

Сварщик

В. И. Маслов

СВАРОЧНЫЕ РАБОТЫ

Профессиональное образование

Учебник



ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

В.И.МАСЛОВ

СВАРОЧНЫЕ РАБОТЫ

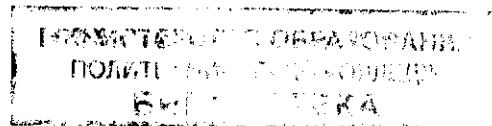
*Рекомендовано
Федеральным государственным учреждением
«Федеральный институт развития образования»
в качестве учебника для использования
в учебном процессе образовательных учреждений,
реализующих программы начального профессионального
образования по профессии «Сварщик»*

*Регистрационный номер рецензии 061
от 12 марта 2010 г. ФГУ «ФИРО»*

11-е издание, стереотипное



Москва
Издательский центр «Академия»
2015



УДК 621.791(075.32)

ББК 34.641я72

М31

Рецензент —

преподаватель спецтехнологии сварки ГОУ СПО
«Политехнический колледж № 31» г. Москвы В. А. Гришанов

98421

Маслов В.И.

М31 Сварочные работы : учебник для студ. учреждений средн. проф. образования / В.И. Маслов. — 11-е изд., стер. — М. : Издательский центр «Академия», 2015. — 288 с.

ISBN 978-5-4468-2310-9

Рассмотрены основные виды сварки, различные типы сварных швов и соединений. Описаны металлургические процессы, происходящие при дуговой сварке. Указаны особенности технологии сварки различных сталей и цветных металлов.

Освещены вопросы механизма формирования сварных швов и выбора режимов сварки, изложены вопросы производства сварных конструкций, приведены сведения о современном сварочном оборудовании.

Учебник может быть использован при освоении профессионального модуля ПМ.02 «Сварка и резка деталей из различных сталей, цветных металлов и их сплавов, чугунов во всех пространственных положениях» по профессии «Сварщик».

Для студентов учреждений среднего профессионального образования.

УДК 621.791(075.32)

ББК 34.641я72



Оригинал-макет данного издания является собственностью
Издательского центра «Академия», и его воспроизведение любым способом
без согласия правообладателя запрещается

© Гришанова М. В. (наследница автора Маслова В. И.), 2014

© Образовательно-издательский центр «Академия», 2014

ISBN 978-5-4468-2310-9 © Оформление. Издательский центр «Академия», 2014

ПРЕДИСЛОВИЕ

Автор

Современный технический прогресс в промышленности во многом зависит от научной и инженерной мысли, направленной на развитие сварочного производства. Сварка занимает ведущее место в наукоемких отраслях промышленности. Достижества сварки обеспечили ей широкое применение: свариваются корпуса супертанкеров, автомобилей и других транспортных средств, узлы и агрегаты самолетов, турбины, котлы, атомные реакторы и строительные конструкции. Особое направление в сварочном производстве — восстановление и капитальный ремонт мостов и металлоконструкций, у которых исчерпывается ресурс работоспособности.

Почти половину столетия функционирует Международный институт сварки, который периодически приглашает ученых и инженеров, занимающихся вопросами теории и практики сварки, для обмена информацией и объединения усилий по реализации сложных инженерных задач. В Европе создана Международная ассоциация сварщиков, осуществляющая переподготовку инженеров, мастеров и рабочих-сварщиков с выдачей международного сертификата на выполнение ответственных сварочных работ. Российская Федерация имеет своих представителей в этих авторитетных организациях.

В Москве ежегодно в культурно-выставочном центре «Сокольники» и других выставочных центрах проводятся выставки сварочного оборудования «Россварка», на которые приглашаются ведущие российские и зарубежные фирмы — изготовители сварочного оборудования для обмена опытом в реализации новейших технологий.

В Российской Федерации создано Национальное агентство контроля и сварки (АНО «НАКС»), которое осуществляет разработку нормативной документации в области сварочного производства, обучение и переподготовку специалистов-сварщиков, аттестацию сварочных материалов и оборудования.

Автор выражает благодарность главному сварщику «Сцецмонтажстрой» О.Л.Цветкову за ряд ценных замечаний.



*Посвящается светлой памяти
Бориса Георгиевича Волкова —
наставника и помощника
в написании этого учебника*

ВВЕДЕНИЕ

Сварка как изобретение, получившее широкое применение в различных отраслях промышленности, имеет исторически российские корни.

В 1802 г. профессор Петербургской военно-медицинской академии В. В. Петров открыл явление электрической дуги и опубликовал свои идеи о возможности ее практического использования.

Через 80 лет, в 1882 г., русский инженер Н. Н. Бенардос описал изобретенный им способ электродуговой сварки металлов неплавящимся угольным электродом, а затем разработал способ дуговой сварки в защитном газе и дуговую резку металлов. В 1887 г. Н. Н. Бенардос получил патент на изобретение способа контактной сварки, осуществлявшейся между угольными электродами.

В 1882 г. инженер Н. Г. Славянов предложил выполнять сварку плавящимся металлическим электродом под слоем флюса из измельченного стекла и реализовал такой процесс.

Развитие науки о сварке и ее применение в металлургии, судостроении и котлостроении продолжались в 1930—1940 гг. Имена таких ученых, как В. П. Вологдин, Г. А. Николаев, Е. О. Патон известны не только в нашей стране. Своими исследованиями они обеспечили основу для развития сварки, а также создали отечественную школу подготовки инженерных и научных кадров. Сварочное производство стремительно развивалось, что позволило перейти от ручной дуговой сварки электродами с меловой обмазкой к автоматической сварке под флюсом.

В 1950—1952 гг. в ЦНИИТМаше при непосредственном участии МВТУ им. Н. Э. Баумана и Института электросварки им. Е. О. Патона был разработан процесс сварки в углекислом газе.

В последние десятилетия отечественными и зарубежными учеными разработаны и получили дальнейшее развитие различные специальные виды сварки: лазерная, электронно-лучевая, диффузионно-вакуумная, сварка световым лучом, трением, взрывом и др.

Развитие сварочного производства продолжается. Патентные ведомства промышленно развитых стран мира ежемесячно реги-

стрируют более 200 изобретений в области сварочной техники и технологии.

В международной практике с каждым годом увеличивается объем сварочных работ при изготовлении современных металлоконструкций. Одновременно возрастает объем ремонтно-восстановительных работ с использованием сварки.

Современный рынок сварочного оборудования предлагает чрезвычайно широкий ассортимент покрытых электродов для ручной дуговой сварки, источников питания, полуавтоматов и автоматов, специализированных сварочных установок и дополнительных приспособлений для производства сварочных работ в стационарных условиях. Для выполнения работ в полевых условиях выпускаются комплексы сварочных агрегатов.

Лазерная техника расширяет возможности применения сварки в области технических измерений, биологии, медицины, оптических систем и т.д. Лазерная аппаратура позволяет производить прецизионную микрообработку малых объектов, сварку, пайку и чистовую обработку деталей по заданному чертежу или программе. На основе базовых разработок отечественных и зарубежных специалистов рынок сварочного оборудования ежегодно пополняется новейшими моделями.

Производство современных металлоконструкций, соответствующих российским и европейским нормам и стандартам, требует подготовки и аттестации специалистов-сварщиков. Профессиональная подготовка кадров осуществляется в специализированных учебных центрах. Например, в Уральском регионе (г. Курган) создан сварочный учебный центр на базе ЗАО «Курганстальмост», который располагает современной лабораторно-практической базой по трем основным направлениям: ручная дуговая сварка, полуавтоматическая сварка в защитных газах и автоматическая сварка под флюсом. Лаборатории оснащены современным оборудованием как российских, так и зарубежных фирм. На основе разработок Института электросварки им. Е.О.Патона и Германского союза сварщиков созданы сварочные тренажеры. Учебный центр функционирует при поддержке Сварочно-технического центра по испытаниям и обучению (Германия) и Курганского государственного университета. Прошедшее обучение и аттестацию выдается сертификат Европейской сварочной федерации, при наличии которого специалистам-сварщикам предоставляется возможность принимать участие в выполнении зарубежных заказов.

Аналогичные учебные центры — учебно-технические комплексы по специальности «Технология сварочного производства» дей-

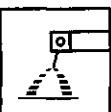
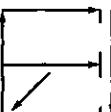
ствуют и в других регионах Российской Федерации. Такие комплексы предназначены для подготовки учащихся и студентов, а также для повышения квалификации рабочих и специалистов. В соответствии с разработанными программами осуществляется комплексное обучение по теоретическим вопросам и проводятся практические занятия по эксплуатации современного оборудования.

Указанные программы охватывают следующие основные направления: ручная дуговая сварка покрытыми электродами (международное обозначение — MMA), ручная дуговая сварка неплавящимся вольфрамовым электродом в инертных газах (TIG/WIG), механизированная сварка плавящимся электродом в инертных и активных защитных газах (MIG/MAG) и сварка под флюсом.

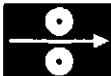
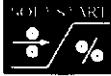
Знание основных международных обозначений помогает быстро и безошибочно сориентироваться на рынке современного сварочного оборудования и выбрать партнера для сотрудничества, а также более глубоко изучить проблемы сварочного производства по периодической печати: журналам, статьям, информационным бюллетеням, рекламным видеоматериалам и т.д. Получив первичные сведения, обучающиеся могут более целенаправленно готовиться к выбранной профессии и продолжать обучение в тех учебных заведениях, где наиболее полно могут быть реализованы их знания.

Основные международные обозначения в области сварки приведены в табл. В.1.

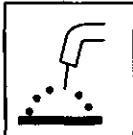
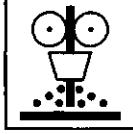
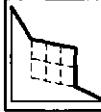
Таблица В.1. Основные международные обозначения в области сварки

КриптоGRAMMA	Содержание
	Ручная дуговая сварка покрытым электродом (способ MMA)
	Обозначение положений в пространстве сварных швов, для которых предназначены покрытые электроды
	Дуговая сварка плавящимся электродом (способ MIG/MAG); MIG, MAG — соответственно в инертном и активном газах; MIG/MAG—AC, MIG/MAG—DC, MIG/MAG—AC/DC — соответственно на переменном, постоянном, переменном и постоянном токе

Продолжение табл. В.1

Криптограмма	Содержание
	Двухроликовый механизм подачи сварочной проволоки
	Четырехроликовый механизм подачи сварочной проволоки
	Наличие «евроразъема» для присоединения сварочной горелки
	Наличие устройства для регулирования силы сварочного тока посредством изменения скорости подачи электродной проволоки
	Наличие механизма плавной подачи электродной проволоки в момент начала сварки
	Наличие механизма подачи электродной проволоки тянуще-толкающего типа с автоматической регулировкой скорости — система PUSH-PULL (ПУШ-ПУЛ)
	Горелка для сварки способом MIG/MAG
	Дуговая сварка неплавящимся (вольфрамовым) электродом в инертном газе (способ TIG/WIG): TIG/WIG—DC; TIG/WIG—AC, TIG/WIG—AC/DC — соответственно на постоянном, переменном, переменном и постоянном токе
	Способ сварки TIG пульсирующим током (импульсно-дуговая сварка)
	TIG HF — способ сварки TIG с системой бесконтактного возбуждения дуги высоковольтным и высокочастотным разрядом

Окончание табл. В.1

Криптограмма	Содержание
	TIG contact — способ сварки TIG с контактным возбуждением дуги касанием о свариваемую деталь
	Сварка порошковой проволокой
	Сварка под флюсом
	Падающая внешняя вольт-амперная характеристика (ВВАХ) источника питания сварочной дуги
	Жесткая ВВАХ источника питания
	Возрастающая ВВАХ источника питания
	Комбинированная ВВАХ инверторного источника питания (управление сварочным процессом с помощью блоков обратной связи)

ОСНОВЫ ТЕОРИИ СВАРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ

I

РАЗДЕЛ

- Глава 1. Основные виды сварки
- Глава 2. Основные типы сварных соединений и конструктивные элементы сварных швов
- Глава 3. Общие сведения о сталях и их свариваемости
- Глава 4. Теоретические основы дуговой сварки
- Глава 5. Металлургические и тепловые процессы при дуговой сварке плавлением
- Глава 6. Формирование сварного соединения
- Глава 7. Сварочные материалы

ГЛАВА 1

ОСНОВНЫЕ ВИДЫ СВАРКИ

Сваркой называется процесс получения неразъемных соединений посредством установления межатомных связей между свариваемыми частями при их нагревании и (или) пластическом деформировании (ГОСТ 2601—84*).

В настоящее время существует более 150 различных сварочных процессов. В зависимости от *вида энергии*, подводимой для расплавления металла и образования сварного соединения, различают три класса сварочных процессов:

- **термический** — объединяющий виды сварки плавлением (дуговая, электрошлаковая, газовая, плазменная, электронно-лучевая, лазерная, световым лучом и др.), которые осуществляются с использованием тепловой энергии;
- **термомеханический** — объединяющий виды сварки (контактная, диффузионная, кузнечная, газопрессовая), осуществляемые с применением тепловой и механической энергии;
- **механический** — объединяющий виды сварки давлением (холодная сварка, трением, взрывом, ультразвуком), осуществляемые с использованием механической энергии.

Два первых класса (термический и термомеханический) образуют два основных вида сварки — плавлением и давлением, которые получили наиболее широкое распространение в промышленности. Все виды сварки механического класса относятся к специальным видам и находят ограниченное применение.

При сварке плавлением детали оплавляются по соединяемым кромкам под действием теплоты источника нагрева. Расплавленный металл, сливаясь в общий объем, образует сварочную ванну. В процессе ее охлаждения жидкий металл затвердевает, и формируется сварной шов. Шов может быть образован за счет расплав-

ления металла только свариваемых кромок либо металла кромок и дополнительного металла плавящегося электрода.

Среди большого разнообразия видов сварки плавлением ведущее место занимает дуговая сварка, при осуществлении которой источником теплоты служит электрическая дуга.

Сварочная дуга представляет собой электрический разряд, происходящий в газовой среде между электродом и деталью или тремя электродами (трехфазная дуга). Для питания дуги переменным током применяются сварочные трансформаторы, при сварке на постоянном токе — сварочные выпрямители или сварочные генераторы. Различают дуговую сварку плавящимися и неплавящимися электродами.

Плавящиеся электроды — это, как правило, электроды с покрытием для ручной дуговой сварки и сварочная проволока из различных металлов для сварочных полуавтоматов и автоматов. Неплавящиеся электроды представляют собой вольфрамовые, графитовые или угольные стержни.

При расплавлении электрода и основного металла необходима защита сварочной ванны от воздействия атмосферных газов — кислорода, водорода и азота, так как они растворяются в жидком металле и ухудшают качество металла шва.

По способу защиты сварочной ванны, самой дуги и конца нагреваемого электрода от воздействия атмосферных газов дуговую сварку подразделяют на следующие виды: сварка покрытыми электродами, в защитном газе, под флюсом, в вакууме, самозащитной порошковой проволокой и с комбинированной защитой.

По степени механизации различают ручную и механизированную сварку (на полуавтоматах и автоматах).

Дуговая сварка покрытыми электродами выполняется вручную. Покрытие, приготавляемое из порошкообразной смеси различных природных (растительных и минеральных) компонентов, позволяет повысить устойчивость горения дуги, обеспечить защиту расплавляемого металла от воздействия атмосферных газов, провести металургическую обработку сварочной ванны и в конечном итоге повысить качество сварного шва. Формирование шва происходит за счет расплавления металла кромок свариваемых деталей и металла стержня сварочного электрода. При этом сварщик вручную выполняет основные технологические движения: подает электрод в зону сварки по мере его расплавления и перемещает дугу вдоль кромок свариваемых деталей.

Ручная дуговая сварка покрытыми электродами (рис. 1.1) — наиболее распространенный способ сварки, применяемый при из-

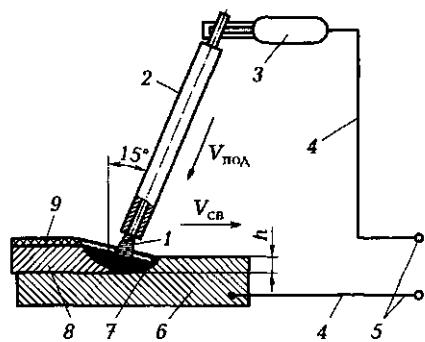


Рис. 1.1. Схема ручной дуговой сварки покрытым электродом:

1 — сварочная дуга; 2 — электрод; 3 — электрододержатель; 4 — сварочные провода; 5 — клеммы присоединения источника питания дуги; 6 — свариваемая деталь; 7 — сварочная ванна; 8 — сварной шов; 9 — шлаковая корка; $V_{\text{св}}$, $V_{\text{под}}$ — скорости сварки и подачи электрода в зону сварки; h — глубина проплавления основного металла

готовлении сварных конструкций. Благодаря его простоте и универсальности представляется возможным выполнять сварочные работы в разных пространственных положениях и труднодоступных местах. Однако производительность такого сварочного процесса довольно низкая, и качество работ существенно зависит от квалификации сварщика.

Дуговая сварка в защитных газах (рис. 1.2) является наиболее эффективным сварочным процессом при соединении деталей из металла малой и средней толщины. Данная сварка производится с

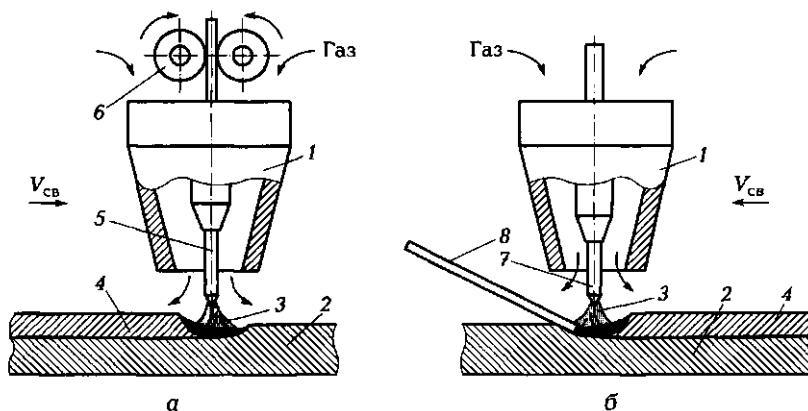
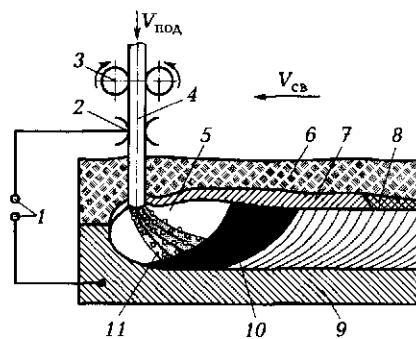


Рис. 1.2. Схема дуговой сварки в защитных газах плавящимся (а) и неплавящимся (б) электродами:

1 — сопло горелки; 2 — свариваемая деталь; 3 — сварочная дуга; 4 — сварной шов; 5, 7 — соответственно плавящийся и неплавящийся (вольфрамовый или угольный) электрод; 6 — ролик подающего механизма плавящегося электрода; 8 — присадочный металл; $V_{\text{св}}$ — скорость сварки

Рис. 1.3. Схема дуговой сварки под флюсом:

1 — клеммы присоединения источника питания дуги; 2 — скользящий контакт токопровода; 3 — ролик механизма, подающий электродную проволоку; 4 — электродная проволока; 5 — газовая полость; 6 — флюс; 7 — слой расплавленного флюса; 8 — затвердевшая корка плавка; 9 — свариваемый металл; 10 — сварочная ванна; 11 — сварочная дуга; $V_{\text{св}}$, $V_{\text{под}}$ — скорости сварки и подачи электродной проволоки в зону сварки



помощью полуавтоматов или сварочных автоматов. При этом используют как плавящиеся, так и неплавящиеся электроды. В зависимости от вида свариваемого металла (углеродистые и легированные стали, алюминиевые и титановые сплавы, цветные металлы на основе меди и их сплавы) в качестве защитных газов применяют углекислый газ, аргон, гелий, иногда азот. Наиболее широко используют следующие газовые смеси: аргон и углекислый газ; аргон, углекислый газ и кислород; углекислый газ и кислород; аргон и гелий. Защитные газы, подаваемые в зону горения дуги через сопло сварочной горелки, оттесняют атмосферные газы из зоны сварочного процесса и тем самым защищают жидкий металл сварного шва от их отрицательного воздействия.

Дуговая сварка под флюсом (рис. 1.3) находит широкое применение при соединении деталей средней и большой толщины. В процессе сварки флюс (многокомпонентный порошок) и электродная проволока непрерывно подаются в зону горения дуги, под воздействием теплоты которой расплавляются кромки основного металла (деталей), проволока и часть флюса.

Вокруг дуги образуется защитная полость, заполненная газами и нарами металла и флюса. По мере перемещения дуги вдоль кромок свариваемых деталей расплавленный флюс всплывает на поверхность сварочной ванны, образуя шлак. Расплавленный флюс и шлаковая корка защищают сварочную ванну и формирующийся сварной шов от воздействия атмосферных газов.

Электродная проволока, свернутая в кассету, подается в зону горения дуги специальным механизмом, а флюс поступает из бункера.

К основным достоинствам сварки под флюсом относятся экономичность, высокая производительность процесса и качество

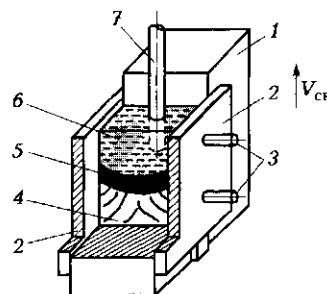


Рис. 1.4. Схема процесса электрошлаковой сварки:

1 – свариваемая деталь; 2 – подвижные ползуны-кристаллизаторы; 3 – подвод охлаждающей воды; 4 – сварной шов; 5 – сварочная ванна; 6 – расплавленный металл и электропроводный шлак; 7 – электродная проволока; $V_{\text{св}}$ – скорость сварки

сварных швов. Однако невозможно выполнять данную сварку в пространственных положениях, отличных от нижнего.

Электрошлаковая сварка (рис. 1.4) является специальным комбинированным процессом и используется при сварке деталей большой толщины (50 мм и более) или переплавке отходов дорогостоящих сталей в целях получения заготовок (слитков) для последующей прокатки в лист, ленту, полосу, уголок и т. д.

В начале процесса зажигается дуга и расплывается небольшое количество флюса с образованием электропроводного шлака. Электрод погружают в шлаковую ванну, горение дуги прекращается, и сварочный ток, проходя через электропроводный расплавленный шлак, преобразуется в тепловую энергию, необходимую для расплавления электрода и оплавления поверхностей свариваемых деталей. Сварку производят в вертикальном положении снизу вверх, вдоль сварочного зазора между деталями. Для получения сварного шва по обе стороны зазора устанавливают медные ползуны-кристаллизаторы, охлаждаемые водой. По мере формирования шва ползуны перемещают в направлении сварки.

Электронно-лучевая сварка осуществляется управляемым концентрированным потоком электронов на специальной установке в глубоком вакууме. Подогреваемый вольфрамовый катод излучает поток электронов, который под воздействием высокого напряжения (до 100 кВ) ускоряется и фокусируется, достигая анода (свариваемой детали). При этом на аноде выделяется тепловая энергия, необходимая для расплавления металла свариваемых деталей.

Плазменная сварка применяется при изготовлении в основном тонкостенных конструкций. В качестве плазмообразующего газа используется аргон, гелий или азот. Процесс основан на пропускании потока газов под давлением через электрический разряд высокой степени плотности. В результате формируется высокотемпературный газ, называемый плазмой. Температура плазменной

струи (сжатой плазмы) достигает 30 000 °С, что обеспечивает возможность сварки тугоплавких металлов и сплавов. При применении специальных плазматронов можно выполнять также плазменную резку при раскрое заготовок толстолистового металла. Плазменная резка позволяет получать узкий и чистый рез при относительно высокой скорости процесса.

Лазерная сварка является универсальным процессом, широко используемым как для сварочных работ, так и для наплавки, резки, прошивки отверстий и поверхностной обработки различных конструкционных материалов. С помощью энергии лазерного луча можно производить резку металлов, слоистых пластиков, пластифицированной древесины и других материалов. Промышленные газовые и твердотельные лазеры снабжены микропроцессорной системой управления.

Газовая сварка значительно уступает дуговым процессам в общем объеме сварочных работ. Она применяется при ремонте конструкций или узлов из чугуна и тонколистовой стали, изготовлении сварных узлов из алюминия, меди, латуни и других цветных металлов и их сплавов, пайке и наплавочных работах. Для расплавления свариваемого и присадочного металлов используется высокотемпературное газокислородное пламя. В качестве горючих газов применяются ацетилен, водород, пропан-бутановая смесь, спиртный, коксовый и другие газы, а также пары ацетона, спирта, бензина и керосина.

Разновидностью газопламенной обработки является газотермическая резка, осуществляемая при заготовительных работах по раскрою металла и первичной разделке отливок в литейном производстве.

Сварка давлением относится к термомеханическому классу сварочных процессов. Среди всех видов таких процессов ведущую роль играет контактная сварка, выполняемая с использованием давления и тепловой энергии, выделяющейся в области контакта свариваемых деталей при прохождении сварочного тока. Различают контактную сварку точечную, шовную, стыковую и рельефную.

В автомобилестроении контактная точечная сварка является основным способом соединения тонколистовых штампованных деталей: кузов современного легкового автомобиля сварен более чем в 10 тыс. точек. Современный авиалайнер имеет 7—8 млн сварочных точек.

Шовная сварка применяется при изготовлении бензобаков и аналогичных емкостей.

Стыковой сваркой наращивают режущий инструмент и соединяют стыки магистральных трубопроводов.

Рельефная сварка является наиболее высокопроизводительным способом сварки арматуры для железобетонных конструкций.

Особенность контактной сварки — это высокая скорость нагрева и формирования сварного шва, что позволяет использовать ее для изготовления сварных конструкций на высокопроизводительных поточных и автоматических линиях с применением робототехнических комплексов.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется сваркой и какие три класса сварочных процессов вы знаете?
2. В чем состоит существенное различие сварочных процессов термического и механического классов?
3. Что представляет собой сварочная дуга и каково ее назначение в сварочном процессе?
4. Почему необходима защита сварочной дуги и сварочной ванны?
5. Каковы преимущества дуговой сварки в защитных газах и под флюсом по сравнению с ручной дуговой сваркой покрытым электродом?
6. В чем состоит суть электрошлаковой сварки?
7. Какие виды контактной сварки находят применение в сварочном производстве?

Глава 2

ОСНОВНЫЕ ТИПЫ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И КОНСТРУКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ СВАРНЫХ ШВОВ

1
2
3
4
5

Сварным соединением называется неразъемное соединение, выполненное сваркой. В металлических конструкциях встречаются следующие основные типы сварных соединений: стыковые, нахлесточные, тавровые, угловые и торцовые (рис. 2.1).

Стыковое соединение представляет собой сварное соединение двух деталей, примыкающих друг к другу торцовыми поверхностями; нахлесточное — соединение, в котором свариваемые детали расположены параллельно и частично перекрывают друг друга; тавровое — соединение, в котором торец одной детали примыкает под углом и приварен к боковой поверхности другой детали; угловое — соединение двух деталей, расположенных под углом и свариваемых в месте примыкания их краев; торцовое — соединение, в котором боковые поверхности свариваемых деталей примыкают друг к другу.

Сварной шов — это участок сварного соединения, образовавшийся в результате кристаллизации расплавленного металла или пластической деформации при сварке давлением или сочетания кристаллизации и деформации. Сварные швы подразделяются на стыковые и угловые. Стыковой шов представляет собой сварной

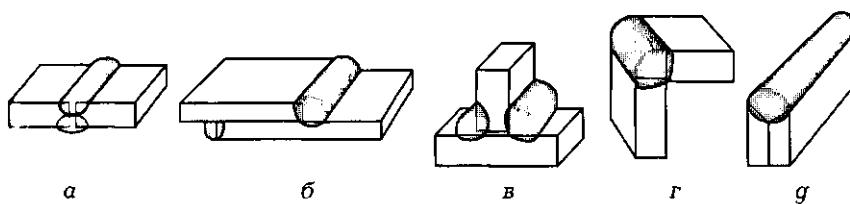


Рис. 2.1. Типы сварных соединений:
а — стыковое; б — нахлесточное; в — тавровое; г — угловое; д — торцовое

ПОДГОТОВКА
КО ВЫПОЛНЕНИЮ
СВАРКИ
ПОДГОТОВКА
КО ВЫПОЛНЕНИЮ
СВАРКИ

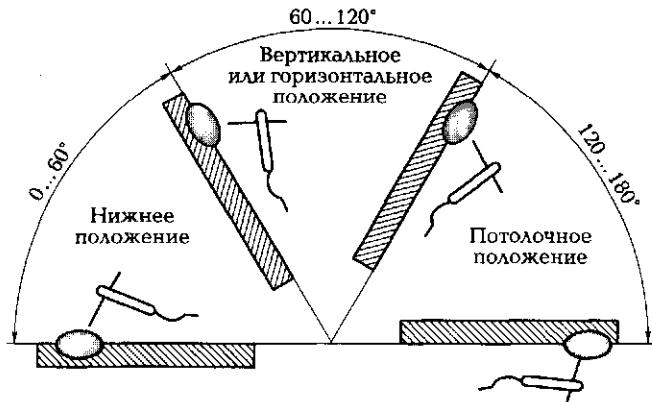


Рис. 2.2. Основные пространственные положения сварных швов

шов стыкового соединения, а угловой — углового, нахлесточного или таврового соединения.

В зависимости от расположения свариваемого узла или конструкции сварные швы выполняют в разных пространственных положениях, основными из которых являются нижнее, вертикальное и потолочное (рис. 2.2).

В соответствии с расположением в пространстве сварные швы согласно ГОСТ 11969—79 подразделяют на нижние, «в лодочку», горизонтальные, полугоризонтальные, вертикальные, полувертикальные, потолочные и полупотолочные (рис. 2.3).

По форме наружной поверхности различают швы нормальные (плоские), выпуклые или вогнутые. Предельный размер выпуклости составляет не более 2 мм, а вогнутости — не более 3 мм. Соединения, образованные выпуклыми швами, лучше противостоят статическим нагрузкам. Однако вследствие излишнего расхода электродного металла при чрезмерной выпуклости такие швы неэкономичны. Плоские и вогнутые швы предпочтительны при динамических и знакопеременных нагрузках, так как в этих случаях отсутствует резкий переход от основного металла к сварному шву. При наличии же такого перехода возникает концентрация напряжений, которые могут вызвать разрушение сварного соединения.

Сварные швы по характеру исполнения подразделяются на одно- и двухсторонние, по числу слоев и проходов — соответственно на одно- и многослойные, на одно- и многопроходные (рис. 2.4).

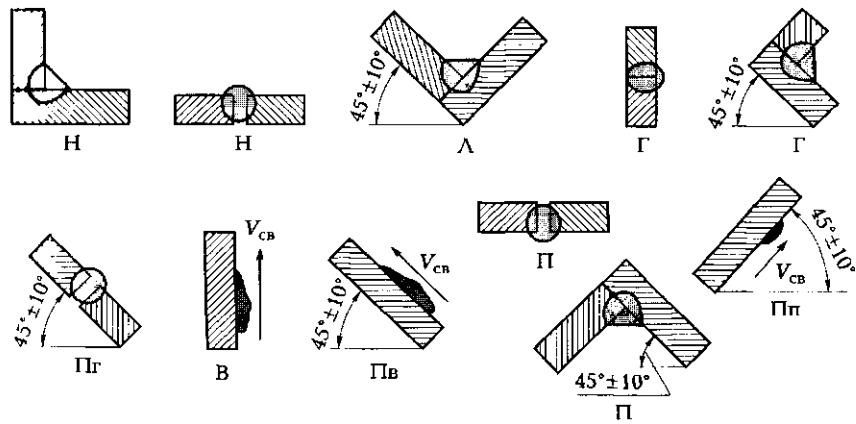


Рис. 2.3. Обозначения сварных швов, имеющих разное пространственное положение:

Н — нижнее; Л — «в лодочку»; Г — горизонтальное; Pg — полугоризонтальное; В — вертикальное; Pv — полувертикальное; П — потолочное; Ppi — полупотолочное; V_{cb} — скорость сварки

Слой — это часть металла сварного шва, которая состоит из одного или нескольких валиков, расположенных на одном уровне поперечного сечения шва.

Валик — это металл сварного шва, наплавленный или переплавленный за один проход.

Под **проходом** понимают выполнение сварного шва (валика) при однократном перемещении источника теплоты в одном направлении.

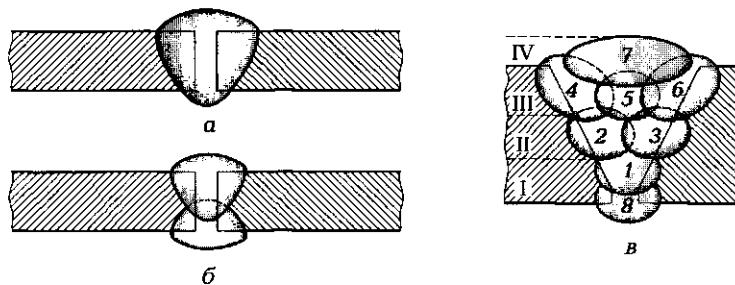


Рис. 2.4. Строение сварных швов разного исполнения:

а — односторонний; б — двухсторонний однопроходный; в — многослойный многопроходный: 1—8 — очередьность выполнения проходов (1 — корневой шов; 2—6 — промежуточные швы; 7 — облицовочный шов; 8 — подварочный шов); I—IV — слои швов

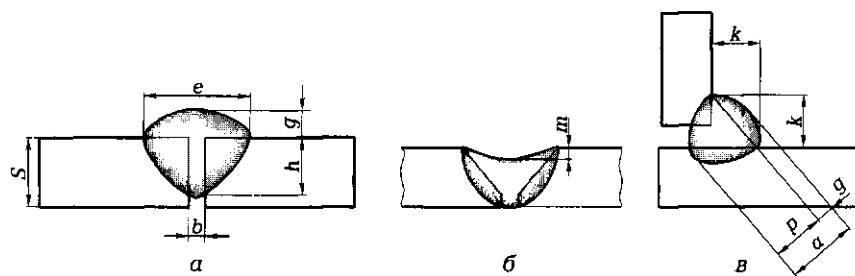


Рис. 2.5. Основные геометрические параметрыстыковых (а, б) и углового (в) сварных швов:

S — толщина свариваемой детали; b — зазор; e — ширина шва; g — выпуклость; h — глубина проплавления; m — вогнутость; k — катет углового шва; p — расчетная высота углового шва; a — толщина углового шва

Часть сварного шва, наиболее удаленную от его лицевой поверхности, называют **корнем шва**.

Заключительный слой многослойного сварного шва, перекрывающий предыдущие слои, принято называть **облицовочным швом**.

Для обеспечения высокого качества сварного соединения часто накладывают **подварочный шов**.

Сварной шов, выполняемый при монтаже конструкции, называют **монтажным**.

Короткие сварные швы, предназначенные для фиксации взаимного расположения свариваемых деталей, принято называть **прихватками**.

Основные геометрические параметрыстыкового и углового сварных швов согласно ГОСТ 2601—84* приведены на рис. 2.5.

В металле швов сварных соединений в процессе эксплуатации конструкций возникают напряжения двух родов — рабочие и связующие. Сварные соединения и швы называются **рабочими**, если на них действуют такие же нагрузки, что и на основной металл. Разрушение этих соединений и швов влечет за собой выход из строя конструкции. Например, рабочими являютсястыковые сварные соединения, продольная ось которых перпендикулярна направлению действия сил растяжения или сжатия.

Если же эксплуатационная нагрузка приложена вдоль оси шватарового соединения, то в металле шва возникают напряжения, не опасные для прочности конструкции. Такие швы называют **связующими**.

При действии продольной или поперечной силы на угловые швы их прочность проверяют на условный срез. Угловые соединения в связующих элементах не подлежат расчету на прочность. Наибольшая концентрация напряжений имеет место в нахлесточных соединениях, а также при приварке усиливающих элементов непосредственно к сварному узлу. Такие сварные узлы в большей степени подвержены усталостным разрушениям.

Стыковое соединение представляет собой наиболее совершенную форму сварных соединений, где все швы и основной металл находятся в одинаковых эксплуатационных условиях.

В различных отраслях промышленности для расчета сварных металлических конструкций на прочность применяют разные подходы. В машиностроении расчет выполняют по допустимым напряжениям, а в промышленном строительстве — по предельным состояниям.

Расчетное напряжение, МПа, определяется по формуле

$$\sigma = N/F,$$

где N — нагрузка (усилие), которую воспринимает сварной элемент конструкции или сварной шов, кгс; F — площадь поперечного сечения сварного элемента или шва, мм^2 ($1 \text{ кгс}/\text{мм}^2 \approx 10 \text{ МПа}$).

При расчете по допустимым напряжениям исходят из того, что действующие в отдельных элементах конструкций напряжения не должны превышать предела упругости, т. е. конструкция должна работать при состоянии металла, соответствующем его упругой стадии. В качестве предельных напряжений принимается предел текучести. Допустимое напряжение зависит от физико-механических свойств металла, точности выполняемых расчетов, вида нагрузочных усилий (растяжение, сжатие, изгиб или срез), особенностей технологического процесса и характера нагрузок (статические, ударные, вибрационные), при которых работает конструкция.

Формула расчета конструкции на прочность имеет вид

$$\sigma \leq [\sigma] = \sigma_u/k,$$

где $[\sigma]$ — допустимое напряжение; σ_u — предельное напряжение для выбранного металла (для пластичных металлов это предел текучести, для хрупких — предел прочности); k — коэффициент запаса прочности, который выбирается на основании опытных данных применительно к конкретным сварным узлам или конструкциям.

Расчет по предельным состояниям осуществляется в том случае, когда предполагаемая конструкция будет работать в запредельных условиях силовых воздействий, при которых она перестает удовлетворять требованиям заказчика, заданным при проектировании. При этом расчете за основные характеристики сопротивления металла силовым воздействиям принимаются нормативные сопротивления: наименьшее значение предела текучести или временного сопротивления на разрыв. Сопротивление сварного соединения вычисляют в зависимости от расчетного сопротивления основного металла, конструктивных особенностей соединения, технологии его выполнения и характера нагрузок.

Сварные соединения должны быть по возможности равнопрочными с основным металлом деталей сварных узлов для обеспечения гарантии работоспособности конструкции в процессе эксплуатации.

При изготовлении ответственных конструкций выпуклость на рабочих швах снимают пневматическими бормашинками, специальными фрезами или пламенем горелки для аргонодуговой сварки (выглаживание). Расчеты на прочность сварного соединения из деталей разной толщины выполняют исходя из размеров детали меньшей толщины.

Геометрические размеры конструктивных элементов сварных швов и соединений для получения высококачественных швов рассчитывают при соблюдении принятой технологии и режимов сварки. К основным конструктивным элементам относятся ширина, толщина и выпуклость шва, глубина проплавления основного металла, зазор встыковом соединении, толщина свариваемых деталей, скос, притупление, угол и форма разделки кромок.

Форма разделки кромок свариваемых деталей влияет на количество необходимого электродного металла и производительность сварочного процесса. При малой толщине свариваемых деталей выполняют отбортовку, при средней толщине (4...5 мм) — скос кромок отсутствует, а при большой толщине деталей применяют прямолинейный скос одной кромки, прямолинейный одно- или двухсторонний скос двух кромок и криволинейный одно- или двухсторонний скос двух кромок.

Основные формы разделки кромок для сварки стыковых соединений приведены на рис. 2.6.

По *протяженности* сварные швы подразделяются на непрерывные (стыковые, угловые) и прерывистые (угловые) шахматные или цепные (рис. 2.7), а по *отношению к направлению действующего усилия* в нахлесточных соединени-

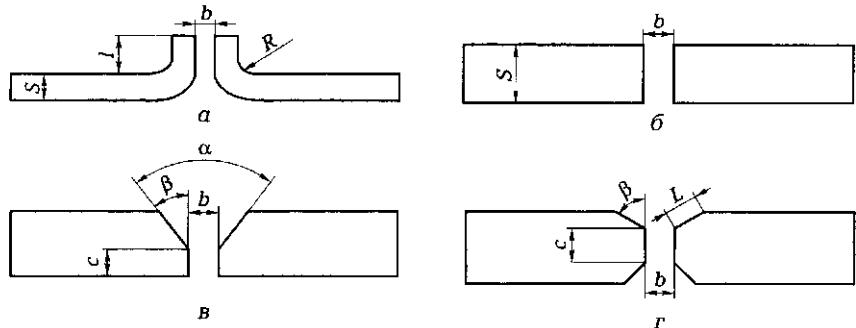


Рис. 2.6. Основные формы [a—*г*] разделки кромок для сварки стыковых соединений:

S — толщина деталей; *b* — высота отбортовки; *b* — зазор; *R* — радиус закругления отбортовки; *c* — притупление кромок; α — угол разделки кромок; β — угол скоса кромки; *L* — длина скоса кромки

ях — на продольные (фланговые), поперечные (лобовые), комбинированные и косые (рис. 2.8).

При двухстороннем скосе кромок по сравнению с односторонним объем наплавленного металла можно уменьшить в 1,6—1,7 раза. Кроме того, данная разделка кромок обеспечивает меньшую деформацию изготовленного сварного узла. Угол скоса кромок может составлять 30...50°, а угол их разделки — 60...90°. Притупление кромок выбирают в пределах 1...3 мм в зависимости от толщины свариваемых деталей. Притупление необходимо для предотвращения прожога при наложении корневого шва и дальнейшего правильного формирования сварного шва.

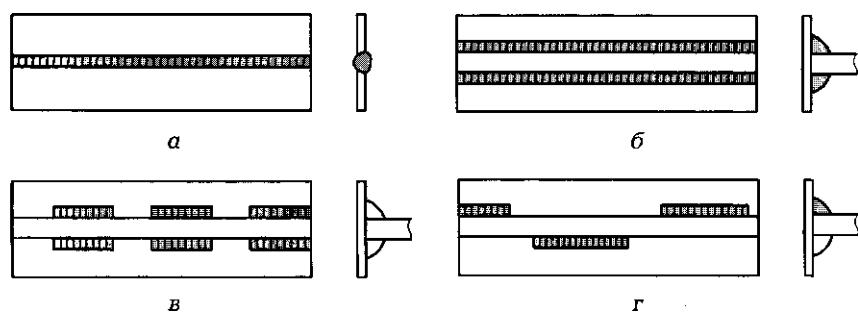


Рис. 2.7. Классификация сварных швов по протяженности:

а — непрерывный стыковой; *б* — непрерывные угловые; *в* — прерывистые цепные;
г — прерывистые шахматные

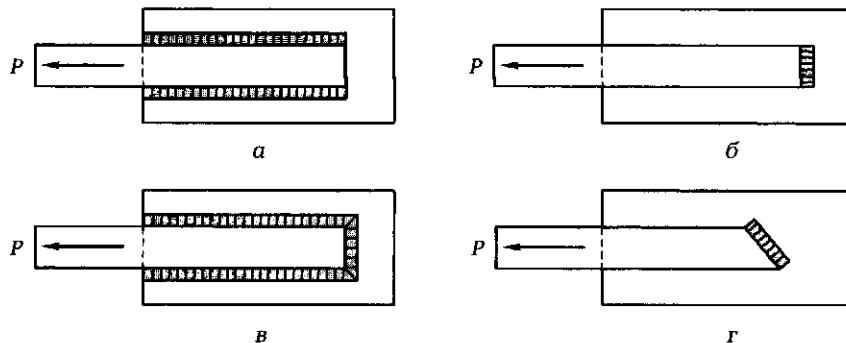


Рис. 2.8. Классификация сварных швов по отношению к направлению действующего усилия P :

а — продольный [фланговый]; *б* — поперечный [лобовой]; *в* — комбинированный; *г* — косой

Швы таврового соединения имеют особую форму разделки кромок. Скос кромки (в основном прямолинейный) производят на одной детали (вертикальной полке). Скос кромки на деталях толщиной до 4 мм не выполняют.

Зазор при сборке под сварку определяется толщиной свариваемых деталей, маркой материала, способом сварки и типом сварного соединения. Например, минимальный зазор обеспечивают при сварке без присадочного металла деталей небольшой толщины (до 2 мм) или при дуговой сварке неплавящимся электродом алюминиевых сплавов. При сварке плавящимся электродом зазор обычно составляет не более 5 мм. Увеличение зазора способствует более глубокому проплавлению металла при сварке деталей средней и большой толщины. В случае выполнениястыковых швов следует учитывать, что при сварке на весу зазоры должны быть минимальными, а при сварке по увеличенным зазорам необходимо применять подкладки для предотвращения прожога и вытекания металла сварочной ванны (особенно при сварке алюминия и его сплавов).

При сварке деталей средней и большой толщины (особенно при изготовлении коробчатых сварных узлов) возникает смещение

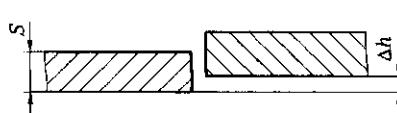


Рис. 2.9. Смещение кромок (депланация) свариваемых деталей:
 S — толщина деталей; Δh — смещение кромок относительно друг друга

ние кромок деталей (рис. 2.9). Такое смещение допускается в заданных пределах: при толщине деталей $S < 4$ мм смещение не должно превышать 0,5 мм, при $S = 4 \dots 10$ мм — 1 мм, а при $S = 10 \dots 100$ мм — 3 мм.

Основные типы, конструктивные элементы, геометрические параметры и условные обозначения швов сварных соединений, выполняемых различными способами, установлены следующими государственными стандартами:

- ручная дуговая сварка покрытым или неплавящимся электродом (обозначается Р) — ГОСТ 5264—80;
- дуговая сварка алюминия и алюминиевых сплавов в инертных газах — ГОСТ 14806—80:
 - РИНп — ручная неплавящимся электродом с присадочным металлом;
 - АИНп — автоматическая неплавящимся электродом с присадочным металлом;
 - АИНП-3 — автоматическая неплавящимся электродом с присадочным металлом, трехфазная;
 - АИП — автоматическая плавящимся электродом, однодуговая;
 - ПИП — полуавтоматическая плавящимся электродом;
- дуговая сварка под флюсом — ГОСТ 8713—79:
 - АФ — автоматическая на весу;
 - АФф — автоматическая на флюсовой подушке;
 - АФм — автоматическая на флюсомедной подкладке;
 - АФо — автоматическая на остающейся подкладке;
 - АФш — автоматическая с предварительным наложением подварочного шва;
 - АФк — автоматическая с предварительной подваркой корня шва;
 - ПФ — полуавтоматическая на весу;
 - ПФо — полуавтоматическая на остающейся подкладке;
 - ПФш — полуавтоматическая с предварительным наложением подварочного шва;
 - ПФк — полуавтоматическая с предварительной подваркой корня шва;
- дуговая сварка в защитных газах — ГОСТ 14771—76:
 - ИН — в инертных газах неплавящимся электродом без присадочного металла;
 - ИНп — в инертных газах неплавящимся электродом с присадочным металлом;

- ИП — в инертных газах и их смесях с углекислым газом и кислородом плавящимся электродом;
- УП — в углекислом газе и его смеси с кислородом плавящимся электродом;
- электрошлаковая сварка — ГОСТ 15164—78.

Таблица 2.1. Условные обозначения швов сварных соединений

Характеристика шва	Пример обозначения
Стыковой шов выполнить ручной дуговой сваркой покрытым электродом	ГОСТ 5264-80-С16
Монтажный стыковой шов выполнить ручной дуговой сваркой покрытым электродом. Выпуклость удалить	ГОСТ 5264-80-С17-Ω
Стыковой шов выполнить по замкнутому контуру. Обработать с плавным переходом к основному металлу	ГОСТ 5264-80-С21-△△
Шов таврового соединения выполнить дуговой сваркой в углекислом газе плавящимся электродом. Катет шва 6 мм. Шов прерывистый шахматный, длина шва 50 мм, шаг 150 мм	ГОСТ 14771-76-Т4-△6-50 Z150
Угловой невидимый шов выполнить по незамкнутому контуру ручной дуговой сваркой покрытым электродом. Катет 5 мм	ГОСТ 5264-80-У4-△5
Упрощенное обозначение одинаковых сварных швов под порядковыми номерами, если обозначение и ГОСТ указаны в примечаниях чертежа	1 №1 2 №1 3 №1

Таблица 2.2. Вспомогательные знаки, входящие в обозначение сварного шва

Содержание	Изображение знака
Знак, проставляемый перед размером катета	
Шов прерывистый цепной (угол наклона линии 60°)	

Окончание табл. 2.2

Содержание	Изображение знака
Шов прерывистый шахматный	
Шов по замкнутой линии (диаметр знака 3...5 мм)	
Шов по незамкнутой линии (знак применяется, если расположение шва не ясно из чертежа)	
Шов выполнить при монтаже изделия, т. е. по монтажному чертежу	
Выпуклость снять	
Выполнить местную обработку шва в его переходах к основному металлу	

В стандартах принято буквенно-цифровое условное обозначение швов сварных соединений. Буквенная часть указывает тип сварного соединения: С — стыковое, У — угловое, Т — тавровое, Н — нахлесточное, а цифровая — порядковый номер типа шва в конкретном стандарте. Например, в ГОСТ 5264—80 швы стыковых соединений обозначены С1—С45, угловых — У1—У10, тавровых — Т1—Т9 и нахлесточных — Н1—Н4, а в ГОСТ 14771—76 — соответственно С1—С27, У1—У10, Т1—Т9, Н1—Н4.

