым шлемом.

Охрана труда и использование безопасных способов сварки и резки металлов. Специфика сборочно-сварочных и резательных работ обуславливает повышенные требования к технике безопасности, обслуживанию аппаратуры и оборудования, а также к методам ор-

ганизации безопасного проведения работ. Безопасность зависит в первую очередь от уровня профессионального мастерства сварщика, знания, умения и развитости практических навыков.

Основные опасности и вредности, приводящие к производственным травмам при дуговой сварке, и меры защиты от них рассмотрены ниже:

- поражение электрическим током при электросварочных работах;
- поражение зрения и открытой поверхности кожи излучением электрической дуги;
- отравление организма вредными газами, пылью и испарениями, выделяющимися при сварке;
- травмы от взрывов баллонов сжатого газа, ацетиленовых генераторов и сосудов из-под горючих веществ;
- ожоги при пожарах;
- механические травмы при заготовительных и сборочно-сварочных операциях;
- радиационное поражение при контроле сварных соединений радиационными методами.

Поражение электрическим током происходит при прикосновении к токоведущим частям электропроводки и сварочной аппаратуры, применяемой для дуговой, контактной и лучевой сварки. Токи, протекающие через тело человека, большие 0,05 А (при частоте 50 Гц), могут вызывать тяжелые последствия и даже смерть (более 0,1 А). Сопротивление кожи человека в зависимости от состояния его организма (усталость, влажность кожи, состояние здоровья) меняется в широких пределах — от 1,0 до 20,0 кОм. Напряжение холостого хода источников питания обычной дуги достигает 90 В, а сжатой дуги — 200 В. Поэтому при плохом самочувствии сварщика через него может пройти ток, близкий к предельному, — 0,09 А.

Электробезопасность обеспечивается:

- при выполнении требований электробезопасности электросварочного оборудования, а именно: надежная изоляция, наличие защитных ограждений, автоблокировка, заземление электрооборудования и его элементов, ограничение напряжения холостого хода источников питания (постоянного тока до 90 В, трансформаторов до 75 В). Кроме того, длина проводов между

питающей сетью и передвижным сварочным агрегатом не должна превышать 15 м. При работе в стесненных условиях или в закрытых сосудах используются сварочные установки с блокирующим устройством для автоматического выключения сварочной цепи или снижения напряжения при обрыве дуги до 12 В. При сварке на переменном токе можно использовать устройство для снижения вторичного напряжения источника питания типа БСНТ-4. Корпуса сварочных аппаратов, каркасы распределительных щитов и шкафов заземляют медным проводом сечением не менее 6 мм² или стальным — сечением не менее 12 мм². Температура нагрева отдельных частей сварочного агрегата не должна превышать 75 °С;

- при использовании индивидуальных средств защиты — работа в сухой и прочной спецодежде и рукавицах, в ботинках без металлических шпилек и гвоздей;
- при соблюдении условий работы — прекращение работы во время дождя и сильного снегопада, если нет укрытия; использование резинового коврика, резинового шлема и галош при работе внутри сосуда, а также переносной лампы напряжением не более 12 В; ремонт электросварочного оборудования и аппаратуры специалистами-электриками.

Защита зрения и открытой поверхности кожи. Электрическая сварочная дуга создает три вида излучения — световое, ультрафиолетовое, инфракрасное.

Световые лучи ослепляют, так как их яркость значительно превышает допустимые нормы. Ультрафиолетовое излучение даже при кратковременном воздействии (несколько секунд) вызывает заболевание глаз — электроофтальмию, которое сопровождается острой болью, резью в глазах, слезотечением, спазмами век. При длительном воздействии ультрафиолетового излучения возможны ожоги кожи, инфракрасного — помутнение хрусталика глаза (катаракта), что может привести к ослаблению и потере зрения. Тепловое действие этих лучей вызывает ожоги кожи.

Защита зрения и кожи лица при дуговой сварке обеспечивается использованием щитков, масок или шлемов из жаростойких диэлектриков (фибры, пропитанной специальным раствором, фанеры и т.д.) с защитными стеклами — светофильтрами, которые выдерживают и поглощают излучение дуги; вид светофильтра зависит от мощности дуги. Для защиты от излучения дуги в стационарных

условиях устанавливают защитные кабины, а при строительных и монтажных работах используют переносные светонепроницаемые щиты и ширмы. Для защиты сварщика применяют спецодежду из плотного брезента или сукна, или специальной ткани.