ГОСТ 2.312—72 устанавливает условные обозначения швов сварных соединений (табл. 2.1) и вспомогательные знаки, входящие в обозначения сварных швов на чертежах (табл. 2.2). Причем обозначение видимого шва указывается над полкой-выноской, а невидимого — под полкой.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называют сварным соединением, какие типы соединений и швов применяют при сварке?

2. Как подразделяются сварные швы по расположению в пространстве?
3. Как подразделяются сварные швы по характеру исполнения и форме наружной поверхности?
4. Что представляют собой прихватки?
5. Какие напряжения возникают в сварных швах и соединениях?
6. В чем состоят особенности расчета сварных конструкций на прочность по допустимым напряжениям и предельным состояниям?
7. Каковы основные конструктивные элементы сварных швов и сварных соединений?
8. Чем обусловлены разные формы разделки кромок?
9. Как влияет зазор между деталями на формирование сварного шва?
10. Для каких целей применяются вспомогательные знаки в обозначениях сварных швов?

Глава 3

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СТАЛЯХ И ИХ СВАРИВАЕМОСТИ

3.1. УГЛЕРОДИСТЫЕ СТАЛИ

По химическому составу стали подразделяются на углеродистые и легированные. По назначению различают стали конструкционные с содержанием углерода, равным сотым долям процента, и инструментальные с содержанием углерода, составляющим десятые доли процента. Наибольший объем сварочных работ связан с использованием низкоуглеродистых и низколегированных конструкционных сталей.

Основным элементом в углеродистых конструкционных сталях является углерод, который определяет механические свойства сталей этой группы. Углеродистые стали могут быть обычного качества и качественные.

Углеродистые стали *обыкновенного качества* (ГОСТ 380—71) подразделяются на три группы:

- А (по механическим свойствам);
- Б (по химическому составу);
- В (по механическим свойствам и химическому составу).

Изготавливают стали следующих марок:

- группа А — Ст0, Ст1, Ст2, Ст3, Ст4, Ст5, Ст6;
- группа Б — БСт0, БСт1, БСт2, БСт3, БСт4, БСт5, БСт6;
- группа В — ВСт0, ВСт1, ВСт2, ВСт3, ВСт4, ВСт5.

В зависимости от степени раскисления сталь обычного качества имеет следующие обозначения: кл — кипящая, ис — полуспокойная, сп — спокойная.

Кипящая сталь, содержащая не более 0,07 % кремния, получается при неполном раскислении металла марганцем. Такая сталь характеризуется резко выраженной неравномерностью распределения вредных примесей — серы и фосфора по толщине проката.

Местная повышенная концентрация серы может привести к образованию кристаллизационных трещин в шве и околошовной зоне. Кипящая сталь склонна к старению в околошовной зоне и переходу в хрупкое состояние при отрицательных температурах.

Спокойная сталь образуется при раскислении металла марганцем, алюминием и кремнием и содержит не менее 0,12 % кремния; сера и фосфор распределены в ней более равномерно, чем в кипящей стали. Спокойная сталь менее склонна к старению и отличается меньшей реакцией на сварочный нагрев.

Полуспокойная сталь по склонности к старению занимает промежуточное положение между кипящей и спокойной сталью. Полуспокойные стали с номерами марок 1—5 выплавляют с нормальным и повышенным содержанием марганца (примерно до 1 %). В последнем случае после номера марки ставят букву Г (например, ВСтЗГпс).

Стали группы А не применяются для изготовления сварных конструкций. Стали группы Б подразделяются на две категории. Для сталей первой категории регламентировано содержание углерода, кремния и марганца и ограничено максимальное содержание серы, фосфора, азота и мышьяка; для сталей второй категории ограничено также максимальное содержание хрома, никеля и меди.

Стали группы В разделены на шесть категорий. Полное обозначение стали включает в себя марку, степень раскисления и номер категории. Например, запись ВСтЗГпс означает следующее: сталь группы В, марки СтЗГ, полуспокойная, пятой категории. Состав сталей группы В такой же, как и у сталей соответствующих марок группы Б второй категории. Стали ВСт1—ВСт3 всех категорий и степеней раскисления выпускают с гарантированной свариваемостью. Стали БСт1—БСт3 поставляют с гарантией свариваемости по требованию заказчика.

Углеродистую качественную сталь выпускают в соответствии с ГОСТ 1050—74**. Данная сталь отличается пониженным содержанием серы. Допустимое отклонение содержания углерода в ней 0,03...0,04 %. Стали с содержанием углерода до 0,20 % могут быть кипящими, полуспокойными и спокойными, тогда как остальные стали — только спокойными. Для спокойных сталей с более высоким содержанием углерода после цифр буквы «сп» не ставят. Углеродистые качественные стали, предназначенные для изготовления конструкций, применяют в горячекатаном состоянии и в меньшем объеме после нормализации и закалки с отпуском. Углеродистые стали в зависимости от содержания углерода подразделяются на три подкласса: низко- (содержание углерода до 0,25 %), средне-

(0,25...0,60 %) и высокоуглеродистые (более 0,60 %). В сварных конструкциях используют в основном низкоуглеродистые стали.

В сварочном производстве чрезвычайно важным является понятие о свариваемости металлов. **Свариваемостью** называется способность металла или сочетания металлов образовывать при установленной технологии сварки соединения, отвечающие требованиям, обусловленным конструкцией и эксплуатацией изделия.

По *свариваемости* углеродистые стали условно подразделяются на четыре группы: I — хорошо сваривающиеся; II — удовлетворительно сваривающиеся (для получения качественных сварных соединений деталей из этих сталей необходимо строгое соблюдение режимов сварки, специальные сварочные материалы, определенные температурные условия, а в некоторых случаях — подогрев и термообработка); III — ограниченно сваривающиеся (для получения качественных сварных соединений в этом случае необходимы дополнительный подогрев, предварительная или последующая термообработка); IV — плохо сваривающиеся (сварные швы в этом случае склонны к образованию трещин, характеристики сварных соединений пониженные, стали этой группы обычно не применяют для изготовления сварных конструкций).

Все низкоуглеродистые стали хорошо свариваются всеми существующими способами сварки плавлением. Обеспечение равнопрочности такого сварного соединения не вызывает затруднений. Швы имеют удовлетворительную стойкость к образованию кристаллизационных трещин, что обусловлено низким содержанием углерода. Однако в сталях, содержащих углерод в количестве, соответствующем его верхнему пределу, вероятность возникновения холодных трещин увеличивается с ростом скорости охлаждения, при сварке в условиях отрицательных температур, сварке швами малого сечения и т. д. В этих случаях появление трещин предупреждают посредством предварительного подогрева металла до температур 120...200 °C.

3.2. ЛЕГИРОВАННЫЕ СТАЛИ

Сталь, содержащая один или несколько легирующих элементов, вводимых для придания изделию определенных физико-механических свойств, называется легированной. Содержание некоторых элементов, когда они не являются легирующими, должно составлять, %, не более: кремния — 0,5; марганца — 0,8; хрома — 0,3; никеля — 0,3 и меди — 0,3.

Легированные стали подразделяются на подклассы: низко-, средне- и высоколегированные.

Низколегированная сталь — это сталь, легированная одним элементом при содержании его не более 2 % или несколькими элементами при их суммарном содержании не более 3,5 %.

Среднелегированная сталь легирована одним элементом при его содержании не более 8 % или несколькими элементами при их суммарном содержании, как правило, не более 12 %.

Высоколегированная сталь характеризуется суммарным содержанием легирующих элементов не менее 10 %, при содержании одного из них не менее 8 % и содержании железа более 45 %.

Маркировка всех легированных конструкционных сталей однотипна. Первые две цифры указывают содержание углерода в сотых долях процента, буквы являются условными обозначениями легирующих элементов, а числа после букв указывают их содержание в процентах. Если содержание легирующего элемента не превышает 1 %, то цифра отсутствует. Буква А в конце обозначения марки показывает, что сталь высококачественная, с пониженным содержанием серы и фосфора.

Основными элементами, влияющими на свойства стали, являются углерод, марганец и кремний.

При увеличении содержания углерода в стали повышается ее твердость и снижается пластичность. Окисление углерода во время сварки вызывает появление множества пор.

Марганец повышает ударную вязкость и хладноломкость стали. Будучи хорошим раскислителем, он способствует уменьшению содержания кислорода в стали. При содержании марганца в стали более 1,5 % свариваемость ухудшается, так как увеличивается ее твердость, образуются закалочные структуры и могут появиться трещины.

Кремний вводится в сталь как раскислитель. При его содержании более 1 % свариваемость стали ухудшается, так как возникают тугоплавкие оксиды, что ведет к появлению шлаковых включений. Сварной шов становится хрупким.

Хром при значительном содержании в стали ухудшает ее свариваемость вследствие образования тугоплавких оксидов и закалочных структур.

Никель повышает прочность и пластичность шва и не ухудшает свариваемость.

Алюминий, являющийся активным раскислителем стали, повышает ее окалиностойкость.

664.21

Вольфрам повышает прочность и твердость при повышенных температурах, ухудшает свариваемость и сильно окисляется.

Ванадий затрудняет сварку, сильно окисляется и требует введения в зону плавления активных раскислителей.

Медь улучшает свариваемость, повышая прочность, ударную вязкость и коррозионную стойкость сталей.

Сера приводит к образованию горячих трещин.

Фосфор вызывает при сварке появление холодных трещин.

Как правило, в результате повышения уровня легирования и прочности стали ухудшается ее свариваемость. Углерод оказывает наиболее существенное влияние на свойства сталей. Доля влияния каждого легирующего элемента может быть сопоставлена с долей влияния углерода.

Для определения эквивалентного содержания углерода Международным институтом сварки рекомендуется следующая формула:

$$C_e = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15},$$

где содержание углерода и легирующих элементов выражено в процентах.

Если $C_e < 0,4\%$, то трещины в зоне термического влияния не возникают.

При $C_e = 0,4\dots 0,7\%$ необходим предварительный подогрев.

Если $C_e = 0,7\dots 1,0\%$, то требуется не только предварительный, но и сопутствующий подогрев.

При $C_e > 1,0\%$ сталь не сваривается обычными (традиционными) методами сварки плавлением.

Вероятность образования холодных трещин уменьшается при выборе рационального способа и технологии сварки, применении предварительного подогрева, снижении содержания водорода в сварном соединении и проведении отпуска после сварки.

Элементами, способствующими возникновению горячих трещин, являются, прежде всего, сера, затем углерод, фосфор, кремний и др. К элементам, повышающим стойкость швов к появлению трещин и нейтрализующим действие серы, относятся марганец, кислород, титан, хром и ванадий. Предупредить образование горячих трещин можно посредством уменьшения числа и плотности расположения швов, выбора оптимальной формы разделки кромок, устранения излишней жесткости закрепления деталей, а также применения предварительного подогрева, электродного металла с более низким содержанием углерода и кремния.

Низколегированные стали хорошо свариваются любыми способами сварки плавлением. Их стоимость несколько выше стоимости углеродистых сталей, однако возрастающие затраты окупаются благодаря ряду их достоинств: при одинаковой толщине основного металла срок службы сварных узлов и конструкций значительно увеличивается; повышенная прочность позволяет, применяя более тонкий металл, снизить металлоемкость конструкции, что особенно важно при производстве транспортных средств.

Несколько сложнее технология сварки средне- и высоколегированных сталей. Получение равнопрочного сварного соединения, особенно при сварке термоупрочняемых сталей, требует использования определенных технологических приемов. В зонах, удаленных от высокотемпературной области, возникает холодная пластическая деформация. При наложении последующих слоев эти зоны становятся участками деформационного старения, приводящего к снижению пластичности, повышению прочности металла и, следовательно, к возможности появления холодных трещин. В сталях с высоким содержанием углерода повышенное количество марганца и хрома увеличивает вероятность образования холодных трещин (особенно с ростом скорости охлаждения). Предварительный подогрев и последующая термообработка позволяют благодаря снижению остаточных сварочных напряжений получить сварные соединения из легированных сталей с необходимыми механическими свойствами.

По разрезаемости легированные стали подразделяются на четыре группы в соответствии со значениями эквивалентного содержания углерода.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. На какие группы подразделяются углеродистые стали обыкновенного качества?
2. Назовите достоинства и недостатки низколегированных сталей.
3. Для чего вводится понятие эквивалентного содержания углерода и как определяется эта величина?
4. В чем заключается суть понятия свариваемости сталей?
5. Каково назначение легирующих элементов?
6. Как классифицируются легированные стали?
7. Какие химические элементы наиболее существенно влияют на свойства сталей?
8. В чем состоят трудности при сварке высоколегированных сталей?

Глава 4

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ДУГОВОЙ СВАРКИ

4.1. СВАРОЧНАЯ ДУГА И СУЩНОСТЬ ПРОТЕКАЮЩИХ В НЕЙ ПРОЦЕССОВ

Состояние любого вещества характеризуется взаимосвязью молекул и атомов. Различают три основных состояния вещества: твердое, жидкое и газообразное, в каждом из которых расстояния между молекулами будут разными. Твердое и жидкое состояния вещества имеют общее название — конденсированное состояние. При таком состоянии вещества расстояния между молекулами очень малы, чем объясняется его плохая сжимаемость. В газах расстояния между молекулами значительно больше, поэтому они могут сравнительно легко сжиматься под воздействием внешнего давления.

В твердых и жидких веществах внешние электроны, далеко отстоящие от ядра своих атомов, легко теряют связь с ядром и свободно перемещаются по веществу. Такие свободные электроны называются электронами проводимости и являются носителями тока в проводнике. В газах электроны притягиваются только к своим ядрам, поэтому при обычных условиях газы не проводят ток. Однако в электрической дуге газы ионизируются и приобретают электропроводность.

Сварочной дугой называют разряд электрического тока в газовой среде между находящимися под напряжением твердыми или жидкими проводниками (электродами). Этот разряд является концентрированным источником теплоты для расплавления металла при сварке. Электрические заряды в сварочной дуге переносятся заряженными частицами — электронами и положительно заряженными ионами. Процесс, при котором в газе образуются ионы, называется ионизацией, а такой газ — ионизированным, способным проводить электрический ток.

Одновременно с ионизацией непрерывно происходит уравновешивающий ее процесс деионизации. В любой точке дугового

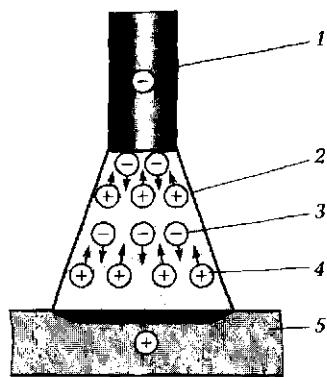


Рис. 4.1. Схема процесса рекомбинации:
1 — электрод; 2 — дуга; 3 — электрон; 4 — положительный ион; 5 — основной металл

разряда концентрация заряженных частиц (отрицательных электронов и положительных ионов) определяется равенством скоростей их образования и последующего объединения в нейтральные атомы. Такой процесс называется рекомбинацией (рис. 4.1). При этом совершается работа — преобразование электрической энергии в тепловую.

Температура в зоне столба дуги при сварке, зависящая от плотности сварочного тока, достигает 8 000 °С.

Возбуждение дуги при сварке плавящимся электродом начинается с короткого замыкания электрода и основного металла. Из-за шероховатости поверхности электродов касание при коротком замыкании происходит отдельными выступающими участками, которые мгновенно расплавляются под воздействием выделяющейся теплоты вследствие высокой плотности сварочного тока. Между основным металлом и электродом образуется жидкая перемычка.

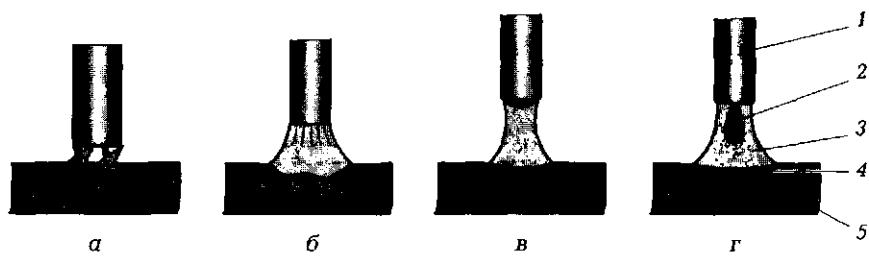
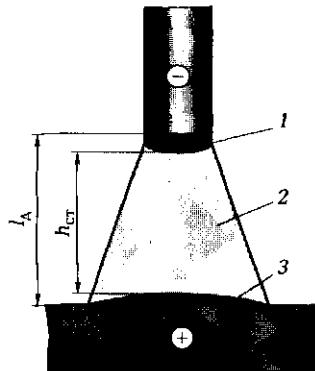


Рис. 4.2. Схема процесса возбуждения дуги:
а — короткое замыкание; б — образование прослойки расплавленного металла; в — образование шейки; г — возникновение дуги; 1 — электрод; 2 — капля электродного металла; 3 — дуга; 4 — формирующаяся сварочная ванна; 5 — основной металл

Рис. 4.3. Строение сварочной дуги:

1 — катодная область ($T_k \approx 3000^{\circ}\text{C}$); 2 — столб дуги ($T_{cr} \approx 8000^{\circ}\text{C}$); 3 — анодная область ($T_a \approx 4000^{\circ}\text{C}$); l_d — длина дуги; h_{cr} — высота столба дуги



При отводе электрода эта перемычка растягивается, ее сечение уменьшается, электрическое сопротивление и температура возрастают. Когда температура расплавленного металла перемычки достигает точки кипения, пары металла легко ионизируются, и возникает дуга (рис. 4.2). Возбуждение дуги длится доли секунды. Из расплавленного металла формируется сварочная ванна.

Дуга, горящая между электродом и свариваемой деталью на воздухе, называется свободной. Свободная дуга состоит из трех областей: катодной с катодным пятном, из которого происходит эмиссия (выход) электронов; анодной с анодным пятном, которое бомбардирует поток электронов; столба дуги, расположенного между катодной и анодной областями (рис. 4.3).

Сварочные дуги классифицируются по степени сжатия, способу подключения к источнику питания и роду тока (рис. 4.4).

По степени сжатия различают свободную и сжатую дуги. Свободная дуга используется в основном при сварке покрытым электродом. Сжатая дуга, горящая в плазмотроне, применяется для плазменной резки толстолистовых заготовок из алюминия и его сплавов, а также коррозионно-стойкой стали и сплавов с высокой теплопроводностью.

По способу подключения к источнику питания дуга может быть прямого и косвенного действия. Источниками питания дуги прямого действия служат сварочные трансформаторы (переменный ток) или выпрямители (постоянный ток), а дуги косвенного действия, используемой в основном для специальных видов сварки (например, атомно-водородной), — специальные сварочные трансформаторы.

По роду тока различают дугу переменного тока (однофазная или трехфазная комбинированная) и дугу постоянного тока

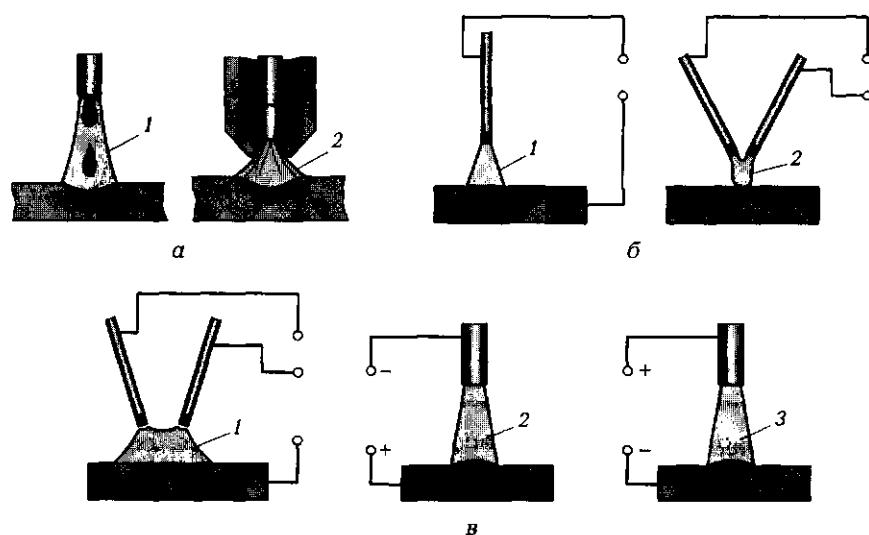


Рис. 4.4. Виды сварочных дуг:

а — по степени сжатия: 1 — свободная дуга; 2 — сжатая дуга [за счет дополнительной подачи защитного газа в сопло горелки]; *б* — по способу подключения к источнику питания: 1 — дуга прямого действия; 2 — дуга косвенного действия; *в* — по роду тока: 1 — трехфазная дуга переменного тока; 2 — дуга постоянного тока прямой полярности; 3 — дуга постоянного тока обратной полярности

(прямой или обратной полярности). Комбинированная дуга применяется в основном при изготовлении сварных спиралевидных труб на автоматических установках (сварка под флюсом), а дуга постоянного тока прямой или обратной полярности — при сварке различных сталей, цветных металлов и сплавов.

По виду статической вольт-амперной характеристики (ВАХ) различают сварочные дуги с падающим, жестким и возрастающим участками (областями).

Дугу называют короткой, если ее длина составляет 2...4 мм; длина нормальной дуги составляет 4...6 мм; дугу длиной более 6 мм называют длинной. Ориентировочную длину дуги, мм, рассчитывают по формуле

$$L_d = (0,5 \dots 1,1)d_s,$$

где d_s — диаметр электродной проволоки (стержня), мм.

Необходимы определенные технологические условия, обеспечивающие быстрое возбуждение дуги, ее устойчивое горение и быстрое повторное возбуждение после обрыва.

Условия возбуждения и устойчивого горения дуги зависят от таких факторов, как состав покрытия электродов, род тока (постоянный или переменный), прямая или обратная полярность постоянного тока при сварке, диаметр электрода и температура окружающей среды.

Для возбуждения дуги требуется большее напряжение, чем для ее горения. Напряжение, подводимое от источника питания дуги к электроду при разомкнутой сварочной цепи, называется напряжением холостого хода. При сварке на постоянном токе напряжение холостого хода не превышает 90 В, а на переменном токе — 80 В. Во время горения дуги напряжение, подаваемое от источника питания, значительно снижается и достигает уровня, необходимого для устойчивого горения дуги.

В процессе горения дуги ее напряжение и сила тока в сварочной цепи находятся в определенной зависимости друг от друга. Эту зависимость при условии постоянства длины дуги называют статической ВАХ дуги (рис. 4.5).

В области до 100 А с увеличением силы тока напряжение резко снижается, так как при повышении силы тока увеличиваются поперечное сечение столба дуги и его проводимость. Вольт-амперная характеристика здесь будет падающей, и дуга горит неустойчиво. В области 100...1 000 А при увеличении силы тока сохраняется постоянное напряжение, так как поперечное сечение столба дуги и площади анодного и катодного пятен увеличиваются пропорцио-

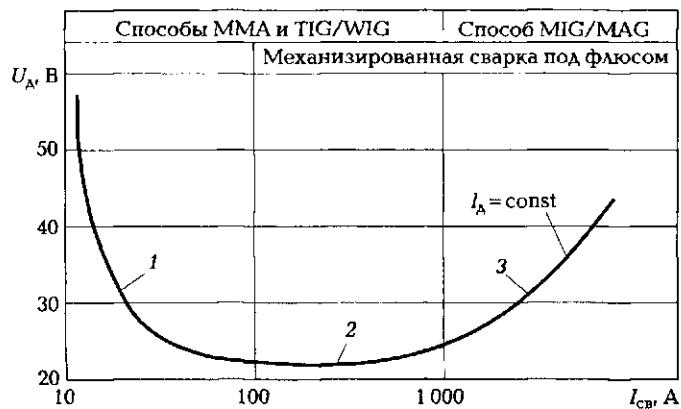


Рис. 4.5. Статическая вольт-амперная характеристика дуги:
1, 2, 3 — соответственно падающий, жесткий и возрастающий участок характеристики

нально силе тока, — ВАХ здесь жесткая, дуга горит устойчиво и обеспечивается нормальный процесс сварки. В области свыше 1 000 А увеличение силы тока вызывает возрастание напряжения дуги, так как превышение определенного значения плотности тока не сопровождается увеличением площади катодного пятна из-за ограниченного поперечного сечения электрода; при этом ВАХ дуги будет возрастающей. Дуга с такой ВАХ используется при сварке под флюсом и в защитных газах.

Таким образом, первым условием возбуждения и горения дуги является наличие электрического источника питания достаточной мощности, позволяющего быстро нагреть катод до высокой температуры.

Вторым условием возбуждения дуги и ее устойчивого горения является быстрая ионизация столба дуги за счет введения в состав электродного покрытия или флюса таких элементов, как калий, натрий, барий, литий, алюминий, кальций и др. Эти элементы, обладающие низким потенциалом ионизации, в момент возбуждения дуги способствуют быстрому ее возникновению и стабилизируют процесс горения.

Условием возбуждения и устойчивого горения дуги при сварке на переменном токе также является наличие в сварочной цепи дросселя (повышенной индуктивности). Это объясняется тем, что в сварочной цепи переменного тока, имеющей только омическое сопротивление, в процессе горения дуги образуются обрывы (100 обрывов дуги в секунду при промышленной частоте переменного тока 50 Гц). При включении дросселя в сварочную цепь переменного тока происходит сдвиг фаз тока и напряжения источника питания, и горение дуги относительно стабилизируется.

Однако перечисленных способов недостаточно для обеспечения надежного возбуждения и устойчивого горения дуги при сварке на переменном токе. Рассмотрим этот процесс несколько подробнее.

Устойчивость горения дуги зависит от того, насколько легко происходит повторное ее возбуждение в каждом полупериоде, а это определяется физическими и электрическими процессами в дуговом промежутке между каждым затуханием и новым возбуждением дуги. В момент перехода амплитуды тока к нулевому значению снижение силы тока сопровождается уменьшением температуры и степени ионизации в столбе дуги и, следовательно, температуры активных пятен на аноде и катоде. Вследствие тепловой инерции снижение температуры отстает по фазе при переходе силы тока через нулевое значение.

Наиболее ускоренно снижается температура активного пятна на поверхности сварочной ванны, а теплота интенсивно отводится в свариваемую деталь. Вслед за затуханием дуги происходит изменение полярности напряжения и направления движения заряженных частиц в столбе дуги. При более низких значениях температуры активных пятен на аноде и катоде, а также степени ионизации дугового промежутка повторное возбуждение дуги в начале каждого полупериода затруднено.

Для облегчения надежного повторного возбуждения дуги необходимо создать повышенное напряжение по сравнению с напряжением в режиме ее стабильного горения. Повышенное напряжение в момент повторного затухания дуги создается при повышенной степени ионизации в дуговом промежутке паров легко ионизирующихся элементов (F , Cl и O в виде ионов) и расположении катодного пятна на основном металле. В этот момент увеличивается сила тока и улучшаются физические условия для повторного возбуждения дуги при несколько пониженном напряжении (пик зажигания).

Увеличить пик зажигания дуги можно было бы за счет повышения напряжения холостого хода источника питания, но по требованиям соблюдения безопасных условий работы этого делать нельзя. Напряжение холостого хода при сварке на переменном токе ограничивается значением 80 В.

Более надежное возбуждение дуги возможно бесконтактным способом — с помощью осциллятора. Это устройство представляет собой импульсный генератор затухающих колебаний высокого напряжения и высокой частоты. Импульсы осциллятора пробивают дуговой промежуток, искровой разряд переходит в дуговой, и в дуговом промежутке резко увеличивается поток электронов. Таким способом обеспечивается первоначальное возбуждение дуги и ее возбуждение при переходе тока и напряжения через нулевое значение.

Последовательное подключение осциллятора к источнику питания дуги позволяет производить сварку как на переменном, так и на постоянном токе. Кроме осцилляторов для этих же целей применяют и специальные генераторы импульсов высокого напряжения (стабилизаторы).

При аргонодуговой сварке неплавящимся электродом на переменном токе в сварочном контуре появляется постоянная составляющая сварочного тока. Ее значение тем больше, чем существенная разность температур кипения металла электрода и свариваемого металла. Постоянная составляющая тока ухудшает работу

сварочного трансформатора и сварочного дросселя, так как непрерывно происходит подмагничивание их магнитопроводов, что ухудшает устойчивость горения сварочной дуги. Для устранения постоянной составляющей тока последовательно вторичной обмотке трансформатора и обмотке дросселя включают разделительный конденсатор или конденсаторную батарею, подбирая необходимую емкость.

При сварке на постоянном токе возбуждение и горение дуги протекают несколько лучше, чем при сварке на переменном токе. В сварочную цепь постоянного тока также включают дроссель, но лишь для повышения стабильности горения дуги. (В гл. 8 приведены внешние ВАХ источников питания. Совмещение изображений статической ВАХ дуги и внешней ВАХ источника питания позволяют определить область устойчивого горения дуги.)

Возбуждение и устойчивое горение дуги при любом роде тока зависят и от динамической характеристики источника питания, который должен поддерживать горение дуги даже при наличии возмущений в виде изменения напряжения в сети и регулировать силу сварочного тока в зависимости от длины дуги.

Технологические особенности сварочной дуги на постоянном или переменном токе выражаются в том, что дуга как гибкий газовый проводник, может отклоняться от нормального положения при наличии возмущающих факторов (рис. 4.6).

Магнитное поле действует на движущиеся заряженные частицы столба дуги. Это явление принято называть магнитным дутьем. Магнитное поле оказывает отклоняющее воздействие на дугу при неравномерном и несимметричном расположении поля относительно дуги, особенно при сварке на постоянном токе.

Наличие вблизи сварочной дуги значительных ферромагнитных масс также нарушает симметрию ее магнитного поля и вызывает отклонение в сторону этих масс.

Магнитное дутье ухудшает стабилизацию горения дуги и затрудняет процесс сварки. Для снижения влияния магнитного дутья на сварочную дугу необходимо принимать специальные меры (сварка короткой дугой, подсоединение сварочного токопровода к точке, максимально близкой к дуге, наклон электрода в сторону действия магнитного дутья, размещение у места сварки дополнительных ферромагнитных масс).

Если невозможно исключить влияние магнитного дутья указанными способами, то следует заменить источник питания и производить сварку на переменном токе, при которой влияние магнит-

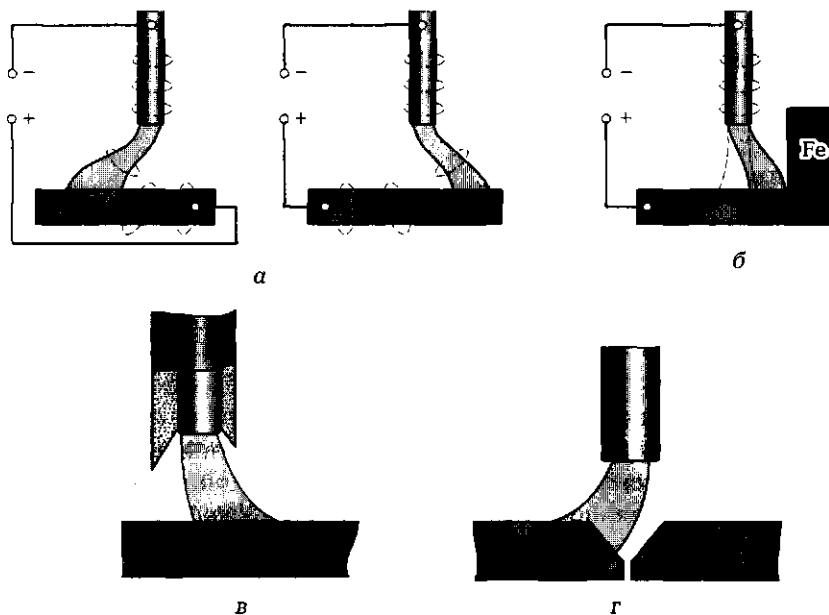


Рис. 4.6. Характер отклонений сварочной дуги при наличии различных возмущающих факторов:

а — изменения магнитного поля в зависимости от места присоединения обратного провода; *б* — наличия большой ферромагнитной массы; *в* — асимметрии покрытия электрода; *г* — неоднородности химического состава свариваемых стальных деталей

ногого дутья значительно меньше. При ремонте трубопроводов в большинстве случаев эффект магнитного дутья наблюдается при сварке намагниченных труб (из-за контрольных испытаний электромагнитным способом): дуга отклоняется к одной изстыкуемых кромок, что приводит к выплеску металла из сварочной ванны.

Для уменьшения магнитного дутья используется компенсатор магнитного поля, представляющий собой катушку (обмотку) индуктивности, накладываемую настык трубы. Компенсаторы выполняются из сварочного кабеля в виде двух или четырех петель (шлейфов).

Применение сварочного инверторного источника питания ФЕБ-315 «МАГМА» с цифровым пультом дистанционного управления и компенсатора позволяет предотвратить эффект магнитного дутья. Некоторые трудности могут возникать при наличии у электрода несимметричного покрытия или химической неод-

нородности металла свариваемых деталей. В этих случаях необходимо вести сварку короткой дугой и использовать стабилизатор дуги или инверторный источник питания.

4.2. ПЕРЕНОС МЕТАЛЛА ЧЕРЕЗ СВАРОЧНУЮ ДУГУ

При горении сварочной дуги происходят образование капель расплавляемого электродного металла, их отрыв от электрода и перенос в зону формирования сварного шва. Процесс переноса капель носит многофакторный характер и зависит от соотношения сил, действующих на каплю металла, основными из которых являются сила тяжести, сила поверхностного натяжения, электромагнитная сила, неоднородность напряженности электрического поля, сила внутреннего давления в газах и сила реактивного действия газов. В результате воздействия этих факторов в конечном итоге формируется сварной шов, качество которого зависит от технологических характеристик: режима сварки, рода и полярности тока, состава электродного металла и покрытия, диаметра электрода и состава газовой среды в зоне горения дуги. Рассмотрим влияние отдельных факторов на процесс переноса капель металла.

Сила тяжести заставляет каплю расплавленного металла перемещаться сверху вниз. При сварке в нижнем положении сила тяжести играет положительную роль в формировании сварочной ванны и сварного шва; при сварке в вертикальном и потолочном положениях она затрудняет процесс переноса электродного металла. Поэтому сборочно-сварочные приспособления обычно проектируют с поворотным механизмом, чтобы сварку можно было производить в нижнем положении.

Сила поверхностного натяжения, обусловленная действием межмолекулярного притяжения, стремится придать расплавленному металлу на конце электрода сферическую форму, а капле — шарообразную (с минимальной площадью поверхности). Капля сохраняет шарообразную форму до соприкосновения с поверхностью сварочной ванны. Сила поверхностного натяжения предотвращает вытекание расплавленного металла при сварке в вертикальном и потолочном положениях.

Чем больше сила поверхностного натяжения, тем крупнее капля. При введении в атмосферу дуги элементов, уменьшающих

силу поверхностного натяжения в капле жидкого металла, можно сократить размеры капель, переносимых через дуговой промежуток, и обеспечить струйный перенос жидкого металла в сварочную ванну.

Электромагнитная сила возникает вследствие появления магнитного поля вокруг электрода, по которому протекает электрический ток. При горении сварочной дуги происходит взаимодействие электрического и магнитного полей. В результате возникают электромагнитные силы, которые направлены от наружной поверхности дуги к ее оси. Они сжимают столб дуги (пинч-эффект) и оказывают сжимающее действие на каплю жидкого металла, образующуюся на конце электрода. Магнитное сжатие способствует образованию шейки и капли металла, отрыву ее от электрода и переносу в сварочную ванну.

Сила внутреннего давления газов возникает в результате протекания металлургических процессов в расплавленном металле шейки и в самой капле, сопровождающихся образованием газообразного оксида углерода, объем которого многократно превышает объем расплавленного металла. Выделяющийся из металла газ способствует отрыву, дроблению и переносу капель в сварочную ванну.

Сила реактивного действия газов проявляется в процессе горения дуги и оказывает существенное влияние на характер переноса жидкого металла в момент его испарения с поверхности капли и в момент химического взаимодействия жидкого металла со шлаком. Это влияние наиболее значительно при сварке толстопокрытыми электродами.

Покрытие расплывается и испаряется вследствие интенсивного нагревания металла электродного стержня с формированием чехольчика между металлом и покрытием, где образуется большое количество газов. Это приводит к появлению реактивных сил, отбрасывающих капли от электрода в зону горения дуги.

Реактивная сила зависит от размеров катодного и анодного пятен и плотности тока в них. Плотность тока в катодном пятне существенно больше, чем в анодном. Поэтому влияние реактивного давления в большей степени проявляется при сварке на токе прямой полярности. Сжатие дуги приводит к увеличению плотности тока в катодном пятне, что вызывает повышение реактивного давления газов.

Неоднородность напряженности электрического поля возникает вследствие того, что плотность тока в электроде значительно больше, чем в свариваемых деталях. Поэтому создается про-

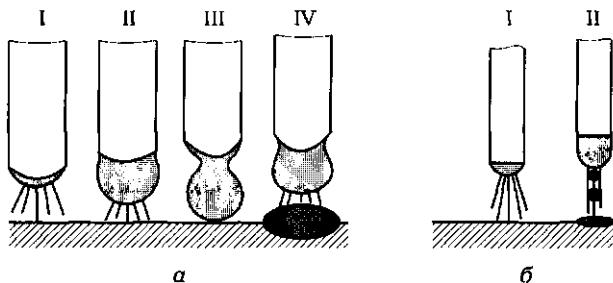


Рис. 4.7. Схемы переносов металла электрода в сварочную ванну:

а — крупно- и мелкокапельный при сварке покрытым электродом (MMA); *б* — струйный при сварке плавящимся электродом в защитных газах (MIG/MAG); I—IV — этапы процесса формирования и переноса капель

дольная сила, которая направлена от области с более высокой напряженностью электрического поля к области с более низкой напряженностью, т.е. от электрода к сварочной ванне. Эта сила способствует интенсивному переносу капель от электрода в сварочную ванну.

В зависимости от размера и скорости образования капель различают их капельный и струйный перенос (рис. 4.7). Размер капель зависит от плотности сварочного тока и напряжения дуги. При увеличении плотности тока происходит уменьшение капель жидкого металла, а их число увеличивается. При повышении напряжения дуги размер капель жидкого металла увеличивается, а их число уменьшается. Для ослабления разбрызгивания металла дуговую сварку плавящимся электродом производят при повышенной плотности сварочного тока и относительно малых значениях напряжения дуги или применяют импульсный режим сварки.

При ручной дуговой сварке в виде капель переносится в сварочную ванну примерно 95 % электродного металла, а остальные 5 % приходятся на брызги металла, газы и пары, значительная часть которых осаждается на разных участках поверхностей свариваемых деталей. В процессе капельного переноса при сварке покрытыми электродами большинство капель заключено в оболочку из шлака, образующегося из расплавляемого покрытия. Аналогичные процессы переноса металла электрода в шов наблюдаются при сварке под флюсом и порошковой проволокой.

В зависимости от размера капель расплавленного металла при ручной дуговой сварке различают три вида переноса: крупнокапельный с коротким замыканием дуги (диаметр капли около 4 мм, сварка электродами с основным покрытием); среднекапельный

(диаметр капли 1,5...4 мм, электроды с кислым покрытием) и мелкокапельный (диаметр капли до 1,5 мм, электроды с целлюлозным покрытием).

Крупнокапельный перенос с замыканием дугового промежутка реализуется при ручной дуговой сварке и плотности тока до 100 А/мм², мелкокапельный перенос с замыканием дугового промежутка — при механизированной сварке в углекислом газе и плотности тока до 250 А/мм², а мелкокапельный перенос без замыкания дугового промежутка — при сварке под флюсом и плотности тока выше 1 000 А/мм².

Струйный процесс переноса электродного металла характерен для сварки плавящимся электродом в защитных газах. При струйном переносе образуются мелкие капли, которые следуют одна за другой в виде непрерывной цепочки (струи). Сварка выполняется проволокой малого диаметра при большой плотности тока. Например, при полуавтоматической сварке в аргоне электродной проволокой диаметром 1,6 мм струйный перенос металла осуществляется при критической силе тока 300 А. При силе тока ниже критической наблюдается капельный перенос металла. Обычно струйный перенос электродного металла приводит к меньшему выгоранию легирующих элементов в электродной

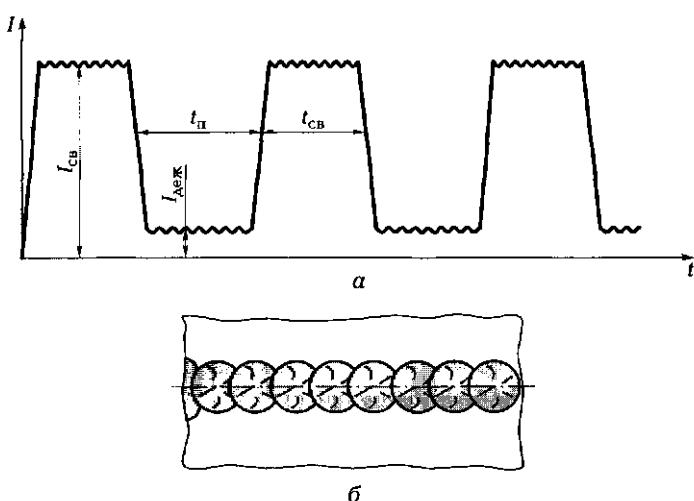


Рис. 4.8. График импульсов сварочного тока (а) и форма сварного шва (б) (вид сверху):

I_{cb} — сила сварочного тока; $I_{деж}$ — сила тока дежурной дуги; t_{cb} — время импульса сварочного тока; t_n — время паузы

проводке, повышению степени чистоты металла капель и сварного шва, а также к увеличению скорости расплавления проволоки. Поэтому струйный перенос имеет преимущества по сравнению с капельным.

Импульсно-дуговая сварка плавящимся электродом обладает существенными преимуществами по сравнению со сваркой неплавящимся и плавящимся электродами в защитных газах и другими видами сварки, так как здесь с помощью специальной системы управления создаются условия для управляемого направленного переноса металла с незначительными потерями на угар и разбрзгивание.

Существуют два вида управляемого переноса металла. Первый состоит в том, что при каждом импульсе сварочного тока от электрода отделяется и переносится в сварочную ванну одна капля расплавленного металла (при сварке в аргоне), а второй — в том, что во время прохождения импульса сварочного тока большей длительности, чем в первом случае, происходит интенсивное плавление электрода, сопровождающееся струйным переносом металла. Второй вид переноса характерен для сварки активированным электродом на постоянном токе прямой полярности в активных и инертных газах, а также для сварки в аргоне на постоянном токе обратной полярности по заданной программе (рис. 4.8).

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как изменяется электропроводность в зависимости от состояния вещества?
2. Что представляет собой сварочная дуга и при каких условиях она возбуждается?
3. Как классифицируются сварочные дуги по их характерным особенностям?
4. Какие дуги называются короткими, длинными и нормальными?
5. От каких факторов зависят процесс возбуждения и устойчивость горения дуги?
6. Что представляет собой статическая ВАХ сварочной дуги?
7. Какие процессы соответствуют разным областям статической ВАХ дуги?
8. Каковы основные условия возбуждения и устойчивого горения дуги?
9. Для каких целей применяются осцилляторы?
10. Как снизить влияние постоянной составляющей тока при аргонодуговой сварке на переменном токе?
11. Каковы причины возникновения эффекта магнитного дутья?
12. Какие меры принимаются в сварочной практике для снижения влияния магнитного дутья?

13. Какие факторы влияют на процесс переноса расплавленного металла в зону формирования сварного шва?
14. Укажите особенности влияния силы тяжести на каплю жидкого металла.
15. В чем состоят особенности влияния силы поверхностного натяжения на форму капли жидкого металла?
16. Каково влияние электромагнитных сил на формирование капли жидкого металла?
17. Как влияет реактивная сила газов на перенос жидкого металла?
18. Каковы характерные особенности капельного переноса металла?
19. Назовите условия возникновения струйного переноса металла.
20. Каковы особенности переноса металла при импульсно-дуговой сварке?

ГЛАВА 5

МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ И ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ДУГОВОЙ СВАРКЕ ПЛАВЛЕНИЕМ

5.1. МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

Процесс дуговой сварки плавлением характеризуется химическими реакциями между расплавленным металлом и окружающей средой. Капли и пары электродного металла, переносимого в сварочную ванну, и металл сварочной ванны взаимодействуют не только с атмосферными и другими газами, но и с жидким шлаком. Поэтому наплавленный металл может существенно отличаться по химическому составу от электродного и основного металлов.

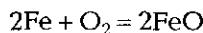
Химические реакции при высоких температурах протекают с большой скоростью, особенно на границах между металлом и газом, жидким шлаком и газом, металлом и шлаком. Средняя продолжительность химических реакций составляет 0,001...1,500 с. За это время реакции не успевают достичь равновесного состояния. Химический состав металла шва окончательно формируется только после его затвердевания.

Таким образом, в процессе сварки в течение короткого промежутка времени происходят сложные кратковременные процессы взаимодействия различных химических элементов. Основное влияние на качество сварного шва оказывают кислород, азот и водород. При неправильном ведении процесса сварки водород образует поры в шве, а кислород и азот существенно ухудшают механические свойства наплавленного металла, образуя оксиды и нитриды.

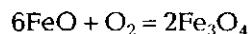
Кислород попадает в зону сварки из окружающего воздуха и влаги, содержащейся на кромках свариваемых деталей, во флюсе, покрытии электродов и защитных газах. В материалах покрытий и флюсов кислород находится в виде оксидов марганца, кремния и других элементов. В процессе сварки кислород соединяется с железом и остается в металле шва в виде оксида FeO. Поэтому одним из условий получения высококачественных сварных швов является применение защитных средств, предупреждающих процессы окис-

ления в зоне горения дуги и металле шва. Однако такие средства далеко не всегда обеспечивают надежную защиту расплавленного металла. Требуется дополнительный процесс — раскисление.

Процессы окисления и раскисления протекают одновременно. Кислород, попадая в металл шва, окисляет его. С железом кислород образует несколько видов оксидов. Низший оксид получается при непосредственном окислении железа:



Этот оксид хорошо растворяется в жидким металле. При охлаждении сварочной ванны он выпадает из раствора по границам зерен затвердевающего металла в виде прослоек. В процессе снижения температуры происходит образование высших оксидов железа. Соединяясь с кислородом, оксид FeO образует окалину:



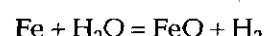
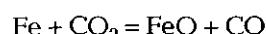
В железе она не растворяется и в процессе охлаждения (при температурах ниже 570°C) может образовывать шарообразные включения — глобулы.

При последующем окислении из Fe_3O_4 образуется оксид железа Fe_2O_3 :



Этот оксид также не растворяется в железе, но, соединяясь с водой, образует ржавчину $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$. При нагревании гидратная влага, разлагаясь, вызывает повышенную пористость в сварном шве.

Железо может окисляться также за счет кислорода, содержащегося в углекислом газе и парах воды:



Оксид железа FeO наиболее неблагоприятно влияет на качество сварного шва, так как сплав, содержащий FeO , обладает более низкой температурой плавления, чем железо, и при кристаллизации затвердевает в последнюю очередь в виде прослоек по границам зерен, что снижает пластичность металла шва. Другие оксиды железа не растворяются в жидком металле и остаются в металле шва в виде шлаковых включений, если в процессе охлаждения не успевают всплыть на поверхность сварочной ванны.

В процессе сварки сталей кроме железа окисляются углерод, марганец и кремний, входящие в состав электродного металла.

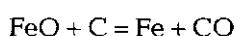
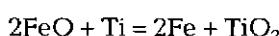
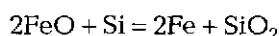
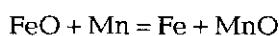
Окисление этих элементов происходит при переносе капель металла через дуговой промежуток. Реакции взаимодействия происходят с атомарным кислородом. В сварочной ванне эти элементы реагируют с оксидом железа FeO. В этом случае окисление углерода, марганца и кремния приводит к снижению их содержания в металле шва. Кроме того, сварной шов загрязняется оксидами марганца и кремния (MnO, SiO₂).

Специфические проблемы при сварке алюминия и его сплавов создает оксид алюминия, имеющий температуру плавления 2 050 °C. В процессе сварки оксидная пленка не расплывается, ее частицы попадают в сварной шов и ухудшают его механические свойства (способы частичного удаления оксидной пленки рассматриваются в подразд. 11.4).

Таким образом, процессы окисления в сварном шве приводят к снижению пределов прочности и текучести, а также ударной вязкости металла шва, снижению его коррозионной стойкости и жаропрочности, ухудшению ковкости и других свойств.

В реальных условиях представляется возможным существенно снизить содержание кислорода в металле сварных швов путем раскисления металла — восстановления его из оксида и перевода кислорода в нерастворимые химические соединения с последующим удалением их в шлак.

При раскислении железо восстанавливается из оксида FeO элементами Si, Mn, Ti и C, имеющими большее, чем железо, сродство к кислородом. Образующиеся оксиды слабо растворимы в железе. Указанные элементы играют роль раскислителей:



Оксид марганца слабо растворяется в железе, но хорошо растворяет оксид железа FeO и увлекает его в шлак.

Оксид кремния плохо растворяется в железе, всплывает на поверхность сварочной ванны и переходит в шлак. В процессе раскисления оксида железа кремнием образуются побочные химические соединения — силикаты марганца, кремния и железа, которые легко переходят в шлак.

В процессе раскисления титана образуются побочные легкоплавкие титанаты марганца и железа, переходящие в шлак.

Марганец, кремний и титан являются не только раскислителями, но и легирующими элементами. В расплавленный металл они вводятся через покрытие электродов или флюсы, в которые добавляются соответствующие ферросплавы. Электродная проволока также легируется этими элементами.

Образующийся при раскислении газообразный оксид углерода CO выделяется в атмосферу. При этом наблюдается бурный процесс кипения сварочной ванны, что приводит к образованию пористого шва. Реакцию раскисления оксида железа углеродом подавляют введением в сварочную ванну других раскислителей, например кремния. Кроме того, оксид углерода, нерастворимый в стали, всплывает на поверхность сварочной ванны. Если шлак, покрывающий сварочную ванну, плохо пропускает газы, то это приводит к накапливанию газа у границы раздела металла — шлак. Скорость выхода газа из сварочной ванны замедляется, раскисление продолжается в кристаллизующейся части сварочной ванны, что приводит к повышенной пористости сварного шва. В данном случае расплавленный металл одновременно окисляется и раскисляется. При этом активного поглощения азота из воздуха не происходит. Тем не менее азот частично попадает в зону сварки.

Азот воздуха, попадая в дуговой промежуток, нагревается и частично диссоциирует. В атомарном состоянии азот растворяется в жидком металле. Он может соединяться с кислородом, образуя оксид азота NO, который растворяется в каплях электродного металла и переходит в сварочную ванну. В процессе охлаждения сварного шва азот выпадает в виде соединений — нитридов Fe₂N и Fe₄N. Примесь азота в металле шва снижает его пластичность. При насыщении металла азотом усиливается образование газовых пор. Для снижения содержания азота в металле шва применяют устройства для защиты расплавленного металла от открытого контакта с воздухом или добавляют в сварочную ванну элементы, связывающие азот в неметаллические соединения, переходящие в шлак.

Уменьшение содержания азота в металле шва наблюдается при сварке в защитных газах, так как наличие азота в зоне сварки существенно ограничивается.

При ручной дуговой сварке покрытыми электродами снижение содержания азота в металле шва может быть достигнуто за счет введения в металл элементов, имеющих большее сродство с азотом, — Al, Zr, Ti и Mn. Эти металлы образуют с азотом нитриды, переходящие в шлак.

Водород подобно кислороду и азоту поглощается в процессе сварки металлом шва. Источником водорода в зоне сварки может служить атмосферная влага, влага покрытия или флюса, а также ржавчина на поверхности сварочной проволоки и свариваемых кромках деталей. В отличие от кислорода и азота водород не образует в процессе сварки химических соединений с железом, а лишь активно растворяется в расплавленном металле. Следует иметь в виду, что охлаждение и кристаллизация жидкого металла сварочной ванны происходят довольно быстро. При этом повышенная растворимость водорода в процессе охлаждения резко снижается, и оставшийся водород не успевает удалиться в атмосферу, поэтому сварной шов будет иметь повышенную пористость. Снижение содержания водорода в металле шва можно достичь предварительным нагревом деталей, прокаливанием толстопокрытых электродов и флюсов, тщательной очисткой свариваемых кромок от ржавчины, окалины и других загрязнений.

Одновременно с удалением из металла шва кислорода, азота и водорода необходимо рафинирование металла — удаление серы и фосфора, являющихся вредными примесями в сталях.

Сера попадает в сварочную ванну из основного металла, сварочной проволоки, покрытий и флюсов. Наиболее неблагоприятной формой сернистых соединений в металле шва является сульфид железа FeS . В процессе кристаллизации он образует с железом эвтектику с температурой плавления ниже, чем у основного металла. Эвтектика располагается между зернами кристаллизующегося металла и является причиной возникновения горячих трещин (красноломкости). При этом существенно ослабляются прочностные характеристики сварных соединений. Предотвратить появление такого дефекта позволяют марганец и кремний, содержащиеся в сварочной проволоке и покрытии электродов.

Фосфор в металле шва находится в виде фосфидов железа Fe_3P и Fe_2P . Увеличение содержания фосфора в металле шва снижает ударную вязкость при работе сварной конструкции в условиях низких температур, поэтому фосфор необходимо удалять. Это достигается его окислением и переводом в шлак в процессе сварки.

Для снижения отрицательного влияния серы и фосфора на металл шва их содержание в основном и электродном металлах, покрытии электродов и флюсах строго ограничивается соответствующими стандартами.

При сварке под плавленым флюсом защита зоны сварки от окружающего воздуха более эффективна. Это доказано исследо-

ванием содержания азота в металле шва. Например, при сварке тонкопокрытыми электродами содержание остаточного азота составляет около 0,2 %, при сварке толстопокрытыми электродами — 0,03 %, а при сварке под флюсом — 0,008 %.

При сварке под флюсом metallurgические процессы имеют ряд особенностей. Например, интенсивно взаимодействуют жидкий (расплавленный) флюс и металл. В результате изменяется состав металла шва. Сварку низкоуглеродистых сталей рекомендуется производить под марганцовистыми высококремнистыми флюсами, чтобы осуществлялось восстановление кремния и марганца, а также частично окислялся углерод. При этом оксид железа растворяется в жидком металле шва и частично переходит в шлак. На участках сварочной ванны позади дуги при охлаждении жидкого металла (вплоть до затвердевания) продолжается его раскисление. Кремний и марганец подавляют реакцию окисления углерода, что уменьшает образование пор. Обогащение металла шва марганцем обеспечивает вывод сульфидов из металла шва, что предупреждает появление горячих трещин.

Изменение режима сварки влияет на содержание серы и фосфора в шве. При увеличении силы сварочного тока увеличивается количество расплавленного флюса и, как следствие, снижается содержание фосфора в шве, хотя содержание серы несколько возрастает. Повышение напряжения дуги при неизменной силе тока приводит к тому, что расплавленного флюса становится значительно больше, чем требуется для защиты расплавленного металла. В этом случае увеличивается переход марганца и кремния в шов, но возрастает и переход фосфора в металл шва. Одновременно содержание серы в металле шва снижается. Полностью освободиться от вредных примесей невозможно.

Улучшить качество сварного шва можно использованием керамических флюсов. Они содержат большее количество ферросплавов и тем самым способствуют более полному раскислению расплавленного металла. Для улучшения структуры сварных швов в металл вводят специальные добавки — модификаторы.

Металлургические процессы при сварке в защитных газах значительно отличаются от ранее рассмотренных. Из защитных газов наиболее широко применяются инертные (аргон, азот, гелий) и активные (углекислый газ, кислород).

При сварке в инертных газах metallurgические процессы протекают только между элементами, содержащимися в металле сварочной ванны. Кислород и азот воздуха оттесняются инертными газами из зоны сварки.

Для предотвращения образования пор при сварке в инертных газах необходимо тщательно удалять ржавчину и загрязнения, являющиеся носителями влаги, с кромок основного металла и поверхности электродной проволоки.

Углекислый газ более надежно защищает расплавленный металл от воздействия атмосферных газов. При сварке углекислый газ разлагается под воздействием высокой температуры на оксид углерода CO и кислород. Дуга активно окисляет металл сварочной ванны, и роль углекислого газа сводится в основном к защите сварочной ванны от проникновения азота из воздуха. Для уменьшения содержания водорода в металле шва в углекислый газ необходимо добавлять 5...15 % кислорода.

Для предотвращения чрезмерного окисления железа большее количество элементов-раскислителей (марганец, кремний) вводится в сварочную ванну через сварочную проволоку Св-07ГС, -08ГС или -08Г2С. В этом случае механические свойства наплавленного металла улучшаются. При этом в процессе сварки увеличивается глубина проплавления основного металла, так как энергичнее протекают реакции окисления марганца и кремния с выделением теплоты.

Сварка в углекислом газе плавящимся электродом производится, как правило, на постоянном токе обратной полярности, так как при сварке на токе прямой полярности существенно усиливается разбрызгивание металла и вследствие этого уменьшается глубина проплавления. Кроме того, сварка на постоянном токе прямой полярности характеризуется более интенсивным окислением элементов и повышением склонности сварного шва к образованию пор. Сварку на токе прямой полярности осуществляют лишь при получении многопроходныхстыковых швов.

Расход углекислого газа в значительной степени влияет на качество сварного шва. Количество газа должно быть минимальным, но в то же время достаточным для обеспечения защиты расплавленного металла. Расход газа зависит от режима сварки, формы разделки кромок и размеров сварных соединений.

5.2. ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ

Сварочная дуга является мощным концентрированным источником теплоты, распределяющейся вдоль дугового промежутка в соответствии с падением напряжения в его областях. При электро-

шлаковой сварке теплота выделяется при прохождении электрического тока через расплавленный шлак.

Электрическая энергия, потребляемая при дуговой сварке, преобразуется в основном в тепловую энергию. Поэтому полную тепловую мощность сварочной дуги или шлаковой ванны можно определить по формуле, Вт

$$Q = kI_{\text{св}}U_{\text{св}}$$

где k — коэффициент, учитывающий влияние различия напряжения зажигания дуги и напряжения холостого хода источника питания; $I_{\text{св}}$ — сила тока, протекающего в сварочной цепи, А; $U_{\text{св}}$ — напряжение дуги или на шлаковой ванне, В.

При сварке на постоянном токе коэффициент k принимается равным единице, а при сварке на переменном токе $k = 0,70 \dots 0,97$ в зависимости от состава атмосферы дуги и шлаковой ванны, теплофизических свойств электродов и соотношения между напряжением холостого хода источника питания и напряжением дуги.

Не вся теплота используется для расплавления металла: часть ее расходуется непроизводительно. Тепловой баланс показывает, как распределяется между разными процессами полная тепловая мощность дуги.

Эффективная тепловая мощность процесса сварки плавлением — это количество теплоты, вводимой в свариваемые детали в единицу времени. Непроизводительная часть тепловой мощности обусловлена теплоотдачей в окружающую среду, нагревом ползунов (при электрошлаковой сварке) и другими видами потерь тепловой энергии при сварке.

Эффективная тепловая мощность

$$Q_{\text{эфф}} = Q\eta = kI_{\text{св}}U_{\text{св}}\eta,$$

где η — эффективный КПД нагрева свариваемых деталей, который представляет собой отношение эффективной тепловой мощности дуги (или электрошлакового процесса) к полной тепловой мощности, $\eta = Q_{\text{эфф}}/Q$.

Эффективный КПД процесса нагрева основного металла составляет:

- при дуговой сварке тонкопокрытым электродом — 0,50 … 0,65;
- толстопокрытым электродом — 0,80 … 0,95;
- неплавящимся электродом в защитном газе — 0,50 … 0,60;
- под флюсом — 0,80 … 0,95;
- при электрошлаковой сварке — 0,70 … 0,85.

Эффективная тепловая мощность зависит от способа сварки, состава покрытия и флюса, материала электрода и типа сварного шва. Так, например, при одной и той же электрической мощности КПД дуги больше при сварке стыкового соединения с разделкой кромок, чем при наплавке слоя металла на плоскость. Теплота, выделяемая дугой, наиболее рационально используется при автоматической сварке.

При дуговой сварке нагрев и расплавление электрода осуществляются за счет энергии, выделяемой дугой в активном пятне, расположенном на его торце. Нагрев вылета электрода происходит за счет теплоты, выделяющейся при прохождении по нему тока (по закону Джоуля—Ленца).

Вылетом называется участок электрода от места контакта с токоподводящим устройством до его конца. Так, при ручной сварке вылет электрода в начале процесса составляет 200...400 мм, а при окончании сварки — 30...40 мм. При механизированной сварке под флюсом и в защитных газах вылет электродной проволоки составляет 12...70 мм в зависимости от ее диаметра и теплофизических свойств.

Количество теплоты, выделяющееся в электроде в единицу времени, возрастает при увеличении плотности тока, удельного электрического сопротивления и вылета электрода. При ручной сварке температура электрода значительно повышается, что ограничивает силу тока при осуществлении этого процесса.

Высокое качество шва будет обеспечено только тогда, когда температура электрода в момент расплавления его торца не будет превышать 700 °С. Нагрев электрода до более высоких температур приводит к отслаиванию покрытия, ухудшению формирования шва и увеличению потерь металла на разбрзгивание. Механизированные способы сварки благодаря малому вылету электрода позволяют увеличить плотность тока и поэтому обеспечивают повышенную производительность.

Производительность сварки характеризуется погонной энергией q_n , Дж/см, которая представляет собой отношение эффективной тепловой мощности дуги $Q_{эф}$, Вт, к скорости ее перемещения, т. е. к скорости сварки V_{cb} , см/с:

$$q_n = Q_{эф}/V_{cb} = I_{cb}U_{cb}\eta/V_{cb}.$$

Для упрощенных расчетов используют формулу, определяющую зависимость между погонной энергией, приходящейся на 1 см длины шва (валика), и площадью F , мм², его поперечного сечения:

$$q_{\pi} = Q_{\text{эф}} / V_{\text{св}} = 650F.$$

С помощью этой формулы можно определить погонную энергию сварки при заданной площади сечения шва. Например, при $F = 60 \text{ мм}^2$ погонная энергия

$$q_{\pi} = 650F = 650 \cdot 60 = 39 \text{ кДж/см.}$$

Можно также рассчитать площадь поперечного сечения шва, если известно, что погонная энергия $q_{\pi} = 26 \text{ кДж/см}$:

$$F = q_{\pi} / 650 = 26000 / 650 = 40 \text{ мм}^2.$$

Тепловой баланс разных способов дуговой сварки включает в себя следующие составляющие:

- при сварке неплавящимся электродом потери на рассеивание теплоты в окружающую среду составляют 20 %, потери на нагрев электрода — 20 %, поглощение теплоты основным металлом — 60 % (эффективно используется 60 % энергии);
- при сварке тонкопокрытым электродом потери на рассеивание теплоты в окружающую среду составляют 20 %, потери на разбрызгивание металла — 5 %, перенос с каплями расплавленного металла — 25 %, поглощение основным металлом — 50 % (эффективно используется 75 % энергии);
- при сварке под флюсом потери теплоты на расплавление флюса составляют 18 %, потери на разбрызгивание металла — 1 %, перенос с каплями расплавленного металла — 28 %, поглощение основным металлом — 54 % (эффективно используется 81 % энергии).

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Почему невозможно получить абсолютно одинаковый химический состав металла сварного шва и основного металла ?
2. Как влияют атмосферные газы на качество сварного шва?
3. В чем состоит сущность процессов окисления и раскисления в зоне горения дуги и в металле шва?
4. Какие химические элементы применяются в качестве активных раскислителей?
5. Чем отличаются процессы раскисления металла шва при использовании кремния, марганца и титана от процесса раскисления углеродом?
6. Каково влияние азота и водорода на качество сварного шва?

7. Какие меры позволяют уменьшить влияние азота и водорода на качество сварного шва?
8. Каково влияние серы и фосфора на качество сварного шва?
9. Какими мерами можно снизить содержание серы и фосфора в металле сварного шва?
10. Для чего осуществляют рафинирование в процессе сварки и в чем состоит суть этого процесса?
11. Какова роль флюсов? Укажите особенности металлургических процессов при сварке под флюсом.
12. Каковы особенности металлургических процессов при сварке в защитных газах?
13. Почему при ручной дуговой сварке покрытым электродом нельзя увеличивать силу тока выше определенного значения?
14. Какими электрическими показателями характеризуется мощность сварочной дуги?
15. Почему не вся тепловая мощность дуги расходуется на расплавление металла?
16. Почему при ручной дуговой сварке ограничивается сила сварочного тока по сравнению с механизированными способами сварки?
17. Что представляет собой погонная энергия и что она характеризует?

Глава 6

ФОРМИРОВАНИЕ СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ

6.1. ПРОЦЕСС КРИСТАЛЛИЗАЦИИ МЕТАЛЛА ШВА И ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ ЗОНЫ ТЕРМИЧЕСКОГО ВЛИЯНИЯ

Дуга в процессе сварки оказывает давление на сварочную ванну. Это приводит к тому, что жидкий металл вытесняется из-под основания дуги, и дуга погружается в сварочную ванну. При ручной сварке толстопокрытыми электродами глубина погружения дуги составляет 3...4 мм, а при сварке под флюсом — 8...10 мм. По мере продвижения дуги в хвостовой части зоны плавления металла происходит интенсивный отвод теплоты в холодный металл.

По физической природе сварка плавлением — metallургический процесс. Формирующиеся кристаллиты растут в направлении, перпендикулярном поверхности теплоотвода. После охлаждения первого кристаллизационного слоя происходит некоторая задержка кристаллизации из-за ухудшения теплоотвода и выделения скрытой теплоты кристаллизации этого слоя. После некоторой задержки (вследствие непрекращающегося теплоотвода в глубь основного металла) начинает кристаллизоваться второй слой и т.д. Таким образом периодически происходит кристаллизация по всему продольному и поперечному сечениям металла шва.

Толщина кристаллизационных слоев может колебаться от десятых долей миллиметра до нескольких миллиметров. Закристаллизовавшийся металл однопроходного шва имеет столбчатое строение. Это обусловлено тем, что в направлении отвода теплоты (перпендикулярно границе плавления) кристаллиты растут быстрее, чем в других направлениях. Наиболее характерная картина кристаллизационных слоев наблюдается в металле шва при электроплаковой сварке. Ось каждого кристаллита обычно не является прямой: она несколько изогнута в направлении вершины шва.

При сварке под флюсом снижается скорость охлаждения шва. Это создает благоприятные условия для удаления газов из металла шва и всплыивания шлаковых включений, но размер кристаллитов

при этом резко увеличивается, что снижает прочность металла шва. Чтобы избежать ухудшения механических свойств металла, необходимо изменить структуру шва. Для этого в расплавленный металл вводят добавки (модификаторы) алюминия, титана или ванадия.

При охлаждении сварочной ванны кристаллизующийся металл формирует сварной шов. При этом происходит литейная усадка. Объем металла уменьшается, он становится более плотным, а в сварном соединении возникают внутренние продольные и поперечные напряжения. Под воздействием продольных напряжений сварная деталь деформируется в продольном направлении, а под воздействием поперечных напряжений — в поперечном, и, как правило, возникают угловые деформации — перемещение в сторону большего объема расплавленного металла.

В процессе кристаллизации металла шва возникает неравномерное распределение составляющих сплава. Это явление в металловедении называют ликвацией. Ликвация — это, прежде всего, неоднородность химического состава периферийной зоны и центральной части металла шва. Дендритная (внутрикристаллическая) ликвация характеризуется неоднородностью химического состава отдельных кристаллов. Центральная часть дендритов, как правило, представляет собой чистый твердый раствор, а граница между дендритами сильно загрязнена вредными примесями. Поэтому разрушение металла шва под нагрузкой чаще всего происходит по границам зерен.

Чтобы избежать вредного влияния ликваций, особенно при сварке легированных сталей, необходимо производить термическую обработку сварного соединения для выравнивания химического состава металла. Сварное соединение, выполненное сваркой плавлением, принято разделять на три основные структурные составляющие: зону наплавленного (литого) металла (ЗНМ), зону сплавления металла (ЗСМ) и зону термического влияния (ЗТВ).

В конечном итоге на прочность сварного соединения наряду с неоднородностью химического состава металла шва и различными ликвациями значительное ослабляющее влияние оказывают и структуры трех указанных зон.

Наиболее несовершенной, а в дальнейшем и опасной, является зона сплавления, которая представляет собой тончайший (толщиной 0,01 ... 0,4 мм в поперечном сечении шва) слой на поверхности раздела металла сварного шва и основного металла. На границе раздела происходит неполное сплавление кристаллов. В зоне сплавления металл химически неоднороден. Здесь концентриру-

ются напряжения, существенно ослабляющие прочность сварного соединения.

Под воздействием высоких температур в процессе сварки нагревается и основной металл. В нем также происходят структурные изменения, которые могут привести к охрупчиванию. Температура, до которой нагреваются отдельные участки сварного соединения, изменяется от точки плавления до температуры окружающей среды. Рассмотрим структуру в зоне сварки низкоуглеродистой стали с содержанием углерода до 0,2 % (рис. 6.1).

В зависимости от температуры охлаждения структурные изменения происходят в зоне наплавленного металла — при температуре несколько ниже температуры плавления (1539°C), в зоне сплавления — при температуре, близкой к точке плавления

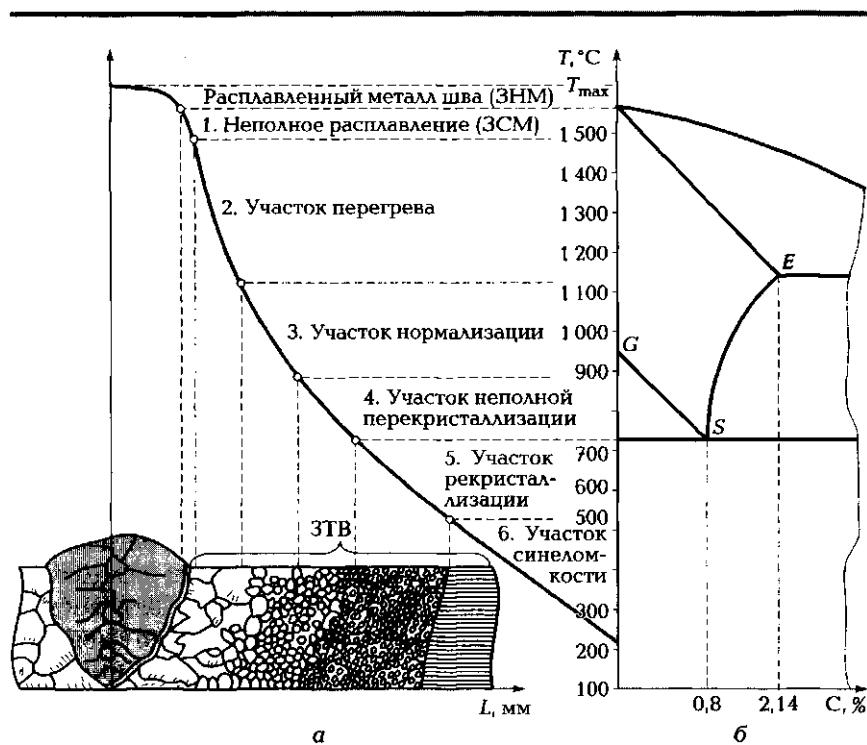


Рис. 6.1. Структура низкоуглеродистой стали в поперечном сечениистыкового сварного соединения (а) и участок диаграммы состояния железо-углерод (б):

T_{\max} — максимальная температура нагрева; L — расстояние от оси сварного шва; E , G , S — точки диаграммы

($\approx 1500^{\circ}\text{C}$), в зоне термического влияния — при температуре $1500\ldots 200^{\circ}\text{C}$. При дальнейшем охлаждении металла до комнатной температуры никаких изменений не происходит. Зона термического влияния подразделяется на участки перегрева, нормализации, неполной перекристаллизации, рекристаллизации и синеломкости.

На участке **перегрева** в некоторых случаях при ручной сварке образуется крупнозернистая структура, которая заметно снижает пластичность металла и повышает его хрупкость. Ударная вязкость металла снижается не менее чем на 25 %.

Участок перегрева и зону сплавления (неполного расплавления) металла условно объединяют под общим названием «околошовная зона», которая также является уязвимым местом сварного соединения. Поэтому главная задача технолога и сварщика — обеспечение наименьшего снижения прочности металла сварного соединения в околошовной зоне за счет применения рациональной техники сварки и соответствующих технологических приемов.

На участке **нормализации** происходит образование мелкозернистой вторичной структуры. Механические свойства металла здесь обычно лучше, чем у основного металла в исходном состоянии.

На участке **неполной перекристаллизации** металл подвергается только частичной перекристаллизации. Наряду с зернами, образовавшимися в результате перекристаллизации, здесь присутствуют зерна исходного металла.

Участок **рекристаллизации** наблюдается при сварке стали, подвергшейся пластической деформации (прокат). На этом участке наблюдается некоторое измельчение зерен, что не изменяет механические свойства металла в ЗТВ.

На участке **синеломкости** при сварке низкоуглеродистых сталей наблюдаются синие цвета побежалости на поверхности металла, а также резкое снижение его ударной вязкости вследствие уменьшения пластичности. Это происходит в тех случаях, когда в сталях содержатся кислород, азот и водород в несколько избыточном количестве. Структура металла шва на участке синеломкости не отличается от структуры основного металла, но из-за уменьшения пластичности в нем могут возникать трещины.

Размеры отдельных участков ЗТВ и общая ширина этой зоны зависят от погонной энергии. При ручной дуговой сварке, например стальных конструкций, ширина ЗТВ в среднем составляет $6\ldots 8$ мм, при автоматической сварке под флюсом — $2,5$ мм, а при газопламенной сварке она достигает $25\ldots 30$ мм. В результате ме-

тала в ЗТВ подвергается более значительным воздействиям суммарных напряжений и деформируется. В интервале температур 100...450 °C в ЗТВ могут происходить процессы возврата и старения в связи с выпадением карбидов и нитридов железа. Старение сопровождается уменьшением пластичности, вязкости и сопротивления металла хрупкому разрушению.

Таким образом, чтобы получить высококачественное сварное соединение, необходимы не только рациональные приемы техники сварки, но и обоснованный выбор вида подготовки кромок деталей под сварку наряду с правильным выбором и соблюдением режимов сварки.

В процессе эксплуатации сварных конструкций также происходят старение и коррозия металла шва и сварных соединений.

Старением называют процесс изменения структуры и, как следствие, механических свойств металла со временем. Старение проявляется в повышении твердости и хрупкости металла.

Процесс старения, происходящий при комнатной температуре, называется естественным старением, а при нагреве до заданной температуры с последующим охлаждением — искусственным старением.

Искусственному старению подвергают в основном сплавы титана и алюминия для повышения до заданных пределов их прочности, которую оценивают при испытании на ударную вязкость металла шва.

Коррозией называется процесс физико-химического разрушения металла под влиянием внешней среды. Коррозионная стойкость сварных соединений в разных средах и при различных температурах имеет важное значение для тех соединений, которые эксплуатируются в средах, способных вызвать разрушающую коррозию (атмосферная влага, морская вода, растворы кислот и щелочей).

По характеру процесса различают химическую и электрохимическую коррозию.

Химическая коррозия представляет собой процесс окисления металла при непосредственном воздействии окружающей среды и отсутствии электрического тока. Окисление железа и его сплавов происходит на воздухе, в дистиллированной воде, концентрированных агрессивных средах и т.д.

Электрохимическая коррозия характеризуется тем, что она протекает в электролитах (растворах солей, кислот или щелочей) и сопровождается появлением электрического тока.

Коррозионная стойкость зависит от химического состава, структуры, состояния поверхности металла и наличия в нем на-

прожжений, а также от химического состава, температуры и скорости перемещения агрессивной среды по поверхности металла.

Например, при ремонте корпусов речных и морских судов установлено, что наружная поверхность подводной части корпуса имеет участки корродированного металла. Анализ причин коррозии показал, что окалина, не удаленная с поверхности корпуса, обладает более высоким потенциалом и является катодом. Участки корпуса, где отсутствует окалина, являются анодом, и поэтому металл подвергается усиленному коррозионному разрушению. Для защиты сварных конструкций от коррозии их окрашивают специальными грунтовыми красками.

Для повышения коррозионной стойкости сварных швов в конструкциях из низкоуглеродистых и низколегированных сталей, предназначенных для эксплуатации в морской воде или подобной среде, рекомендуется при ручной сварке вводить в металл шва 0,55 % никеля. Для этого применяют электроды марки Э-138/Н-50 с основным покрытием, содержащим 0,7 ... 1,1 % никеля. Автоматическая сварка под флюсом производится сварочной проволокой Св-08ГИА, содержащей 0,9 ... 1,2 % никеля.

6.2. НАПРЯЖЕНИЯ, ДЕФОРМАЦИИ И ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ В ПРОЦЕССЕ СВАРКИ

Сварка металлов производится в широком интервале температур. При этом интенсивному нагреву подвергаются шов и околосшовная зона, а участки, удаленные от шва, имеют температуру окружающей среды. Нагрев приводит к изменению физико-механических характеристик металла, с чем необходимо считаться при сварке.

В зависимости от причины возникновения различают следующие виды собственных напряжений (появившихся без приложения внешних сил):

- тепловые, возникающие из-за неравномерного распределения температуры при сварке;
- структурные, появляющиеся вследствие структурных превращений, аналогичных закалке.

В зависимости от продолжительности существования собственные напряжения и деформации подразделяют на временные и остаточные. Временные напряжения и деформации

существуют в конструкции только в течение некоторого времени. Если возникшие напряжения не превышают предела упругости материала, то временные напряжения и деформации исчезают (снимаются) после охлаждения сварного узла, а остаточные — сохраняются после исчезновения причины, их вызвавшей.

Чрезмерно большие напряжения и деформации могут привести к появлению трещин или разрушению сварного соединения. В некоторых случаях разрушения не происходит, но изменяются заданные размеры сварной конструкции.

Различают сварочные напряжения трех родов:

- напряжения первого рода, действующие и уравновешивающиеся в объемах, соизмеримых с размерами конструкции или ее отдельных элементов (в сварном соединении или сварном шве);
- напряжения второго рода, действующие и уравновешивающиеся в пределах микрообъемов (одного или нескольких зерен металла), не имеющих определенной ориентации;
- напряжения третьего рода, действующие и уравновешивающиеся в пределах кристаллической решетки (связаны с несовершенствами расположения атомов, возникающими при образовании растворов внедрения).

В зависимости от *направления действия нагрузочных сил в пространстве* различают сварочные напряжения линейные (одноосные) — действующие только вдоль одной оси, плоскостные (двухосные) — действующие в двух взаимно-перпендикулярных направлениях, и объемные (трехосные) — действующие в трех взаимно-перпендикулярных направлениях.

В зависимости от *формы и размеров свариваемых деталей* остаточные сварочные деформации развиваются в плоскости соединяемых элементов или выходят из нее. Деформации «в плоскости» вызывают изменение (уменьшение) размеров конструкции, с чем необходимо считаться при раскрое деталей и сборке их под сварку, предусматривая припуск на уменьшение размеров. Деформации «из плоскости» (угловые деформации) приводят к образованию выпучин (хлопунов), местному изгибу листовых деталей (волнистости), так называемому грибовидному изгибу пояса при сварке тавровых соединений (рис. 6.2).

При сварке сталей, подверженных полиморфным превращениям (изменениям кристаллической решетки в процессе нагревания), на участках металла сварного соединения, нагреваемых выше критических точек, возникают структурные напряжения.

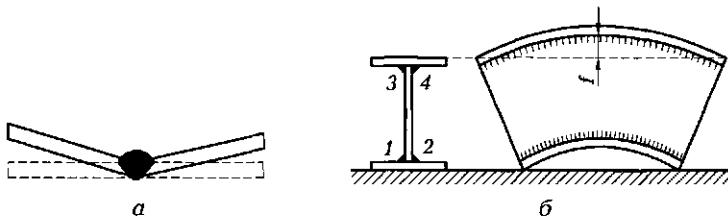


Рис. 6.2. Деформации сварного стыкового соединения (а) и сварной двутавровой балки (б):

1—4 — порядок выполнения сварных швов для уменьшения напряжений и деформаций; f — стрела прогиба

Эти напряжения являются следствием изменения объема структур мартенсита (твердый раствор углерода в α -железе) и аустениита (твердый раствор углерода в γ -железе), типичного для всех марок сталей. Характер изменения объема этих структур при нагреве и охлаждении сталей иллюстрирует рис. 6.3.

Изменение объема структур мартенсита и аустениита у низкоуглеродистых сталей происходит при температурах выше 600°C , когда металл находится в пластичном состоянии и его предел упругости близок к нулю. Объемные структурные изменения при этих температурах не сопровождаются появлением напряжений. Кривая 1 на рис. 6.3 характеризует изменение объема при нагреве любых сталей. При температурах ниже критической точки Ac_1 (725°C) и выше критической точки Ac_3 (примерно 900°C) объем изменяется пропорционально температуре нагрева. Однако в интервале температур между Ac_1 и Ac_3 наблюдается некоторое умень-

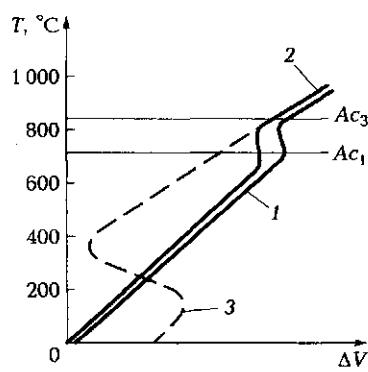


Рис. 6.3. Изменение объема структур мартенсита и аустениита при нагреве и охлаждении сталей:

1 — кривая нагрева для всех сталей; 2 — кривая охлаждения низкоуглеродистой стали; 3 — кривая охлаждения легированной стали; Ac_1 , Ac_3 — соответственно нижняя и верхняя критическая точка диаграммы состояния системы Fe—C

щение объема в связи с тем, что коэффициент теплового расширения α -железа почти вдвое меньше, чем у γ -железа.

Изменение объема при охлаждении характеризует кривая 2. Распад аустенита в низкоуглеродистых сталях в интервале температур 700...900 °C, когда стали весьма пластичны, не сопровождается появлением напряжений.

Совершенно иное положение создается при охлаждении легированных и высокоуглеродистых (закаленных) сталей, у которых из-за склонности к переохлаждению распад аустенита возможен при более низких температурах. Если закалка происходит в полном объеме, то аустенит переохлаждается до сравнительно невысоких температур (200...300 °C) и превращается в мартенсит с резким увеличением объема (кривая 3). Металл при этом находится в упругом состоянии и обладает высокой прочностью.

Увеличению объема образовавшейся структуры мартенсита препятствуют участки, не претерпевшие структурных превращений. Внутри областей со структурой мартенсита возникают остаточные напряжения сжатия, а в пограничных слоях — продольные напряжения, которые вызывают появление дополнительных пластических деформаций. При сильном деформировании сталей с низкой пластичностью образуются трещины. Поэтому структурные напряжения в закаленных и легированных сталях более опасны. Для сварки таких сталей требуется усложненный технологический процесс.

Весь комплекс мер по уменьшению сварочных напряжений и деформаций можно разбить на две группы:

- меры, предотвращающие возникновение напряжений и деформаций или уменьшающие их влияние;
- меры, обеспечивающие последующее исправление остаточных деформаций, если их размеры больше допустимых.

Указанные меры заранее предусматриваются конструкторами и технологами, уточняются в процессе изготовления образцов и только после этого вносятся в технологическую документацию.

Полностью избавиться от напряжений и деформаций невозможно, но удается уменьшить их до приемлемого уровня. Только после многочисленных испытаний (для ответственных конструкций) и обобщения полученных результатов представляется возможным гарантировать надежность работы сварного узла или конструкции в соответствии с установленными показателями.

Предупредительные меры разрабатываются еще на стадии проектирования и носят как обязательный, так и рекомендательный

характер. Остаточные напряжения можно снизить, заменив ручную дуговую сварку покрытыми электродами автоматической или полуавтоматической сваркой в углекислом газе или аргоне, а цельнометаллическую электродную проволоку — порошковой. При этом обеспечивается более высокая концентрация теплоты, способствующая сужению зоны термического влияния.

Значения и характер остаточных сварочных напряжений зависят также от формы поперечного сечения шва. При прочих равных условиях двухсторонняя разделка кромок вызывает меньшую угловую деформацию в процессе сварки, чем односторонняя, благодаря симметричному расположению шва относительно продольной оси. По этой же причине целесообразно выполнять двухстороннюю сварку под флюсом без скоса кромок.

Перечисленные способы предотвращения появления сварочных напряжений и деформаций весьма эффективны вследствие значительного уменьшения площади поперечного сечения шва и объема наплавленного металла. Сварочные напряжения и остаточные деформации снижаются при уменьшении погонной энергии сварки, которая определяется выбранным режимом сварки. Сварные швы предпочтительно располагать симметрично относительно друг друга, не допуская, по возможности, их пересечения. Наибольшие деформации возникают при сварке напроход, т.е. при наложении всего шва без перерывов. При ручной сварке целесообразно выполнять швы от середины листов (заготовок) по направлению к краям.

Технологические приемы также позволяют существенно уменьшить напряжения и деформации. Например, рекомендуется обратноступенчатая сварка, при выполнении которой шов сваривают участками таким образом, чтобы к началу сварки последующего участка температура предыдущего не превышала заданного значения (при сварке сталей — 200...300 °C). При однослоевой сварке это условие обеспечивается, если ступень (по длине) соответствует участку, свариваемому одним электродом. В этом случае соблюдается соотношение площадей поперечного сечения шва и стержня электрода (от 1:1 до 2:1). Обратноступенчатая сварка выполняется по расширенному зазору, который при охлаждении сокращается одновременно с уменьшением ширины шва, что способствует снижению остаточных напряжений, возникающих в результате термического расширения и усадки.

Для пластичных металлов весьма эффективным методом уменьшения деформаций является жесткое закрепление деталей в сборочно-сварочном приспособлении. При сварке цветных метал-

лов, имеющих высокий коэффициент линейного расширения, рекомендуется полужесткое закрепление.

К технологическим приемам относится и предварительный изгиб деталей (заготовок), осуществляемый в производственных условиях для предотвращения появления угловых деформаций при сварке стыковых и нахлесточных соединений. При сварке листов небольшой ширины с односторонним скосом кромок заготовки располагают не в одной плоскости, а под углом, вершина которого направлена в сторону, обратную ожидаемой деформации. Листы большой толщины рекомендуется укладывать с предварительным изгибом свариваемых кромок, создаваемым с помощью домкратов.

Для предотвращения деформаций «из плоскости» и «в плоскости» при сварке тавровых балок применяют мощные прижимы и приспособления, которые позволяют создавать предварительный обратный изгиб деталей в сторону, обратную ожидаемой деформации. При сварке тонколистовых конструкций (крыши и боковины железнодорожных вагонов) для уменьшения деформаций и повышения жесткости свариваемых панелей предварительно на прессах выдавливают продольные гофры (углубления) или «узоры» жесткости. В некоторых случаях удается уменьшить деформации посредством применения дополнительного охлаждения участка сварного соединения (при сокращении длины участка уменьшаются напряжения деформации).

Дополнительное охлаждение обеспечивает наиболее ощущимый эффект при раскрое толстолистовых заготовок под слоем воды на специальных установках с использованием плазмотронов. При высокой скорости резки образуется узкий и чистый рез. Однако дополнительное охлаждение закаленных сталей не рекомендуется во избежание формирования хрупких закалочных структур.

Уменьшить напряжения в процессе сварки позволяет предварительный или сопутствующий подогрев, обеспечивающий снижение перепада температур соседних участков сварного соединения. При сварке сталей с предварительным подогревом до температуры 200 °С остаточные напряжения уменьшаются на 30 %.

Общий подогрев применяют при сварке деталей небольших размеров или непластичных металлов (например, чугуна). Местному подогреву (с обеих сторон шва) подвергают участок длиной 40...50 мм.

Температуру предварительного подогрева выбирают исходя из химического состава металла, его толщины и жесткости конструк-

ции. С увеличением содержания углерода и легирующих добавок требуется подогрев до более высоких температур. Если в процессе сварки не удается уменьшить напряжения и деформации до заданного уровня, то необходима последующая термическая обработка сварного узла или его отдельных элементов.

Для уменьшения остаточных напряжений и деформаций в сварном узле или конструкции из углеродистой конструкционной стали производят общий высокий отпуск: нагрев до температуры 630...650 °C. Продолжительность выдержки при этой температуре определяют из расчета 2...3 мин на 1 мм толщины металла при условии, что габаритные размеры нагревательной печи позволяют загрузить в нее сварной узел. После отпуска необходимо соблюдать соответствующий режим охлаждения, который зависит от химического состава металла сварного узла. Чтобы предотвратить повторное появление напряжений, охлаждение должно быть медленным. Чем больше в сталях содержится элементов, способствующих закалке, тем меньше должна быть скорость охлаждения сварного узла.

Снижение остаточных напряжений до приемлемого уровня (релаксация) при высоком отпуске сталей происходит вследствие уменьшения предела текучести (при температуре 600 °C — до значений, близких к нулю), и металл в этом случае практически не оказывает сопротивления пластической деформации. Во многих случаях сварные узлы охлаждают сначала вместе с печью до температуры 300 °C, а затем на спокойном воздухе.

После сварки ответственных конструкций (например, рамы тележки железнодорожного вагона, испытывающей динамические и вибрационные нагрузки) часто приходится выглаживать наиболее опасные участки сварных швов тавровых соединений путем расплавления верхнего слоя шва неплавящимся электродом в аргоне. Получаемый при этом плавный переход от шва к основному металлу обеспечивает повышение прочности сварного соединения и снижение напряжений на 60...70 %.

Сварочные напряжения в конструкционных сталях можно существенно снизить в зоне сварки, создав дополнительные пластические деформации проковкой сварных швов или ЗТВ в процессе охлаждения при значениях температуры выше 450 °C или ниже 150 °C. В интервале температур 200...400 °C в процессе проковки возможно образование надрывов в связи с пониженной пластичностью металла.

Проковка осуществляется вручную молотком массой 0,6...1,2 кг с закругленным бойком или пневматическим молотком с неболь-

шим усилием удара. Проковке подвергают все швы при многослойной сварке кроме первого, в котором могут возникнуть трещины. Этот прием применяется при заваривании трещин или замыкающих швов в жестких конструкциях. Проковка сварного соединения способствует повышению усталостной прочности конструкции.

При образовании местных деформаций производят местную термическую правку газокислородным пламенем или электрической дугой с использованием неплавящегося электрода. Температура нагрева исправляемого участка стальной конструкции составляет 750...850 °С. В нагретой области развиваются пластические деформации сжатия, так как окружающий ее холодный металл ограничивает возможность расширения нагретого металла. После охлаждения линейные размеры нагретого участка сокращаются, что приводит к уменьшению деформаций. Иногда для устранения местной деформации применяют механическую правку (при толщине металла до 3 мм правку производят молотком вручную или на прессе).

При выполнении сварочных операций используют сборочные или сборочно-сварочные приспособления, чаще всего кантователи или поворотные кондукторы с пневмоприжимами. В первом случае сборка заканчивается выполнением прихваток, а во втором — собранную конструкцию или узел сваривают без прихваток. Собранный сварной узел должен обладать жесткостью и прочностью, необходимыми для его извлечения из сборочного приспособления и транспортирования к месту сварки после выполнения прихваток.

Прихватки обеспечивают жесткую фиксацию деталей и уменьшают деформации в процессе сварки. Размеры и расположение прихваток должны быть такими, чтобы их применение не оказалось отрицательного влияния на качество сварных соединений и работоспособность сварного узла. Поэтому прихватки должны иметь ограниченные поперечное сечение и длину и располагаться в тех местах, где возможна их полная переплавка при сварке основных швов. Прихватки, выполненные вне зоны наложения основных швов, в процессе сварки удаляют, а поверхность металла очищают.

При ручной дуговой сварке прихватки и основные швы выполняют одним и тем же электродом на одинаковых режимах. Число прихваток и их размеры выбирают в соответствии с технологическими условиями.

При механизированной сварке под флюсом стыковых швов без разделки кромок расположение деталей фиксируют прихватками

и технологическими (входными и выводными) планками. Длина прихваток 50...100 мм, расстояние между ними вдоль стыка 500...550 мм, выпуклость 3...4 мм.

При сборке стыковых соединений с разделкой кромок применять прихватки не рекомендуется; детали перед сваркой скрепляют концевыми планками.

При сборке тавровых соединений детали фиксируют прихватками длиной 80...120 мм с шагом 500...600 мм. Катет углового шва составляет менее 5 мм.

При сборке деталей под сварку, осуществляемую в активных или инертных газах, прихватки целесообразно выполнять с помощью полуавтомата тонкой электродной проволокой в углекислом газе на тех же режимах, что и сварку.

В общем случае при производстве сварных конструкций рекомендуется выполнять прихватки, длина которых в 4—5 раз больше толщины свариваемых деталей, а площадь поперечного сечения не превышает 50 % от площади поперечного сечения сварного шва. Расстояние между прихватками должно составлять 100...1 000 мм в зависимости от длины стыка деталей и толщины металла.

Следует учитывать, что вблизи прихваток могут скапливаться загрязнения и остатки шлака, которые способны изменить условия формирования шва и вызвать появление дефектов. Поэтому желательно обходиться без прихваток и сваривать детали в приспособлениях с жестко фиксирующими прижимами.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем состоят особенности процесса кристаллизации при сварочных процессах?
2. Каковы особенности кристаллизации металла шва при сварке под флюсом?
3. Чем отличается литейная усадка от ликваций?
4. Какие основные структурные зоны характерны для сварного соединения?
5. Какие участки сварного соединения охватывает ЗТВ?
6. Какая часть ЗТВ в наибольшей степени отличается по химическому составу от основного металла?
7. Каковы особенности участка синеломкости?
8. Чем вызван процесс старения металла и в чем состоит различие естественного и искусственного старения?
9. Каковы причины возникновения коррозии металлов и в каких средах она происходит наиболее активно?

10. Назовите известные вам способы защиты сварных конструкций от коррозии.
11. Каковы причины возникновения собственных напряжений в сварном соединении?
12. В чем заключается различие временных и остаточных напряжений?
13. Какими способами снижают остаточные напряжения?
14. В чем состоит различие между объемными и структурными напряжениями?
15. Каковы особенности структурных изменений при сварке легированных сталей в процессе охлаждения?
16. Перечислите известные вам способы снижения напряжений.
17. Для чего применяется предварительный подогрев?
18. Что обеспечивает проковка сварных швов?
19. Как устраняют местные деформации?
20. В каких случаях применяют прихватки?

ГЛАВА 7

СВАРОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

7.1. ЭЛЕКТРОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

При дуговой сварке применяют следующие сварочные материалы: сварочная проволока, неплавящиеся электродные стержни, плавящиеся и покрытые электроды.

Стальная **сварочная проволока**, предназначенная для сварки и наплавки, изготавливается в соответствии с ГОСТ 2246—70* и классифицируется по группам и маркам стали. Стандартом предусмотрены три группы сварочной проволоки: низкоуглеродистая (6 марок), легированная (30 марок) и высоколегированная (39 марок). С каждым годом ассортимент всех групп сварочной проволоки расширяется.

Обозначение марки проволоки представляет собой сочетание букв и цифр: первые две буквы (Св) — обозначение сварочной проволоки; следующие две цифры — содержание углерода в сотых долях процента; далее — обозначения химических элементов, входящих в состав проволоки. При содержании легирующего элемента в проволоке менее 1 % указывают только его буквенное обозначение, если же содержание легирующего элемента превышает 1 %, то за буквой указывают его процентное содержание, выраженное целым числом. Условные обозначения легирующих элементов, входящих в состав основного металла и сварочной проволоки, приведены в табл. 7.1.