Защита от отравления вредными газами, пылью и испарениями. Состав и количество вредных газов, пыли и испарений, выделяющихся при сварке, зависят от вида сварки, состава защитных средств (покрытия, флюсов, газов), свариваемого и электродного материалов. Самой опасной является сварка покрытыми электродами, при автоматических методах сварки вредных выделений значительно меньше. Количество сварочной пыли (аэрозоля) и легких соединений при сварке составляет от 10 до 150 мг на 1 кг расплавленного электродного металла. Основными их составляющими являются оксиды железа (до 70 %), марганца, кремния, хрома, фтористые и другие соединения; из них наиболее вредные хром, марганец и фтористые соединения. Кроме аэрозолей воздух в рабочих помещениях при сварке загрязняется вредными газами — оксидами азота, углерода, фтористым водородом и т.п.

Наряду с кратковременным отравлением с такими симптомами, как головокружение, головная боль, тошнота, рвота, слабость и др., ядовитые вещества могут откладываться в тканях организма человека и вызывать хронические заболевания. Особое внимание следует обращать на концентрацию марганца, поскольку его наличие в воздухе более $0,3 \text{ мг/м}^3$ может привести к тяжелым заболеваниям нервной системы.

На защиту от отравления вредными выделениями при сварке и улучшение условий труда направлены следующие мероприятия:

- местная и общая вентиляция;
- механизация и автоматизация сварочных процессов;
- замена вредных процессов и материалов на менее вредные, например замена электродов с кислым покрытием с большим содержанием оксида марганца на рутиловые;
- применение изолирующих и защитных устройств;
- в особо опасных случаях использование индивидуальных средств защиты (респираторы с химическим шлемом, противогазы).

Пожарная безопасность. Основные требования пожарной безопасности изложены в Правилах пожарной безопасности при проведении сварочных и других огневых работ на объектах народ-

ного хозяйства. При сварочных работах пожар могут вызвать искры и капли расплавленного металла и шлака, неосторожное обращение с пламенем горелки при наличии горючих материалов вблизи рабочего места сварщика. Опасность пожара особенно велика на строительно-монтажных площадках и при ремонтных работах в непригодных для сварки помещениях.

Места, где выполняется сварка, оснащаются огнетушителями, ящиками с песком, лопатами и совками, бочками или ведрами с водой. Деревянные конструкции, расположенные ближе 5 м от сварочных постов, оштукатуривают или обивают листовым асбестом или листовой сталью по войлоку, смоченному в глинистом растворе. В зоне попадания брызг металла и искр не должно быть горючих материалов. Легковоспламеняющиеся и взрывоопасные материалы размещают на расстоянии не менее 30 м от места сварки. Деревянные полы, настилы, помосты при необходимости защищают от искр и капель расплавленного металла и шлака асбестом или стальными листами. Сварщиков обеспечивают спецодеждой, обувью, перчатками и головными уборами.

Для обеспечения взрывобезопасности сварочные работы в емкостях из-под горючих продуктов выполняют только после их тщательной очистки от остатков продуктов и двух-, трехкратного промывания горячим 10%-ным раствором щелочи с последующей продувкой паром или воздухом. Газопроводы можно ремонтировать только после их тщательной продувки.

Механические травмы (ушибы, порезы) нередки при заготовительных и сборочно-сварочных операциях. Их причинами являются несоблюдение техники безопасности при работе на металлооборудовании при заготовительных операциях, отсутствие устройств для транспортирования и сборки тяжелых деталей, неисправность транспортных средств — тележек, цепей, тросов, захватов, несоблюдение персоналом основных правил такелажных работ, неисправность инструмента — кувалд, зубил, ключей и т.п.

Основными мерами по снижению травматизма являются продуманные с точки зрения безопасности работ технологии заготовки, сборки и сварки, правильное оснащение рабочих мест и соблюдение персоналом правил техники безопасности.

Требования безопасности труда при газовой сварке и резке. Основными источниками опасности при газовой сварке являются:

- взрывы ацетиленовых генераторов от обратных ударов пламени, если не срабатывает водяной затвор;
- взрывы кислородных баллонов в момент их открытия, если на штуцере баллона или на клапане редуктора есть масло;
- опасность пожара в помещении, возгорание волос и одежды, ожоги сварщика при неосторожном обращении с горелкой;
- ожоги глаз в случае, когда сварщики не пользуются светофильтрами;
- отравление вредными газами, накопившимися из-за отсутствия приточно-вытяжной вентиляции в помещениях.