Например, марка Св-08Г2С расшифровывается следующим образом: сварочная проволока, содержащая 0,08 % углерода, до 2 % марганца и до 1 % кремния. Более точные составы некоторых марок сварочной проволоки указаны в табл. 7.2.

Для плавящихся электродов наиболее распространенным материалом является холоднотянутая калиброванная проволока диаметром 0,3...12,0 мм, а также горячекатаная или порошковая проволока, электродные ленты и пластины. Если в конце марки прово-

Таблица 7.1. Условные обозначения легирующих элементов, входящих в состав основного металла и сварочной проволоки

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

локи указана буква А, это означает, что она изготовлена из более высококачественной стали (с меньшим содержанием вредных примесей — серы и фосфора).

Проволоку поставляют в мотках, на катушках или в кассетах. Поверхность проволоки должна быть чистой, без окалины, ржавчины и масел. К каждому мотку проволоки должна быть прикреплена бирка, в которой указаны завод-изготовитель, марка стали, диаметр проволоки и ГОСТ. К каждой партии проволоки прилагается документ (сертификат), удостоверяющий ее соответствие требованиям ГОСТа. Современная сварочная проволока, полированная до зеркального блеска, поставляется в герметичной упаковке.

Низкоуглеродистая и легированная проволоки подразделяются на неомедненные и омедненные. Омедненная проволока находит все большее применение. По специальному заказу проволоку изготавливают из стали, полученной электрошлаковым переплавом, вакуумно-дуговым или вакуумно-индукционным методом.

Разные виды проволоки имеют свое условное обозначение: Э — для изготовления электродов, О — омедненная, Ш, ВД и ВИ — полученная из стали, выплавленной соответственно электрошлаковым переплавом, вакуумно-дуговым и вакуумно-индукционным методами.

Таблица 7.2. Составы некоторых марок сварочной проволоки по ГОСТ 2246-70*

Марка проволоки	Массовое содержание химических элементов, %								
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Ti	S	P
не более									
<i>Проволока из низкоуглеродистой стали</i>									
Св-08	≤ 0,10	≤ 0,03	0,35...0,60	≤ 0,15	≤ 0,30	—	—	0,040	0,040
Св-08А	≤ 0,10	≤ 0,03	0,35...0,60	≤ 0,10	≤ 0,25	—	—	0,030	0,030
Св-08ГА	≤ 0,10	≤ 0,03	0,8...1,1	≤ 0,10	≤ 0,25	—	—	0,030	0,030
<i>Проволока из легированной стали</i>									
Св-08Г2С	0,05...0,11	0,70...0,95	1,8...2,1	≤ 0,20	≤ 0,25	—	—	0,025	0,030
Св-08ГСМТ	0,06...0,11	0,40...0,70	1,00...1,30	≤ 0,30	≤ 0,30	0,20...0,40	0,05...0,12	0,026	0,030

Таблица 7.3. Характеристики некоторых типов самозащитной порошковой проволоки

Марка проволоки	Диаметр проволоки, мм	Режим сварки		Производительность, кг/ч	Массовое содержание, %		
		$I_{\text{сп}}$, А	U_{A} , В		C	Mn	Si
ПП-2Н1	2,8	200...350	24...28	2...5	0,06...0,10	0,60...0,80	0,07...0,15
ПП-АН3	3,0	300...500	25...30	5...9	0,07...0,12	0,20...0,45	0,20...0,45
ПП-2ДСК	2,3	340...450	25...32	6...8	0,09...0,13	0,13...0,40	0,13...0,40

Стальная сплошная сварочная проволока применяется для изготовления покрытых электродов, для сварки под флюсом и в защитных газах (без покрытия). Если сплошная сварочная проволока не обеспечивает требуемого химического состава наплавленного металла, то используют порошковую проволоку. Эта проволока имеет низкоуглеродистую стальную оболочку, в которую запрессована шихта — порошок ферросплавов для легирования металла шва или железный порошок, увеличивающий наполнение шва.

Практическое применение находят трубчатые и другие конструкции порошковой проволоки. Некоторые из них показаны на рис. 7.1. Использование более сложных конструкций порошковой проволоки приводит к увеличению глубины проплавления основного металла, уменьшению выгорания полезных примесей (марганца и кремния), снижению содержания кислорода и азота в наплавленном металле, а также к более равномерному плавлению самой проволоки.

По составу сердечника порошковая проволока подразделяется на пять типов: ПП-АН1, -АН7, -2ДСК, -АН9 и -АН10. Проволоку первых трех типов применяют для сварки без дополнительной защиты, а проволоку двух других типов — для сварки в углекислом газе. В табл. 7.3 представлены характеристики некоторых типов самозащитной порошковой проволоки.

В качестве плавящихся электродов для автоматической наплавки металла под флюсом на поверхности больших размеров при небольшой глубине проплавления основного металла используют электродные ленты. Химический состав этих лент зависит от их назначения, толщина составляет 0,2...1,0 мм, а ширина 15...100 мм. Для легирования наплавляемого металла применяют порошковые ленты.

Неплавящиеся электродные стержни изготавливают из электротехнического угля, синтетического графита и вольфрама. Угольные (ГОСТ 4425—87) и графитовые (ГОСТ 4426—82) электроды имеют цилиндрические стержни диаметром 5...25 мм и

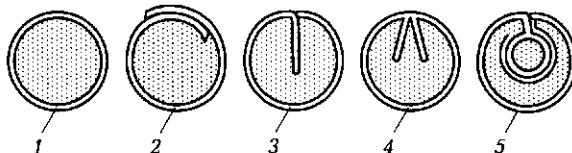


Рис. 7.1. Конструкции порошковой проволоки:

1 — трубчатая; 2 — с нахлестом; 3, 4 — с загибом кромки оболочки; 5 — двухслойная

длину 200...300 мм. Конец электродов затачивается на конус. Графитовые электроды обладают большими электропроводностью и стойкостью к окислению на воздухе при высоких температурах. Это позволяет выполнять сварку при повышенной плотности тока с меньшим расходом электродов.

Наиболее широко используются вольфрамовые электроды следующих марок: ЭВЧ, ЭВЛ, ЭВИ-1 и -2 (ГОСТ 23949—80). Они изготавливаются из чистого вольфрама или с присадками. Наличие присадок (1...3 %) улучшает зажигание дуги и повышает стойкость электрода при повышенной плотности тока. Электроды из вольфрама с активирующими присадками применяются для сварки на переменном и постоянном токах прямой и обратной полярностей.

Покрытый электрод для ручной дуговой сварки (рис. 7.2) представляет собой металлический стержень, на поверхность которого методом окунания или опрессовкой под давлением нанесено покрытие определенного состава и толщины. Покрытие должно обеспечить устойчивое горение дуги, а также получение металла шва определенного химического состава с требуемыми механическими свойствами. Эти требования обеспечиваются выбором материала для электродного стержня и применением покрытий, в состав которых входят стабилизирующие, шлакообразующие, раскисляющие, легирующие и другие вещества.

Стабилизирующие вещества предназначены для обеспечения устойчивого горения дуги. Это поташ, кальцинированная сода, полевой шпат, мел, мрамор и другие минералы нерудного происхождения, содержащие калий, натрий и кальций, которые обладают низким потенциалом ионизации, что облегчает зажигание дуги и обеспечивает ее устойчивое горение.

Шлакообразующие вещества при расплавлении образуют шлак, который защищает капли электродного металла и сварочную ванну от воздействия атмосферных газов. К этим веществам относят-

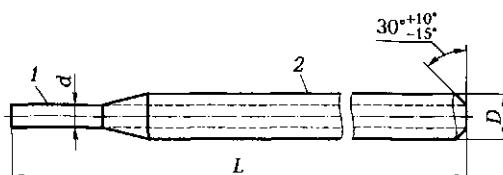


Рис. 7.2. Покрытый электрод:

1 — металлический стержень; 2 — покрытие; D — диаметр электрода; d — диаметр металлического стержня; L — длина электрода

ся марганцевая руда, гематит, гранит, мрамор, магнезит, кремнезем, полевой шпат, плавиковый шпат и др.

Газообразующие вещества при нагреве разлагаются с выделением газов, которые оттесняют воздух из зоны сварки и обеспечивают дополнительную защиту расплавленного металла. В качестве газообразующих веществ используются крахмал, декстрин, оксиселлюлоза, древесная мука, мрамор, магнезит и доломит.

Раскисляющие вещества восстанавливают часть расплавленного металла, входящего в состав оксидов. Достигается это за счет элементов, имеющих большее, чем железо, сродство с кислородом и другими элементами, оксиды которых необходимо удалить из металла шва. С этой целью в покрытие вводят ферромарганец, ферросилиций или ферротитан.

Легирующие вещества дополняют металл шва такими элементами, которые придают ему повышенную прочность и износостойкость, коррозионную стойкость и т.д. Для легирования обычно применяют ферросплавы и значительно реже — чистые металлы.

Связующие и цементирующие добавки связывают порошковые материалы покрытия в однородную вязкую массу и цементируют покрытие на электродном стержне, чтобы после сушки оно не осыпалось. Хорошими связующими являются водные растворы натриевого и калиевого жидкого стекла.

В качестве добавок используют и другие вещества — пластификаторы (бентонит, каолин, силикатная глыба и др.). Материалы, применяемые для изготовления электродных покрытий, должны удовлетворять требованиям соответствующих ГОСТов или ТУ.

На металлические электроды для ручной дуговой сварки и наплавки сталей имеются четыре стандарта: ГОСТ 9466—75*, ГОСТ 9467—75*, ГОСТ 10051—75* и ГОСТ 10052—75*. Классификация электродов, общие технические требования к ним, размеры, правила приемки, методы испытаний, требования к упаковке, маркировке, хранению и транспортированию, а также указания по системе обозначения содержатся в ГОСТ 9466—75*.

Требования к электродам для ручной дуговой сварки углеродистых, низколегированных конструкционных и других сталей устанавливает ГОСТ 9467—75*. Условные обозначения типов этих электродов содержат букву Э и временное сопротивление (предел прочности) металла шва или наплавленного металла, кгс/мм² (1 кгс/мм² = 10 МПа). Например, Э42 означает, что электроды для сварки указанных сталей обеспечивают временное сопротивление 420 МПа. Если в обозначении типа после цифр указана буква

А, это означает, что электрод обеспечивает более высокие характеристики пластичности наплавленного металла.

Одному типу могут соответствовать несколько марок электродов, которые указывают в паспорте. Например, электродам типа Э46 соответствуют марки АНО-4, МР-3 и другие, а электродам типа Э42А — марки УОНИ-13/45 и СМ-11.

Покрытые электроды для ручной дуговой сварки и наплавки в соответствии с ГОСТ 9466—75 подразделяются по назначению на следующие группы: для сварки углеродистых и низколегированных конструкционных сталей (обозначаются буквой У), легированных сталей (Л), теплоустойчивых (Т) и высоколегированных (В) сталей, а также для наплавки поверхностных слоев (Н).

По толщине покрытия различают электроды с тонким покрытием (М); с покрытием средней толщины (С), с толстым (Δ) и особо толстым (Г) покрытиями, а по составу покрытия — электроды с кислым (А), основным (Б), целлюлозным (Ц) и рутиловым (Р) покрытиями, а также с покрытиями прочих видов (П). Если в составе покрытия содержится более 20 % железного порошка, то обозначение его вида дополняется буквой Ж.

Кислые покрытия состоят преимущественно из оксидов железа и марганца (руды), кремнезема и ферромарганца, необходимого для раскисления металла шва и повышения производительности процесса за счет перехода железа из покрытия в металл шва. Газы, выделяющиеся при плавлении электрода, обеспечивают надежную защиту расплавляемого металла. Раскисление металла сварочной ванны марганцем способствует активному удалению газа из металла (дегазация).

Электроды с кислым покрытием широко применяются для сварки неответственных конструкций. Такие электроды обладают малой склонностью к образованию пор при сварке длинной дугой, и на форсированных режимах даже при сварке по окалине или ржавчине формируются плотные швы.

К недостаткам покрытий этого вида следует отнести повышенное разбрзгивание, проблемы, связанные с плохим отделением шлака при многослойной сварке, высокую токсичность, ограниченную свариваемость закаленных углеродистых и легированных сталей из-за наводороживания металла шва и склонности к образованию кристаллизационных трещин.

Однако высокая технологичность процесса при использовании электродов с кислыми покрытиями (возможность сварки на переменном и постоянном токе, легкое зажигание дуги при невысоком напряжении холостого хода источника питания, стабильное горе-

ние дуги) и высокая производительность обеспечивают потребительский спрос на эти электроды.

Перед сваркой электроды с кислым покрытием прокаливают в течение 1 ч при температуре не выше 120 °С. Для сварки этими электродами характерен среднекапельный перенос металла с диаметром капли 1,5...4 мм. Электроды АНО-2, СМ-5 и ЦМ-7 используют для сварки низкоуглеродистых и низколегированных сталей.

Основные покрытия не содержат оксидов железа и марганца. В состав этих покрытий входят карбонаты кальция и магния, плавиковый шпат, ферросплавы и ограниченное количество кремнезема. Газовую защиту расплавляемого металла обеспечивают оксиды углерода и углекислый газ, которые образуются при диссоциации карбоната кальция в процессе горения покрытия.

Основные покрытия позволяют получать более высококачественные сварные соединения. Легкоплавкий шлак даже при многослойной сварке не образует больших скоплений шлаковых включений. Малая окислительная способность покрытий обеспечивает раскисление и легирование сварных швов. В металле сварных швов наблюдается значительное снижение содержания водорода, кислорода, серы и фосфора. Швы обладают большей стойкостью к образованию горячих трещин и сероводородному растрескиванию.

К недостаткам основных покрытий следует отнести нестабильность горения дуги, поэтому рекомендуется производить сварку на постоянном токе обратной полярности. Удлинение дуги и увеличение зазоров приводят к старению и охрупчиванию металла шва из-за возможного насыщения его азотом.

Электроды с основным покрытием применяют для сварки закаленных сталей, склонных к образованию холодных трещин, сталей с повышенным содержанием серы и фосфора, раскисленных спокойных сталей с высоким содержанием углерода и серы, низко- и высоколегированных сталей. Такие электроды наиболее эффективны при многослойной сварке в любых пространственных положениях конструкций, испытывающих большие знакопеременные нагрузки в коррозионно-активных средах при высоких температурах (трубопроводы с сероводородной средой).

Для процесса сварки электродами с основным покрытием характерен крупнокапельный (диаметр капли более 4 мм) перенос металла с короткими замыканиями дуги. Перед сваркой электроды следует прокаливать в течение 1 ч при температуре 300...400 °С. Электроды с основным покрытием рекомендуются для сварки практически всех металлов, используемых при производстве сварных конструкций. Основные условия получения высококачествен-

ногого сварного шва в этом случае — максимально короткая дуга и тщательная очистка кромок перед сваркой.

Из всего многообразия электродов с основным покрытием наиболее широко известны серии УОНИ-13 (УОНИ-13/45, -13/45А и -13/55К), ОЗС (ОЗС-3, -4 и -12), а также ЦЛ (ЦЛ-17, -27А, -36 и -40), СМ-11, УП-2/45, ВСН-3, ДСК-50.

Целлюлозные покрытия содержат преимущественно органические материалы: крахмал, декстрин, целлюлозу, древесную муку и т. п. В процессе горения сварочной дуги эти компоненты покрытия, разлагаясь и сгорая под воздействием теплоты дуги, обеспечивают надежную защиту расплавляемого металла.

Шлакообразующими наполнителями в этих покрытиях служат титановый концентрат и рутил, а раскислителем — ферромарганец. Из-за небольшой толщины покрытия количество шлака невелико, и он легко удаляется.

Дуга горит устойчиво как на переменном, так и на постоянном токе. В процессе сварки обеспечивается глубокое проплавление основного металла и высокое качество корневых швов (без пор и шлаковых включений даже при значительных зазорах междустыкуюмыми кромками). Поэтому электроды с целлюлозным покрытием целесообразно применять в строительно-монтажном производстве и при сварке корневых швов магистральных трубопроводов из низкоуглеродистых сталей.

Целлюлозные покрытия обладают следующими недостатками: повышенное разбрзгивание металла, чувствительность к перегреву при прокаливании и возможность наводороживания металла шва. Такие электроды не рекомендуется использовать для сварки закаленных сталей с повышенным содержанием углерода и легирующих элементов.

В процессе горения дуги характерен мелкокапельный перенос электродного металла. Перед сваркой электроды следует прокаливать при температуре не выше 60 °С в течение 1 ч.

Наиболее распространенные марки таких электродов — ВЦС-4, -4М и -4А. По механическим свойствам, которые могут обеспечить эти электроды в процессе сварки, они сопоставимы с электродами типа Э42.

Рутиловые покрытия содержат значительное количество соединений титана, рутила, титанового концентрата и ильменита. Эти наполнители обеспечивают надежную защиту сварочной дуги и менее вредны для органов дыхания сварщика, чем все типы покрытий, перечисленные ранее. Рутиловые покрытия облегчают зажигание дуги, отделение шлака, обеспечивают устойчивое горе-

ние дуги в любых пространственных положениях, малую склонность к образованию пор при зажигании дуги, а также при сварке по окалине и ржавчине.

Электроды с рутиловым покрытием применяют при сварке конструкций из низколегированных и низкоуглеродистых сталей, а электроды с высоким содержанием железного порошка используют для сварки среднеуглеродистых сталей (однако для сварки конструкций, испытывающих воздействие высоких температур, эти электроды применять не рекомендуется). Перед сваркой электроды следует прокаливать в течение 1 ч при температуре 150...170 °С. Наиболее известные марки таких электродов — АНО-4, -21; МР-3, -3Р; РБУ-4.

Таким образом, назначение всех видов покрытий состоит в обеспечении максимально надежной защиты зоны сварки и требуемых механических свойств металла сварных швов.

Существует более детальная классификация покрытий электродов (по типам, маркам и толщине покрытий, их видам и назначению, пространственному расположению сварки, роду и полярности сварочного тока, напряжению холостого хода источника питания дуги). Наиболее полные сведения о покрытых электродах приводятся в информационных каталогах заводов-изготовителей, где указаны основные характеристики электродов, предназначенных для сварки углеродистых и низколегированных, высокопрочных, теплоустойчивых и легированных, а также высококолегированных коррозионно-стойких жаропрочных, жаро- и кислотостойких сталей, цветных металлов и их сплавов. Кроме того, в них представлены данные о расходе электродов.

Покрытые электроды выпускаются с диаметрами 1,6; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0 и 8,0 мм.

По допустимому пространственному расположению сварки покрытые электроды подразделяют на группы, номера которых включают в их условные обозначения: для всех положений (1); для всех положений, кроме вертикального, при сварке сверху вниз (2); для нижнего и горизонтального положений на вертикальной плоскости и для вертикального положения при сварке снизу вверх (3); для нижнего положения, в том числе при сварке «в лодочку» (4). На этикетке упаковки стрелками указываются пространственные положения сварки, при которых могут быть использованы данные электроды (рис. 7.3).

Во всех видах документации (кроме конструкторской) должно приводиться краткое условное обозначение электродов, включающее в себя марку, диаметр и обозначение стандарта. Например:

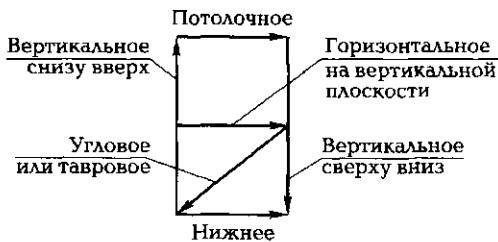


Рис. 7.3. Схема указания пространственных положений сварки для покрытых электродов

Электроды УОНИ-13/45—3,0 ГОСТ 9466—75.

Полное условное обозначение указывают на этикетках или в маркировке коробок, пачек и ящиков с электродами. Например, полное обозначение электродов типа Э46А (по ГОСТ 9466—75*), марки УОНИ-13/45, диаметром 3,0 мм, для сварки углеродистых и низколегированных сталей (У), с толстым покрытием (Д), с установленной по ГОСТ 9467—75* группой индексов 432(5), указывающих характеристики наплавленного металла и металла шва, с основным покрытием (Б), для сварки во всех пространственных положениях (1) на постоянном токе обратной полярности (О) имеет вид

Э46А – УОНИ – 13/45 – 3,0 – УД ГОСТ 9466—75, ГОСТ 9467—75.
Е – 432(5) – Б1О

Электроды типа Э-09Х1МФ (по ГОСТ 9467—75*), марки ЦЛ-20, диаметром 4,0 мм, для сварки легированных теплоустойчивых сталей (Т), с толстым покрытием (Д), с установленной по ГОСТ 9467—75* группой индексов 27, указывающих характеристики наплавленного металла и металла шва, с основным покрытием (Б), для сварки во всех пространственных положениях (1) на постоянном токе обратной полярности (О) имеют полное обозначение вида

Э-09Х1МФ – ЦЛ-20 – 4,0 – ТД ГОСТ 9466—75, ГОСТ 9467—75.
Е – 27 – Б1О

В документации сокращенное обозначение этих электродов записывается в виде

Электроды ЦЛ-20—4,0 ГОСТ 9466—75.

В России все чаще используют импортные электроды для ручной дуговой сварки и наплавки конструкционных и инструментальных сталей. Информация о некоторых марках этих электродов приведена в [7, 12].

Состояние сварочных материалов, к которым относятся покрытые электроды и сварочная проволока, может быть первоначальной брака при сварке, и зависит оно от условий их хранения. Электроды и сварочная проволока должны храниться в сухих отапливаемых помещениях при температуре не ниже 18 °C и относительной влажности не более 50 %.

Перед сваркой электроды на месте подвергают прокаливанию или просушке в режимах, указанных в паспортах или ТУ, разработанных заводом-изготовителем. Например, электроды марки МР-3 прокаливают в течение 1,5 ч при температуре 170...200 °C, а электроды марки УОНИ-13/45 — в течение 1,5 ч, но при температуре 350...400 °C.

После прокаливания или просушки электроды должны быть использованы в течение 5 сут. Прокаливание можно производить не более двух раз, не считая термообработки при изготовлении, иначе покрытие будет отслаиваться и осыпаться.

Электроды транспортируются в деревянных ящиках, которые изнутри защищены слоем рубероида (гидроизоляция). Расфасованы они в пачки по 5 кг. Для розничной торговли допускается их упаковка в картонные коробки по 10 шт. На коробках указывают марку электродов, дату изготовления, режимы прокаливания и приводят схему пространственного положения сварки.

Сварочная проволока должна храниться в условиях, исключающих ее загрязнение и окисление, что не всегда возможно на производстве. Поэтому в цехах применяют специальные очистные машины для подготовки сварочной проволоки к сварке.

Проволока для сварки алюминиевых сплавов поступает к потребителям после химического травления. Кассеты с проволокой упаковывают в герметично запаянные полиэтиленовые пакеты, откуда предварительно откачивают воздух.

В экстремальных условиях, при выполнении ремонтных работ, а также в процессе монтажа металлоконструкций из углеродистых сталей, когда невозможно использовать какой-либо источник питания или отсутствует электроэнергия, применяют так называемые сварочные карандаши. Такой карандаш не имеет покрытия и представляет собой стержень, выполненный из термитной смеси. В комплект термитного сварочного карандаша входит термоспичка для его поджига (рис. 7.4). Карандаш в процессе

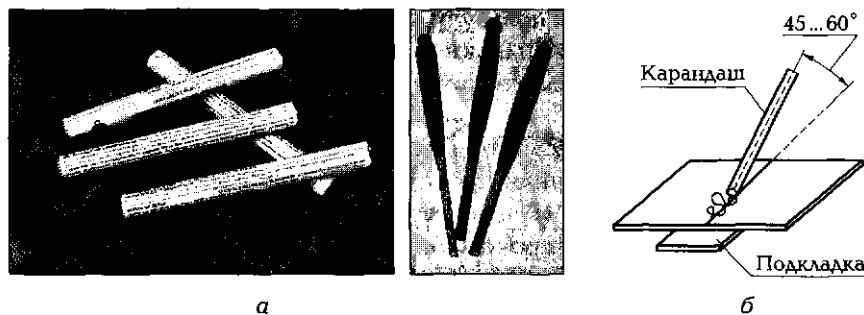


Рис. 7.4. Термитный карандаш с термоспичкой [а] и схема сварки стыкового соединения [б]

горения осуществляет местный нагрев кромок свариваемых деталей или поверхностной трещины до температуры плавления за счет теплоты, выделяющейся при горении термитной смеси.

Наиболее высококачественные сварные швы формируются при сварке нахлесточных и стыковых соединений. Для формирования обратной стороны шва следует использовать подкладку. Недопустимо выполнять сварку по неподготовленной и загрязненной поверхности.

Крышка картонного футляра карандаша служит рукояткой. Свободный торец карандаша плотно удерживают в месте начала сварки. Термоспичкой поджигают торец карандаша, выдерживают 3...4 с и начинают перемещать его по траектории шва с выполнением колебательных движений. Во время сварки карандаш необходимо удерживать под углом 45...60° (рис. 7.4). Технические характеристики термитного сварочного карандаша СК-1 следующие: длина 300 мм, диаметр 14 мм, продолжительность горения 12 с, температура в процессе сварки 2 800 °С, длина сварного шва 40...90 мм.

7.2. ФЛЮСЫ И ЗАЩИТНЫЕ ГАЗЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ ДУГОВОЙ СВАРКЕ

Флюсы, применяемые при дуговой сварке, обеспечивают надежную защиту зоны сварки от воздействия атмосферных газов, создают условия для устойчивого горения дуги и формирования плотных швов, не склонных к образованию кристаллизационных трещин. Флюсы препятствуют выделению пыли и газов, вредных

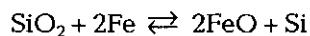
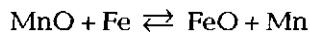
для здоровья сварщика. После остывания шва шлаковая корка легко удаляется.

В процессе горения сварочной дуги и ее продвижения по траектории сварного шва в зоне горения формируется газовая полость в результате плавления флюса, основного металла и электрода (сварочной проволоки). Полость заполняетсяарами и газами. Расплавленный флюс (шлак) в виде жидкой пленки растекается по поверхности полости и изолирует зону сварки от атмосферы. Шлаковая корка затвердевает несколько позднее металла формирующегося сварного шва, тем самым способствуя замедлению скорости охлаждения шва и более полному удалению газов из зоны горения дуги, чем при ручной дуговой сварке. Очистка сварного шва от шлаковой корки не вызывает затруднений. Однако роль флюса при сварке не исчерпывается перечисленными достоинствами.

Наличие во флюсе оксидов щелочных и щелочно-земельных металлов увеличивает электрическую проводимость и длину дугового промежутка, что значительно повышает устойчивость процесса сварки (проявляются стабилизирующие свойства флюса).

При сварке низкоуглеродистых и низколегированных сталей применяют высококремнистые флюсы, содержащие 35...40 % оксида марганца. В результате в металле сварочной ванны увеличивается содержание марганца. Дополнительное введение в сварочную ванну алюминия и титана существенно повышает стойкость сварных швов к образованию кристаллизационных трещин и ослабляет вредное влияние серы. Высококремнистые флюсы обеспечивают стойкость швов к водородной пористости: водород связывается в нерастворимые в жидком металле соединения и выводится в шлак.

В процессе сварки жидкий шлак и расплавленный металл постоянно взаимодействуют друг с другом. При высоких температурах вблизи дуги марганец и кремний восстанавливаются из шлака и поступают в металл, а при снижении температуры они окисляются и переходят из металла в шлак. Их взаимодействие длится несколько секунд и прекращается после затвердевания металла и шлака. Процессы восстановления марганца и кремния при сварке под плавлеными флюсами описываются следующими реакциями:



Равновесие этих реакций смещается вправо, если процесс взаимодействия происходит при повышенной температуре, и влево,

если температура снижается. Направление реакций зависит также от концентрации реагирующих компонентов. Таким образом, представляется возможным регулировать химический состав металла шва подбором соответствующего флюса при сварке определенного металла.

Стабилизирующие свойства флюса, его насыпная масса, степень измельчения зерен (гранулометрический состав) оказывают существенное влияние на форму шва.

Флюсы со слабым стабилизирующим действием укорачивают дугу, швы формируются с большой глубиной проплавления и избыточной выпуклостью. Флюсы с хорошими стабилизирующими свойствами удлиняют дугу, швы формируются с малым проплавлением и незначительной выпуклостью.

О влиянии насыпной массы флюса на форму шва можно судить на примере затрат энергии при сварке швов под пемзовидным и стекловидным флюсами одинакового химического состава; насыпная масса стекловидного флюса составляет $1,4 \dots 1,7 \text{ г}/\text{см}^3$, а пемзового — $0,7 \dots 0,9 \text{ г}/\text{см}^3$. Таким образом, для расплавления стекловидного флюса требуется вдвое больше энергии, чем для расплавления пемзового. В результате швы, свариваемые под пемзовидным флюсом, имеют большую ширину.

Что касается влияния степени измельчения флюса на формирование шва, то под мелким флюсом образуются более узкие швы с большими глубиной проплавления основного металла и выпуклостью, чем при использовании крупнозернистого флюса.

Флюсы классифицируют по назначению, химическому составу, структуре, степени легирования шва, способу изготовления и зависимости вязкости шлака от температуры.

По назначению флюсы подразделяют на три группы: для сварки углеродистых и легированных сталей, для сварки высоколегированных сталей, для сварки цветных металлов и сплавов.

По химическому составу различают оксидные, солевые и солеоксидные (смешанные) флюсы. Оксидные флюсы состоят из оксидов металлов и могут содержать до 10 % фторидов металлов. Их применяют для сварки углеродистых и низколегированных сталей. Солевые флюсы содержат фториды и хлориды металлов и другие бескислородные химические соединения. Они используются для сварки активных металлов и электрошлакового переплава. Солеоксидные флюсы состоят из фторидов и оксидов металлов и применяются для сварки легированных сталей.

По химическим свойствам оксидные флюсы подразделяют на кислые, основные и нейтральные. К кислым относятся ди-

оксида кремния и титана, а к основным — оксиды кальция и марганца. Фториды и хлориды относятся к химически нейтральным соединениям.

В зависимости от содержания диоксида кремния различают высоко-, низко- и бескремнистые флюсы; а в зависимости от содержания оксида марганца — марганцевые и безмарганцевые.

По степени легирования металла шва флюсы подразделяют на пассивные, т.е. не вступающие во взаимодействие с расплавленным металлом, активные — слабо легирующие металл шва, и сильно легирующие, к которым относится большинство керамических флюсов.

По способу изготовления различают плавленые и неплавленые (керамические) флюсы, а по строению крупинок — стекло- и пемзовидные, а также цементированные.

При сварке под флюсом его состав полностью определяет состав шлака и атмосферу дуги. Взаимодействие жидкого шлака с расплавленным металлом оказывает существенное влияние на химический состав, структуру и свойства наплавленного металла.

При сварке углеродистых сталей высококачественный шов можно получить в случаях следующих сочетаний флюсов и сварочной проволоки:

- плавленый марганцевый высококремнистый флюс и низкоуглеродистая или марганцовистая сварочная проволока;
- плавленый безмарганцевый высококремнистый флюс и низкоуглеродистая марганцовистая сварочная проволока;
- керамический флюс и низкоуглеродистая сварочная проволока.

Для сварки углеродистых и низколегированных конструкционных сталей чаще всего используют углеродистую проволоку марок Св-08 и -08А в сочетании с марганцевым высококремнистым флюсом марок ОСЦ-45, -45М, АН-348А и -348АМ (мелкий). Требования к этим флюсам устанавливает ГОСТ 9087—81.

Флюсы ОСЦ-45 и АН-348А с размерами зерен 0,25...3,0 мм применяют при автоматической сварке проволокой диаметром 3,0 мм и более, а флюсы ОСЦ-45М и АН-348АМ с размерами зерен 0,25...1,6 мм — при автоматической и полуавтоматической сварке проволокой диаметром менее 3,0 мм. Флюс ОСЦ-45, мало чувствительный к коррозии, обеспечивает весьма плотные швы, стойкие к образованию горячих трещин. Существенным недостатком флюсов является выделение вредных газообразных фторидов. Флюс

АН-348А более чувствителен к коррозии, чем ОСЦ-45, но выделяет значительно меньше вредных газов.

При сварке низкоуглеродистых сталей проволокой Св-08 или -08А используют и керамические флюсы КВС-19 и К-11. В тех случаях, когда в металле шва необходимо сохранить элементы, имеющие большее сродство с кислородом, следует использовать флюсы, химически инертные к металлу сварочной ванны.

Флюсы должны храниться в складских помещениях, как и покрытые электроды, при температуре не ниже 18 °C и относительной влажности не более 50 %. Перед сваркой их просеивают и прокаливают для удаления избыточной влаги. Режимы прокаливания указываются в ТУ завода-изготовителя. Например, флюсы ОСЦ-45 и АН-348 прокаливают при температурах 300...400 °C в течение 5 ч. Возвратные флюсы просеивают с последующим прокаливанием.

Транспортируют флюсы в многослойных бумажных мешках (пакетах) с уплотненным швом в верхней части.

Для защиты дуги при электрической сварке плавлением применяют аргон, гелий, углекислый газ, азот, водород, кислород и их смеси.

Аргон и гелий являются одноатомными инертными газами. Они бесцветны, не имеют запаха. Аргон тяжелее воздуха, что обеспечивает хорошую защиту сварочной ванны. Аргон, предназначенный для сварки, выпускают по ГОСТ 10157—79* и поставляют двух сортов в зависимости от его степени чистоты и назначения. Аргон высшего сорта предназначен для сварки ответственных изделий из цветных металлов, а аргон первого сорта — для сварки сталей. Смеси аргона с другими газами в определенных соотношениях поставляют по особым ТУ.

Гелий значительно легче воздуха. ГОСТ 20461—75* предусматривает два сорта газообразного гелия: высокой чистоты и технический гелий.

Углекислый газ в нормальных условиях бесцветный с едва ощущаемым запахом. Углекислый газ выпускают по ГОСТ 8050—85 трех марок: сварочный, пищевой и технический. Летом в стандартные баллоны вместимостью 40 дм³ заливают 25 дм³ жидкого диоксида углерода, при испарении которого образуются 12 600 дм³ газа, а зимой, заливая 30 дм³ диоксида углерода, получают 15 120 дм³ газа.

Водород — горючий газ в 14,5 раза легче воздуха, не имеющий запаха и цвета. В соответствии с ГОСТ 3022—80* водород выпускают трех марок — А, Б и В. Для сварки применяют водород марок А и Б. Водород в смеси с кислородом или воздухом взрывоопасен.

сен, поэтому его используют только для специальных видов сварки, например атомно-водородной.

Кислород применяется как добавка к аргону или углекислому газу. ГОСТ 5583—78* предусматривает три сорта кислорода.

При дуговой сварке технический кислород как поверхностно-активный газ уменьшает поверхностное натяжение жидкого металла, способствуя образованию более мелких капель расплавленного металла на конце электрода, и этим поддерживает его струйный перенос в сварочную ванну. При этом дуга горит более устойчиво, улучшается формирование сварного шва и обеспечивается более глубокое проплавление основного металла при минимальном разбрызгивании.

Однако большее применение находят смеси углекислого газа, аргона и кислорода. При сварке в газовых смесях для точной дозировки используют следующие смесители: УКП-1-71 — для смеси углекислого газа с кислородом, АКУП-1 — для смеси аргона и углекислого газа с кислородом; ГС-1 — для смеси аргона с углекислым газом. Перед смесителем устанавливают осушитель для отделения паров или конденсата влаги.

Защитные газы хранят и транспортируют преимущественно в баллонах вместимостью 40...50 дм³ при давлении 15 МПа, а жидкий диоксид углерода — при давлении до 6 МПа. Для предотвращения коррозии и удобства пользования газовые баллоны согласно требованиям ГОСТ 949—73 окрашивают в разные цвета и наносят на них соответствующие надписи контрастного цвета (табл. 7.4).

Таблица 7.4. Окраска баллонов для газов и надписей на них

Газ	Цвет баллона	Цвет надписи	Цвет полосы
Аргон (ГОСТ 10157—79*)	Серый	Зеленый	Зеленый
Гелий (ГОСТ 20461—75*)	Коричневый	Белый	—
Азот (ГОСТ 9293—74*)	Черный	Желтый	Коричневый
Углекислый газ (ГОСТ 8050—85)	Черный	Желтый	—
Кислород (ГОСТ 5583—78*)	Голубой	Черный	—
Водород (ГОСТ 3022—80*)	Зеленый	Красный	—

Наряду с баллонным снабжением сварочных постов защитными газами применяют танки-газификаторы для транспортирования углекислого газа, аргона, кислорода и других газов, откуда их перекачивают в специальные хранилища и по магистралям подают на рабочие места. Трубопроводы окрашивают в цвета, аналогичные цветам баллонов. Однако там, где не требуется значительного расхода газов, используется традиционная баллонная система питания сварочных постов (в том числе для рампового питания небольших цехов или участков). Транспортирование газов производится с соблюдением инструкций, регламентирующих квалификацию спецводителя.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие материалы относятся к сварочным и каково их назначение?
2. Почему применяют разные виды сварочной проволоки для сварки сталей?
3. Как расшифровываются буквенно-цифровые обозначения марок сварочной проволоки?
4. Для чего используют порошковую сварочную проволоку?
5. Какие неплавящиеся электроды применяют при сварке?
6. Какова роль электродного покрытия и как подразделяются электроды по типу покрытий?
7. Какие элементы покрытия играют стабилизирующую роль в процессе горения дуги?
8. Какие вещества относятся к шлако- и газообразующим?
9. Для чего вводят в состав покрытия раскисляющие и легирующие вещества?
10. Какова роль связующих добавок в электродном покрытии?
11. Как подразделяются покрытые электроды по назначению?
12. Каковы достоинства и недостатки кислых покрытий?
13. В чем состоят особенности основных покрытий и для сварки каких сталей они применяются?
14. Каковы особенности целлюлозных покрытий?
15. Перечислите достоинства рутиловых покрытий.
16. Какова роль флюсов в сварочном процессе?
17. Как классифицируют флюсы по назначению, способу изготовления и химическому составу?
18. В чем состоят особенности применения флюсов при сварке углеродистых и низколегированных сталей?
19. Как осуществляют хранение флюсов и их подготовку к сварке?
20. Какие смеси защитных газов используют при сварке и почему ими заменяют газы в чистом виде?

**СВАРОЧНОЕ
ОБОРУДОВАНИЕ
И АППАРАТЫ
ДЛЯ ДУГОВОЙ
СВАРКИ**

**II
РАЗДЕЛ**

Глава 8. Сварочное оборудование
Глава 9. Сварочные аппараты

ГЛАВА 8

СВАРОЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

8.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИСТОЧНИКАХ ПИТАНИЯ ДУГИ

Традиционные источники питания дуги переменного тока — сварочные трансформаторы. Источниками питания дуги постоянного тока являются сварочные выпрямители, сконструированные на базе трансформаторов и полупроводниковых выпрямителей, сварочные генераторы и преобразователи. Широкое распространение получили также инверторные высокочастотные источники питания.

Области применения источников переменного тока — ручная дуговая сварка покрытыми электродами, автоматическая сварка под флюсом, ручная и автоматическая сварка вольфрамовым (неплавящимся) электродом легких сплавов в инертных газах. Области применения источников постоянного тока — ручная дуговая сварка покрытыми электродами, автоматическая сварка под флюсом, механизированная (полуавтоматическая и автоматическая) сварка плавящимся электродом в активных и инертных газах, ручная и автоматическая сварка вольфрамовым электродом легированных сталей, меди и титана в инертных газах.

Технологические возможности источника питания определяются его внешней вольт-амперной характеристикой (ВАХ), представляющей собой зависимость выходного напряжения от тока нагрузки при постоянном значении напряжения питающей сети в установленном режиме (рис. 8.1).

По виду внешних ВАХ различают источники питания с падающими (крутыми и пологими), жесткими и возрастающими внешними характеристиками. Инверторные источники имеют комбинированную внешнюю ВАХ. Источники питания с внешними ВАХ двух видов называются универсальными.

Внешние ВАХ определяются такими показателями сварочного процесса, как тип электрода (плавящийся, неплавящийся), харак-

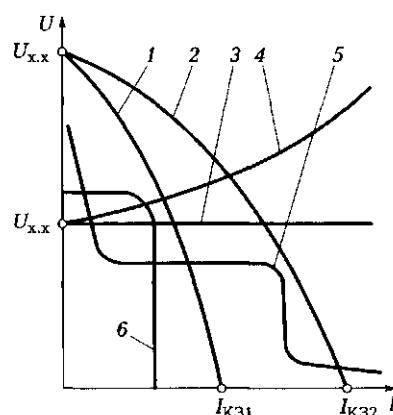
тер среды, в которой происходит сварка (открытая дуга, сварка под флюсом или в защитном газе), степень механизации (ручная, механизированная или автоматизированная сварка) и способ регулирования режима сварки (саморегулирование или автоматическое регулирование напряжения дуги). Например, для ручной дуговой сварки покрытыми электродами, аргонодуговой сварки вольфрамовым электродом и сварки под флюсом на автоматах с регулированием скорости подачи электродной проволоки в зависимости от напряжения дуги используются источники питания с падающей ВАХ. При ручной и автоматической сварке вольфрамовым электродом в аргоне трубопроводов для пара или горячей воды рекомендуется использовать источники питания, имеющие так называемую штыковую ВАХ, которая позволяет удерживать силу сварочного тока в жестких пределах.

При падающей ВАХ источник питания дуги работает в режиме плавного или ступенчатого регулирования силы сварочного тока в заданном диапазоне. По технологическим условиям часто осуществляют плавно-ступенчатое регулирование, когда две или более ступеней сочетаются с плавным регулированием внутри каждой из них. При регулировании силы сварочного тока в случае падающей ВАХ напряжение холостого хода почти постоянное.

Каждому виду сварки соответствует определенная крутизна наклона падающей ВАХ. Например, крутые характеристики используются при ручной дуговой и аргонодуговой сварке, а пологие — при сварке под флюсом. Длина дуги в процессе сварки при падающей ВАХ регулируется вручную или с помощью системы регулирования в сварочном автомате.

Рис. 8.1. Внешние вольт-амперные характеристики источников питания в общем виде:

1 — крутопадающая; 2 — пологопадающая; 3 — жесткая; 4 — возрастающая; 5 — комбинированная (инверторная); 6 — штыковая; $U_{x,x}$ — напряжение холостого хода; I_{K31} , I_{K32} — токи короткого замыкания соответственно круто- и пологопадающей ВАХ



При механизированной сварке в углекислом газе и автоматизированной сварке под флюсом при постоянной скорости подачи электродной проволоки используют источники питания дуги с жесткими ВАХ. В этом случае источник питания работает как регулятор рабочего напряжения в заданных пределах при заданной силе сварочного тока. Регулирование напряжения при такой форме ВАХ может быть плавным, ступенчатым или смешанным. Сила сварочного тока определяется скоростью подачи электродной проволоки, а источник питания задает напряжение дуги и обеспечивает саморегулирование ее длины.

Источники питания с возрастающими ВАХ используются при механизированной сварке под флюсом и в защитных газах плавящимся электродом, а также при плазменно-дуговых процессах. Увеличение силы тока вызывает повышение напряжения дуги, так как размеры катодного пятна ограничены площадью поперечного сечения электрода. При этом существенно возрастает плотность тока, сжимается столб дуги, сопротивление дуги становится постоянным, и зависимость силы тока от напряжения согласуется с законом Ома (при сварке сплошной проволокой).

Продолжительность работы источников питания не должна быть длительной, чтобы избежать перегрева изоляции силовой части.

Источники питания работают в продолжительном режиме при номинальной нагрузке. В этом режиме *продолжительность нагрузки, %*, определяется отношением времени сварки t_{cb} к суммарному времени сварки и холостого хода t_{xx} :

$$\text{ПН} = \frac{t_{cb}}{t_{cb} + t_{xx}} \cdot 100.$$

Если при перерывах в работе вместо холостого хода происходит отключение силовой цепи источника питания от сети, то такой режим работы называют повторно-кратковременным. *Продолжительность включения* при этом режиме равна отношению времени сварки к сумме времени сварки и длительности паузы t_p :

$$\text{ПВ} = \frac{t_{cb}}{t_{cb} + t_p} \cdot 100.$$

Во время паузы отсутствуют потери энергии, имеющиеся при холостом ходе. Продолжительность включения источников питания для ручной дуговой сварки обычно составляет 60 %. Повторно-кратковременный режим используют при работе сварочных полуавтоматов. Для многопостовых источников питания ПВ составляет 100 %.

Потери энергии при холостом ходе в современных сварочных аппаратах трансформаторного типа ничтожно малы по сравнению с потерями энергии в рабочем режиме, поэтому значения ПН и ПВ отличаются незначительно и в технической литературе чаще применяется ПВ.

При производстве сварочных работ в аварийных ситуациях, сборке и сварке металлоконструкций в полевых условиях, ремонтных работах в стесненных и опасных условиях, а также в учебных мастерских необходимо оснащать источники питания и электросварочные установки устройством автоматического отключения напряжения холостого хода или ограничения его до 12 В с выдержкой не более 0,5 с.

Источники питания по ГОСТ 15150—69 изготавливают для работы в разных климатических условиях: в районах с умеренным (У), умеренно-холодным (УХЛ) и тропическим (Т) климатом.

Условия размещения сварочного оборудования при эксплуатации подразделяют на следующие категории: 1 — на открытом воздухе, 2 — при наличии защиты от прямого воздействия солнечного излучения и атмосферных осадков, 3 — в закрытых помещениях без регулируемых климатических условий, 4 — в отапливаемых и вентилируемых помещениях.

В зависимости от условий работы ГОСТ 18311—89 предусматривает разные значения ПВ источника питания (10, 20, 40, 60 и 100 %). С учетом значений ПВ для каждого типа источника рассчитывается номинальная сила тока $I_{\text{ном}}$, при которой он не будет перегреваться:

$$I_{\text{ном}} = I_{\text{дл}} \sqrt{\frac{100}{\text{ПВ}}},$$

где $I_{\text{дл}}$ — длительная допустимая сила тока при ПВ = 100 %.

Источники питания изготавливают разной мощности с силой тока 40...5 000 А.

Трансформаторы для ручной дуговой сварки обычно работают при естественном охлаждении, остальные источники питания нуждаются в принудительной воздушной вентиляции или охлаждении проточной водой с блокировкой питающей сети через реле протока воздуха или воды.

Каждому источнику питания присваивается условное буквенно-цифровое обозначение, в котором первая буква означает вид источника питания (Т — трансформатор, В — выпрямитель, У — установка), вторая — вид сварки (Д — дуговая), третья — способ

сварки (Ф — под флюсом, Г — в защитных газах). Отсутствие третьей буквы означает ручную дуговую сварку. Четвертая буква обозначения дает дополнительную информацию об источнике питания (Ж или П — с жесткой или падающей ВАХ, М или Э — с механическим или электрическим регулированием, Ч — со звеном повышенной частоты, т.е. инвертором). Буква М в конце обозначения выпрямителя указывает, что он предназначен для многопостовой сварки. Через дефис в обозначении указываются минимальная сила сварочного тока (округленно, в десятках ампер) и регистрационный номер источника питания, а через второй дефис — номер модификации источника питания, климатическое исполнение и категория размещения. Например, ТДМ-317-1У2 означает: трансформатор рассчитан на силу тока 315 А, регистрационный номер — 7, модификация — 1 (с ограничителем напряжения холостого хода), исполнение — У (для районов с умеренным климатом), категория размещения — 2.

Источники питания должны отвечать определенным требованиям, обеспечивающим в процессе сварки получение высококачественного сварного шва. Сварочная дуга вместе с источником питания образует весьма динамичную систему. В процессе сварки эта система подвергается воздействию возмущающих факторов: при изменении длины дуги возникают колебания напряжения и силы сварочного тока, при неравномерной скорости подачи электрода нарушаются условия перехода расплавленного металла электрода в сварочную ванну и др. В результате в дуговом промежутке постоянно возникают изменения режима сварки и переходные процессы, нарушающие равновесное состояние. Даже кратковременные отклонения режима от заданного приводят к нарушению процесса сварки. Поэтому система источник питания — сварочная дуга должна обладать устойчивостью. Под устойчивостью следует понимать способность системы возвращаться в исходное состояние равновесия при воздействии возмущающих факторов и не допускать обрыва дуги.

Сварочная дуга обладает собственной статической ВАХ (рис. 8.2), которая представляет собой зависимость между силой сварочного тока и напряжением дуги. Условие устойчивого горения дуги — это постоянство ее длины.

Совмещение внешней ВАХ источника питания и собственной статической ВАХ дуги посредством графического наложения представляется весьма полезным для определения существования области возможного регулирования режимов сварки и нахождения точки устойчивого горения дуги (рис. 8.3). Точка пересечения ВАХ

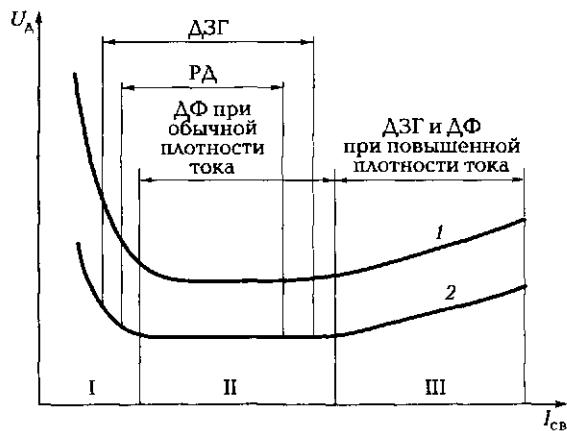


Рис. 8.2. Статические вольт-амперные характеристики длинной (1) и нормальной (2) дуг при обычной и повышенной плотности тока:

I , II , III — области падающих, жестких и возрастающих ВАХ; U_d — напряжение дуги; I_{cb} — сила сварочного тока; $\Delta ZГ$, РД, ДФ — дуговые сварки в защитном газе, ручная и под флюсом

источника питания с осью ординат определяет значение напряжения холостого хода, а точка пересечения с осью абсцисс — значение силы тока короткого замыкания.

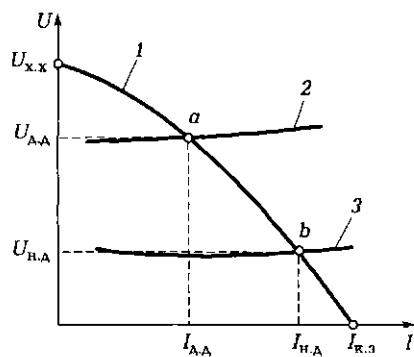


Рис. 8.3. Вольт-амперные характеристики источника питания при ручной дуговой сварке (графическое совмещение):

1 — внешняя ВАХ источника питания; 2 — статическая ВАХ нормальной дуги; 3 — статическая ВАХ нормальной дуги; a, b — точки устойчивого горения соответственно длинной и нормальной дуг; $I_{d,d}$ — сила сварочного тока длинной дуги; $U_{d,d}$ — напряжение холостого хода; $I_{n,d}$ — ток короткого замыкания; $I_{d,d}$ — сила сварочного тока нормальной дуги; $U_{d,d}$ — напряжение длинной дуги; $U_{n,d}$ — напряжение нормальной дуги

Таблица 8.1. Соответствие вольт-амперных характеристик источников питания и дуги

ВАХ дуги	Внешняя ВАХ источника питания			
	Крутопадающая	Пологопадающая	Жесткая	Возрастающая
Падающая	+	+	—	—
Жесткая	+	+	—	—
Возрастающая	—	—	+	+

Проанализировав представленные ВАХ, можно сделать следующие выводы:

- падающей и жесткой ВАХ дуги соответствуют круто- и пологопадающие ВАХ источника питания;
- возрастающей ВАХ дуги при большой силе тока соответствует жесткая или возрастающая ВАХ источника питания (все многосторонние источники питания имеют жесткие ВАХ).

Обобщенные сведения о соответствии ВАХ источников питания и дуги приведены в табл. 8.1.

Таким образом, представляется возможным обоснованно подобрать необходимый источник питания для выбранного способа сварки заданного металла определенной толщины.

8.2. СВАРОЧНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ И ВЫПРЯМИТЕЛИ

Сварочные трансформаторы согласно ГОСТ 95—77 рассчитаны на следующие номинальные значения силы тока: 125; 140; 160; 250; 315; 350; 400; 500; 700; 1 000; 1 600 и 2 000 А.

Для сварки применяют понижающие одно- и трехфазные односторонние трансформаторы разных конструкций, в том числе исправно работающие несколько десятилетий устаревшие модели с нормальным магнитным рассеянием и реактивной катушкой (серии СТН и ТДС), увеличенным магнитным рассеянием и подвижными обмотками (ТСК, ТД и ТДМ), с увеличенным магнитным рассеянием и подвижным магнитным шунтом (СТАН и СТШ), с увеличенным магнитным рассеянием и подмагничиваемым шунтом (ТДФ) и с тиристорным управлением (ТДЭ и ТДФЖ). Сварочные трансформаторы серий ТД и ТДФЖ изображены на рис. 8.4.

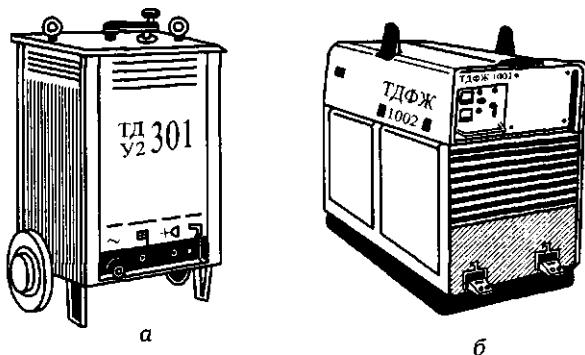


Рис. 8.4. Сварочные трансформаторы серии ТД для ручной дуговой сварки (а) и серии ТДФЖ для сварки под флюсом (б)

По способу перемещения трансформаторы подразделяются на переносные и передвижные. В сварочной практике наиболее широко используют трансформаторы серий ТДМ и СТШ, которые относятся к группе трансформаторов стержневого типа. Для них характерны малый расход активных материалов, простота конструкции, высокие сварочные и энергетические показатели, а также широкие пределы регулирования силы тока. Однако трансформаторы серии СТШ (СТШ-250, -300, -500, -500-80 и др.) с подвижным магнитным шунтом (рис. 8.5) превосходят все предшествующие виды трансформаторов.

Современные модели серии СТШ «Патон» снабжены встроенным стабилизатором дуги УСГД-7М. Катушки первичной и вто-

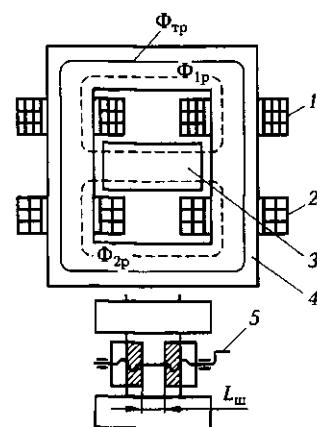


Рис. 8.5. Конструктивная схема сварочного трансформатора серии СТШ:

1, 2 — первичная и вторичная неподвижные обмотки; 3 — подвижный магнитный шунт; 4 — магнитопровод; 5 — винтовой привод; Φ — основной магнитный поток; Φ_{1p} и Φ_{2p} — потоки рассеяния; L_{sh} — расстояние между подвижными половинами шунта

ричной обмоток трансформаторов этой серии неподвижно закреплены у нижнего и верхнего ярм. В окне магнитопровода, в пространстве между первичными и вторичными катушками, расположены две подвижные половины магнитного шунта. Положение частей шунта изменяется ходовым винтом с рукояткой и гайками, вмонтированными в части шунта. Одна половина шунта имеет гайку с левой резьбой, а другая — с правой. При вращении рукоятки по часовой стрелке части шунта раздвигаются, а при вращении против часовой стрелки — сдвигаются. Таким образом осуществляется изменение магнитного рассеяния и плавное регулирование силы сварочного тока: при сближении частей шунта она уменьшается, а при удалении — возрастает.

Трансформатор устанавливают на раму с колесами и закрывают корпус кожухом. Его внешняя ВАХ крутопадающая. Использование магнитного шунта из двух подвижных частей упрощает и ускоряет настройку режима сварки. При этом существенно снижаются вибрации и мощный низкочастотный звук работающего трансформатора, так как электродинамические силы, действующие на шунты, уравновешиваются.

Трансформаторы серии ТДФЖ для автоматической сварки под флюсом, рассчитанные на номинальные токи 1 000; 1 600 и 2 000 А и продолжительный режим работы, выпускаются в стационарном исполнении для работы в условиях умеренного (УЗ) и тропического (Т4) климата.

Трансформаторы имеют жесткую ВАХ и предназначены для автоматической сварки с постоянной скоростью подачи электродной проволоки. При наличии тиристорного регулирования они работают в режиме прерывистого тока. В трансформаторах применена система импульсной стабилизации повторного возбуждения дуги. Трансформатор ТДФЖ-1002 имеет две ступени регулирования силы сварочного тока, а ТДФЖ-2002 — три ступени. Трансформаторы имеют стержневую конструкцию с разнесенными и жестко закрепленными катушками. Технические характеристики наиболее широко применяемых трансформаторов приведены в табл. 8.2.

Для электрошлаковой сварки применяют специальные одно- и трехфазные сварочные трансформаторы с жесткой ВАХ (ТШС-1000-1, -1000-3 и др.).

При сварке на переменном токе для надежного возбуждения дуги с исключением возможности ее обрыва (особенно при сварке на автоматах) используют дополнительное оборудование и вспомогательные устройства. К вспомогательным устройствам относятся импульсные возбудители дуги, стабилизаторы ее горения и осцилляторы.

Таблица 8.2. Технические характеристики трансформаторов

Марка трансформатора	Сила сварочного тока, А		Напряжение холостого хода, В
	Номинальная	Диапазон регулирования	
ТДМ-317	315	60...360	62...80
СТШ-500-80	500	60...800	60
ТДФЖ-2002	2 000	600...2 200	120

Продолжение табл. 8.2

Марка трансформатора	Полная потребляемая мощность, кВ·А	ПВ, %	Масса, кг
ТДМ-317	30	60	130
СТШ-500-80	44,5	60	323
ТДФЖ-2002	260	100	490

Импульсные возбудители дуги предназначены для сварки плавящимся электродом в аргоне и других защитных газах легированных сталей, цветных металлов и их сплавов. Применение этих устройств облегчает возбуждение дуги, повышает устойчивость ее горения и способствует переносу капель расплавленного металла в сварочную ванну. В технической литературе встречается их эквивалентное название «генераторы импульсов». Существуют следующие марки таких устройств: НИП-1, -2, ГИ-ИДС-1 и ГИД-1.

Стабилизаторы дуги также поддерживают устойчивое горение дуги при сварке плавящимся электродом на переменном токе. Процесс стабилизации заключается в подаче повторного импульса, зажигающего дугу в момент перехода силы тока через нулевое значение. При ручной аргонодуговой сварке алюминия и его сплавов неплавящимся электродом используют возбудитель-стабилизатор ВСД-01. В источниках питания часто применяют регуляторы плавного снижения силы сварочного тока при окончании сварки для заваривания кратера. Возбудители-стабилизаторы обеспечивают устойчивое возбуждение дуги при малом зазоре между электродом и свариваемой деталью и стабилизируют горение дуги при длине дугового промежутка до 6 мм.

Осцилляторы применяют в основном при сварке тонколистового металла дугой малой мощности при пониженном напряжении холостого хода источника питания. Осциллятор представляет собой устройство, преобразующее ток промышленной частоты и

низкого напряжения в ток высокой частоты (100...300 кГц) и высокого напряжения (до 6 кВ). Однако значение импульса тока не должно превышать 100 мА для электрической безопасности работающего оператора. При подаче импульса в промежуток между свариваемой деталью и электродом происходит пробой воздушного зазора искрой. Кратковременный искровой разряд, развиваясь, переходит в дуговой и создает условия для возбуждения и устойчивого горения дуги. Таким образом осуществляется бесконтактное зажигание дуги (что особенно важно при сварке неплавящимся электродом в защитных газах).

При сварке на постоянном токе осциллятор служит для первоначального возбуждения дуги, а при сварке на переменном токе — и для начального возбуждения дуги, и в процессе сварки в момент перехода напряжения питания через нулевое значение. Осцилляторы подключают к источникам питания по параллельной либо последовательной схеме.

Осцилляторы параллельного включения используют в основном с источниками питания постоянного тока, а осцилляторы последовательного включения — с источниками питания переменного и постоянного тока.

Осцилляторы последовательного включения компактнее и проще осцилляторов параллельного включения. Однако при их работе возникают радиопомехи, поступающие в электрическую сеть. Для снижения помех на входе осцилляторов устанавливают помехозащищающие фильтры (ПЗФ), которые предусматривают автоматическое отключение осцилляторов после возбуждения дуги. Принципиальные схемы подключения осцилляторов к сварочной цепи представлены на рис. 8.6. Основные марки осцилляторов — ОСЦН, ОСПЗ-2м, ОСЦВ-2 и др.

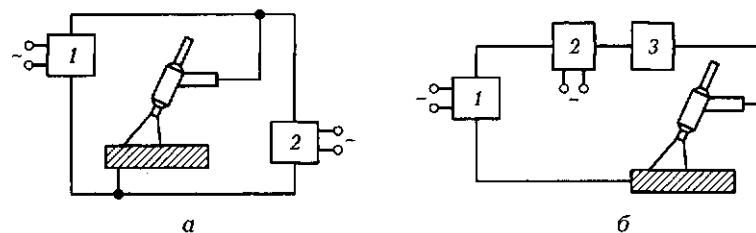


Рис. 8.6. Принципиальные схемы подключения осцилляторов к сварочной цепи:

а — параллельное; *б* — последовательное; 1 — источник питания; 2 — осциллятор; 3 — дроссель

Для сварки на постоянном токе применяют **выпрямители**. Отечественные сварочные, как правило, трехфазные выпрямители выполняют на диодах или тиристорах. В выпрямителях используют трехфазную мостовую или двойную трехфазную схему с уравнительным дросселем и кольцевую схему выпрямления. В выпрямителях большой мощности диодное выпрямление во вторичном контуре сочетается с тиристорным регулированием в первичном контуре.

В зависимости от числа сварочных постов, которые могут быть одновременно подключены к источнику питания, выпрямители подразделяются на одно- и многопостовые. Выпрямители для ручной дуговой сварки, выпускаемые по ГОСТ 13821—77, рассчитаны на токи 200; 315; 400; 500 и 600 А при ПВ = 60 % (у многопостовых выпрямителей ПВ = 100 %). Основу выпрямителя составляет трансформатор с подвижными обмотками. Переключение первичных и вторичных обмоток трансформатора со схемы соединения треугольником на схему соединения звездой позволяет получить две ступени регулирования силы тока.

По способу регулирования сварочных режимов выпрямители подразделяются на неуправляемые и управляемые. Возможны две схемы регулирования сварочных режимов:

- выпрямительный блок, состоящий из силовых (мощных) диодов, осуществляет комбинированное регулирование сварочных режимов посредством переключения обмоток (ступенчатое) и изменения зазора между обмотками трансформатора (плавное);
- выпрямительный блок на тиристорах осуществляет ступенчатое регулирование сварочных режимов посредством переключения обмоток, а плавное — с помощью блока управления.

Сварочный выпрямитель показан на рис. 8.7.

Выпрямители серий ВД, ВС и ВСЖ, имеющие падающую ВАХ, применяют для ручной сварки, резки и наплавки, а также для полуавтоматической и автоматической сварки под флюсом. Выпрямители серии ВДГ с жесткой ВАХ используют при сварке плавящимся электродом в защитных газах. Регулирование напряжения в выпрямителях серий ВДГ и ВСЖ плавно-ступенчатое, причем плавное регулирование внутри ступени в первом из них осуществляется дросселем насыщения, а во втором — трансформатором с магнитной коммутацией.

Универсальные сварочные выпрямители серии ВДУ рассчитаны на токи 500; 630 и 1 250 А. Их используют для ручной дуговой сварки, автоматической сварки под флюсом и в защитных газах. Такие широкие возможности их применения обеспечивают внеш-

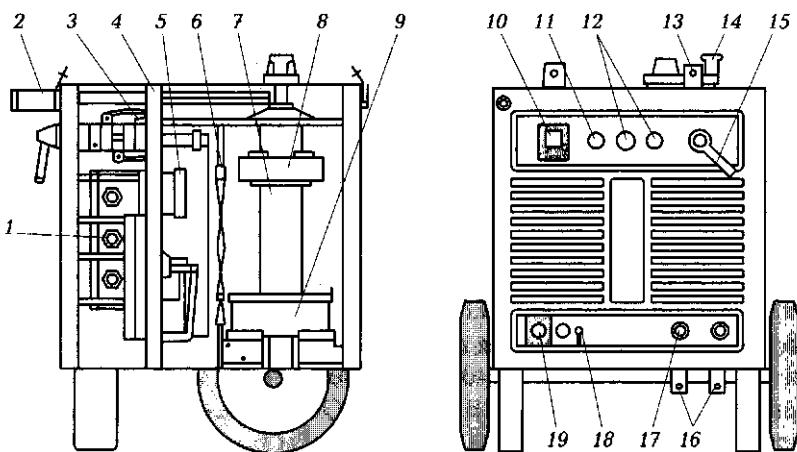


Рис. 8.7. Сварочный выпрямитель:

1 — выпрямительный блок; 2 — выдвижная ручка для перемещения; 3 — предохранители; 4 — блок аппаратуры; 5 — вентилятор; 6 — блокировочное реле протока воздуха; 7 — силовой трансформатор; 8 — вторичная обмотка; 9 — первичная обмотка; 10 — амперметр; 11 — сигнальная лампа; 12 — кнопки «Пуск» и «Стоп»; 13 — скоба для транспортирования; 14 — рукоятка блока регулирования силы сварочного тока; 15 — переключатель диапазонов силы сварочного тока; 16 — шины заземления обратного провода; 17 — разъемы сварочных проводов; 18 — болт крепления провода заземления; 19 — штепсельный разъем для подключения к сети

ние ВАХ, которые могут быть круто- или пологопадающими и жесткими.

Выпрямители марок ВДУ-505, -506 и -601 выполнены на тиристорах по двойной трехфазной схеме выпрямления с уравнительным дросселем, а выпрямители марки ВДУ-1202 — по шестифазной схеме выпрямления с тиристорным регулированием в первичном контуре трансформатора. Эти выпрямители обеспечивают высокий уровень стабилизации напряжения и силы тока при простом переходе от одного вида внешних ВАХ к другому и имеют дистанционное регулирование.

Выпрямители для импульсно-дуговой сварки ВДГИ обеспечивают питание сварочной дуги пульсирующим однополярным током, т. е. постоянным базовым током, на который периодически, с частотой 50 или 100 Гц, накладываются кратковременные импульсы переменного тока. Эти выпрямители комплектуют полуавтоматами типа ПДИ для механизированной импульсно-дуговой сварки плавящимся электродом. Наиболее широко распространены выпрямители марок ВДГИ-301 и -302 в комплекте с полуавтоматом ПДИ-304 для сварки алюминия и коррозионно-стойкой стали в ар-

гоне. Внешние характеристики по импульльному току у них жесткие, а по базовому току изменяются от крутопадающих до жестких по мере увеличения силы сварочного тока. В комплект всех сварочных полуавтоматов входят источник питания, шкаф или панель управления, подающий механизм и горелка с соответствующими гибкими кабелями (шлангами).

В случае когда по условиям работы целесообразно использовать один источник питания для нескольких потребителей, применяют многопостовые сварочные выпрямители, снабжающие энергией несколько сварочных постов. Выпрямители серии ВДМ с реостатным регулированием, выполняемые на кремниевых диодах, имеют жесткую внешнюю ВАХ, что обеспечивает независимую работу отдельных сварочных постов. Для получения падающих ВАХ и независимого регулирования силы тока на каждом сварочном посту используют ступенчатые балластные реостаты, включаемые в сварочную цепь последовательно с дугой. Преимущества многопостовых систем связаны с относительно небольшой стоимостью сварочного оборудования, простотой обслуживания, большой загрузкой и высокой экономичностью многопостовых выпрямителей. Однако значительные потери электроэнергии на балластных реостатах (рис. 8.8) снижают КПД сварочных постов.

Современные разработки вспомогательного сварочного оборудования позволяют отказаться от балластных реостатов. Их заменяют переносными универсальными сварочными конверторами типа КСУ — электронными регуляторами силы тока, питание которых осуществляется от многопостовых сварочных выпрямителей марки ВДМ-6303с или -1202с, обслуживающих соответственно 6 или 12 постов.

Рис. 8.8. Балластный реостат:
1 — корпус; 2 — тумблеры переключения диапазонов силы сварочного тока; 3 — рубильники секций сопротивления; 4 — клеммы подключения сварочного кабеля; 5 — секции никромовой проволоки или ленты

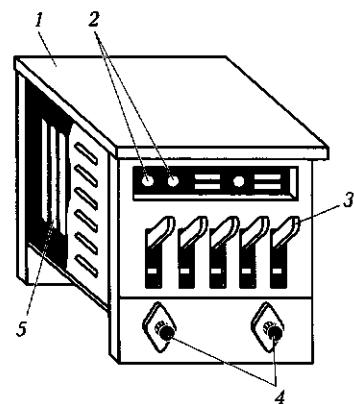


Таблица 8.3. Технические характеристики различных сварочных выпрямителей

Показатель	Однопостовые						Многопостовые		
	ВД-306УЗ	ВС-600	ВСЖ-303	ВДГ-303	ВДУ-506	ВДГИ-301	ВКСМ-1000-1-1	ВДМ-1601	ВМГ-5000
ВАХ	Круто-падаю-щая	Полого-падаю-щая	Полого-падаю-щая	Жест-кая	Полого-падающая жесткая	—	Жест-кая	Жест-кая	Жест-кая
Номинальная мощность, кВ·А (при питании от сети напряжением 380 В)	24	35	20	12,6	40	13	74	118	317
Номинальная сила сварочного тока, А	315	600	315	315	500	315	1 000 (315 А на 1 пост)	1 600 (315 А на 1 пост)	5 000 (315 А на 1 пост)
Диапазон регулирования силы сварочного тока, А	50...315	60...600	50...315	50...315	50...500, 60...500	40...325	60...315	60...315	60...315
Напряжение холостого хода, В, не более	68	52	50	60	80	—	70	70	60
Рабочее напряжение, В	32	40	32	40	46	30	60	60	60

ПВ, %	60	60	60	60	60	60	100	100	100
Число сварочных постов	1	1	1	1	1	1	6	9	15
Габаритные размеры, мм:									
высота	780	840	710	605	820	935	825	1 050	1 500
ширина	780	980	550	735	620	1 045	808	820	1 150
длина	850	1 200	955	950	1 100	748	1 300	1 500	1 685
Масса, кг	170	450	280	230	310	350	450	650	2 490

Сварочный конвертор марки КСУ-320 предназначен для ручной дуговой сварки с применением регуляторов горячего старта и силы тока короткого замыкания, а также цифрового индикатора силы тока дуги. Конвертор марки КСУ-400 используют для ручной дуговой и полуавтоматической сварки в защитных газах. Он оснащен переключателем режимов сварки, цифровыми индикаторами силы тока и напряжения дуги, встроенной платой управления сварочным приводом, регуляторами задержки продувки газа, режима мягкого старта и растяжения дуги. Наиболее широко конверторы применяют при сварке крупногабаритных узлов или конструкций. При КПД не менее 95 % они позволяют повысить коэффициент наплавки и уменьшить расход электродов.

Современное сварочное оборудование ежегодно пополняется новыми разработками. Так, например, выпускаются сварочные выпрямители марки «Дуга», в которых реализован новый способ формирования ВАХ. Суть этого способа состоит в том, что наклон падающей ВАХ формируется не из высокого исходного напряжения холостого хода в момент возбуждения дуги, а из исходного напряжения дуги. Момент возбуждения дуги характеризуется тем, что сила тока нагрузки увеличивается, а напряжение снижается. Условия для устойчивого горения дуги создаются благодаря тому, что в этот момент включается умножитель напряжения, который обеспечивает снижение реактивной составляющей потребляемой мощности. Выпрямители марки «Дуга» используются при выполнении строительно-монтажных и ремонтных работ.

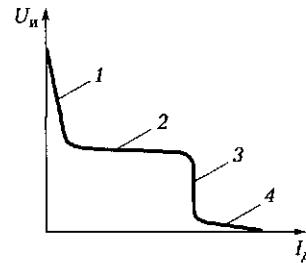
Технические характеристики некоторых сварочных выпрямителей приведены в табл. 8.3.

8.3. ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ СО ЗВЕНОМ ПОВЫШЕННОЙ ЧАСТОТЫ

Освоение производства источников питания со звеном повышенной частоты является в высшей степени перспективным направлением совершенствования оборудования для дуговой сварки. Источники питания со звеном повышенной частоты, или инверторы, условно относятся к классу выпрямителей. После выпрямления напряжения переменного тока питающей сети первичный блок преобразует напряжение постоянного тока в высокочастотное напряжение переменного тока, которое слаживается с помощью последующего блока (высокочастотного фильтра) и подается на дугу.

Рис. 8.9. Комбинированная внешняя ВАХ инверторного источника питания при управлении сварочным процессом:

1—4 — участки характеристики, отличающиеся видом зависимости напряжения источника U_{α} от силы тока дуги I_d



Маломощные инверторы изготавливают на базе высокочастотных транзисторов, а инверторы повышенной мощности — на основе высокочастотных тиристоров. Например, инверторный транзисторный источник питания марки ВДЧИ-251 предназначен для ручной дуговой сварки покрытым электродом в непрерывном или импульсном режиме. Инверторный тиристорный источник питания марки ВДУЧ-301 является универсальным выпрямителем для механизированной сварки в защитных газах и ручной дуговой сварки. Естественные внешние ВАХ первого выпрямительного блока инвертора, как у большинства выпрямителей, почти жесткие. Однако в процессе сварки характеристики собственно инвертора представляют собой ломаные линии — так называемые комбинированные ВАХ (рис. 8.9).

Кругопадающий участок 1 ВАХ служит для задания повышенного напряжения холостого хода, необходимого для возбуждения дуги; пологопадающий участок 2 обеспечивает эффективное саморегулирование процесса при механизированной сварке в углекислом газе; кругопадающий участок 3 ограничивает силу сварочного тока (предотвращая прожог тонкого металла), а участок 4 — силу тока короткого замыкания. Кругизна каждого участка ВАХ питания марки формируется искусственно (настраивается) с помощью отдельных регуляторов. Например, при ручной дуговой сварке (участок 3) для получения кругопадающей характеристики вводится обратная связь по току. При сварке в углекислом газе (участок 2) для получения жесткой характеристики осуществляется обратная связь по выпрямленному напряжению.

Для анализа процесса инвертирования рассмотрим принципиальную электрическую схему источника питания с транзисторным инвертором (рис. 8.10).

Блок выпрямления V_1 преобразует переменное напряжение питающей сети в постоянное, которое сглаживается низкочастотным фильтром $L_1 — C_1$. Затем выпрямленное напряжение преоб

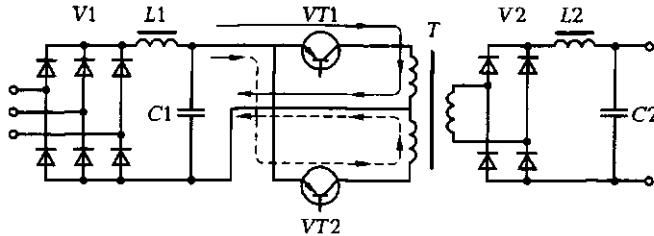


Рис. 8.10. Принципиальная электрическая схема источника питания с транзисторным инвертором:

V_1 — блок выпрямления сетевого напряжения; $L_1 - C_1$ — низкочастотный фильтр; VT_1, VT_2 — транзисторы, инвертирующие выпрямленное напряжение в однофазное переменное напряжение высокой частоты; T — понижающий трансформатор; V_2 — блок выпрямления пониженного напряжения; $L_2 - C_2$ — высокочастотный фильтр

разуется в переменное высокой частоты (до 160 кГц) с помощью инвертора на двух транзисторах — VT_1 и VT_2 . Далее напряжение понижается трансформатором T и выпрямляется блоком V_2 . Высокочастотный фильтр $L_2 - C_2$ стягивает импульсы выходного напряжения, поступающего на сварочную дугу. Таким образом, понижающий трансформатор T преобразует напряжение повышенной частоты без дополнительных устройств (отсутствует дроссель), что позволяет уменьшить габаритные размеры и массу магнитопровода, а также потери в трансформаторе. В целом масса инвертора по сравнению с массой сварочных выпрямителей, имеющих аналогичные выходные параметры, ниже в 10—20 раз.

Помимо этого система управления сварочным процессом позволяет осуществлять амплитудное регулирование, изменять ширину импульсов и варьировать их частоту. Высокие динамические характеристики инверторов особенно ярко проявляются в случае программного управления сварочным процессом, когда легко обеспечиваются горячий пуск в начале сварки, быстрый переход с одного режима на другой, попеременная сварка швов в нижнем положении и на вертикальной плоскости, сварка пульсирующей дугой с регулируемой формой импульса и т.д.

В процессе сварки разбрзгивание расплавленного металла и тепловложение при использовании короткой дуги минимальны, а КПД составляет 95...98 %. Высокая экономичность инверторов достигается за счет того, что не потребляется реактивная составляющая общей мощности из питающей сети.

Для механизированных сварочных процессов разработаны источники питания с дополнительными емкостными и индуктивными

ми фильтрами. При сварке проволокой диаметром 0,6...1,0 мм в защитных газах применяют инверторные источники «Форсаж-160» и «Форсаж-250», а при использовании проволоки диаметром 0,8...1,6 мм — источник питания ДС 400.3 с плавным регулированием напряжения дуги в диапазоне 16...36 В и силы сварочного тока в пределах 40...400 А. Серия ВДУЧ пополнилась более мощным источником питания — ВДУЧ-315, который применяют с полуавтоматом А-547.

Однако управляемый перенос в сварочную ванну электродного металла с требуемыми размерами капель достигается лишь при импульсно-дуговом процессе. Импульсно-дуговая сварка способом MIG/MAG возможна во всех пространственных положениях при пониженной силе сварочного тока. При этом обеспечивается минимальное разбрызгивание металла и формирование высококачественного сварного шва. Особенность импульсно-дуговой сварки плавящимся электродом состоит в обеспечении возможности реального управления процессом переноса электродного металла. При сварке короткой дугой в углекислом газе способом MIG/MAG весьма эффективно так называемое синергетическое управление сварочным процессом с помощью самонастраивающейся системы.

Современные источники питания оснащены микропроцессорами для управления импульсными режимами сварки в соответствии с диаметром электродной проволоки, а также видами свариваемого металла и защитного газа. Благодаря предварительному программированию импульсных режимов во время сварки достаточно регулировать только два параметра — силу сварочного тока и длину дуги. Сварочные источники питания, оснащенные средствами синергетического управления, легко перестраиваются для обеспечения задаваемых программой режимов сварки.

Инверторные источники питания позволяют изменять силу тока со скоростью до 1 000 А/мс. При столь высоком синергетическом быстродействии параметры импульсного процесса мгновенно изменяются в зависимости от скорости подачи электродной проволоки. В итоге обеспечивается стабильный перенос капель расплавленного металла за один импульс при сварке длинной дугой.

В наиболее совершенных инверторах с синергетическим управлением запрограммированы рабочие режимы сварки различных металлов (углеродистых и коррозионно-стойких сталей, алюминиевых сплавов и т.д.) при использовании электродной проволоки сплошного сечения диаметром 1,0; 1,2 и 1,6 мм с учетом времени на заваривание кратера.

Синергетические системы управления сварочным процессом позволяют повысить производительность на 15...20 % по сравнению с обычной сваркой способом MIG/MAG.

Для реализации запрограммированного процесса сварки по циклограмме блок управления обеспечивает стабилизацию скорости подачи сварочной проволоки и дистанционное управление коррекцией режима сварки с помощью переносного пульта управления. В блоке управления устанавливается специальная панель MX для контроля функций MIG/MAG при синергетическом процессе и импульсной сварке плавящимся электродом по 20—24 каналам записи с выводом информации на дисплей. Ручные пульты управления полуавтоматов позволяют дистанционно регулировать силу сварочного тока и напряжение дуги.

Инверторные источники питания, оснащенные программами, — это будущее в создании управляемых сварочных процессов. Например, инверторный источник питания нового поколения DC 250.33, предназначенный для сварочных работ покрытыми электродами (MMA), обладает высокой надежностью при продолжительной нагрузке в широком интервале температур окружающей среды ($-40\dots+40^{\circ}\text{C}$). Представляется возможной его работа от автономных источников энергоснабжения.

Источник питания DC 250.33 регулирует силу сварочного тока и процесс форсирования дуги. Система его управления позволяет выбирать необходимую крутизну наклона ВАХ. В корпусе этого источника питания имеется блок импульсного режима, в котором предусмотрена возможность регулирования силы тока во время пауз, длительностей импульса и пауз. Источник питания обеспечивает дистанционное управление силой сварочного тока, ее плавное регулирование в диапазоне 25...250 А и контроль по цифровому индикатору, снижение напряжения холостого хода до 12 В при работе в опасных условиях и надежное возбуждение сварочной дуги с помощью системы горячего старта.

При выборе кривизны ВАХ с наклоном 0,4 или 1,25 В/А представляется возможным управление процессом переноса металла в соответствии с конкретными условиями сварки и типом электрода. При перегреве источника питания, понижении напряжения питающей сети или отсутствии одной из фаз происходит автоматическое отключение источника от питающей сети.

Импульсный режим облегчает ведение сварочного процесса в разных пространственных положениях при сварке деталей малой толщины. Работу может выполнять сварщик третьего разряда. Во время протекания импульса тока мощность дуги нарастает, увеличива-

чивается количество расплавленного электродного и основного металла. Во время паузы мощность дуги снижается, что способствует ускоренной кристаллизации жидкого металла сварочной ванны с одновременным уменьшением количества электродного и основного металлов. Импульсный режим обеспечивает необходимую (заданную) глубину проплавления основного металла без опасности прожога и получение большего количества наплавленного металла в единицу времени. При этом упрощается технология сварки однопроходных швов, а при многослойной сварке толстостенных труб корневые швы можно выполнять без подкладок.

При питании ДС 250.33 от трехфазной сети напряжением 380 В сварочный процесс сохраняет устойчивость в случае колебаний напряжения в сети в пределах 320...420 В. При потребляемой мощности 12 кВ·А он может обеспечивать максимальную силу сварочного тока 250 А. При питании от дизельного генератора (например, двух источников питания — от генератора мощностью 30 кВт или четырех-пяти — от генератора мощностью 60 кВт) возможна одновременная работа нескольких сварочных постов. Эти источники питания используют в составе передвижных мастерских.

На базе источника питания ДС 250.33 разработан источник питания ДС 200А.33, предназначенный для сварки неплавящимся вольфрамовым электродом в инертных газах (TIG) и покрытыми электродами (ММА) диаметром до 4 мм в непрерывном или импульсном режиме. Возбуждение дуги при малой силе тока может осуществляться контактным или бесконтактным способом. Эти источники «запоминают» сварочные режимы и режим фокусирования дуги, что позволяет точнее управлять ее перемещением и размером сварочного пятна.

Современные инверторные источники питания ежегодно пополняются новыми моделями с программным управлением. В зависимости от условий производимых сварочных работ выпускают источники (для ручной дуговой сварки, полуавтоматической и автоматической сварки) в комплекте с полуавтоматами и автоматами) и для работы в полевых условиях (в комплекте с агрегатами или специальными сварочными установками).

Широко применяются отечественные инверторные источники питания дуги серий «Адонис», «Фора», ВДУЧ, ДС 200 и ФЕБ. Конструктивно наиболее совершенной признана новая серия МС (модели МС-400ТР, -400М и -500АС/ДС). Технические характеристики отечественных инверторных источников питания, рассчитанных на напряжение трехфазной сети 380 В, приведены в табл. 8.4.

Таблица 8.4. Технические характеристики отечественных инверторных источников питания

Марка источника питания	Диапазон регулирования силы сварочного тока, А	Напряжение холостого хола, В	ПВ, %	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
Фора-200Пр	70 ... 250	100	40	410×180×290	12
ВДУЧ-315М	40 ... 315	86	60	600×280×500	45
ДС 200 АУ.3	10 ... 200	AC — 80	60	510×240×430	30
ФЕБ-350М	40 ... 350	60	60	300×440×690	45

П р и м е ч а н и е. Среди зарубежных инверторных источников питания известны серии ZX7 (для сварки способом MMA на постоянном токе), WS (TIG/MMA) и NB (MIG/MAG в углекислом газе).

На отечественных предприятиях транспортного и общего машиностроения успешно применяются различные виды источников питания и вспомогательного сварочного оборудования, разработанных совместно с зарубежными фирмами. Инверторные источники питания комплектуют набором управляющих и контролирующих программ и дополнительных операций для подключения компьютерной техники.

В производстве инверторных источников питания для полуавтоматической сварки лидируют зарубежные фирмы Lincoln (США), EWM (Германия), ESAB (Швеция) и KEMPPPI (Финляндия).

8.4. СВАРОЧНЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ, ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ, АГРЕГАТЫ И УСТАНОВКИ

Для ручной и механизированной дуговой сварки и резки металла, а также для дуговой сварки в защитных газах в полевых условиях или под водой используют **сварочные генераторы**. Генераторы должны обеспечивать надежное возбуждение и устойчивое горение дуги наряду с безопасным выполнением сварочных работ в особых условиях. Надежное возбуждение сварочной дуги и ее устойчивое горение возможны при повышенном напряжении хо-

лостого хода по сравнению с рабочим напряжением. Генераторы для сварки под водой комплектуют по специальному заказу дополнительным устройством защиты сварщика.

Для приведения в действие генераторов любого вида применяют электродвигатели либо двигатели внутреннего горения.

Сварочный преобразователь представляет собой генератор, собранный с электродвигателем, а **сварочный агрегат** — генератор, собранный с двигателем внутреннего горения.

Сварочные преобразователи используют, главным образом, в цеховых условиях, а агрегаты — в основном в полевых условиях, при монтаже металлоконструкций и ремонтных работах, когда отсутствует электрическая сеть питания.

Вольт-амперные характеристики сварочных генераторов обычно круто- и пологопадающие. С жесткой ВАХ выпускают генераторы для сварки плавящимся электродом в защитных газах и многосторонней сварки. Формирование ВАХ происходит в результате взаимодействия встречных магнитных потоков обмотки возбуждения и размагничивающей обмотки. Различают вентильные и коллекторные генераторы.

Вентильные генераторы представляют собой комбинацию генератора переменного тока и выпрямительного блока. Их изготавливают с индукторным генератором переменного тока и трехфазной мостовой схемой выпрямления. В вентильных генераторах переменный ток вырабатывается синхронным генератором с ротором явнополюсной конструкции или индукторным генератором.

Синхронный генератор (рис. 8.11, а) работает следующим образом. К обмотке возбуждения 4 ротора 3 с помощью двух контактных щеток 6 и колец 5 подводится постоянный ток и создается вращающийся магнитный поток Φ_b обмотки возбуждения, который замыкается по ротору 3 и статору 2. При перемещении потока относительно неподвижной силовой обмотки 1 с частотой вращения ротора n в ней создается переменная ЭДС.

Индукторный генератор (рис. 8.11, б) имеет зубчатый ротор-индуктор 4. Обмотка возбуждения 3, питаемая постоянным током и размещенная на статоре 2, создает постоянную намагничивающую силу. Поток Φ_b обмотки возбуждения, пронизывающий силовую обмотку 1, носит пульсирующий характер, так как магнитное сопротивление на его пути меняется при вращении ротора. Такие генераторы называются разноименно-полюсными.

В выпрямительном блоке применяют неуправляемые вентили — диоды. Однофазная мостовая схема используется для мало-

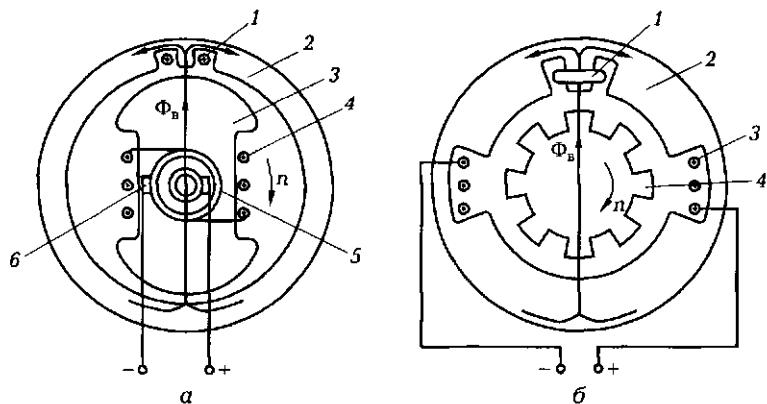


Рис. 8.11. Принципиальные схемы вентильных генераторов переменного тока:

a — синхронного: 1 — силовая обмотка; 2 — статор; 3 — ротор; 4 — обмотка возбуждения; 5 — контактное кольцо; 6 — контактная щетка; *b* — индукторного: 1 — силовая обмотка; 2 — статор; 3 — обмотка возбуждения; 4 — зубчатый ротор-индуктор; Φ_v — магнитный поток обмотки возбуждения; *n* — частота вращения ротора

мощных генераторов, вырабатывающих ток силой до 125 А, и дополняется она дросселем для слаживания выпрямленного тока. Такую схему имеют универсальные по роду тока источники питания. Трехфазный мостовой выпрямительный блок состоит из кремниевых диодов, обеспечивающих слаживание сварочного тока. Трехфазные генераторы переменного тока меньше однофазных по габаритным размерам и массе. Вентильные генераторы имеют падающие ВАХ. Регулирование сварочных режимов и формирование внешних характеристик осуществляется на стадии переменного тока: плавное — изменением силы тока обмотки возбуждения, а ступенчатое — посредством соединения силовых обмоток (звездой, треугольником, параллельно).

Коллекторные генераторы — это генераторы постоянного тока, различающиеся в зависимости от способа возбуждения и получения необходимых ВАХ. При наличии последовательной размагничивающей обмотки они могут быть выполнены с независимым возбуждением и самовозбуждением. Принципиальные электрические схемы коллекторных генераторов приведены на рис. 8.12.

В полевых условиях при наличии электроснабжения применяют сварочные преобразователи ПД-501, ПСО-300-2, -315 и других марок с коллекторными генераторами или преобразователь ПД-305 с вентильным генератором.

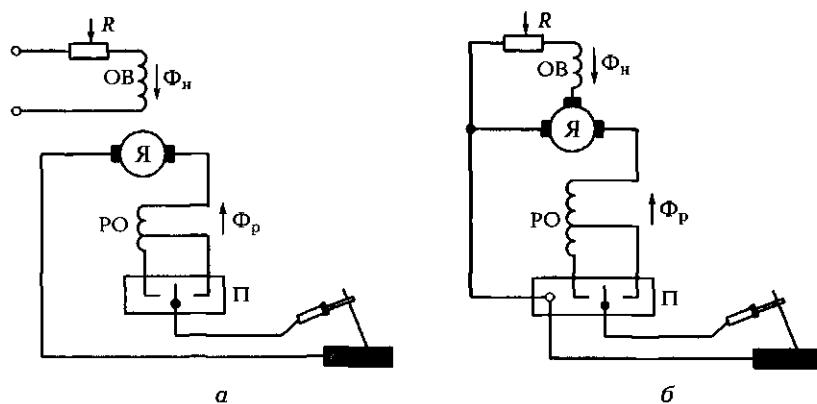


Рис. 8.12. Принципиальные электрические схемы коллекторных генераторов:

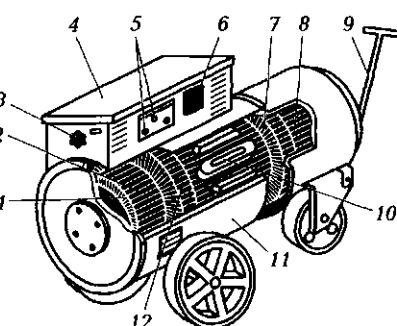
a — с независимым возбуждением; *б* — с самовозбуждением; ОВ — обмотка возбуждения (намагничивающая); РО — размагничивающая обмотка; Φ_n — намагничивающий магнитный поток; Φ_p — размагничивающий магнитный поток; *R* — реостат плавного регулирования силы сварочного тока; Я — якорь генератора (ротор); *Π* — переключатель ступенчатого регулирования силы сварочного тока

Сварочный преобразователь ПД-501 (рис. 8.13) состоит из трех основных частей: сварочного генератора, распределительного устройства и электродвигателя.

Сварочный генератор преобразователя ПД-501 — это генератор постоянного тока ГСО-500 с независимым возбуждением и питающей ВАХ. Распределительное устройство предназначено для включения преобразователя в трехфазную сеть переменного тока, переключения ступеней на малую (300 А) или большую (500 А) силу сварочного тока, а также для ее контроля и измерения. Для

Рис. 8.13. Сварочный преобразователь ПД-501:

1 — медные пластины коллектора; 2 — щетки генератора; 3 — реостат плавного регулирования силы сварочного тока; 4 — распределительное устройство; 5 — клеммы переключателя ступеней; 6 — вольтметр; 7 — вентилятор; 8 — асинхронный трехфазный электродвигатель; 9 — рукоятка-тяга; 10 — магнитные полюса; 11 — корпус; 12 — якорь



приведения сварочного генератора в действие в преобразователе установлен электродвигатель АВ2-71-2-В. Вал генератора и вал электродвигателя соединены эластичной муфтой. Независимая обмотка возбуждения получает питание от постороннего стабилизированного источника постоянного тока (маломощный выпрямитель или аккумулятор).

Преобразователи ПСО-300-2 и -315М имеют аналогичные коллекторные генераторы. Преобразователь ПСО-315М — это модификация преобразователя ПСО-300-2 со сварочным генератором постоянного тока ГСО-300 с самовозбуждением и падающей ВАХ. Регулирование силы сварочного тока здесь двухступенчатое. Подготовка и включение осуществляются аналогично преобразователю ПД-501: пакетным переключателем включается питание электродвигателя; первым пуском проверяется вращение якоря генератора, которое должно быть против часовой стрелки (со стороны коллектора); при неправильном вращении якоря следует поменять местами два любых провода подключения электродвигателя к распределительной панели.

Преобразователь ПД-305 состоит из вентильного (выпрямительного) блока с собственным вентилятором для охлаждения диодов, индукторного генератора переменного тока с обмоткой возбуждения, общего центробежного вентилятора и электродвигателя. Зажимы для подключения сварочных проводов размещены на панели управления, где также установлена рукоятка для ступенчатого переключения силы сварочного тока (40...180 и 160...350 А). Плавное регулирование силы сварочного тока осуществляется дистанционно с помощью реостата.

Пуск преобразователя производится включением электродвигателя в сеть пакетным переключателем. Если генератор не возбуждается, то необходимо закоротить электродом сварочную цепь на 1...3 с. Если генератор повторно не возбуждается, то переключателем диапазонов и реостатом необходимо установить максимальное значение силы сварочного тока и повторить возбуждение. При неудачном повторном пуске следует подключить посторонний источник постоянного тока напряжением не выше 12 В. В преобразователе ПД-305 установлен генератор ГД-311 с крутопадающей ВАХ.

Для сварки в защитных газах плавящимся электродом применяют преобразователь ПСД-500-1, в состав которого входит генератор ГСГ-500-1 с самовозбуждением, имеющий жесткую ВАХ. Сварочные кабели подключают к зажимам «+» и «-». Пакетным переключателем подают питание на электродвигатель и регулиру-

ют напряжение генератора выносным реостатом. Силу сварочного тока устанавливают по изменению скорости подачи сварочной проволоки.

Для однопостовой (ручной и механизированной) сварки под флюсом и в углекислом газе используют универсальные сварочные генераторы ГД-304 и -502 с независимым возбуждением. Эти генераторы не комплектуются электродвигателями. Они имеют кругопадающие ВАХ для сварки под флюсом и ручной сварки покрытыми электродами, а также жесткие ВАХ для сварки в углекислом газе. Для этих же видов сварки предназначены и универсальные сварочные агрегаты.

Наиболее широкое применение находит универсальный сварочный агрегат АСУМ-400, который комплектуется сварочным генератором ГСУМ-400 с независимым возбуждением и электродвигателем. Агрегат обеспечивает питание сварочного поста в двух диапазонах силы тока и напряжения (22...45 и 45...70 В) на падающих и жестких ВАХ.