Безопасная работа при газовой сварке и резке обеспечивается при обращении с материалами, оборудованием и аппаратурой в соответствии с Правилами техники безопасности и производственной санитарии при производстве ацетилена, кислорода и газопламенной обработке металлов.

К выполнению газосварочных и газорезательных работ допускаются рабочие не моложе 18 лет, прошедшие специальное обучение с проверкой знаний безопасной работы.

Запрещается работать без водяного затвора или при неисправном водяном затворе; нельзя к одному водяному затвору присоединять несколько горелок или резаков.

При работе с карбидом кальция необходимо:

- хранить его в сухих, хорошо проветриваемых, огнестойких помещениях;
- на месте выполнения работ хранить карбид кальция в неповрежденных барабанах с плотно закрытой крышкой;
- раскрывать барабаны с карбидом кальция только специальным инструментом, который предотвращает возможность образования искр;
- защищать барабаны от толчков и ударов.

Кислородные баллоны необходимо:

- защищать от толчков и ударов при транспортировании и хранении;
- транспортировать баллоны на рессорных транспортных средствах, специальных ручных тележках и носилках, в специальных контейнерах для обеспечения взрывобезопасности;
- надежно крепить в вертикальном положении на значительном расстоянии от нагревательных приборов, в защищенном от солнечных лучей месте.

Не допускается совместное хранение баллонов с горючими газами и кислородом.

Запрещается эксплуатация грязных, с вмятинами, царапинами и несвоевременно испытанных баллонов: следует особенно тщательно проверять отсутствие масла и грязи на штуцерах и вентилях кислородных баллонов.

При газопламенной обработке сварщики должны работать в спецодежде, перчатках и защитных очках со стеклами Г-1, Г-2 и Г-3, а вспомогательные рабочие — в очках со стеклами В-1, В-2 и В-3. С увеличением мощности пламени применяют стекло с большим номером.

При выполнении газопламенных работ внутри отсеков, ям и резервуаров, где возможны скопления вредных газов, должны работать переносные приточно-вытяжные вентиляторы.

Запрещается применение жидкого топлива на стапельных работах и в закрытых помещениях (котлы, цистерны и т.п.), применение этилированного бензина с большим октановым числом. При работе на жидком топливе можно пользоваться только бензомаслостойкими шлангами по ГОСТ 9356–75 с внутренним диаметром 6 мм и длиной не менее 5 м. К выполнению работ с жидким горючим допускаются только специально обученные рабочие, имеющие соответствующие удостоверения.

Требования безопасности при дефектоскопии сварных соединений. Большинство средств неразрушающего контроля в процессе работы частично или полностью находятся под напряжением, и при их эксплуатации необходимо соблюдать правила электробезопасности. Операторы должны пройти специальное обучение пользованию таким оборудованием и после сдачи экзамена получить свидетельство, где указана их квалификация в соответствии с квалификационными группами персонала по технике безопасности.

При проведении радиационной дефектоскопии нужно принимать меры по защите от ионизирующего излучения согласно Основным санитарным правилам работы с радиоактивными веществами и источниками ионизирующих излучений (ОСП-72/80) и Нормами радиационной безопасности (НРБ-76).

Нормами установлены предельно допустимые дозы (ПДД) и границы излучений. Для персонала категории А (операторы) установлена ПДД 5 бэр/год, а для лиц категории В (население) — 0,5 бэр/год. К категории Б относится персонал, работающий в по-

мещениях, смежных с теми, где работает персонал категории А, а также лица, находящиеся в пределах санитарно-защитной зоны промышленного предприятия или проживающие на территории, расположенной рядом с предприятием. Среди лиц категории А выделяют две группы: I — лица, условия труда которых таковы, что дозы излучения могут превышать 0,3 годовой ПДД; они обеспечиваются приборами индивидуального дозиметрического контроля (КНД-2, ИФКУ-1, ДК-0,9) и находятся под контролем; II — лица, условия труда которых не связаны с превышением дозы излучения 0,3 годовой ПДД (работают в пределах санитарно-защитной зоны или периодически посещают контролируемую зону, они не нуждаются в таком контроле).

Для защиты от излучения применяют экранирование — ослабление излучения слоем тяжелого материала — свинца, свинцового стекла, вольфрама, бетона и т.д. Защита должна обеспечить снижение дозы на рабочих местах до 2,8 мбэр/ч, а в смежных помещениях — до 0,28 мбэр/ч.

В процессе работы рентгеновских аппаратов и гамма-дефектоскопов на открытых площадках необходимо направлять источник излучения в сторону земли, ограничивать время нахождения персонала у источника излучения, устанавливать передвижные ограждения и защитные экраны, размещать знаки радиационной опасности. Зарядка и перезарядка источников гамма-излучения должны выполняться специализированной организацией или персоналом с соблюдением определенных условий. Дефектоскопы с источником ионизации излучения хранят в специальных хранилищах.

Оказание первой помощи при несчастных случаях. При любом несчастном случае нужно прежде всего вызвать скорую медицинскую помощь, после чего немедленно приступить к оказанию первой помощи.

Помощь неспециалистов ограничивается остановкой кровотечения, перевязкой раны или ожога, искусственным дыханием, наложением неподвижной повязки при переломе, переносом и перевозкой пострадавшего. В аптечке первой помощи на участке или в бригаде должны быть: спиртовой раствор йода, бинты, вата, раствор борной кислоты, цинковые капли для глаз, пипетки, нашатырный спирт, питьевая сода, марганцовокислый калий,

эфирно-валериановые капли, фанерные шины, подушка с кислородом или карбогеном.

При *поражении электрическим током* необходимо освободить пострадавшего от электрических проводов (с соблюдением техники безопасности), обеспечить доступ свежего воздуха, при потере сознания немедленно вызвать скорую медицинскую помощь, а до прибытия врача делать искусственное дыхание.

При *электроофтальмии* на глаза необходимо положить вату, смоченную в холодной воде, в слабом растворе питьевой соды или в 2%-ном растворе борной кислоты, а пострадавшего перевести в темное помещение.

При *загорании* на человеке одежды надо накинуть на нее брезент, мешок, одеяло и прижать к телу, а при наличии воды — облить их водой. Пострадавшего, который потерял сознание, надо вынести на свежий воздух. При тяжелых ожогах следует осторожно снять одежду и обувь (лучше разрезать их), обожженное место смазать специальным средством, покрыть стерильным материалом, наложить вату и перевязать.

Ожоги химическими веществами смачивают водой 10–15 мин. При ожогах кислотой накладывают примочки из содового раствора, при ожогах щелочью — из раствора борной кислоты или слабого раствора уксуса.

При *отравлении газом* пострадавшего надо прежде всего вынести на свежий воздух, расстегнуть одежду, дать понюхать нашатырный спирт, растереть кожу, согреть, если холодно, сделать искусственное дыхание, дать подышать кислородом (особенно при отравлении СО).

В случае *перегрева* при работе летом на открытом воздухе (тепловой удар) пострадавшего следует перенести в прохладное место, снять одежду, смочить голову и область сердца холодной водой, дать понюхать нашатырный спирт. При остановке дыхания сделать искусственное дыхание; когда потерпевший придет в себя, дать ему выпить воды с солью.

Контрольные вопросы

1. Как оборудуется стационарный пост для ручной и полуавтоматической сварки?
2. Как оборудуется пост для ручной и полуавтоматической сварки в монтажных условиях?