При производстве сварочных работ в полевых условиях и чрезвычайных ситуациях важно иметь в резерве сварочные агрегаты (рис. 8.14), установленные на автомобилях или других транспортных средствах для быстрой их доставки к месту выполнения работы. Сварочные агрегаты (передвижные или стационарные) оснащают коллекторами или вентильными генераторами и карбюраторными или дизельными двигателями.

Сварочный агрегат АДБ-309 состоит из генератора постоянного тока ГД-303 и карбюраторного двигателя мод. ГАЗ-320-01 «Волга».

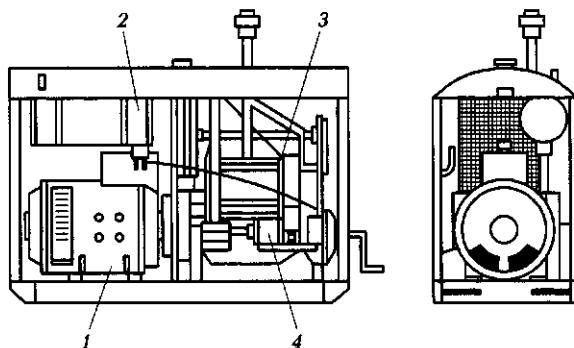


Рис. 8.14. Сварочный агрегат:

1 — генератор; 2 — бак с горючим; 3 — регулятор скорости вращения; 4 — двигатель

Генератор ГД-303 имеет пять ступеней регулирования силы сварочного тока и обеспечивает плавное дистанционное регулирование силы тока в пределах каждой ступени с помощью реостата в цепи обмотки возбуждения. Частота вращения вала двигателя составляет 2 000 мин⁻¹, мощность — 29 кВт. Его пуск осуществляется от аккумуляторной батареи.

Сварочный агрегат АДБ-318 включает в себя вентильный генератор ГД-312 и карбюраторный двигатель той же модели. Агрегат размещают на горизонтальной площадке. Подключив сварочные провода, устанавливают необходимый диапазон силы сварочного тока. Пуск агрегата осуществляют стартером.

Сварочный агрегат АДД-305 содержит сварочный генератор с самовозбуждением ГД-310 и дизель с усовершенствованным механизмом пуска и воздушным охлаждением.

Передвижные сварочные агрегаты могут быть и многопостовыми. Например, агрегат АСДП-500Г рассчитан на работу двух сварочных постов. В его состав входит генератор ГСМ-500 и дизель ЯАЗ-М204Г. Генератор имеет жесткую ВАХ и обеспечивает каждый пост током силой до 350 А.

Характеристики некоторых отечественных сварочных агрегатов серий АДБ и АДД приведены в табл. 8.5.

Сварочные агрегаты К-704-АС4-100 и -703-МА-АС4-100 на базе колесных тракторов с гидравлической стрелой манипуляторного типа предназначены для ручной и механизированной сварки трубопроводов. Они могут комплектоваться источниками питания как отечественного так и зарубежного производства (ДС-250.33, ВД-306ДК, -506ДК, LINKOLN DC-400, KEMPPPI Master 3500, LHF-400, Inter V350-PRO). Число обслуживаемых сварочных постов состав-

Таблица 8.5. Характеристики отечественных сварочных агрегатов

Марка	Сила сварочного тока, А		Масса, кг	Габаритные размеры, мм
	Номинальная	Предел регулирования		
АДБ-2502У1	250	45...300	550	1 680×870×1 080
АДБ-3122У1	315	15...350	670	1 900×900×1 200
АДД-3112У1	315	30...350	815	1 900×900×1 200
АДД-4001У1	400	60...450	855	2 050×950×1 300

Примечание. Генераторы, входящие в состав сварочных агрегатов, имеют крутопадающие ВАХ и напряжение холостого хода 100 В.

ляет 4—8. Так, например, на базе гусеничной машины разработан сварочный агрегат FORPOST-100-4ARS с дизельным двигателем Cummins в комплекте с генератором Stanford UCI 274E для шести сварочных постов.

Кроме сварочных агрегатов выпускаются специализированные автономные мастерские с комплектом сварочной аппаратуры для четырех постов на базе автомобилей КАМАЗ-43118 или «УРАЛ-4320».

Сварочные преобразователи и агрегаты относятся к классу промышленных установок. Однако такие отрасли, как приборостроение, производство медицинского оборудования и робототехнических комплексов, часовая промышленность, нуждаются в создании специальных установок для сварки и резки тугоплавких металлов и сплавов, а также для сварки металлов, обладающих высокой теплопроводностью и не сваривающихся традиционными способами. Часто толщина свариваемых деталей составляет 0,05 мм или требуются высокоточный раскрой заготовок и резка металла большой толщины (свыше 100 мм).

Сварочные установки комплектуют источником питания, сварочным аппаратом или машиной (автоматом) для сварки и механизмом относительного перемещения сварочной аппаратуры или свариваемого узла.

Сварочные установки УДГУ-250сэ, -350сэ и -500сэ предназначены для ручной (MMA) и аргонодуговой (TIG) сварки на постоянном и переменном токе любых металлов и сплавов (УДГУ-250сэ применяют для сварки в импульсном режиме тонколистовой стали толщиной менее 1 мм). Сварочные установки УВПР-0401, -120, -200 и -2001 позволяют выполнять воздушно-плазменную резку заготовок большой толщины. Для резки коррозионно-стойкой стали малой толщины и неметаллических материалов выпускают микроплазменные и лазерные установки. Зарубежные многопрограммные сварочные установки FILCORD 253С, FILCORD 453S и NERTAMATIC 51 используют для микроплазменной сварки коррозионно-стойкой стали, титана, циркония, золота, серебра и их сплавов. В качестве источников питания в различных установках применяют сварочные трансформаторы, выпрямители или инверторы.

8.5. ОБОРУДОВАНИЕ СВАРОЧНОГО ПОСТА

Рабочее место сварщика — это сварочный пост, оснащенный необходимым оборудованием и инструментом. Сварочные посты

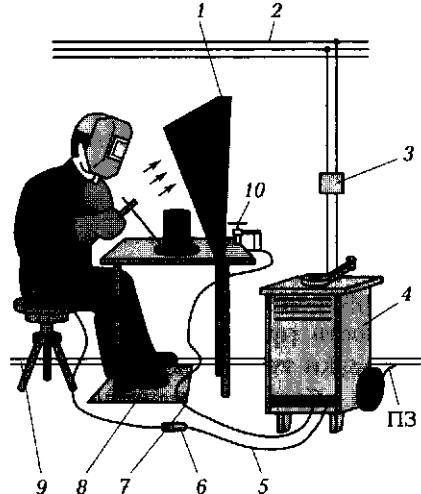


Рис. 8.15. Сварочный пост ручной дуговой сварки:

1 — местная вытяжная вентиляционная система; 2 — сеть электропитания; 3 — автоматический выключатель (АП); 4 — источник питания дуги (сварочный трансформатор); 5 — сварочный кабель; 6 — соединительная муфта; 7 — обратный провод; 8 — изоляционный коврик; 9 — шина заземления; 10 — токоподводящий зажим; ПЗ — провод заземления сварочного трансформатора

могут быть оборудованы как в помещении, так и на открытой производственной площадке.

В зависимости от условий работы сварочные посты могут быть стационарными или передвижными. Сварочный пост ручной дуговой сварки (рис. 8.15) необходимо размещать в специальных сварочных кабинах, где устанавливают однопостовые сварочные трансформаторы для сварки на переменном токе, сварочные выпрямители для сварки на постоянном токе или инверторные источники питания. Многопостовые выпрямители размещают отдельно, а балластные реостаты — на каждом независимом посту.

Кабина сварочного поста должна иметь размеры $2 \times 1,5$ или 2×2 м и высоту не менее 2 м. В кабине устанавливают металлический стол и к верхней части кабины подводят зонд местной вытяжной вентиляционной системы. В столе предусматривают выдвижные ящики для хранения необходимых приспособлений и инструментов (рис. 8.16).

Сварочные посты комплектуются сварочными кабелями, сварочным щитком с защитными светофильтрами, дизелектрическим ковриком и термопеналами для хранения прокаленных электродов. При сварке в защитных газах сварочные посты обеспечивают газовыми баллонами с приспособлениями для их закрепления в вертикальном положении, редукторами и ротаметрами для регулирования расхода и давления газа, подающим механизмом для сварочной проволоки и комплектом горелок с шлангами. Сварочные посты должны быть оборудованы вытяжной общеобменной

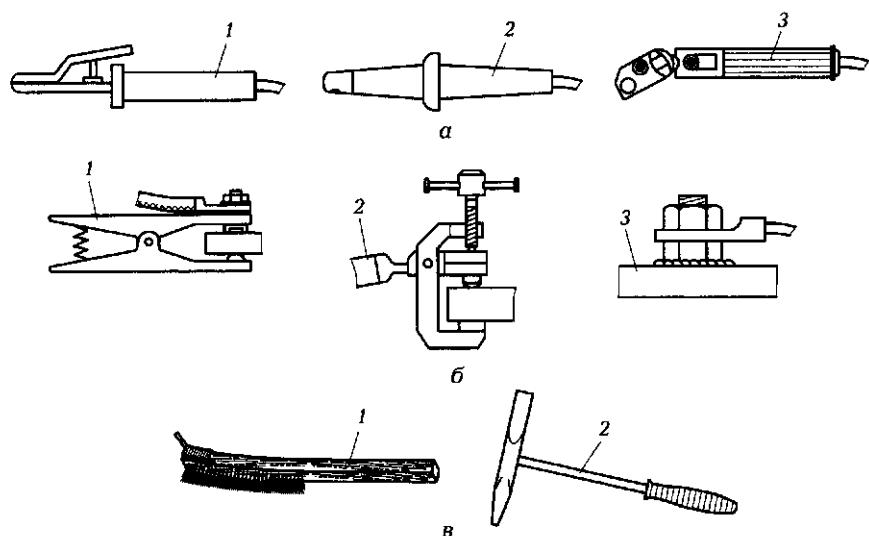


Рис. 8.16. Вспомогательные приспособления и инструменты:
 а — электрододержатели: 1 — пассатижный; 2 — винтовой; 3 — клиновой; б — токоподводящие зажимы: 1 — пружинный; 2 — с винтовой струбциной; 3 — приваренный к рабочему столу; в — инструменты для очистки сварного шва: 1 — металлическая щётка; 2 — молоток-шлакоотделитель

(цеховой) или местной (на каждом сварочном посту) вентиляционной системой для удаления газов и аэрозолей. Сварщики обеспечиваются средствами индивидуальной защиты.

Электрододержатель для ручной дуговой сварки представляет собой приспособление для закрепления электрода и подвода к нему тока. Среди многообразия применяемых электрододержателей наиболее безопасными являются пружинные, изготавливаемые в соответствии с ГОСТ 14651 — 78 трех типов: для силы тока до 125; 125...315 и 315...500 А. Такие электрододержатели выдерживают без ремонта 8—10 тыс. зажимов. Время, необходимое для замены электрода, не превышает 3...4 с. По конструкции различают винтовые, пассатижные, клиновые, вилочные, пружинные и другие виды электрододержателей.

Лицевые щитки и сварочные маски изготавливают из легких негорючих материалов. Масса щитка не должна превышать 0,5 кг. Современные щитки и маски имеют разнообразное исполнение.

Защитные светофильтры (затемненные стекла), предназначенные для защиты глаз от излучения дуги, брызг металла и шлака,

изготавливаются 13 классов, или номеров, по ГОСТ 12.4.080—79. Номер светофильтра подбирается в зависимости от индивидуальных особенностей зрения сварщика, а также с учетом силы сварочного тока, состава свариваемого металла, вида дуговой сварки и вида защиты сварочной ванны от воздействия атмосферных газов. Размеры светофильтра 52×102 мм. При сварке плавящимся электродом тяжелых металлов в инертном газе следует пользоваться светофильтром на номер меньше, а при сварке легких металлов — на номер больше по сравнению со светофильтром, применяемым при сварке покрытыми электродами.

Светофильтры вставляются в рамку щитка, а снаружи их защищают обычным стеклом от брызг металла и шлака. Прозрачное стекло периодически заменяют. Современные светофильтры способны самостоятельно изменять степень затемнения (так называемые хамелеоны).

Сварочные кабели необходимы для подвода тока от источника питания дуги к электрододержателю и свариваемому узлу. Кабели изготавливают многожильными (гибкими) согласно Правилам устройства и эксплуатации электроустановок. Электрододержатели присоединяют к многожильным (гибким) медным кабелям марок ПРГД, КРПП, КРПГ, ПРГДО и др. Кабели сплетают из большого числа отожженных медных проволочек диаметром 0,18...0,20 мм. Применять кабель длиной более 30 м не рекомендуется вследствие значительного падения напряжения в сварочной цепи. Рекомендуемые площади сечений сварочных кабелей для подвода тока от сварочной машины или источника питания дуги к электрододержателю и свариваемому узлу следующие:

Сила сварочного тока, А.....	100	200	300	400	500
Площадь сечения кабеля, мм^2	10	25	35	50	70

Токоподводящий кабель соединяется с свариваемым узлом с помощью специальных зажимов. В сварочном поворотном приспособлении должны быть предусмотрены специальные клеммы.

Закрепление кабеля должно быть надежным. Самодельные удлинители токоподводящего кабеля в виде обрезков металла не допускаются; следует использовать соединительные муфты.

Условия работы и организация рабочего места (сварочного поста) при ручной сварке неплавящимся вольфрамовым электродом в аргоне существенно отличаются от условий работы при сварке покрытыми электродами. Оборудование необходимо размещать в соответствии с требованиями безопасности производимых работ. Полезная площадь кабинки должна составлять не менее 3 м^2 , высота

та ограждения — не менее 2 м, а зазор между полом и ограждением — 5 см.

Для производства сварочных работ применяются специальные ручные горелки, которые служат для жесткого закрепления вольфрамового электрода, подвода к нему электрического тока, подачи в зону сварки защитного газа и охлаждения токоведущих частей воздухом или водой. Горелки для сварки в монтажных условиях и при пониженных температурах имеют естественное воздушное охлаждение и рассчитаны на силу тока до 150 А. В случае необходимости сварки при силе тока 500 А и более используют горелки с водяным охлаждением. Головка горелки может поворачиваться вокруг продольной или поперечной оси в удобное для сварки положение. Пост для сварки комплектуется горелкой с вентилем на рукоятке для регулирования подачи защитного газа. Горелки имеют встроенную в рукоятку кнопку для управления подачей газа, включение системы бесконтактного зажигания, плавного наращивания и снижения силы сварочного тока.

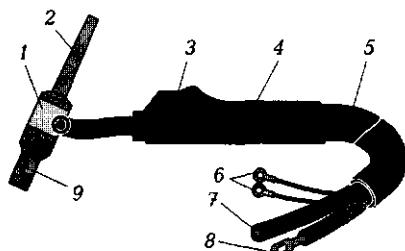
Сопла горелок малой и средней мощности изготавливают из керамики. Горелки большой мощности имеют медное сопло с внутренней рубашкой, охлаждаемой циркулирующей водой. Выпускают несколько типов горелок: ЭВР-5, АГНИ-16М, -07М, -22М и др. Общий вид горелки для сварки вольфрамовым электродом представлен на рис. 8.17.

При выполнении сварочных работ существует опасность поражения рабочего электрическим током, поражения глаз и открытых поверхностей кожи лучами дуги, отравления вредными газами и пылью, ожога при разбрызгивании электродного расплавленного металла и шлака, ушибов и порезов в процессе подготовки изделий под сварку и во время сварки.

Одежда сварщика изготавливается из тканей, которые должны удовлетворять двум основным требованиям: наружная поверхность одежды должна быть огне- и термостойкой, а внутренняя

Рис. 8.17. Горелка для сварки вольфрамовым электродом:

1 — корпус; 2 — тыльный колпачок;
3 — кнопка управления; 4 — рукоятка;
5 — резиновый шланг; 6 — провода
управления; 7 — шланг для подачи
газа; 8 — токоподводящий провод;
9 — сопло



(изнаночная) — влагопоглощающей. Исходя из этих требований одежду для сварщиков — куртку и брюки — шьют из брезента, сукна или замши, иногда комбинируя ткани. Ассортимент тканей и самой спецодежды постоянно расширяется. Зарубежные и отечественные фирмы изготавливают универсальную спецодежду для сварщиков, автогонщиков и работников аварийно-спасательной службы. Куртку и брюки шьют из двухлицевой ткани, внешняя сторона которой из нити типа кевлар, а внутренняя — из хлопчатобумажной пряжи. Ткань обладает повышенными гигроскопичностью и прочностью, малым удлинением, что обеспечивает сохранение формы костюма (куртки, полукомбинезона или комбинезона). Температура, при которой рабочий в спецодежде чувствует себя комфортно длительное время, составляет 200...250 °С.

Сварщики должны пользоваться защитными рукавицами. При выполнении сварочных работ внутри котлов, сосудов и резервуаров сварщики должны обеспечиваться резиновыми ковриками, ботами, галошами, особыми наколенниками и подлокотниками, деревянными подложками и т.д. При контакте с незащищенными токоведущими частями сварочных трансформаторов, выпрямителей, преобразователей, электропроводов и другого оборудования, находящихся под напряжением, возможно поражение электрическим током. Безопасным для человека является следующее сочетание напряжения и силы тока: не более 36 В и 100 мА. При увеличении силы тока опасность поражения резко возрастает (табл. 8.6).

Таблица 8.6. Реакции организма человека на воздействие переменного и постоянного токов

Сила тока, проходящего через тело человека, мА	Воздействие переменного тока частотой 50...60 Гц	Воздействие постоянного тока
0,5...1,5	Начало ощущения — легкое дрожание пальцев рук	Не ощущается
2,0...3,0	Сильное дрожание пальцев рук	»
5,0...7,0	Судороги в руках	Зуд, ощущение нагрева
8,0...10,0	Трудно, но еще можно оторвать руки от провода. Сильные боли в пальцах, кистях рук и предплечьях	Усиление ощущения нагрева

Окончание табл. 8.6

Сила тока, проходящего через тело человека, мА	Воздействие переменного тока частотой 50...60 Гц	Воздействие постоянного тока
20...25	Паралич рук, оторвать их от провода невозможно. Очень сильные боли. Дыхание затруднено	Еще большее усиление ощущения нагрева
50...80	Остановка дыхания, начало фибрилляции сердца	Ощущение сильного нагрева, сокращение мышц рук, судороги, затруднение дыхания
90...100	Остановка дыхания. При длительности воздействия 3 с и более — остановка сердца	Остановка дыхания

В процессе работы сварщик пользуется вспомогательным традиционным инструментом: металлической щеткой для очистки кромок перед сваркой и удаления остатков шлака после сварки, молотком-шлакоотделителем, зубилом, шаблонами для проверки размеров швов, металлической рулеткой, угольником, чертилкой и т.д. При выполнении работы с помощью этих инструментов лицо и глаза сварщика не защищены. В этом случае необходимо соблюдать особые меры предосторожности.

Прежде чем приступить к сварочным работам необходимо изучить на рабочем месте инструкцию по безопасным приемам обращения со сварочным оборудованием и вспомогательным инструментом. Затем рабочий должен ознакомиться с порядком включения и выключения питающей сети высокого напряжения, убедиться в наличии актов обязательной ежегодной проверки заземления и сопротивления изоляции коммутационных проводов и электрододержателей. Во время сварки необходимо работать только в спецодежде. При этом куртка, прикрывающая верхнюю часть брюк, должна быть застегнута, а брюки должны закрывать обувь.

Сварочное оборудование в процессе эксплуатации требует тщательного ухода и обслуживания. Перед включением источника питания сварщик должен очистить его от пыли, грязи, случайно попавших огарков электродов или кусков сварочной проволоки, проверить надежность изоляции сварочных проводов и их присоединения. При необходимости следует подтянуть крепление и

изолировать место повреждения сварочного кабеля. Сварщик должен убедиться в наличии заземления. Такие предупредительные меры гарантируют надежную и безопасную работу источника питания. При включении источника питания могут быть обнаружены его дефекты или неисправности. В этом случае необходимо отключить источник и сообщить об этом мастеру, наладчику или электромонтеру для устранения неисправностей. Запрещается пользоваться неисправными сварочными щитками и разбитыми защитными светофильтрами. Нельзя производить сварочные работы при отключенном или неисправной системе вентиляции. По окончании работы электрододержатель должен находиться в таком положении, при котором исключается его контакт с токоведущими частями сварочного поста.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие источники питания сварочной дуги применяют для основных способов сварки?
2. Что представляют собой внешние ВАХ источников питания?
3. В чем состоит различие показателей ПН и ПВ?
4. Для чего охлаждают источники питания?
5. Как расшифровываются буквенно-цифровые обозначения источников питания?
6. Что понимают под устойчивостью сварочного процесса?
7. Как определить точку устойчивого горения дуги?
8. Какие конструкции трансформаторов применяют в сварочной практике?
9. Какие отличительные особенности имеют сварочные трансформаторы серии СТШ?
10. Какие трансформаторы применяют для автоматической сварки под флюсом и каковы их достоинства?
11. Как классифицируют выпрямители по способу регулирования сварочных режимов?
12. В чем состоят преимущества универсальных выпрямителей серии ВДУ?
13. Каковы особенности выпрямителей серии ВДГИ?
14. Для чего применяют в сварочном производстве многопостовые источники питания?
15. Каково назначение балластных реостатов?
16. Укажите особенности формирования внешней ВАХ инверторов.
17. В чем заключается суть процесса инвертирования?
18. Каковы основные преимущества инверторов по сравнению с традиционными выпрямителями?
19. Каковы особенности инверторного источника питания ДС 250.33?
20. Каково назначение сварочных генераторов?

21. Чем отличаются сварочные преобразователи от агрегатов?
22. Назовите виды вентильных генераторов.
23. С какими преобразователями применяют коллекторные генераторы?
24. Как производят пуск преобразователя ПД-305?
25. Чем оснащается рабочее место сварщика?
26. Перечислите средства индивидуальной защиты сварщика.
27. Почему применяют защитные светофильтры разных номеров?
28. Какими дополнительными защитными средствами должен пользоваться сварщик при работе в особо стесненных условиях?
29. Какое сочетание напряжения и силы тока является безопасным для человека?

ГЛАВА 9

СВАРОЧНЫЕ АППАРАТЫ

9.1. ПОЛУАВТОМАТЫ ДЛЯ ДУГОВОЙ СВАРКИ И ИХ ОСНОВНЫЕ УЗЛЫ

Аппарат для механизированной дуговой сварки, включающий в себя сварочную горелку и механизм подачи электродной проволоки с ручным перемещением горелки, называют **полуавтоматом**. С каждым годом объем работ, выполняемых механизированной сваркой, возрастает. Это объясняется высокой маневренностью полуавтоматов и возможностью производить сварку в труднодоступных местах. Полуавтоматическая сварка широко применяется на конвейерных линиях в машиностроении при сварке корпусов всех видов транспортных средств и строительно-монтажных конструкций при их предварительной сборке и сварке.

Развитие сварочных полуавтоматов направлено на совершенствование и унификацию узлов, снижение массы и расширение технологических возможностей в целях обеспечения высокого качества сварных швов металлоконструкций.

Принята следующая единая система буквенно-цифровых обозначений полуавтоматов для дуговой сварки: первые две буквы — наименование аппарата и способ сварки (ПД — полуавтомат для дуговой сварки; поскольку такие полуавтоматы используются преимущественно для сварки в защитных газах, третья буква в их обозначении Г иногда опускается), первая цифра после дефиса — усредненное значение силы сварочного тока в сотнях ампер, две последующие цифры — модификация полуавтомата, буква после цифр — климатическое исполнение, последняя цифра — категория размещения (отапливаемое или неотапливаемое помещение и др.).

Так, например, ПДГ-516У3 — обозначение полуавтомата для дуговой сварки с газовой защитой сварочной дуги и номинальной силой сварочного тока 500 А, шестнадцатой модификации (моде-

ли), предназначенного для эксплуатации в районах с умеренным климатом, в помещениях с естественной вентиляцией и отоплением.

Полуавтоматы для дуговой сварки плавящимся электродом классифицируют по некоторым признакам. По способу защиты сварочной дуги различают полуавтоматы для сварки в активных защитных газах (Γ), в инертных газах (I), под флюсом (Φ) и открытой дугой (O). По способу регулирования скорости подачи электродной проволоки различают полуавтоматы с плавным, ступенчатым и комбинированным регулированием. По способу подачи электродной проволоки различают полуавтоматы с толкающим, тянувшим и универсальным механизмами, а по способу охлаждения горелки — полуавтоматы с естественным охлаждением (при силе тока до 300 А) и с принудительным охлаждением (500 А и более).

Сварочные полуавтоматы разрабатывают с использованием унифицированных (взаимозаменяемых) узлов. Это позволяет с наименьшими затратами быстро настроить аппарат при изменении технологического процесса сварки и улучшить его ремонтоспособность. Унифицированными узлами являются подающие механизмы, прижимные и направляющие устройства, сварочные горелки и приводы механизмов подачи электродной проволоки. Считается, что срок службы сварочных полуавтоматов составляет 5 лет со сменой сварочной горелки через каждые полгода. В полуавтоматах механизирована только подача электродной проволоки, которая поступает в зону горения дуги через гибкий пустотелый шланг; поэтому такие полуавтоматы называют шланговыми. Схема сварочного процесса плавящимся электродом в защитных газах показана на рис. 9.1.

Для сварки низкоуглеродистых и низколегированных сталей плавящимся электродом в углекислом газе во всех пространственных положениях, кроме потолочного, широко применяются полуавтоматы серии ПДГ. Стабилизация выходных параметров источника питания наряду со стабилизацией скорости подачи электродной проволоки позволяет получать с их помощью сварные швы высокого качества.

Полуавтоматы серии ПДГ включают в себя подающий механизм с источником постоянного тока или импульсным источником питания, сварочную горелку, газовую аппаратуру и соединительные гибкие шланги.

В комплект полуавтоматов входят сварочные горелки серии ГДПГ. Применяется также специальный блок управления свароч-

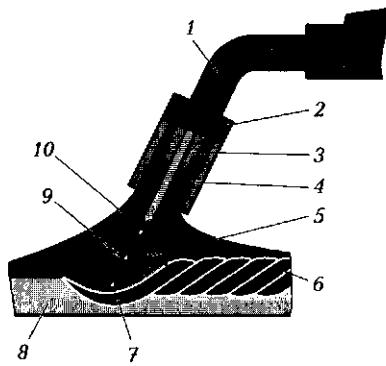


Рис. 9.1. Схема сварочного процесса плавящимся электродом в защитных газах (MIG/MAG):

1 — горелка; 2 — сопло; 3 — токоподводящий наконечник; 4 — электродная проволока; 5 — сварочная дуга; 6 — сварной шов; 7 — сварочная ванна; 8 — свариваемая деталь; 9 — капля расплавленного электродного металла; 10 — газовая защита

ными полуавтоматами (БУСП), который в режиме наладки обеспечивает выполнение следующих операций: включение подачи газа для настройки его расхода или дозирования, продувка до и после сварки, установка заданной скорости подачи проволоки, выбор рабочего цикла для сварки длинными, короткими и точечными швами.

В режиме сварки блок управления обеспечивает выполнение команд начала и окончания сварки. При поступлении команды начала сварки происходит включение подачи газа, затем источника

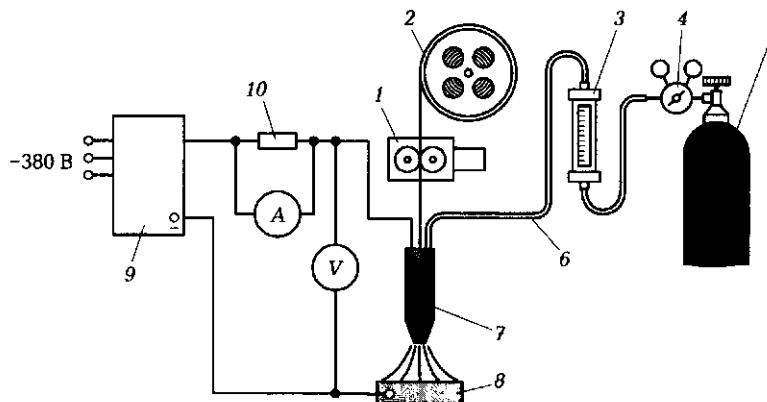


Рис. 9.2. Схема сварочного поста для выполнения сварки полуавтоматом углекислым газом:

1 — механизм подачи электродной проволоки; 2 — кассета с проволокой; 3 — ротаметр; 4 — редуктор; 5 — баллон с газом; 6 — соединительный шланг; 7 — горелка; 8 — свариваемая деталь; 9 — источник питания; 10 — шунт амперметра; А — амперметр для регистрации силы сварочного тока; В — вольтметр для измерения напряжения дуги

питания, а через 0,5 с — подачи проволоки. При поступлении команды о прекращении сварки выключается электродвигатель подающего механизма и производится его торможение, отключается источник питания с задержкой подачи защитного газа; блок управления возвращает схему в исходное положение.

Полуавтоматы типа ПДИ снабжены блоком управления, который обеспечивает сварку в импульсном режиме.

Схема сварочного поста для выполнения сварки полуавтоматом представлена на рис. 9.2.

При сварке с помощью полуавтомата ПДГ-516 (ПШ-112) можно использовать как сплошную стальную, так и порошковую проволоку. Для сварки в различных пространственных положениях некоторые типы полуавтоматов серии ПДГ комплектуются консольно-поворотным устройством. Такое устройство позволяет повышать производительность сварочных работ в стационарных установках и при перемещении сварщика вдоль свариваемого узла или конструкции (рис. 9.3).

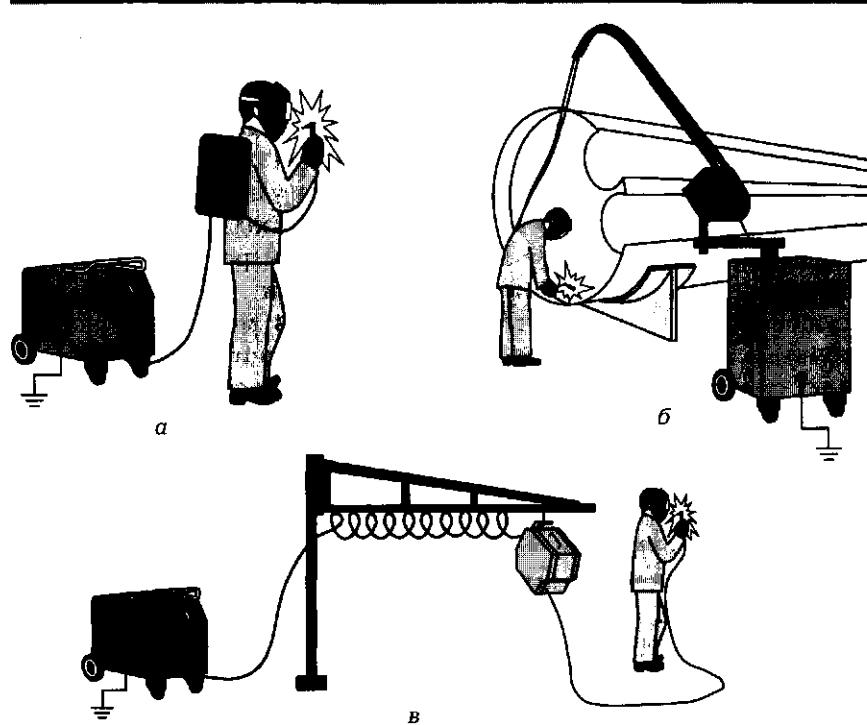


Рис. 9.3. Приемы выполнения сварки полуавтоматом:
а — с ранцем; б — с поворотным кронштейном; в — с поворотной консолью

В связи с унификацией основных узлов полуавтоматов наиболее широкое распространение получали универсальные (быстро переналаживаемые) полуавтоматы. Например, полуавтомат ПШ-112, предназначенный для сварки порошковой самозащитной проволокой, но легко и быстро переналаживаемый для сварки в углекислом газе сплошной проволокой. В таких полуавтоматах с помощью специального блока управления обеспечивается запрограммированная зависимость силы сварочного тока от марки электродной проволоки, ее диаметра и режима сварки. Это упрощает настройку полуавтомата. Режим сварки задается изменением положения ручки регулятора напряжения источника питания. Кассетное устройство и блок управления расположены на шасси облегченной конструкции. Полуавтомат комплектуется также четырехроликовым подающим механизмом типа «Изаплан».

Технические характеристики наиболее широко применяемых отечественных полуавтоматов приведены в табл. 9.1.

Полуавтомат А-1197 применяется для сварки в углекислом газе сплошной или порошковой проволокой и для сварки под флюсом. Этот полуавтомат является аналогом полуавтомата ПШ-112. При технологической необходимости переналадки схемы их сборки одинаковые (вместо газовой аппаратуры устанавливается флюсовая). Полуавтомат А-1197 имеет две модификации: А-1197 — с подающим механизмом, который обеспечивает подачу электродной проволоки при плавном регулировании электродвигателя постоянного тока, и А-1197С — с подающим механизмом, который работает от асинхронного электродвигателя, и регулирование скорости подачи проволоки в этом случае осуществляется ступенчато путем смены в механизме подачи зубчатых колес (шестерен). Для сварки в защитном газе в комплект полуавтомата входит сварочная горелка серии ГДПГ, а для сварки под флюсом — сварочная горелка А-1231-5-Ф2 или другая, аналогичная ей.

Современные сварочные полуавтоматы выпускаются как отечественными и зарубежными изготовителями, так и совместными предприятиями. Многие полуавтоматы являются многофункциональными и входят в комплект различных сварочных установок специального назначения. Некоторые зарубежные полуавтоматы (SINER MIG-403, DRIVER MIG-1702, GALA MIG-4007, HYBRID-4002, OPTIM MAG-500S, KEMPPPI, KEMPROMAT, ESAB) находят применение на отечественных предприятиях, осуществляющих производство сварных конструкций в цехах, строительно-монтажные работы в полевых условиях, ремонтные и восстановительные работы

Таблица 9.1. Технические характеристики некоторых отечественных сварочных полуавтоматов

Марка полуавтомата	Способ сварки и область применения	Сила名义ального сварочного тока, А	Диаметр электродной проволоки, мм	Скорость подачи электродной проволоки, м/ч	Сварочный выпрямитель
ПДГ-312УЗ	Сварка низкоуглеродистых сталей в CO ₂	315	1,0 ... 1,4	75 ... 960	ВДГ-303
ПДГ-515УЗ	Сварка низкоуглеродистых и низколегированных сталей в CO ₂	500	1,2 ... 2,0	75 ... 960	ВДУ-506
ПДФ-502 УХЛ2	Сварка под флюсом арматуры железобетонных конструкций	500	1,6 ... 3,0	120 ... 1 000	ВДУ-506
ПДО-517УЗ (А-765УЗ)	Сварка с применением порошковой проволоки открытой дугой постоянного тока	500	2,0 ... 3,0	100 ... 750	ВДУ-506
ПДИ-304УЗ	Импульсно-дуговая сварка алюминиевых сплавов и коррозионностойкой стали в аргоне	315	1,2 ... 1,4	80 ... 960	ВДГИ-302

Примечание. Для всех полуавтоматов ПВ = 60 %.

на действующих предприятиях. Отечественные полуавтоматы серии ПДГ-200, -300, -315-2, -500, ПДГсэ, ПДГОсэ, ПДГО-510сэ «Крайний Север» поставляются за рубеж.

На международном рынке ежегодно появляется большое число различных модификаций полуавтоматов как в комплекте с источником питания, так и отдельно от него с дополнительным оборудованием (горелки, подающие механизмы, регуляторы, вспомогательные устройства и др.).

Рабочим инструментом сварочного полуавтомата является сварочная горелка, предназначенная для направления в зону действия сварочной дуги электродной проволоки, защитного газа или флюса. Конструкции сварочных горелок, используемых в полуавтоматах, унифицированы в соответствии с технологическими требованиями. На рис. 9.4 показана конструкция широко применяемой сварочной горелки серии ГДГ для сварки плавящимся электродом в защитных газах.

Рукоятка сварочной горелки должна быть прочной и удобной для работы формы. Рукоятку изготавливают из изоляционного материала. На ней устанавливают предохранительный щиток и пусковую кнопку таким образом, чтобы обеспечить защиту от ожогов руки сварщика и удобное управление. Наиболее ответственными элементами сварочной горелки являются сопло и токоподводящий наконечник.

Сопло горелки во время работы находится в зоне высокой температуры, и брызги расплавленного металла налипают на поверхность сопла. В целях уменьшения налипания брызг расплавленного металла поверхность сопла горелки следует хромировать и полировать или изготавливать из специальной керамики, а также использовать специальные защитные аэрозоли. Для неохлаждаемых горелок предусматривается одно сменное сопло, выполняемое, как правило, из меди. Для водоохлаждаемых горелок применяются два сопла: одно водоохлаждаемое несъемное, а другое съемное для периодической очистки от налипшего металла.

Наиболее широкое распространение получили медные токоподводящие наконечники со сроком службы 5...10 ч непрерывной работы. Находят применение также медно-графитовые и медно-вольфрамовые наконечники. Для надежной защиты зоны сварочной дуги от влияния окружающего воздуха необходимо, чтобы поток защитного газа был спокойным, без завихрений и равномерным (ламинарным).

Для подачи защитного газа в сварочные горелки разработаны различные схемы, представленные на рис. 9.5.

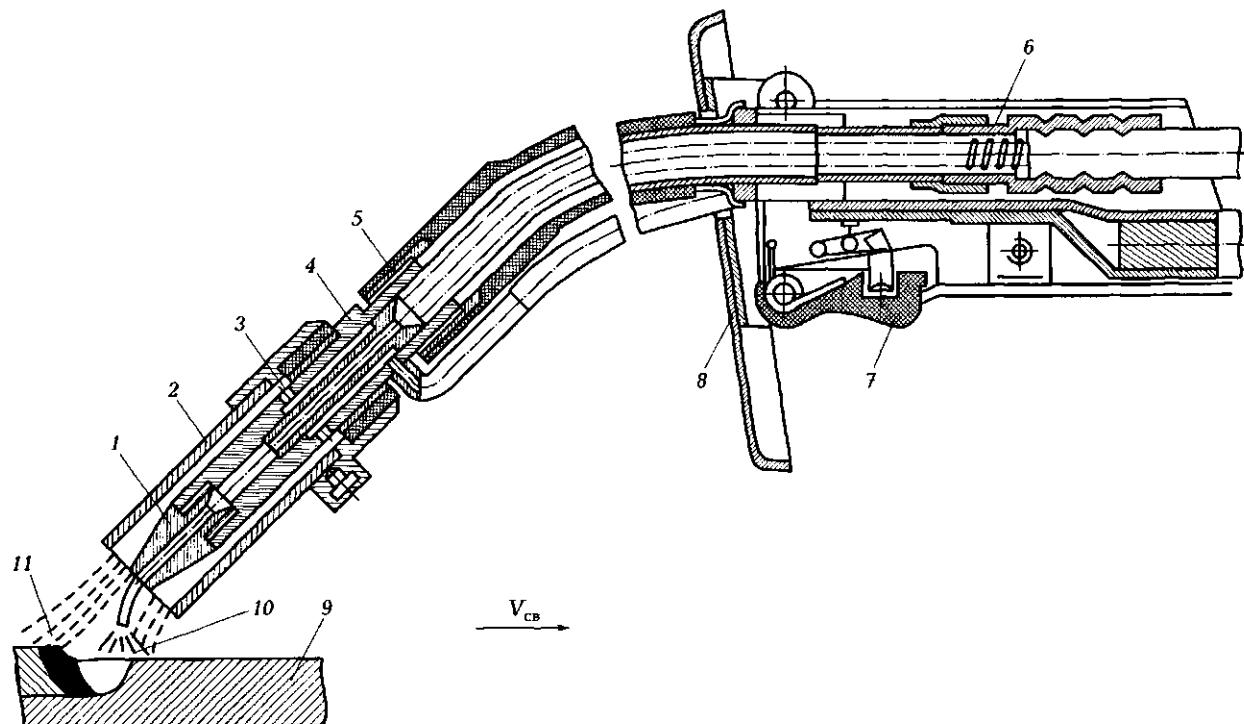


Рис. 9.4. Конструкция сварочной горелки серии ГДПГ для сварки плавящимся электродом в защитных газах:

- 1 — токоподводящий наконечник; 2 — сопло; 3 — канал для подачи защитного газа в сопло; 4 — переходная втулка; 5 — мундштук; 6 — рукоятка; 7 — гашетка пусковой кнопки; 8 — защитный щиток; 9 — свариваемая деталь; 10 — сварочная дуга; 11 — газовая защита; V_{cb} — скорость сварки

141

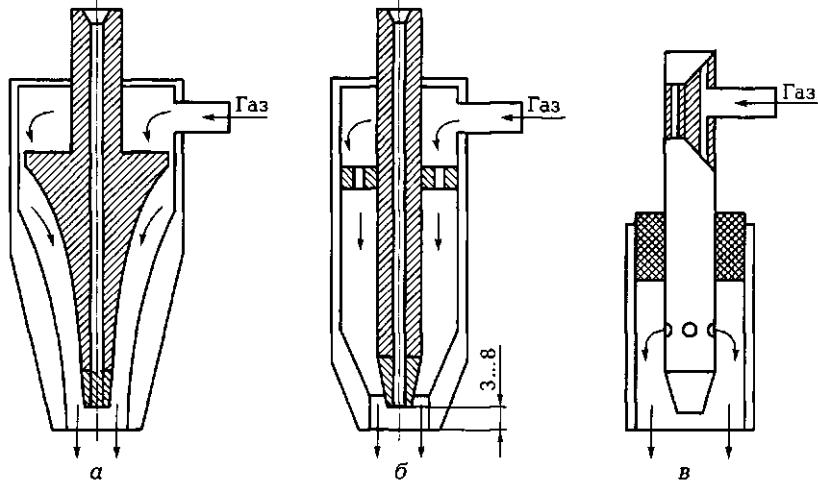


Рис. 9.5. Схемы подачи защитного газа в сварочные горелки:
а — с успокоительной камерой; б — с кольцевым подводом; в — с вставкой-рассекателем

Основным параметром сварочных горелок является номинальная сила сварочного тока, которая должна соответствовать стандартному ряду: 125, 160, 220, 250, 315, 400, 500 и 630 А.

Сварочные горелки ГДПГ-302 и -502 аналогичны по конструкции горелке ГПДГ-501-4 и имеют водяное охлаждение. Горелки ГДПГ-101-10, -102 и -301-8 рассчитаны на малую силу тока, и поэтому не охлаждаются водой. Соответственно у них отсутствуют водоподводящие шланги и водоохлаждаемое сопло. При механизированной сварке под флюсом применяются сварочные горелки с бункером для флюса и при необходимости с водоохлаждаемым соплом. При сварке неплавящимся электродом токоподводящий наконечник заменяют специальным зажимом (цангой).

Современные горелки для высокопроизводительных сварочных процессов MIG/MAG—TANDEM позволяют осуществлять сварку с повышенной скоростью при достаточной мощности источников питания. При этом обеспечивается оптимальное качество сварного шва за счет управления капельным процессом переноса металла. Эти горелки снабжены головками с двумя раздельными каналами, по которым синхронно подается сварочная проволока. Таким образом работают две дуги одновременно — одна за другой. Данные горелки предназначены для сварочных процессов, осуществляемых полуавтоматами, автоматами и робототехниче-



Рис. 9.6. Общий вид сварочной головки

скими комплексами. Общий вид сварочной головки приведен на рис. 9.6.

Для подачи электродной проволоки от полуавтомата к сварочной горелке используются гибкие шланги. Для сварочных горелок, работающих при силе тока до 315 А, в гибком шланге проложены провода цепей управления и сварочного тока, а по направляющему каналу проходит электродная проволока. При большой силе тока в гибком шланге по направляющему каналу проходит только электродная проволока. Для подвода цепей управления и сварочного тока имеется специальный шланг. Защитный газ подается в сварочную горелку по специальным шлангам. Завод — изготовитель полуавтоматов обычно комплектует сварочные горелки и

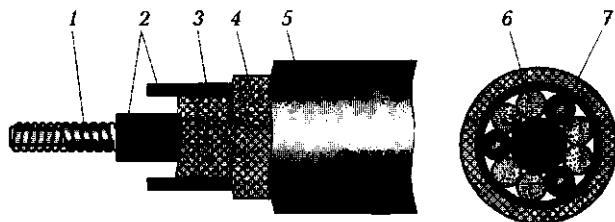


Рис. 9.7. Конструкция гибкого шланга:

1 — спиралевидный канал для подачи сварочной проволоки; 2 — изоляция из бензостойкой резины; 3 — токоведущая часть; 4 — хлопчатобумажная оплетка; 5 — резиновая оболочка; 6 — сварочный кабель; 7 — провод управления

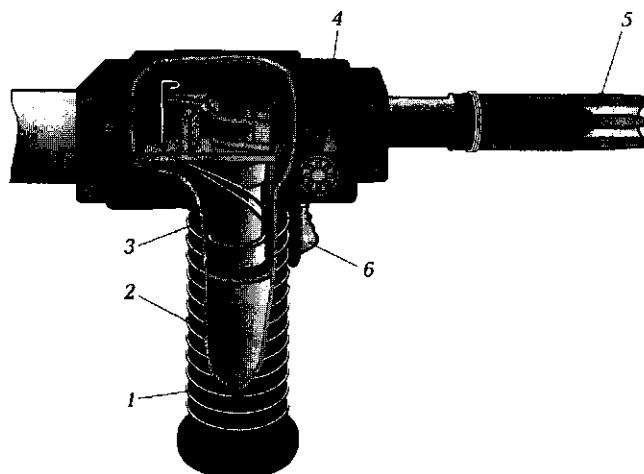


Рис. 9.8. Горелка системы ПУЩ-ПУЛ:
1 – рукоятка; 2 – электродвигатель; 3 – редуктор; 4 – регулятор скорости подачи проволоки; 5 – сопло; 6 – пусковая кнопка

гибкие шланги к ним. В зависимости от вида материала и диаметра электродной проволоки гибкие шланги изготавливают длиной 2,0...3,0 м.

При движении электродной проволоки по направляющему каналу гибкого шланга происходит его засорение металлической пылью. Поэтому направляющие каналы должны быть сменными. В некоторых случаях приходится продувать каналы до трех раз в течение смены. При работе с омедненной стальной электродной проволокой срок службы направляющих каналов и самих шлангов увеличивается почти вдвое. Диаметры канала и электродной проволоки должны быть строго согласованы. Конструкция гибкого шланга приведена на рис. 9.7.

Электродная проволока перемещается от полуавтомата через гибкий шланг к сварочной горелке с помощью подающего механизма. Существуют различные схемы таких механизмов.

В схеме толкающего типа электродвигатель подающего механизма имеет жесткую характеристику. Такая схема применяется при сварке стальной электродной проволокой. В схеме тянувшего типа подающий механизм размещается непосредственно в горелке. Такое расположение подающего механизма снижает сопротивление проталкиванию сварочной проволоки, и поэтому можно увеличить длину гибкого шланга. Однако это приводит к увеличению массы горелки и снижению ее маневренности.

Используют также комбинированные варианты подающих механизмов, работающих по схеме «тяни-толкай» в горелках системы ПУШ-ПУЛ (рис. 9.8). В этом случае требуется установка дополнительного электродвигателя с направляющими роликами. Для синхронизации процесса «тяни-толкай» необходимы два электродвигателя — толкающий и тянувший. У электродвигателя тянувшего механизма при натяжении электродной проволоки автоматически снижается частота вращения. Толкающий электродвигатель имеет постоянную частоту вращения.

При включении электродвигателя от пусковой кнопки одновременно подается напряжение на конец сварочной проволоки. При касании проволоки свариваемых деталей возбуждается дуга, и начинается процесс сварки.

Приведенные подающие механизмы являются редукторными.

Применяются три модификации редукторных подающих механизмов: ПМЗ-1 — закрытого типа с кассетой для стальной проволоки массой 5 кг; ПМО-1 — открытого типа с кассетой стальной проволоки массой 12 или 20 кг; ПМТ-1 — с тележкой и бухтой стальной проволоки массой до 50 кг.

Выпускаются следующие новые конструкции безредукторных подающих механизмов: планетарные «Изаплан» и импульсные «Интер MIG/MAG» (с пульсирующей подачей проволоки). Основными элементами механизма «Изаплан» (рис. 9.9) являются планетарные подающие ролики 1, основание головки 3 с коническим отверстием, крышка головки 2 и электропривод 4. Подающий механизм «Интер MIG/MAG» используют при импульсно-дуговой сварке.