3. Зачем нужны возбудители дуги?
4. Как различаются баллоны для сжатых и сжиженных газов?
5. По какому принципу работают ротаметры?
6. Какими должны быть одежда и обувь сварщика?
7. Как подбираются защитные светофильтры в щитках и масках?
8. Какие существуют средства защиты сварщика от отравления газами, пылью, испарениями?
9. Какие основные опасности и вредности возникают при сварке и резке металлов?
10. Что нужно знать об электробезопасности?
11. Какое минимальное напряжение холостого хода безопасно для сварщика?
12. Как защитить сварщика от отравления газами, пылью и испарениями?
13. Как оснащается сварочный пост для обеспечения пожарной безопасности?
14. Как хранят карбид кальция?
15. Какие опасности возникают при эксплуатации баллонов со сжатыми и сжиженными газами?
16. Какие правила безопасности следует соблюдать при неразрушающей дефектоскопии сварных соединений?
17. Какие меры первой помощи необходимо предпринять при поражении работника электрическим током? При возгорании одежды на работнике? При отравлении газом и тепловом ударе?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Алешин Н.П.* Современные информационные автоматизированные системы автоматического контроля сварки // Автоматическая сварка. 2013. № 10–11. С. 66–71.
2. *Алешин Н.П., Шербинский В.Г.* Радиационная, ультразвуковая и магнитная дефектоскопия металлоизделий : учебник для ПТУ. М. : Высш. школа, 1991. 271 с.
3. *Быковский О.Г., Петренко В.Р., Пешков В.В.* Справочник сварщика. М. : Машиностроение, 2011. 336 с.
4. *Быковский О.Г., Фролов В.А., Пешков В.В.* Сварка и резка цветных металлов : учебное пособие. М. : Альфа-М : ИНФРА-М, 2014. 336 с.
5. *Евсеев Г.Б., Глизманенко Д.Л.* Оборудование и технология газопламенной обработки металлов и неметаллических материалов. М. : Машиностроение, 1974. 312 с.
6. Износостойкость сплавов, восстановление и упрочнение деталей машин ; под ред. В.С. Попова. Запорожье : Мотор-Сич, 2006. 420 с.
7. *Йоффе И.С., Хананетов М.В.* Сварка порошковой проволокой : учеб. пособие для сред. ПТУ. М. : Высш. школа, 1986. 95 с.
8. *Коган Ю.А.* Автоматы и полуавтоматы для дуговой сварки плавящимся электродом в среде защитных газов. Л. : Энергия, 1976. 143 с.
9. *Куркин С.А., Николаев Г.А.* Сварные конструкции. Технология изготовления, механизация, автоматизация и контроль качества в сварочном производстве. М. : Высш. школа, 1991. 398 с.
10. *Левченко О.Г., Метлицкий В.А.* Современные средства защиты сварщиков. Киев : Экотехнология, 2001. 84 с.
11. *Николаев Г.А., Куркин С.А., Винокуров В.А.* Сварные конструкции. Прочность сварных соединений и деформации конструкций : учеб. пособие. М. : Высш. школа, 1982. 272 с.
12. Оборудование для дуговой сварки : справочное пособие ; под. ред. В.В. Смирнова. Л. : Энергоатомиздат, 1986. 656 с.
13. *Потаповский А.Г.* Сварка в защитных газах плавящимся электродом. М. : Машиностроение, 1976. 94 с.
14. *Походня И.К., Суптель А.И., Шлепаков В.Н.* Сварка порошковой проволокой. Киев : Наук. думка, 1974. 240 с.
15. *Рыбаков В.М.* Сварка и резка металлов : учебник для сред. проф.-тех. училищ. М. : Высш. школа, 1979. 214 с.
16. *Рябцев И.А., Кондратьев И.А.* Механизированная электродуговая наплавка деталей металлургического оборудования. Киев : Экотехнология, 1999. 64 с.

17. Сварка и резка материалов : учеб. пособие для нач. проф. образования / М.Д. Банов, Ю.В. Казаков, М.Г. Козулин [и др.] ; под ред. Ю.В. Казакова. 4-е изд. М. : Академия, 2004. 400 с.
18. Сварка, резка, контроль : справочник. В 2 т. ; под ред. Н.П. Алешина, Г.Г. Чернышова, Э.А. Гладкова [и др.]. М. : Машиностроение, 2004.
19. Технология и оборудование сварки плавлением и термической резки : учебник для вузов. 2-е изд., испр. и доп. / А.И. Акулов, В.П. Алехин, С.И. Ермаков [и др.] ; под ред. А.И. Акулова. М. : Машиностроение, 2003. 560 с.
20. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением ; под ред. Б.Е. Патона. М. : Машиностроение, 1974. 768 с.
21. *Шаферовский В.А., Войцеховский Е.В.* Универсальные приспособления для сборки металлоконструкций : учеб. пособие. Мариуполь : Изд-во ПГТУ, 2004. 127 с.
22. Электрошлаковая сварка и наплавка ; под ред. Б.Е. Патона. М. : Машиностроение, 1980. 511 с.
23. Modern Welding / D. Andrew [et al.]. Tinley Park, Illinois : The Goodheart-Willcox Company, INC. 2004. 784 p.