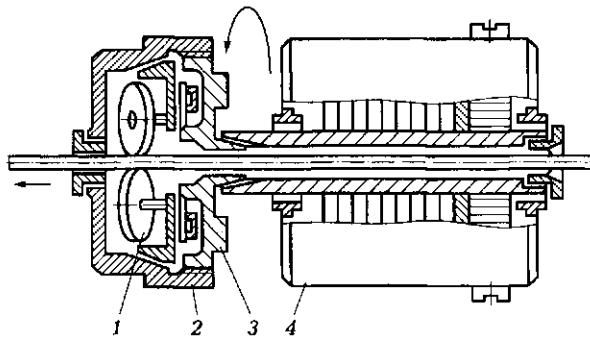


Рис. 9.9. Схема безредукторного подающего механизма «Изаплан»:
1 — планетарный подающий ролик; 2 — крышка головки; 3 — основание головки;
4 — электропривод

Планетарная подающая головка механизма «Изаплан» укреплена на полом валу электродвигателя постоянного тока. Электродная проволока проходит через полый валик и поступает на планетарные ролики подающей головки.

Ролики располагаются под определенным углом к оси электродной проволоки, что создает осевое усилие в процессе ее обкатки. Электродная проволока перемещается по направляющему каналу к сварочной головке. Скорость подачи проволоки регулируется изменением частоты вращения ротора электродвигателя постоянно го тока, а усилие сжатия роликов — перемещением по резьбе конусного корпуса подающей головки.

Число ведущих роликов в подающих механизмах как в редукторных, так и в безредукторных зависит от диаметра и вида материала сварочной проволоки. Для тонкой стальной проволоки диаметром 1,2 мм применяют механизм с одним ведущим роликом, для стальной проволоки диаметром 1,6...2,5 мм — с двумя, а для алюминиевой и порошковой проволоки — с четырьмя ведущими роликами.

Ролики изготавливают из легированной стали с последующей термообработкой. Наиболее часто используют цельные (одинарные) ролики с накаткой и коническими гладкими канавками и составные — из двух подающих роликов с фасками и накаткой по

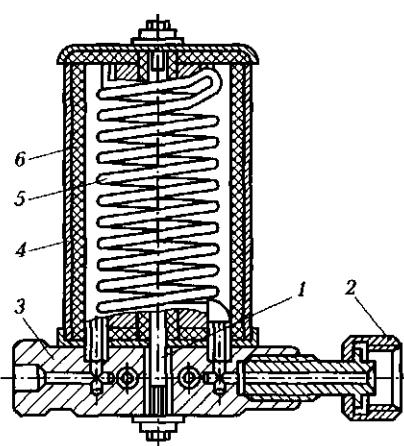


Рис. 9.10. Конструкция подогревателя газа:
1 — нагревательный элемент; 2 — штуцер для присоединения шланга; 3 — основание корпуса; 4 — корпус; 5 — змеевик; 6 — слой теплоизоляции

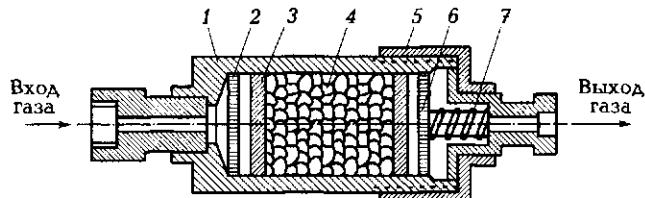


Рис. 9.11. Конструкция осушителя газа:

1 — корпус; 2 — сетка-рассекатель; 3 — фильтр; 4 — влагопоглотитель; 5 — крышка; 6 — клапан; 7 — пружина клапана

фаскам. Для уменьшения засорения направляющего канала высота накатки на ведущих роликах не должна превышать 0,6 мм.

Для сварки в защитных газах сварочный пост обеспечивают комплектом соответствующей аппаратуры, в который входит баллон с активным или инертным газом либо несколько баллонов при необходимости применения смеси газов (argon, углекислый газ и кислород), подогреватель, осушитель и смеситель газов, редукторы с ма-

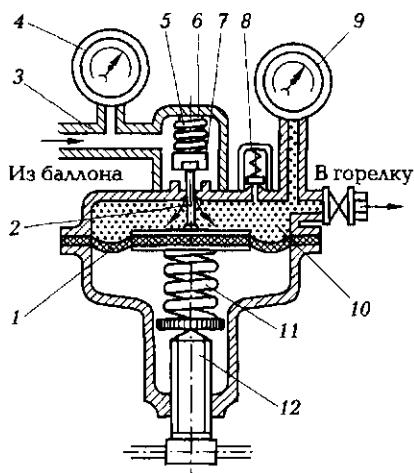


Рис. 9.12. Схема редуктора:

1 — мембрана; 2 — передаточный штифт; 3 — штуцер; 4 — манометр высокого давления; 5 — вспомогательная пружина; 6 — камера высокого давления; 7 — регулирующий клапан; 8 — предохранительный клапан; 9 — манометр низкого (рабочего) давления; 10 — камера низкого давления; 11 — главная запорная пружина; 12 — регулировочный винт

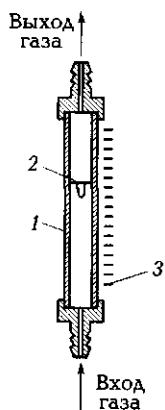


Рис. 9.13. Поплавковый ротаметр:
1 — корпус (стеклянная трубка); 2 — поплавок; 3 — шкала расхода газа

нометрами или расходомерами для точной дозировки каждого газа.

Баллоны служат для хранения и транспортирования защитных газов. Все газы находятся в баллонах в сжатом состоянии под высоким давлением (кроме углекислого газа, который содержится в виде углекислоты в жидком состоянии).

Подогреватель газа предназначен для предотвращения замерзания в редукторе углекислого газа, поступающего из баллона. Конструкция подогревателя газа представлена на рис. 9.10.

Осушитель (рис. 9.11) поглощает влагу из углекислого газа. В качестве осушителя применяют медный купорос или силикагель. Объем осушителя для одной зарядки позволяет осушить четырнадцать баллонов с углекислым газом.

Редуктор предназначен для снижения давления защитного газа после его выхода из баллона. При использовании углекислого газа применяют стандартные баллонные редукторы для кислорода (ДКД-8-65) или специальные редукторы для углекислого газа (У-30). При сварке в инертных газах используются редукторы давления АР-10, -40 и -150. Схема редуктора представлена на рис. 9.12.

Расходомеры, предназначенные для измерения расхода газа, позволяют поддерживать дозировку защитного газа. Различают несколько видов расходомеров: поплавковый (ротаметр), дроссельный (с калиброванным отверстием в диафрагме) и их разновидности. Наиболее безотказные поплавковые ротаметры (рис. 9.13).

В комплект аппаратуры сварочного поста входит отсекатель — электромагнитный клапан, предназначенный для автоматического управления подачей газа. Включение клапана блокировано с пусковой кнопкой полуавтомата, что обеспечивает продувку газовых каналов и подготовку защитной среды перед возбуждением дуги, а также сохранение защитной среды после гашения дуги.

9.2. СВАРОЧНЫЕ АВТОМАТЫ

Аппарат автоматизированной дуговой сварки, включающий в себя сварочную головку, механизм для перемещения аппарата, передающий механизм с электродной проволокой и необходимые средства автоматизации, называют *сварочным автоматом*.

Сварочные автоматы могут быть подвесного или тракторного типа. Последние устанавливаются на самоходные тележки, которые перемещаются вдоль свариваемых кромок по направляющим.

В принятом буквенно-цифровом обозначении автоматов для дуговой сварки первые две буквы определяют наименование аппарата и способ сварки (АД — автомат для дуговой сварки), а третья буква — вид защиты сварочной дуги (Ф — флюсовая, Г — газовая; ФГ — флюсогазовая). Например, АДГФ-501УХЛ4 — это обозначение автомата для дуговой сварки, обеспечивающего защиту сварочной дуги как флюсом, так и газом, с номинальной силой сварочного тока 500 А, первой модификации, предназначенного для эксплуатации в районах с умеренным и холодным климатом, в помещениях с принудительной вентиляцией и отоплением.

В случае сварки под флюсом устанавливаются аппаратура для его подачи в зону сварки и сварочная головка с мундштуком. Если необходимо выполнять сварку в защитных газах, то аппаратуру для флюса меняют на газовую, а вместо мундштука и сварочной головки устанавливают специальную газовую сварочную горелку.

Сварочные автоматы тракторного типа серии АДФ и АДГ предназначены для дуговой сварки под флюсом и в защитных газах стыковых и угловых соединений типа «тавр» или «лодочка» электродной проволокой сплошного сечения. Сварку с их помощью можно выполнять как внутри колеи, так и вне ее на расстоянии до 200 мм. Размер колеи не должен превышать 295 мм. Положение дуги (электрода) контролируется с помощью путеуказателя. Все элементы управления сварочным процессом расположены на пульте управления.

Для сварки под флюсом на переменном токе автоматы серии АДФ (рис. 9.14) комплектуют сварочными трансформаторами ТДФ-1002, -1601 или ТДФЖ-2002.

Для сварки под флюсом и в защитных газах на постоянном токе автоматы серии АДФ и АДГ комплектуют универсальными выпрямителями.

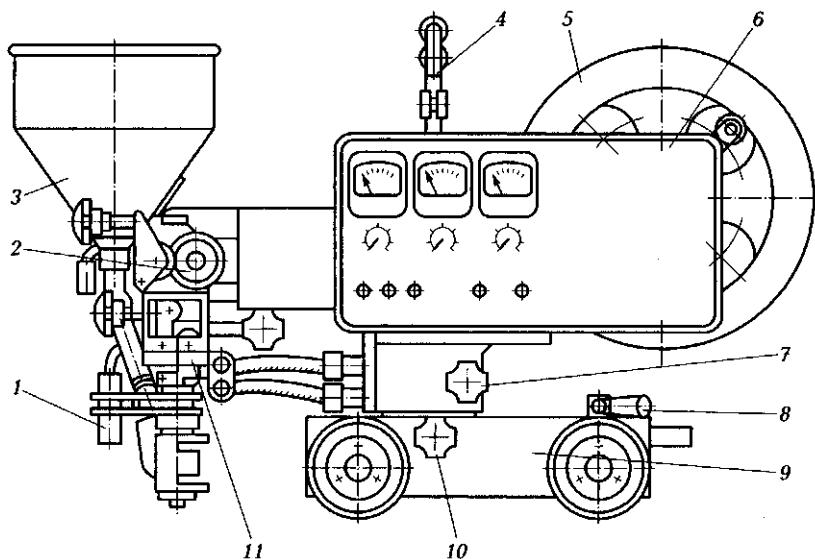


Рис. 9.14. Сварочный автомат тракторного типа серии АДФ:
 1 — кронштейн крепления указателя пути; 2 — механизм подачи сварочной проволоки; 3 — бункер для флюса; 4 — промежуточные подающие ролики; 5 — кассета для сварочной проволоки; 6 — пульт управления; 7, 10 — маховики для ручной регулировки положения мундштука и сварочной головки относительно сварочного шва; 8 — рукоятка включения привода самоходной тележки; 9 — самоходная тележка; 11 — сварочная головка

мителями ВДУ-506 и ВДУ-1201. Технические характеристики некоторых сварочных автоматов указаны в табл. 9.2.

Для дуговой сварки узлов с разными формами и размерами сварных швов (кольцевые, прямо- и криволинейные, с переменным сечением) применяют автоматы подвесного типа. В большинстве случаев автоматы этого типа самоходные, т.е. их перемещение осуществляется по направляющему монорельсу с помощью самоходной тележки. Данные автоматы комплектуются источником питания переменного или постоянного тока, который обеспечивает необходимую сварочную силу тока и имеет соответствующую внешнюю вольт-амперную характеристику. Промышленность выпускает автоматы подвесного типа серии А-1400 (рис. 9.15).

Для сварки углеродистых сталей под флюсом служат автоматы А-1401 и -1410, для дуговой сварки этих сталей в углекислом газе — автоматы А-1417, для дуговой сварки в инертном газе алюминия и его сплавов — автоматы А-1431 и т.д.

Таблица 9.2. Технические характеристики сварочных автоматов серий АДГ и АДФ

Марка автомата	Способ сварки и область применения	Сила номинального сварочного тока, А	Диаметр электродной проволоки, мм	Скорость подачи электродной проволоки, м/ч	Источник питания
АДГ-602 УХЛ4	Сварка в СО ₂ низкоуглеродистых и низколегированных сталей	630	1,2...3,0	120...960	ВДУ-601 УЗ
АДФ-1002, У2	Сварка под флюсом на переменном токе	1 000	3,0...5,0	60...360	ТДФЖ-1002
АДФ-1202 У3	Сварка под флюсом на постоянном токе	1 250	2,0...6,0	60...360	ВДУ-1201
АДФ-2001 УХЛ4	Сварка под флюсом стержней арматурной стали	2 000	8,0...40,0 (стержни)	54 (стержни)	ТДФЖ-2002

П р и м е ч а н и е. Для всех автоматов ПВ = 60 %.

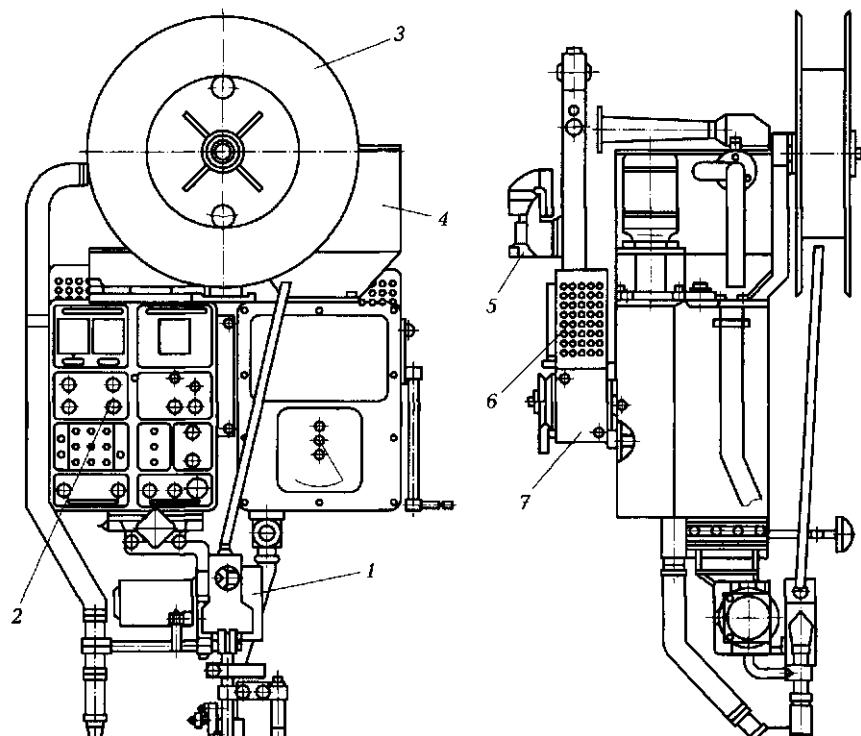


Рис. 9.15. Сварочный автомат подвесного типа серии А-1400:

- 1 — механизм подачи сварочной проволоки; 2 — механизм вертикального перемещения сварочной головки; 3 — кассета для сварочной проволоки; 4 — бункер для флюса; 5 — суппорт; 6 — пульт управления; 7 — самоходная тележка для перемещения по монорельсу

Сварочные автоматы серии А-1400 рассчитаны на длительную работу и могут использоваться самостоятельно или входить в состав автоматических линий. Отличительной особенностью данных автоматов является их пригодность для дуговой сварки швов различных типов. Они обеспечивают широкий диапазон регулирования режимов сварки и возможность быстрой переналадки при изменении сварочной технологии.

Сварочный автомат АД-111 предназначен для дуговой сварки плавящимся электродом в защитном газе криволинейных стыковых соединений и деталей при переменном сечении разделки кромок. Сварочная головка этого автомата снабжена механизмом, создающим колебания электродной проволоки. В качестве защитного газа применяется смесь аргона и кислорода.

Таблица 9.3. Технические характеристики сварочных автоматов серий А-1400 и АД

Марка автомата	Сила номинального сварочного тока, А	Диаметр электродной проволоки, мм	Скорость подачи электродной проволоки, м/ч	Скорость сварки, м/ч	Габаритные размеры автомата, мм	Масса, кг
А-1406	1 000	2...5	13...133	12...120	1 070×890×725	215
А-1410	2 000	2...5	53...532	24...240	1 070×845×1 820	325
А-1411П	1 000	2...4	53...530	12...120	890×960×1 650	350
А-1416	1 000	2...5	17...558	12...120	1 820×815×930	365
А-1417	1 000	2...5	53...532	12...120	1 070×770×1 650	240
А-1431	750	1,4...4,0	80...800	12...120	1 070×770×1 650	240
АД-111	315	1,4	—	10...70	515×405×1 480	80
АД-143	1 200	3...4	60...600	5...30	1 400×610×1 265	297

П р и м е ч а н и я: 1. Автоматы А-1410 и -1416 применяются для сварки под флюсом, автоматы А-1406 — под флюсом и в CO₂, автоматы А-1417 — в CO₂, автоматы А-1411П — в CO₂ и Ar, автоматы А-1431 и АД-143 — в Ar, автоматы АД-111 — в смеси Ar и O₂.
 2. Для автоматов АД-111 режим работы соответствует ПВ = 60 %, для остальных автоматов ПВ = 100 %.
 3. Для автомата АД-143 диаметр неплавящегося электрода 8...12 мм, скорость его перемещения 14...21 м/ч.

Для дуговой сварки деталей из титана и его сплавов толщиной 6...80 мм применяется автомат АД-143, который позволяет выполнять продольные и кольцевые швы по наружной поверхности деталей цилиндрической формы диаметром 2 000...4 000 мм, а по внутренней поверхности — диаметром до 1 600 мм. При наличии разделки кромок свариваемых деталей необходимо использовать плавящийся электрод или неплавящийся электрод с присадочной проволокой, а при отсутствии разделки — только неплавящийся электрод.

При сварке плавящимся электродом применяют горелки серии ГПА, а при сварке неплавящимся электродом — унифицированные горелки серии ГНА с механизмом стабилизации напряжения дуги ($\pm 0,2$ В). Технические характеристики некоторых сварочных автоматов серий А-1400 и АД приведены в табл. 9.3.

Одним из направлений повышения производительности сварочного процесса является увеличение скорости сварки. Однако скорость перемещения серийных сварочных автоматов для разных способов дуговой сварки доведена до предельного уровня. Поэтому важное значение имеет концентрация операций при одновременной сварке одного или нескольких узлов в разных местах, что обеспечивают многодуговые и многоголовочные сварочные автоматы для сварки труб и различных сосудов цилиндрической формы. Основными преимуществами многодуговой сварки перед однодуговой при прочих равных условиях являются уменьшение сварочных деформаций, увеличение объема продукции на единицу производственной площади и возможность более компактного размещения источников питания.

На базе однодугового автомата унифицированной серии А-1400 создан двухдуговой автомат А-1412 подвесного типа, который предназначен для дуговой сварки под флюсом изделий из углеродистых сталей при разной форме кромок свариваемых деталей. Автомат А-1412 имеет два подающих механизма, которые закреплены на специальной подвеске, и две кассеты с электродной проволокой. Основными узлами автомата являются механизм вертикального перемещения, самоходная тележка, флюсобункер с флюсовым аппаратом, пульт управления и суппорт, которые аналогичны соответствующим узлам однодугового автомата А-1400.

Для сварки неповоротных стыков и ремонта трубопроводов диаметром 406...2 540 мм разработан комплекс «Протеус». В его состав входят блок питания (выпрямитель ВД-506 ДК УЗ или аналогичный по характеристике инвертор с подающим механизмом ПДГО-511

для выполнения корневого шва), две самоходные сварочные головки, направляющий пояс с перфорацией, ручное программирующее устройство и пульт дистанционного управления. Для сварки применяется специальная порошковая сварочная проволока POWER PIPE 60R. Газовая защита создается с помощью углекислого газа или смеси 80 % аргона и 20 % углекислого газа. Скорость перемещения сварочной головки 0,07 ... 1,52 м/мин; амплитуда колебаний горелки влево и вправо от вертикали 14°, время задержки сварочной проволоки на кромках свариваемых труб не более 0,5 с; толщина свариваемых стенок 8...50 мм. Для формирования многослойных швов запрограммированы 12 проходов с использованием сварочной проволоки диаметром 0,9...1,6 мм. При ПВ = 60 % сила сварочного тока достигает 400 А при использовании углекислого газа и 300 А при использовании смеси аргона и углекислого газа.

Для увеличения производительности сварочных процессов при автоматической сварке под флюсом углеродистых и низколегированных сталей используется порошковый присадочный материал (ППМ) — мелкорубленая сварочная проволока-сечка, которую засыпают заподлицо в разделку кромок перед сваркой стыковых соединений. В процессе горения дуги и продвижения сварочной головки автомата вдоль свариваемых кромок шов формируется за счет расплавления как электродной проволоки, подаваемой из кассеты автомата в дуговой промежуток, так и за счет расплавления ППМ под воздействием теплоты дуги. За один проход в этом случае можно сваривать детали из углеродистых сталей толщиной до 20 мм. При этом швы формируются плотные с высокими прочностными показателями.

Основная марка сварочной проволоки Св-08А, а основная марка ППМ — Св-08Г2С.

При разработке технологического процесса сварочных работ рассчитываются как параметры режимов сварки, так и расход сварочных материалов (неплавящиеся или покрытые электроды, сварочная проволока, флюсы, защитные газы), а также продолжительность сварки.

Для соблюдения технологической дисциплины в процессе сварочных работ необходимо контролировать работу сварщиков. Контроль осуществляют руководители сварочных работ или инженеры-инспекторы.

Например, финская фирма KEMPPPI обеспечивает контролеров пластиковыми карточками с номограммами для контроля процессов сварки углеродистых сталей в углекислом газе, легированных сталей, алюминия и его сплавов. По номограмме исходя из расчет-

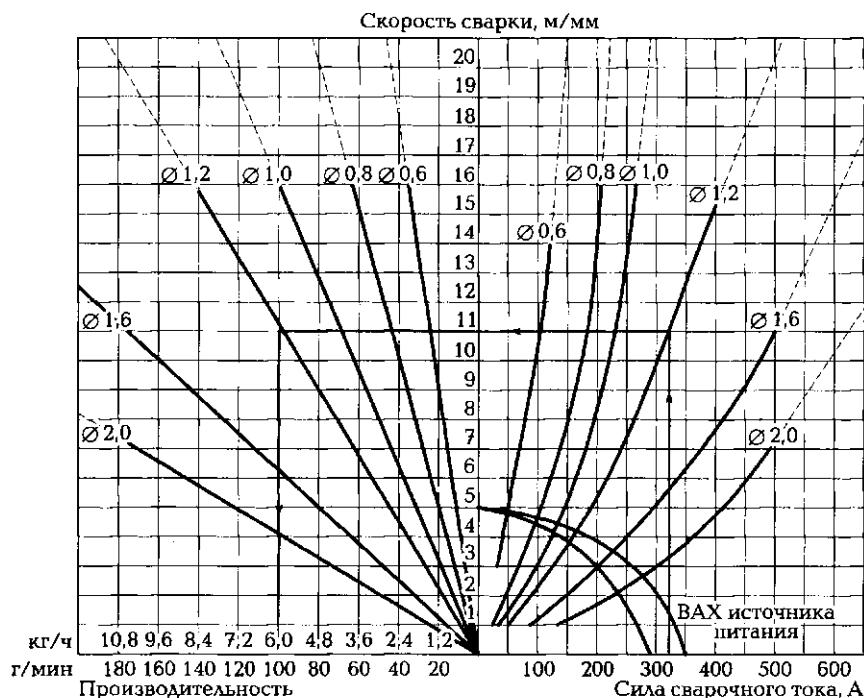


Рис. 9.16. Номограмма для контроля сварочного процесса в углекислом газе (контур со стрелками соответствует силе сварочного тока 325 А, диаметру электродной проволоки 1,2 мм, скорости сварки 11 м/мин и производительности примерно 100 г/мин или 6 кг/ч)

ного значения силы сварочного тока и диаметра электродной проволоки определяется количество наплавленного металла в единице времени, т. е. производительность процесса. Пример номограммы для сварки в углекислом газе приведен на рис. 9.16.

Шведская фирма ESAB при ручной дуговой сварке обеспечивает сварщиков-операторов специальными карточками для выполнения разных по характеру сварочных операций. В карточках указываются применяемые электроды при сварке углеродистых, легированных и высоколегированных сталей, алюминиевых и других сплавов цветных металлов. Марки электродов имеют краткие буквенно-цифровые обозначения, по которым сварщик быстро и безошибочно обеспечивается необходимыми электродами.

Современные отечественные и зарубежные сварочные полуавтоматы, автоматы и роботы оснащаются блоками с программным

управлением. Кроме того, разрабатываются системы управления сварочными процессами, которые позволяют одновременно осуществлять контроль качества сварных швов и объем выполненной работы.

Среди новейших разработок систем управления сварочными процессами наиболее совершенной представляется отечественная универсальная система, разработанная на базе современной цифровой техники в АПС РАДИС.

Эта система позволяет выполнять высококачественные сварные швы на вертикальной плоскости, в потолочном положении и при сварке неповоротных стыков трубопроводов. При выполнении сварки в этих условиях система обеспечивает синергетическое управление параметрами режима и настроек полуавтомата: регулирование сварочного тока и напряжения дуги, скорости подачи проволоки и других параметров в зависимости от характера процесса и стадии его протекания (возбуждение дуги, горение дуги, сброс капли расплавленного металла и т. д.).

Система компонуется тремя основными модулями: источником питания сварочной дуги, механизмом подачи сварочной проволоки и пультом управления. Каждый модуль оснащен индивидуальным цифровым устройством управления, которое включается после подачи питания и постоянно тестирует модуль на наличие неисправностей, а также сообщает на пульт управления параметры сварочного процесса.

Модули системы соединены трехпроводной линией связи, по которой от пульта управления передаются команды, а обратно поступают данные о состоянии устройства и отчеты об исполнении команд. Внутренняя коммутационная сеть имеет специальный помехоустойчивый протокол и позволяет с достаточной скоростью и высокой надежностью передавать рабочую информацию.

Цифровые пульты управления, на которые выводятся параметры сварки и настройки источников питания дуги, могут быть выносными или встроенными в блок механизма подачи электродной проволоки.

В процессе сварки на дисплей пульта управления выводятся заданные и измеренные значения силы сварочного тока и напряжения дуги, которые можно оперативно изменять. Новые значения запоминаются под номером текущего режима. Эта контрольная функция имеет важное значение при сварке длинномерных конструкций, когда расстояние от места сварки до источника питания дуги составляет несколько десятков метров.

Механизмы подачи электродной проволоки оснащены специальными мотор-редукторами и цифровым электроприводом. На валу электродвигателя установлен импульсный датчик прямого измерения частоты вращения вала. Сигнал от датчика поступает на цифровое устройство, расположенное рядом с электродвигателем, которое обеспечивает стабилизацию вращения вала электродвигателя и его защиту от перегрузок. Такая адаптивная связь стабилизирует подачу электродной проволоки в зону горения дуги и гарантирует неизменность режимов сварки. Импульсные бесконтактные датчики работают с высокой точностью. Все параметры режима сварки жестко стабилизированы.

В состав комплекта модульного оборудования входят выпрямитель ВДУ-516 и инверторный источник питания дуги Р-320И или Р-510И с устройством регулирования параметров статических и динамических характеристик. Применение этих источников питания дуги в общей системе обеспечивает эффективное синергетическое управление процессами тепло- и массопереноса, а также силового (магнитного) воздействия дуги на сварочную ванну при сварке в вертикальном и потолочном положениях. При использовании инверторных источников питания представляется возможным применить импульсный режим сварки.

Согласованное взаимодействие самонастраивающихся источников питания дуги, адаптивных механизмов подачи сварочной проволоки и пульта управления производится благодаря применению микропроцессорных схем, объединенных в единую систему управления.

Для самонастройки источников питания дуги при работе в полуавтоматическом режиме достаточно задать следующие основные параметры: диаметр электродной проволоки, вид защитного газа или смесь газов, толщину свариваемого металла, мм, и скорость подачи электродной проволоки, м/мин. После введения значений основных параметров в блок управления модулей система производит настройку источника питания дуги и подающего механизма.

Сварщик-оператор может самостоятельно производить корректировку параметров возбуждения дуги, напряжения дуги и динамических характеристик источника питания с последующим сохранением их в долговременной памяти. Параметры настройки при необходимости можно вызвать повторно. Однако значение силы сварочного тока на всех режимах сварки защищено паролем, что позволяет установить его предельное числовое значение, которое сварщик не может изменить самостоятельно. Это крайне важ-

но для соблюдения технологической дисциплины при сварке ответственных конструкций, так как наиболее опасное нарушение — это самовольное завышение силы сварочного тока.

При необходимости полуавтоматы ПАРС оснащаются дополнительным блоком, который регистрирует значения сварочных режимов в течение 3 600 ч. Кроме того, может осуществляться регистрация температуры свариваемой детали и чистого времени сварки. При обработке результатов регистрации параметров быстро вычисляется потребляемая мощность и продолжительность загрузки оборудования, а также определяются отклонения параметров режима сварки от заданных значений.

Универсальная система управления сварочным процессом, разработанная АПС РАДИС, имеет уникальную возможность регистрировать как процесс формирования сварного шва, так и действия сварщика-оператора в течение смены посредством записи на FLASH-карту заданных параметров режима сварки и отклонений от них реальных режимов. Универсальность системы заключается в возможности использования дополнительных коммутационных устройств для подключения компьютерной техники и просмотра записанных данных на любом участке сварочных работ. Одновременно можно осуществлять объективный контроль качества сварных швов с одного диспетчерского пункта.

С каждым годом увеличивается объем сварочных работ как при создании новых металлоконструкций, так и при капитальном или текущем ремонте транспортных средств и промышленных объектов, которые вырабатывают свой ресурс. В каждом конкретном случае необходимо обоснованно выбирать вид сварки, необходимое сварочное оборудование, режимы сварки и способы контроля сварных швов и соединений.

При производстве сварных конструкций в заводских условиях разрабатываются технологические процессы с учетом использования производственных площадей и необходимых приспособлений для сборки и сварки (оснастка). В этом случае предусматривается максимальная возможность механизации сварочных работ с применением полуавтоматов и автоматов.

В условиях проведения строительно-монтажных или ремонтных работ возникают объективные трудности, с которыми необходимо считаться — это отсутствие производственных помещений, неблагоприятные климатические условия, а также отсутствие приспособлений (оснастки). В таких условиях ручная дуговая сварка более предпочтительна, но подготовка деталей или узлов под сварку требует особых мер, так как сварка осуществляется по месту.

Кроме того, вопросы и требования техники безопасности выдвигаются на более ответственный уровень.

Контроль сварных швов и соединений весьма затруднителен, так как нет возможности применить стационарные установки или приблизить переносные аппараты контроля непосредственно к сварному шву. В таких случаях сварные работы поручаются только сварщикам высокой квалификации.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какой сварочный аппарат называют полуавтоматом?
2. Какова система обозначения сварочных полуавтоматов?
3. По каким признакам классифицируют полуавтоматы?
4. Перечислите достоинства универсальных полуавтоматов.
5. Что является основным рабочим инструментом полуавтомата?
6. Каково устройство сварочной горелки серии ГДПГ?
7. Назовите наиболее широко применяемые механизмы подачи электродной проволоки.
8. В чем состоит назначение редукторов, смесителей, осушителей и ротаметров?
9. Какой сварочный аппарат называют автоматом?
10. Как обозначают автоматы для дуговой сварки?
11. Какими источниками питания могут комплектоваться сварочные автоматы?
12. В каких сварочных процессах применяются автоматы тракторного типа и подвесные автоматы?
13. В чем состоит основное преимущество автоматической сварки по сравнению с ручной и полуавтоматической?
14. Для чего выпускают многодуговые сварочные автоматы?
15. Каково назначение ППМ при автоматической сварке?
16. Для чего разрабатывают и внедряют в производство системы объективного контроля сварочных процессов?

ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

III

РАЗДЕЛ

Глава 10. Особенности сварочного

производства

Глава 11. Дуговая сварка, наплавка

и резка металлов

Глава 10

ОСОБЕННОСТИ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

10.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРОИЗВОДСТВЕ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Исходными данными для проектирования технологического процесса изготовления конкретных сварных конструкций являются чертежи, технологические условия (ТУ) и планируемая программа выпуска. Чертежи содержат данные о материале заготовок, их конфигурации, размерах, типах сварных соединений и другие решения, которые приняты конструктором в процессе проектирования сварной конструкции и должны быть приняты к исполнению технологом. Технолог не имеет права вносить изменения в чертежи без согласования их с конструктором.

Технические условия содержат требования, предъявляемые к материалам, оборудованию и выполнению технологических и контрольных операций. Технические условия и чертежи составляют комплекс решений, удовлетворяющих требованиям заказчика при составлении технического задания на проектирование и изготовление сварной конструкции.

Программа выпуска планируется из расчета срока окупаемости всех затрат (в машиностроении установлен срок окупаемости 5 лет) и характеризует экономическую эффективность при реализации проекта. Процесс проектирования рассматривается в двух направлениях:

- применение современных технологий и сварочного оборудования;
- максимальная механизация заготовительных и сборочно-сварочных работ.

Требования к качеству и надежности сварных соединений устанавливаются в зависимости от особенностей условий эксплуатации сварной конструкции (характерных нагрузок и возможных последствий аварийных ситуаций). В соответствии с этими требо-

ваниями все сварные конструкции условно подразделяются на три группы.

Первая группа — *особо ответственные конструкции*, разрушение которых может привести к человеческим жертвам. К этой группе относятся сосуды и трубопроводы, работающие под давлением выше 0,07 МПа, грузоподъемные машины и механизмы, транспортные средства и устройства, промышленные здания и другие подобные сооружения, эксплуатирующиеся в особых условиях (повышенная сейсмичность, вибрационные нагрузки, агрессивные среды и др.).

Вторая группа — *ответственные конструкции*, разрушение которых связано с большими материальными потерями.

Третья группа — *неответственные конструкции*.

Наземные транспортные средства, мачтовые конструкции, мосты, трубопроводы, сосуды, плотины, электростанции, порты, доки, нефтеперерабатывающие заводы — на всех этих объектах найдется работа для сварщика.

Одни сварные узлы и конструкции изготавливают в условиях стационарного производства, другие — в так называемых полевых условиях. Наиболее сложные научно-инженерные и производственные задачи решаются при разработке проектов по освоению сырьевых запасов в условиях вечной мерзлоты и прибрежного морского шельфа. Для надежной и длительной работоспособности сварных конструкций в этих условиях необходимо применять металлы и сплавы с особыми свойствами, наиболее совершенные технологии сборки и сварки конструкций и самое современное сварочное оборудование.

Разнообразие сварных конструкций затрудняет их четкую классификацию. По способу изготовления различают листовые, листосварные, кованосварные и штампосварные конструкции; по назначению — вагонные, судовые, авиационные и т.д.; по толщине металла — тонко- и толстостенные; по применяемым материалам — стальные, титановые, железобетонные и др.

Сварные конструкции условно подразделяют на восемь групп (типов): плоскостные, балочные, рамные, корпусные, решетчатые, цилиндрические, детали и узлы машин и прочие (не вошедшие в семь названных групп классификации).

Сварные конструкции, как и составляющие их секции и узлы, в процессе эксплуатации воспринимают различные нагрузки: статические и динамические, вибрационные и ударные. Сварные соединения элементов и узлов балок, образующих рамные конструк-

ции, работают на сжатие, растяжение и срез. Стойки и колонны, образующие фермы, мачты и каркасы, свариваемые встыковочных узлах, в процессе работы воспринимают главным образом статические нагрузки.

Корпуса судов, вагонов, автомобилей и авиацайнеров представляют собой корпусные конструкции, работающие в условиях вибрации и динамических нагрузок. Они должны обладать высокой жесткостью при минимальной массе. Основное требование, предъявляемое к судам, работающим под давлением или вакуумом, — герметичность и прочность сварных швов.

Колеса, валы, муфты, шестерни, шкивы и станины рассматриваются как детали машин и приборов, которые работают преимущественно при знакопеременных и вибрационных нагрузках.

На стадии проектирования работу по составлению технологии сборки и сварки выполняют с учетом возможности экономии металла и времени, а также снижения трудоемкости производства. При проектировании технологических процессов изготовления сварных конструкций руководствуются правилами Единой системы технологической документации, представляющей собой комплекс государственных стандартов, устанавливающих правила и положения разработки, оформления и обращения технологической документации.

Проектирование технологических процессов включает в себя разработку технологических операций на все виды работ, составление норм времени и материальных затрат на выполнение операций, определение методов и средств технического контроля, разработку приспособлений (оснастки) для сборки и сварки как отдельных узлов, так и конструкций. Технологические операции вносятся в операционные карты, которые содержат подробное описание технологических режимов, операционные эскизы и таблицы, необходимые для понимания и выполнения операций. На некоторых предприятиях применяют свои (внутризаводские) формы технологических маршрутных и операционных карт, установленные стандартами этих предприятий, но при соблюдении требований ЕСТД.

В зависимости от типа производства (единичное, мелкосерийное, серийное, крупносерийное, массовое) выбирают способы сварки и оценивают финансовые возможности приобретения необходимого сборочного и сварочного оборудования. На действующих предприятиях постоянно обновляется парк сварочного оборудования и совершенствуется технология сварки. Неизменным остается следующий принцип: параметры сварочных режимов, за-

писанные в технологических картах, являются обязательными к исполнению. Произвольное изменение силы сварочного тока или замена электродов недопустимы. Любые изменения должны быть согласованы и разрешены в установленном порядке.

В зависимости от назначения сварной конструкции или узла различают перспективные и рабочие технологические процессы (ТП).

При составлении перспективных ТП определяется последовательность основных операций. Конструкция разбивается на отдельные узлы или элементы. Составляется поузловая схема сборки и сварки конструкции. Выбираются сборочно-сварочные типовые приспособления (оснастка) или осуществляется эскизная проработка специальных приспособлений. Производятся предварительные расчеты ожидаемых напряжений и деформаций. После сравнения нескольких вариантов технологии изготовления конструкции принятый вариант утверждается, и начинается рабочее проектирование: составление нормативной конструкторской и технологической документации.

Общие правила заполнения нормативной документации устанавливает ГОСТ 3.1705—81. Документы общего назначения — титульный лист, карта эскизов и технологическая инструкция составляются по отдельности или в комплекте документов на технологический процесс. Документы специального назначения — маршрутная карта (МК), карта технологического процесса (КТП), карта типового технологического процесса (КТТП) или универсальная карта типового технологического процесса, операционная карта (ОК), карта типовой операции, комплектовочная карта, технико-помарковочная карта, карта кодирования информации и другие составляются непосредственно при описании технологического процесса. Комплектность нормативных технических документов (ТД) зависит от типа производства (единичное, серийное и массовое). Каждому документу присваивается самостоятельное обозначение в виде цифрового кода. Например, код ТД 0229031 расшифровывается следующим образом: 02 — комплект документов ТП; 2 — типовой процесс; 9031 — дуговая сварка покрытым электродом.

Коды основных сборочно-сварочных операций технологического процесса приведены в табл. 10.1.

Записи в технической документации (терминология и классификация видов сварки, сварных швов и соединений, сварочного оборудования и материалов) должны соответствовать требованиям ГОСТ 2601—84* и 19521—74.

Таблица 10.1. Коды сборочно-сварочных операций

Запись операции	Код
Сварка	9000
Контактная сварка	9010
Диффузионная сварка	9020
Дуговая сварка	9030
Дуговая сварка покрытым электродом	9031
Дуговая сварка порошковой проволокой	9034
Дуговая сварка под флюсом	9035
Дуговая сварка в инертных газах плавящимся электродом	9039
Дуговая сварка в инертных газах неплавящимся электродом с присадочным металлом	9041
Дуговая сварка в инертных газах неплавящимся электродом без присадочного металла	9042
Дуговая сварка в углекислом газе сплошной проволокой	9043
Дуговая сварка в углекислом газе порошковой проволокой	9044
Дуговая сварка в углекислом газе неплавящимся электродом с присадочным металлом	9045
Дуговая сварка в углекислом газе неплавящимся электродом без присадочного металла	9046
Дуговая сварка в смеси инертных и активных газов плавящимся электродом	9051
Дуговая сварка в вакууме плавящимся электродом	9056
Дуговая сварка в вакууме неплавящимся электродом с присадочным металлом	9057
Дуговая сварка в вакууме неплавящимся электродом без присадочного металла	9058
Электрошлаковая сварка	9061
Электронно-лучевая сварка	9062
Плазменная сварка	9063
Газовая сварка	9068

Окончание табл. 10.1

Запись операции	Код
Сборочно-подготовительная	8862
Сборочно-монтажная	8863
Слесарно-сборочная	8864
Термическая обработка	5000
Комплексный контроль геометрических параметров	0260
Контроль неразрушающий акустический	0376
Контроль неразрушающий вихреветковый	0377
Контроль неразрушающий магнитный	0378
Контроль неразрушающий радиационный	0382
Контроль неразрушающий проникающими веществами	0386
Испытания механические	0620
Испытания на герметичность	0675
Перемещение	0400
Транспортирование	0401
Складирование	0440
Правка	2156
Комплектование	0418
Крепление	0112
Базирование	8801
Разметка	0101
Гибка	2129

Записи наименований операций (переходов) должны выполняться в МК, КТП, КТПП, ОК, ведомостях оснастки и оборудования. Применяются следующие формы записи: полная, краткая и по кодовым обозначениям. Полная запись предназначена для маршрутных карт при описании технологического процесса в единичном или мелкосерийном производстве, а также в МК, КТП или КТПП и ОК при операционном и маршрутно-операционном описании технологического процесса, если входящие в операцию пе-

реходы не различаются по способу сварки. В противном случае допускается *краткая запись*.

Номера операций ТП записываются числами ряда арифметической прогрессии: 5, 10, 15 и т.д. В процессе корректирования ТП вновь вводимые операции получают промежуточные номера, не кратные пяти.

Записи операций (переходов) должны содержать ключевые слова, раскрывающие содержание: наименование свариваемых деталей, номер позиции по чертежу или эскизу, указания на выполняемые сварные швы, информацию о прихватках, наименование способа сварки и операции (перехода) по разметке, упору или фиксаторам, положение шва в пространстве, последовательность выполнения швов, температуру предварительного или сопутствующего подогрева и т.д. Дополнительные или особые требования к операции указываются в графе «Особые требования».

При описании операций следует соблюдать их технологическую последовательность: переход, установка, сборка, сварка и очистка (если операции выполняются на одном и том же рабочем месте). Номера переходов в технологическом процессе проставляются числами натурального ряда (1, 2, 3 и т.д.).

Разработанные технологические процессы утверждаются в установленном порядке. Подписи специалистов, разработавших и утвердивших документ, являются обязательными. Перед утверждением документа подписывается и представитель нормоконтроля. Если все документы разрабатываются одним технологом, то его подпись проставляется один раз в графе «Разработал».

Технологическая карта — это основной производственный документ. Бланк типовой технологической карты сборочно-сварочных работ (МК/КТП) представлен на рис. 10.1.

Данная карта содержит строки А, Б, К (или М), Р и графы. В строке А, слева направо по графикам записывают номер цеха, номер участка, РМ — рабочее место, операцию, код и наименование операции.

В строке Б указывают код и наименование оборудования, СМ — степень механизации (РС — ручная сборка, МС — механизированная сборка), профессию (сборщик или сварщик), Р — разряд рабочего, УГ — условия труда (Л — легкие, В — вредные), КР — число занятых на операции рабочих, КОИД — число деталей при выполнении одной операции, ЕН — единицу нормирования расхода материала или норму времени, ОП — объем партии, шт., в условиях серийного производства, $K_{шт}$ — коэффициент штучного времени (для сварочных работ не записывают); $T_{п-з}$ —

Разработал				Предприятие	Номер сварной конструкции или узла				Номер комплекта документов						
Нач. бюро															
Нормир.															
Н. контр.															
A	Цех	Уч.	РМ	Опер.	Код, наименование операции		Обозначение документа								
B					СМ	Проф.	P	УТ	KР	КОИД	ЕН	ОП	$K_{шт}$	$T_{шт-з}$	$T_{шт}$
K (или M)	Наименование детали, сборочной единицы или материала				Обозначение, код					ОПП	ЕМ	ЕН	КИ	$N_{расх}$	
P					Тип	Катет	Длина	Положение	Поляр.	U_A	I_{cb}	$V_{п.п}$			
1															
2															
3															
4															
5															
6															
7															
8															
9															
10															

169

Рис. 10.1. Бланк типовой технологической карты сборочно-сварочных работ

подготовительно-заключительное время, затрачиваемое на выполнение операций и $T_{шт}$ — штучное время, необходимое для выполнения операций.

В строку К (или М) вносится следующая информация: наименование детали по ЕСТД, марка свариваемого металла, марка покрытого электрода или марка и диаметр электродной проволоки, данные о применяемом флюсе или защитной газовой среде. Графы «Обозначение, код» и «ОПП» (откуда поступает партия деталей) заполняются в соответствии со стандартами ЕСТД (обычно в графе «ОПП» указывается номер цеха). Далее указывают ЕМ — единицу измерения массы узла, кг; ЕН — единицу нормирования расхода вспомогательных материалов, кг (для электродов, флюсов и защитных газов) или л/мин (чаще всего используемая единица нормирования для защитных газов); КИ — число одновременно свариваемых узлов; $H_{расх}$ — расход сварочных материалов, кг.

Строка Р содержит следующую информацию: тип сварного шва или соединения; катет и длину сварного шва, мм; положение шва в пространстве, род и полярность сварочного тока; напряжение дуги, В; силу сварочного тока, А; скорость подачи проволоки или скорость сварки, м/ч.

В производственных условиях при разработке технологических процессов сборки и сварки металлоконструкций или узлов составляют комплект документов, включающий в себя сборочный чертеж, чертежи деталей со спецификациями, карты комплектации и маршрутно-операционные карты с присвоением заводских номеров. Заводскими номерами снабжают также оборудование и инструмент.

Комплект документов оформляется в соответствии с требованиями стандартов. Титульный лист заполняется по ГОСТ 3.1105—84 (формы 2 и 091—330), карта комплектации — по ГОСТ 3.1118—82 (формы 16 и 091—332а), а маршрутно-операционная карта — по ГОСТ 3.1118—82 (формы 16 и 091—332а) со ссылками на заводские номера чертежей оборудования и инструмента.

10.2. ПОДГОТОВКА МЕТАЛЛА ПЕРЕД СВАРКОЙ

Исходным металлом для производства сварочных работ являются прокат, литье и поковки. Чаще всего на машиностроительных предприятиях металл получают с завода-изготовителя в виде проката (лист, лента, полоса, труба, уголок и другой профиль). Литье и поковки могут быть собственного производства. После по-

лучения металла со склада на заготовительном участке его подвергают первоначальной обработке: очищают, правят и нарезают заготовки из тяжелых и громоздких листов и профильного проката для облегчения их транспортирования и выполнения дальнейших операций по подготовке деталей под сварку. Нарезанные заготовки подвергают предварительной правке с последующей очисткой поверхности.

Предварительную правку тонколистового металла производят, как правило, в холодном состоянии на правильных станках или вручную на правильных плитах. Толстолистовые заготовки нагревают и деформируют на прессах.

Резку заготовок осуществляют на отрезных станках по упорам. Наиболее универсальным способом раскроя фигурных заготовок из низкоуглеродистых сталей является газопламенная (кислородная) резка по шаблонам или лекалам. Раскрой заготовок из тугоплавких металлов и высоколегированных сталей производят на установках плазменной или лазерной резки. Эти способы в настоящее время получают все более широкое распространение, так как современное оборудование оснащается системой программного обеспечения, что позволяет значительно уменьшить припуск на последующую чистовую обработку свариваемых деталей и узлов.

Дальнейшая обработка деталей после предварительной подготовки связана с последовательным осуществлением ряда технологических операций (разметка, резка, штамповка, очистка, правка, выполнение скоса кромок или отбортовки и гибка гнутого профиля собственного изготовления).

Разметка служит для нанесения на исходный металл конфигурации детали по чертежу. Разметку выполняют с припуском. Припуск (разность между размером заготовки и чистовым размером детали) снимают при последующей обработке. Разметку производят на разметочных столах или плитах необходимых размеров с помощью различных инструментов: металлических метров, рулеток, линеек, чертилок, кернеров, циркулей, штангенциркулей, рейсмасов, угольников и т.д. Для получения более четкого очертания заготовки на поверхность металла предварительно наносят белую клеевую краску. При большом числе деталей разметку производят по плоским шаблонам. Чертилкой или мелом обводят контур детали, а затем по всей длине линии обвода намечают керны с шагом 50...100 мм.

Резка производится кислородными резаками по намеченной линии контура детали вручную или газорезательными машинами

специального назначения. Резка на механических установках более производительна и обеспечивает высокое качество реза. Для механической прямолинейной (продольной и поперечной) резки тонколистового металла используются пресс-ножницы. Современные стационарные плазморезательные и лазерные установки оснащены программирующим устройством, в которое заносятся режимы резки и карта раскroя (чертеж детали), что исключает ряд предварительных операций. Работу выполняет один оператор.

Штамповка заготовок осуществляется в холодном или горячем состоянии. Холодную штамповку применяют для тонколистового металла толщиной до 4 мм. Для металла толщиной 6...10 мм используют прессование с предварительным нагревом.

Механическая очистка металла производится для удаления с поверхности кромок деталей заусенцев (после штамповки), а также окалины и шлаков (после кислородной резки). Мелкие детали очищают на стационарных установках с наждачными кругами или в галтовочных барабанах. Для очистки крупногабаритных деталей применяют переносные пневматические или электрические шлифовальные машинки. Очистку заготовок от окалины после горячего деформирования выполняют на дробеструйных установках.

Правка деталей и заготовок осуществляется на листоправильных вальцах или вручную на правильной плите при их возможном искривлении в процессе предварительной обработки, кислородной резки, горячего деформирования или резки на механических ножницах. Правку тонколистового металла производят в холодном состоянии на листоправильных вальцах или прессах. Правку толстолистового металла выполняют вручную на правильных плитах при повторном нагревании.

Разделку кромок деталей из низкоуглеродистой стали большой толщины осуществляют кислородной резкой или обработкой на кромкострогальных или фрезерных станках.

Отбортировка кромок используется при сварке деталей из тонколистового металла. Эту операцию производят на кромкогибочных прессах или специальных станках.

При изготовлении различных сосудов **гибку листов** выполняют на вальцегибочных установках. Полученная при этом деталь имеет форму цилиндра или овала и называется обечайкой.

При сварке трубных соединений применяются труборазметчики, механические трубо-, фаско- и кромкорезы — для подготовки кромок стыкуемых торцов или других участков соединения (труба к трубе), а также калибровочные устройства — для устра-

нения овальности или деформации кромок стыкуемых концов труб.

Непосредственно перед сваркой осуществляется дополнительная очистка деталей механическими или химическими способами. Наиболее прогрессивным способом очистки деталей является травление в растворах кислот или щелочей.

Химическое травление растворами кислот позволяет удалить загрязнения, смазочные масла и ржавчину со стальных деталей. Для обработки поверхности деталей из конструкционных углеродистых сталей в серийном производстве на машиностроительных заводах обычно используется раствор следующего состава: тринатрий фосфат по ГОСТ 201—76 (15...50 г/л), кальцинированная сода по ГОСТ 10689—75 (5...30 г/л), жидкое стекло по ГОСТ 13078—81 (3...5 г/л), хромпик калиевый по ГОСТ 2652—78 (0,5...1,0 г/л) и фосфорная кислота по ГОСТ 10678—76 (0,5...1,0 г/л).

Чтобы не допустить повторного загрязнения стальных деталей и появления на них ржавчины, вдоль линии наложения швов закрашивают слабыми грунтовочными красками-пассиваторами полосу шириной 20...25 мм. Для удаления смазочных масел, загрязнений и оксидной пленки с поверхностей деталей из алюминия и его сплавов применяют щелочные растворы.

Однако не всегда представляется возможным осуществлять подготовку металла под сварку в полном объеме с использованием промышленного оборудования. Например, при выполнении строительно-монтажных работ детали собирают в узлы, правят и подгоняют на предмонтажной площадке.

Правка полосы (рис. 10.2) осуществляется на рихтовочной плите. Визуально определяется деформированный участок и молот-

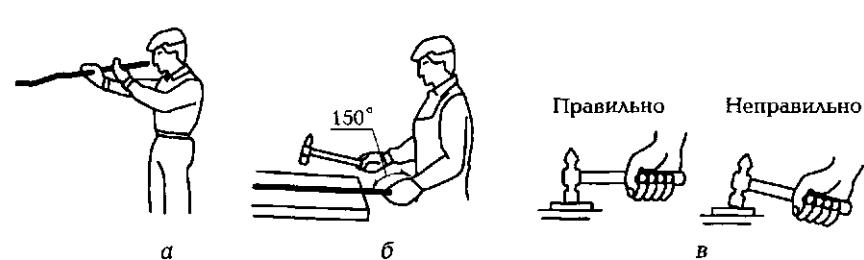


Рис. 10.2. Правка (рихтовка) полосы:

а — определение деформированного участка; б — правка на рихтовочной плите; в — положение бойка-молотка

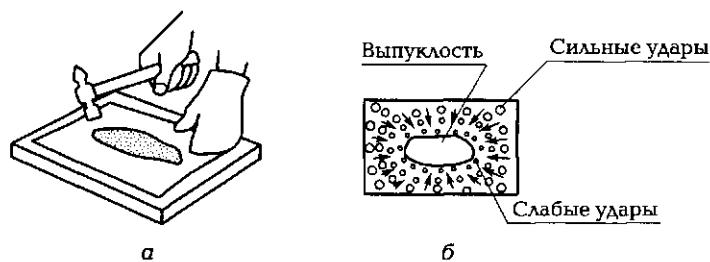


Рис. 10.3. Правка листа:
а — нанесение ударов; б — расположение выпуклости детали

ком выправляется кривизна. Более тщательная рихтовка осуществляется при определении просвета между поверхностью плиты и полосой.

Ответственные сварные детали требуют более точной подгонки.

Правка листа (рис. 10.3) более трудоемкая и требует определенного навыка. На правильной плите молотком наносят удары от края к середине выпуклости до обеспечения плотного прилегания листа к поверхности плиты.

При гибке деталей из полосового металла (рис. 10.4), разметив линиигибки, деталь 4 устанавливают в тиски 1 с оправкой 3 и подложкой 2, после чего ударами молотка детальгибают на угол 90° или на другой заданный угол.

Гибка трубы может осуществляться как в холодном (рис. 10.5), так и в нагретом состоянии. В холодном состоянии (рис. 10.5, а) гибочную оправку 1 прикрепляют к верстаку 2 скобами 3 с двух сторон. Трубу устанавливают в желоб оправки под хомут 4. Плавно нажимая руками, свободный конец трубыгибают по шаблону. Гибку трубы в нагретом состоянии (рис. 10.5, б) выполняют следу-

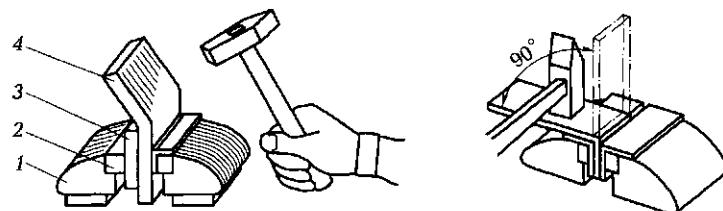


Рис. 10.4. Гибка деталей из полосового металла:
1 — тиски; 2 — подложка; 3 — оправка; 4 — деталь

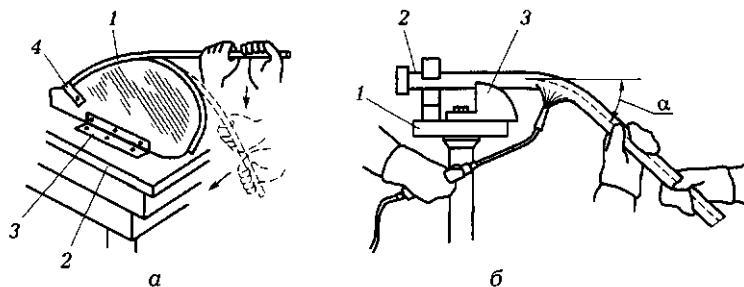


Рис. 10.5. Гибка трубы:

a — в холодном состоянии: 1 — оправка с желобом; 2 — верстак; 3 — скоба; 4 — хомут;
б — в нагретом состоянии: 1 — приспособление; 2 — труба; 3 — копир; α — угол изгиба

ющим образом. Размечают мелом по шаблону место изгиба трубы. Закрыв один конец трубы заглушкой, заполняют ее сухим просеянным через сито песком. Другой конец трубы забивают заглушкой с отверстием для выхода газов. Трубу 2 устанавливают в приспособление 1, нагревают пламенем горелки и изгибают по копиру 3.

Разметку плоских деталей производят по шаблонам. Заготовку покрывают меловым раствором и помещают на разметочную плиту. Наложив на заготовку шаблон, чертилкой проводят риску по контуру шаблона. Разметку можно выполнять и по угольнику, когда заготовка имеет ровную обработанную сторону. Угольник накладывают на размеченную поверхность и чертилкой наносят риски в соответствии с чертежом детали. Перемещая угольник вдоль обработанной стороны, по полученным рискам наносят керны для сохранения очертания профиля детали. Кернер острым концом устанавливают под углом в центр разметочной риски, затем выставляют его в вертикальное положение и наносят мягкий удар молотком.

Резка металла ножовочным полотном осуществляется по линии реза, нанесенной чертилкой или мелом. Заготовку закрепляют в тисках и напильником выполняют пропил глубиной 1...1,5 мм. Затем ножовочное полотно станка устанавливают в пропил и производят резку. При резке тонколистового металла ножовочное полотно устанавливают под углом 90° к корпусу станка.

При резке трубы ручным труборезом сначала отмечают мелом место реза по ее окружности. Затем трубу устанавливают в специальном прижиме, и к месту реза подводят труборез. Подвижный ролик перемещают до соприкосновения с трубой вращением руко-

ятки трубореза. Повернув рукоятку трубореза на $1/4$ оборота по часовой стрелке, врачают труборез и прорезают трубу на первом участке на глубину реза. После каждого вращения труборез рукоятку подворачивают на $1/4$ оборота до полного отрезания трубы. Место реза смазывают маслом для охлаждения режущих кромок роликов.

Рубка металла производится по разметке на заготовке с использованием плиты, наковальни или рельса. Мелом отмечают места рубки. Зубило устанавливают вертикально на риску и ударами молотка по головке зубила разрубают заготовку. Толстый листовой металл подрубают на половину толщины с обеих сторон заготовки. При рубке круглой заготовки ее необходимо поворачивать после каждого удара. Вырубку заготовок из листа осуществляют по разметке или по перемычкам отверстий, просверленных по контуру заготовки.

При разделке кромок для выполнения отбортировки чертилкой намечают линию гибки, заготовку устанавливают в тиски так, чтобы разметочная риска выходила за одну из губок тисков. Тупо заточенным зубилом подгибают кромку мягкими ударами молотка. Окончательную гибку завершают ударами молотка по подогнутой кромке до изгиба ее на угол 90° .

При разделке кромок под сварку со скосом заготовку размечают по заданным размерам, устанавливают в тиски и зубилом срубают кромки. Разделанные кромки обрабатывают напильником. После опиливания их размеры проверяют с помощью линейки или шаблона.

Подготовка металла перед сваркой включает в себя его правку, очистку от ржавчины, краски и других загрязнений металлической щеткой до блеска или пламенем газовой горелки на участке поверхности шириной 15...20 мм вдоль кромки.

10.3. СБОРКА ПОД СВАРКУ

При проектировании сварных конструкций их подразделяют на ряд секций, в каждой из которых содержится несколько узлов, состоящих из нескольких деталей. По схеме сборки и сварки определяется порядок выполнения сварных швов. В соответствии с числом секций или узлов в сварной конструкции и их размерами проектируют и изготавливают приспособления для сборки и сварки, рассчитывают продолжительность их загрузки и число, необходимое для обеспечения выполнения годовой программы с учё-

том размеров производственных площадей. В некоторых случаях приобретают типовые сборочные приспособления: кондукторы, установки, манипуляторы, кантователи, позиционеры, вращатели, роликовые стены.

Основное условие сборки деталей и узлов — их правильное взаимное расположение и закрепление с фиксацией сварочных зазоров между ними. Сборка может осуществляться с применением прихваток или в специальных сборочно-сварочных приспособлениях. Прихватки представляют собой короткие швы. Их число и размеры определяются технологическими условиями.

Процесс сборки сварного узла представляет собой определенную последовательность операций. Прежде всего, необходимо подать детали к месту сборки и установить их в сборочное приспособление по фиксаторам или упорам в определенном положении. В этом положении детали закрепляют, после чего приступают к

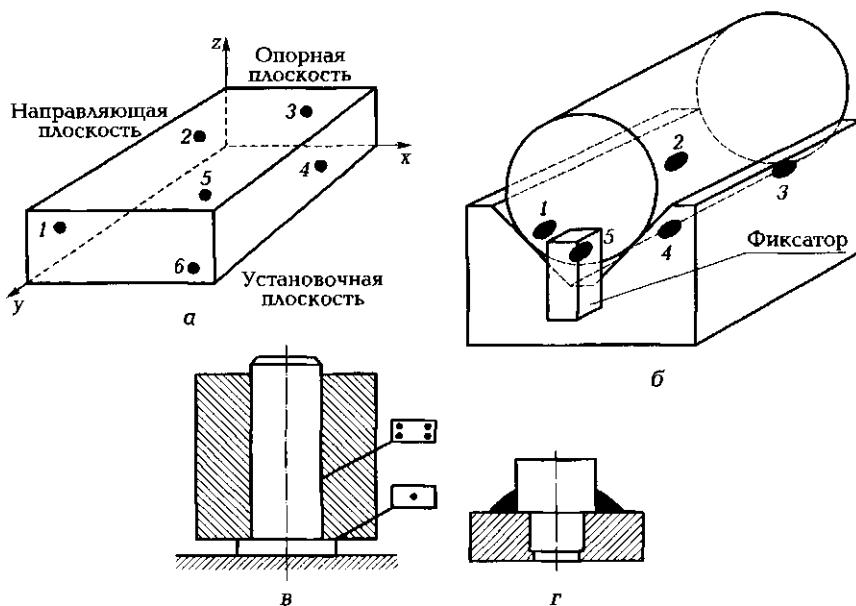


Рис. 10.6. Базирование детали плоской формы на трех плоскостях [а], цилиндрической детали — по призме [б], деталей с цилиндрическими отверстиями — по плоскости и цилинду [в], по плоскости цилиндра и цилиндрическому пальцу [г]:

1—6 — точки базирования; в вынесенных прямоугольниках указано число опорных точек на соответствующих поверхностях

сварке. Установка деталей в приспособлении осуществляется по правилам базирования.

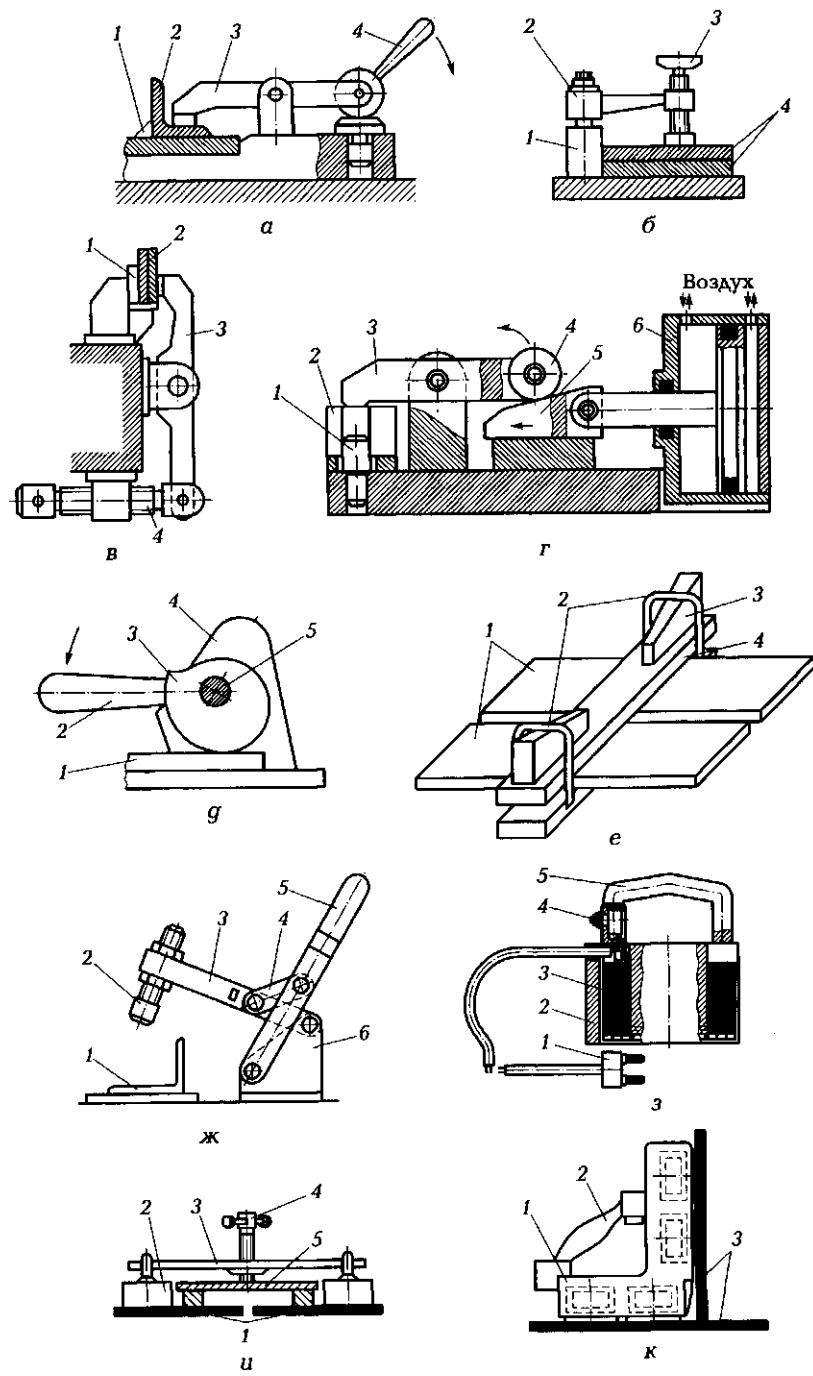
Базирование — это размещение детали в приспособлении таким образом, чтобы ее поверхности (технологические базы) опирались на установочные поверхности приспособления, упоров или фиксаторов (рис. 10.6). Рассмотрим схему базирования детали наиболее распространенной — плоской формы. Основная (базовая) деталь должна базироваться на трех опорных точках горизонтальной плоскости в трехмерной системе координат. По направляющей плоскости деталь фиксируется в двух точках, а по опорной вертикальной плоскости — в одной точке. Таким образом, если зафиксировать деталь во всех шести точках, то она будет находиться в заданном положении.

Цилиндрические детали обычно базируются по призме. Деталь в этом случае лишена возможности перемещаться во всех направлениях, но допускается ее вращение вокруг продольной оси. Если цилиндрическую деталь лишить возможности вращаться вокруг продольной оси, то она также будет находиться в строго определенном положении.

Деталь с цилиндрическим отверстием базируется, как правило, по пальцу-фиксатору приспособления, который входит в это отверстие. Первой базой определяется установочная плоскость осно-

Рис. 10.7. Конструкции зажимов и прижимов:

а — эксцентриковый зажим: 1 — упор-фиксатор; 2 — зажимаемая деталь; 3 — рычаг; 4 — рукоятка с эксцентриком; б — поворотный винтовой зажим: 1 — упор; 2 — поворотный рычаг; 3 — зажимной винт; 4 — зажимаемые детали; в — комбинированный: 1 — упор-фиксатор; 2 — зажимаемые детали; 3 — рычаг; 4 — зажимной винт; г — пневматический зажим: 1 — фиксатор; 2 — зажимаемая деталь; 3 — рычаг; 4 — ролик; 5 — клин; 6 — пневмоцилиндр; д — кулачковый зажим: 1 — зажимаемая деталь; 2 — рукоятка зажима; 3 — кулачок; 4 — стойка крепления кулачка; 5 — ось вращения кулачка; е — двухсторонний клиновой зажим: 1 — зажимаемые детали; 2 — скоба; 3 — клин; 4 — подкладка; ж — шарнирно-рычажный зажим: 1 — зажимаемая деталь; 2 — зажимной регулируемый винт с гайкой и контргайкой; 3 — рычаг; 4 — планка шарнира; 5 — рукоятка шарнира; 6 — стойка крепления шарнира; з — электромагнит: 1 — штекельная вилка питания электромагнита постоянного тока напряжением 24 В; 2 — корпус; 3 — обмотка электромагнита; 4 — тумблер; 5 — рукоятка-скоба для перемещения электромагнита; и — электромагнитный прижим для фиксирования кромок свариваемых деталей: 1 — прижимаемые детали; 2 — электромагнит; 3 — траверса крепления зажимного винта; 4 — зажимной винт; 5 — фиксирующая подкладка; к — электромагнитный прижим для фиксирования детали-листа в вертикальном положении при сборке и сварке угловых и тавровых соединений: 1 — корпус электромагнита; 2 — рукоятка-скоба для перемещения электромагнита; 3 — фиксируемые детали



вания детали. Второй базой обычно является плоскость детали, перпендикулярная оси отверстия.

Установочные элементы (упоры) применяют для обеспечения точности установки деталей сварного узла в сборочном приспособлении. Конструкция упоров не должна мешать съему узла после сварки. Расположение фиксаторов и упоров должно обеспечить доступ к месту сварки. Соответствующие прочность и жесткость упоров предотвращают деформацию узла в процессе сварки.

Зажимные элементы, к которым относятся зажимы и прижимы, предназначены для закрепления деталей сварной конструкции или узла в процессе сборки и сварки. Эти элементы обеспечивают заданное положение деталей и значение прижимного усилия, необходимого для их закрепления без сдвига относительно установочных баз. Конструкции зажимов и прижимов (рис. 10.7) должны обеспечивать их быстродействие и безопасность в работе.

В тех случаях, когда из-за сложности свариваемой конструкции или узла невозможно применить пневматические, электромагнитные и другие быстродействующие зажимные устройства, используют стационарные или переносные винтовые зажимы (приспособления). Они не обеспечивают быстродействия, но позволяют производить сборку с достаточно высокой точностью и надежностью.

К переносным сборочно-сварочным приспособлениям относятся всевозможные струбцины, стяжки, специальные фиксаторы, распорки, центраторы, домкраты и др. Наиболее часто применяют струбцины (рис. 10.8). Они служат для прижима двух и более деталей друг к другу или установки и закрепления деталей в заданном положении. Струбцины подразделяются на прижимные и установ-

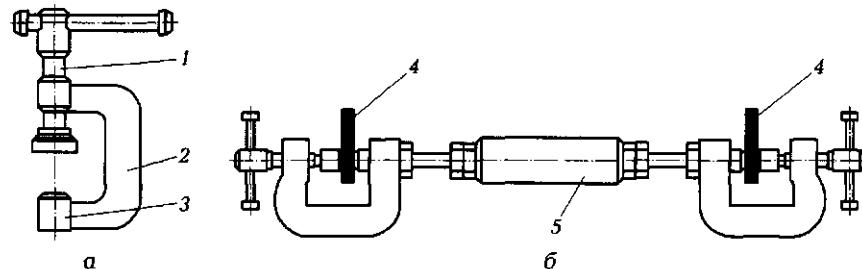
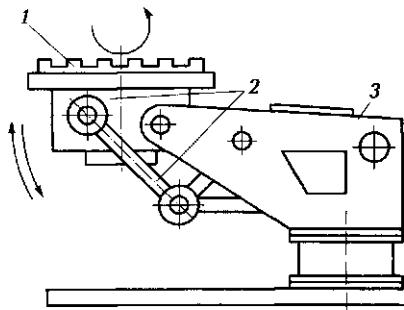


Рис. 10.8. Прижимная (а) и установочная (б) струбцины:
1 – прижимной винт с пятой; 2 – скоба-корпус; 3 – упор; 4 – зажимаемые детали;
5 – талреп

Рис. 10.9. Манипулятор-позиционер:

1 — стол с пазами для закрепления деталей; 2 — механизмы изменения угла наклона и вращения стола; 3 — корпус



вочные. Установочная струбцина (талреп) состоит из двух винтовых струбцин и натяжной гайки с правой и левой резьбой. Свариваемые детали или узлы закрепляют с соблюдением сварочных зазоров. Струбцины устанавливаются по чертежу.

Стационарные сборочно-сварочные приспособления и оборудование применяют в опытном или мелкосерийном производстве. Для сборки и сварки узлов или конструкций применяют литые массивные базовые блоки. Такие приспособления собирают из типовых блоков-плит, которые имеют пазы для установки прижимов. Из блоков составляют комплект по размерам сварных узлов. Для сварки мелких деталей и узлов используют сварочные столы с аналогичными пазами, которые фиксируют детали в заданном (на чертеже) положении. В серийном и массовом производстве применяют различные виды стационарного сборочно-сварочного оборудования с более высокой степенью механизации: манипуляторы, вращатели, кантователи, кондукторы, стеллажи, установки, стапели и др.

Для установки небольших свариваемых узлов в удобное для сварки положение вместо сварочных столов используют манипуляторы-позиционеры (рис. 10.9), которые позволяют вращать собранный под сварку узел с заданной скоростью при сварке деталей цилиндрической формы, а также изменять угол наклона оси вращения. Некоторые другие виды сборочно-сварочного оборудования показаны на рис. 10.10.

Свариваемые узлы собирают из большого числа деталей, установка которых в приспособление производится последовательно. Обычно их фиксируют независимо друг от друга. В процессе сварки детали подвергаются нагреву и охлаждению, поэтому изменяются их установочные зазоры. В связи с этим в сварочных

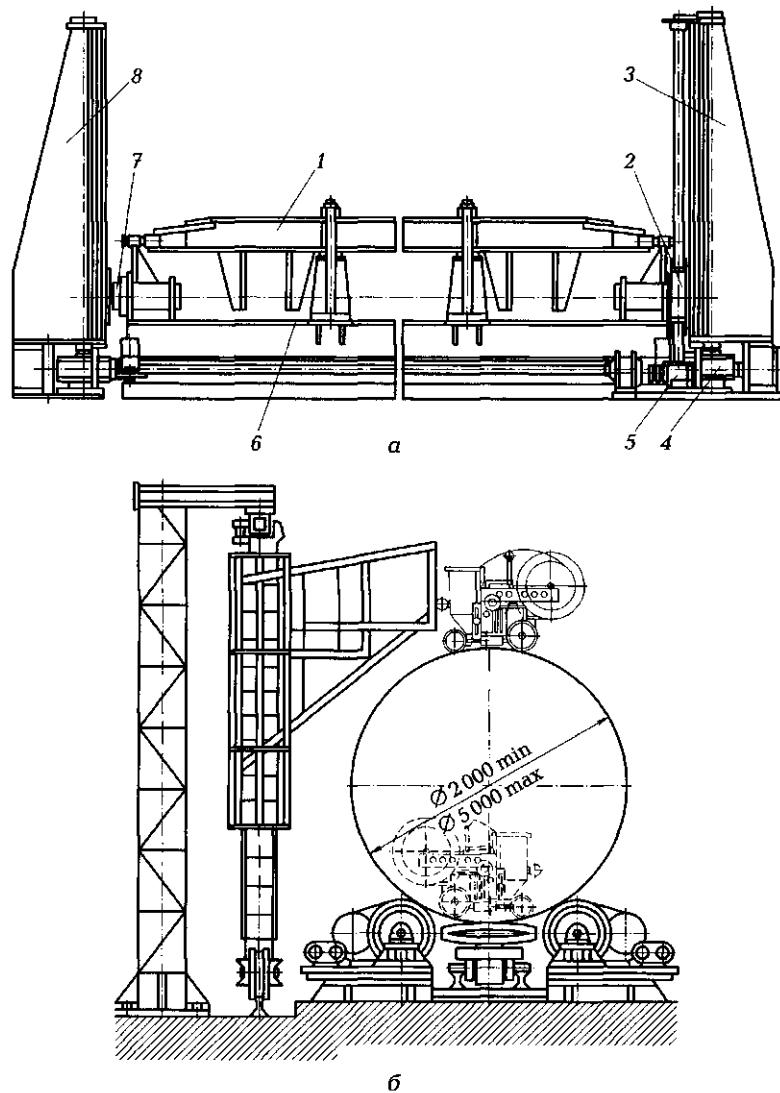


Рис. 10.10. Приспособления для сборки и сварки:
а — подъемно-поворотный кантователь для сборки и сварки рам; б — роликовый
стенд для сварки кольцевых швов емкостей большого диаметра; 1 — свариваемый
узел; 2 — ползун подъемника; 3, 8 — стойки; 4 — редуктор подъемника; 5 — редуктор
поворота; 6 — основание подъемника; 7 — цапфа

приспособлениях часто используют комбинированную сборку деталей, предусматривающую жесткую установку одних деталей в сочетании со свободной (полужесткой) установкой других, фиксируемых по разметке или по жестко установленным деталям. Необходимо помнить о том, что высокая точность сборки способствует повышению качества сварных швов и соединений.

В процессе эксплуатации приспособлений необходимо соблюдать ряд условий, обеспечивающих выпуск качественных сварных узлов и заданный срок их службы: не допускать забоин, выкрашивания или ожогов базовых поверхностей, по отношению к которым устанавливаются размеры сопрягаемых деталей; своевременно очищать установочные поверхности от брызг металла, шлака, электродных огарков или кусков сварочной проволоки; не допускать возбуждения дуги касанием о корпус приспособления, попадания электродных огарков или сварочной проволоки в механизм поворота приспособления; не приступать к работе при отсутствии актов проверки заземления и изоляции электропривода поворота приспособления.

Кузова транспортных средств собирают и сваривают по принципиально одинаковой схеме. Так, например, корпус вагона метрополитена представляет собой цельнометаллическую сварную конструкцию, состоящую из рамы, крыши, боковых и торцовых панелей. Рама корпуса собирается и сваривается на стапеле из поперечных и продольных балок, обвариваемых по периметру общим поясом из гнутого профиля. Боковые панели собираются и свариваются из от-



Рис. 10.11. Схема сборки и сварки кузова вагона метрополитена по укрупненным узлам

дельных секций — оконных и дверных, а каждая секция — из каркаса (гнутый профиль) и листов обшивки. Каркасы секций предварительно свариваются в отдельном приспособлении. Порядок сборки и сварки узлов, секций, панелей и самого корпуса вагона соответствует предварительно разработанной схеме (рис. 10.11).

Сборка корпуса осуществляется на общем стапеле. С помощью переносных стяжных струбцин в вертикальном положении на раме кузова выставляются и закрепляются боковые и торцовые панели. В местахстыковки секций производится сварка первичными прихватками. Крыша вагона устанавливается в последнюю очередь. Далее производится окончательная подгонка (припасовка) местстыковки всех боковых и торцовых панелей с конструктивными элементами крыши. Сварка вторичными прихватками производится после контрольной проверки посадочных размеров секций и габаритных размеров кузова. Этим обеспечивается жесткое закрепление всех секций и панелей, после чего можно приступить к наложению сварных швов.

Сборка укрупненными узлами или секциями с последующей сваркой по месту монтажа позволяет существенно сократить время изготовления корпуса. Контроль собранных под сварку узлов осуществляется в основном по сопрягаемым и габаритным размерам. Проверку размеров выполняют металлическими рулетками, линейками или шаблонами. Контроль после сварки осуществляют по техническим условиям на сварной узел, в которых указаны требования не только к качеству сварных швов, но и к размерам свариваемых узлов.

При экспериментальном производстве изделий не всегда представляется возможность разработать типовую технологию сборки и сварки конструкции и зафиксировать параметры режимов сварки. В этих случаях сварщик должен руководствоваться рекомендациями, содержащимися в справочной литературе. Параметры режимов сварки заданного металла и его толщина могут быть рассчитаны либо выбраны по таблицам или номограммам.

Однако в справочной литературе приводится весьма широкий диапазон параметров. Даже при использовании расчетных параметров режимов сварки на практике требуется их уточнение. Для этого сваривают образцы, которые подвергают испытаниям для корректирования сварочных режимов в зависимости от качества, получаемого сварного шва. Стабильный процесс сварки с хорошими технологическими характеристиками возможен только в определенном диапазоне значений силы сварочного тока, которая зависит от диаметра и химического состава электрода, а также рода

применяемой защиты (покрытие электрода, защитный газ или флюс). В конечном итоге только оптимальное значение силы тока определяет требуемую глубину проплавления металла и производительность сварочного процесса.

10.4. СПОСОБЫ ВЫПОЛНЕНИЯ СВАРНЫХ ШВОВ ПРИ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКЕ

Для начинающего сварщика, выполняющего ручную дуговую сварку, важно овладеть навыком возбуждения (зажигания) дуги кратковременным прикосновением (постукиванием либо чирканием) торца стержня покрытого электрода к поверхности свариваемой детали. Технические приемы возбуждения дуги и формирования сварного шва показаны на рис. 10.12—10.15.

Качество сварных швов зависит от квалификации сварщика. Сварщик должен уметь быстро возбуждать дугу, поддерживать ее необходимую длину, равномерно перемещать дугу вдоль кромок свариваемых деталей, выполнять необходимые колебательные движения электродом при сварке и другие вспомогательные операции. Наиболее широкое распространение из всех способов выполнения сварочных работ получила ручная дуговая сварка покрытыми электродами на постоянном или переменном токе. Дугу следует перемещать таким образом, чтобы кромки свариваемых деталей проплавлялись с образованием требуемого количества наплавленного металла и заданной формы шва.

Существуют разные способы выполнения швов. Выбор контактного способа сварки зависит от длины шва и толщины свариваемого металла. Условно считают швы длиной до 250 мм короткими, длиной 250...1 000 мм — средними, а более 1 000 мм — длинными.

Короткие швы обычно сваривают напроход, швы средней длины — от середины к краям либо обратноступенчатым способом. Длинные швы однопроходныхстыковых соединений, первый проход многопроходных швов и угловые швы выполняют от середины к краям обратноступенчатым способом.

Обратноступенчатая сварка является наиболее эффективным способом уменьшения остаточных напряжений, деформаций и перемещений свариваемых деталей. Предыдущий шов остывает до температуры 200...300 °С. При охлаждении шва одновременно с уменьшением его ширины сокращается и первоначально расширившийся зазор. Именно поэтому остаточные деформации стано-

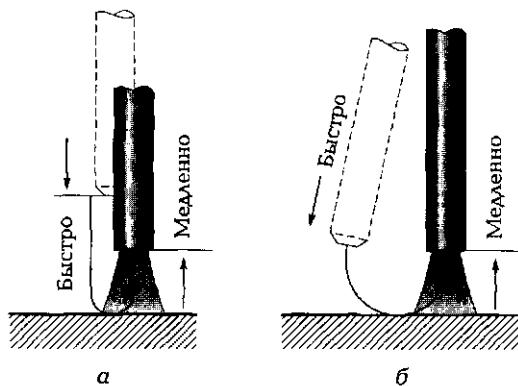


Рис. 10.12. Возбуждение дуги покрытым электродом:
а — постукиванием; б — чирканьем

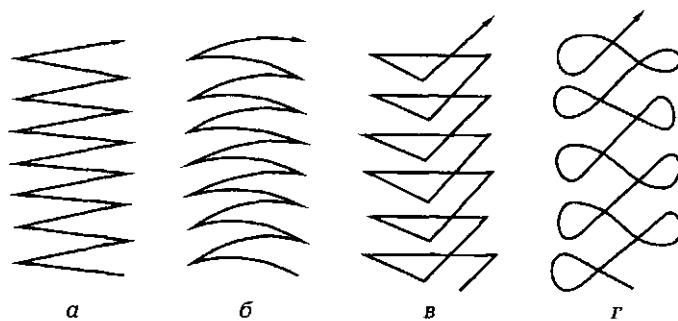


Рис. 10.13. Траектории движения конца электрода:
а — зигзагообразная; б — полумесяцем; в — треугольником; г — петлеобразная

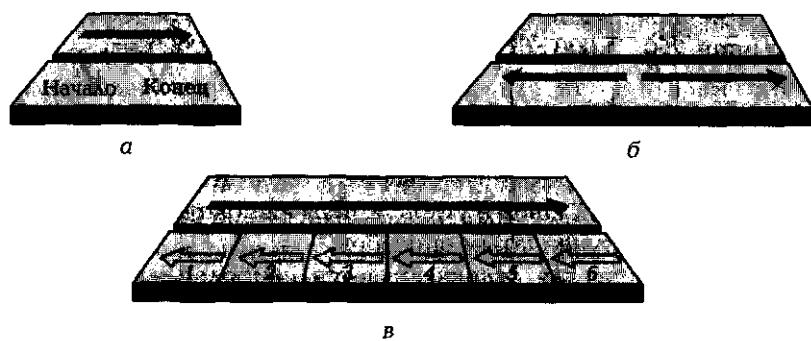


Рис. 10.14. Способы выполнения сварных швов по длине:
а — напроход; б — от середины к краям деталей; в — обратноступенчатый; 1—6 —
порядок выполнения швов

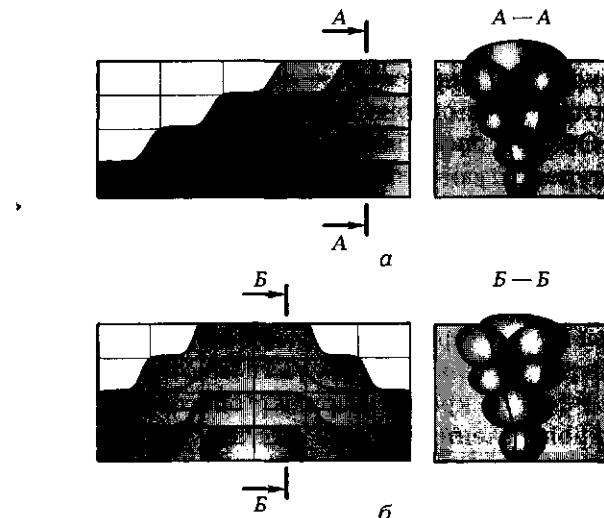


Рис. 10.15. Заполнение разделки кромок при сварке деталей большой толщины каскадом (а) и горкой (б)

вятся минимальными. При сварке стыковых или угловых швов большого сечения шов выполняется несколькими слоями. При этом каждый слой средней и верхней частей шва может свариваться как за один, так и за несколько проходов.

С позиции уменьшения остаточных деформаций сварка за один проход предпочтительнее. Однако если ширина шва достигает 14...16 мм, то чаще всего применяется многопроходный способ сварки. При сварке металла толщиной более 10 мм выполнение каждого слоя напроход нежелательно, так как это приводит к значительным деформациям и образованию трещин в первых слоях, которые успевают остывать. Для предотвращения образования трещин заполнение разделки кромок при ручной дуговой сварке следует производить каскадным способом или горкой. В этом случае каждый последующий слой накладывается на еще не успевший остывть предыдущий, что позволяет уменьшить сварочные напряжения, деформации и перемещения свариваемых деталей.

При каскадном способе заполнения шва его делят на короткие участки длиной до 200 мм и производят сварку каждого участка. По окончании сварки первого слоя первого участка, не останавливаясь, продолжают выполнение первого слоя на соседнем участке. При этом каждый последующий слой наплавляется на металл

предыдущего слоя, не давая ему охладиться ниже температуры 200 °С.

Сварка горкой, являющаяся разновидностью каскадного способа, производится двумя сварщиками одновременно от середины шва к краям. Оба эти способа выполнения шва представляют собой обратноступенчатую сварку. При правильно выбранных режимах ручной дуговой сварки в нижнем положении возможно качественное проплавление металла шва на глубину 3...4 мм. Чтобы обеспечить достаточное проплавления шва при сварке металла большой толщины применяют разные формы свариваемых кромок. Некоторые из этих форм приведены на рис. 10.16. Геометрические параметры разделки кромок указывают на чертежах.

При выборе формы кромок наряду с обеспечением необходимой глубины проплавления металла следует учитывать технологические и экономические условия процесса сварки. Например,стыковые соединения с односторонней разделкой кромок рекомендуется использовать для металла толщиной 3...20 мм. При большей толщине свариваемого металла резко возрастает масса наплавленного металла. При толщине основного металла до 60 мм применяется двухсторонняя разделка кромок. В этом случае количество наплавленного металла почти вдвое меньше, чем при односторонней разделке кромок, что приводит к снижению напряжений в шве и уменьшению деформаций сварного соединения.

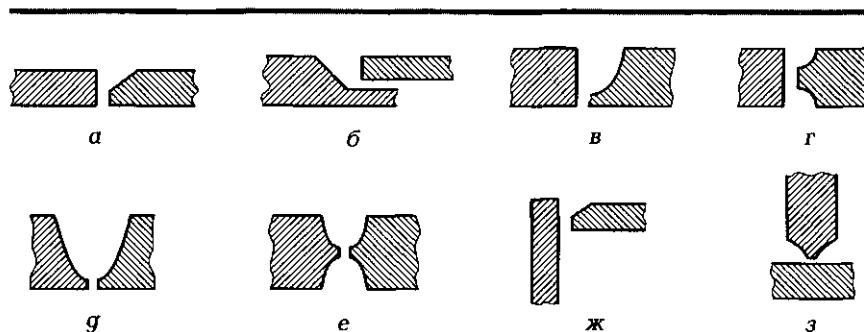


Рис. 10.16. Формы кромок, подготовленных под сварку:

а — прямолинейный скос одной кромки; б — замковая форма; в — криволинейный скос одной кромки; г — криволинейный двухсторонний скос одной кромки; д — криволинейный односторонний скос двух кромок; е — криволинейный двухсторонний скос двух кромок; ж — односторонний прямолинейный скос горизонтальной полки; з — двухсторонний криволинейный скос вертикальной стенки (для ответственных сварных конструкций)

Режимом сварки называют совокупность характеристик сварочного процесса, обеспечивающих получение сварных швов заданных размеров, формы и качества. При ручной дуговой сварке такими характеристиками являются диаметр покрытого электрода, сила сварочного тока, напряжение дуги, скорость сварки, род тока, полярность и др. Диаметр покрытого электрода зависит от толщины свариваемых деталей:

Толщина свариваемых деталей, мм	1 ... 2	3	4 ... 5	6 ... 12
Диаметр покрытого электрода, мм.....	1,5 ... 2	3	3 ... 4	4 ... 5

При сварке многопроходных швов стремятся выполнять все проходы на одних и тех же режимах. Исключением является первый проход. При ручной дуговой сварке многопроходных швов первый проход осуществляют, как правило, электродами диаметром 3...4 мм, поскольку применение электродов большего диаметра затрудняет проплавление корня шва.

Для приближенных расчетов силы сварочного тока, А, на практике используют формулу

$$I_{cb} = kd,$$

где k — коэффициент; d — диаметр стержня электрода, мм.

Зависимость между d и k следующая:

d , мм.....	1 ... 2	3 ... 4	5 ... 6
k , А/мм.....	25 ... 30	30 ... 45	45 ... 60

При недостаточной силе сварочного тока дуга горит неустойчиво, а при чрезмерной силе тока покрытый электрод плавится слишком интенсивно, вследствие чего усиливается разбрызгивание металла, возрастают его потери и ухудшается формирование шва.

Допустимая плотность тока зависит от диаметра электрода и вида его покрытия. Чем больше диаметр электрода, тем меньше допустимая плотность тока, так как ухудшаются условия охлаждения. Вид покрытия оказывает заметное влияние на скорость плавления электрода.

Напряжение дуги при ручной дуговой сварке изменяется в пределах 18...30 В и при проектировании технологических процессов ручной сварки не регламентируется. Скорость сварки выбирается опытным путем при сварке пробных образцов с учетом необходимости получения слоя наплавленного металла с определенной площадью поперечного сечения. Выбор рода и полярности сварочно-

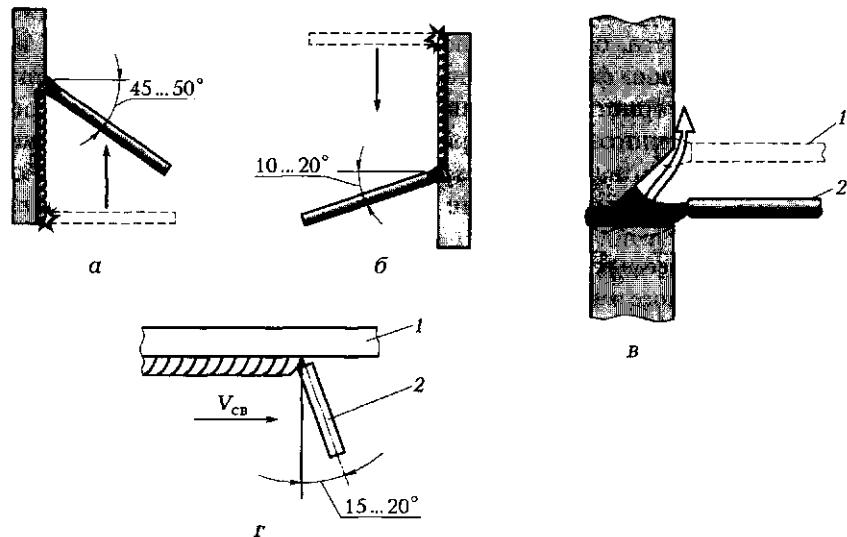


Рис. 10.17. Технические приемы выполнения сварных швов в положениях, отличных от нижнего:

a — вертикальных швов снизу вверх [на подъем]; *b* — вертикальных швов сверху вниз [на спуск]; *c* — горизонтальных швов на вертикальной стенке; 1 — заполнение разделки кромок манипулированием концом электрода; 2 — возбуждение дуги и начала сварки; *d* — потолочных швов; 1 — свариваемая деталь; 2 — электрод; $V_{\text{св}}$ — скорость сварки

го тока зависит от вида основного металла, его толщины и марки электрода.

При сварке в положениях, отличных от нижнего, объективно возникают трудности, с которыми необходимо считаться. В этих условиях применяются специальные технические приемы (рис. 10.17).

Сварка **вертикальных швов** затруднена, так как жидкий шлак и металл сварочной ванны под воздействием силы тяжести стекают вниз. Для ослабления этого эффекта сокращают объем сварочной ванны посредством уменьшения силы сварочного тока на 15...20 % и диаметра покрытого электрода до 4...5 мм.

Сварка вертикальных швов выполняется снизу вверх или сверху вниз. Наиболее удобна сварка снизу вверх при большой толщине деталей. При этом дуга возбуждается в самой нижней точке шва. Как только нижняя часть сварочной ванны начинает кристаллизоваться, образуется площадка, на которойдерживаются капли металла. Электрод отводят чуть вверх и располагают углом вперед. При сварке снизу вверх поперечные колебания не производят или они должны быть очень незначительными.

При сварке сверху вниз в начальный момент электрод располагают перпендикулярно поверхности и дуга возбуждается в верхней точке шва. После образования капли жидкого металла на детали электрод наклоняют под углом 10...20° (углом назад) так, чтобы дуга была направлена на расплавленный металл. Сварка сверху вниз обеспечивает значительно меньшую глубину проплавления, поэтому данный способ сварки применим лишь для тонкого металла. Для улучшения формирования шва при сварке вертикальных швов должна поддерживаться короткая дуга.

Сварка **горизонтальных швов на вертикальной стенке** сложнее сварки вертикальных швов. При сварке горизонтальных стыковых швов необходим скос только верхней кромки. Дугу возбуждают на нижней кромке, а затем электрод переводят на верхнюю кромку. Такие швы выполняют сварщики высокой квалификации.

Сварка **потолочных швов** сопряжена с особыми трудностями: жидкий металл и шлак устремляются вниз под воздействием силы тяжести и вытекают из сварочной ванны. Поэтому необходимо уменьшать силу сварочного тока на 15...20 % и вести сварку короткой дугой. Газы, выделяющиеся при сгорании покрытия электрода, поднимаются вверх и могут остаться в металле сварного шва. Для предотвращения насыщения газами сварного шва сварку производят с колебательными движениями в течение короткого промежутка времени, порционно наращивая металл шва. В этом случае необходимо пользоваться только хорошо прокаленными электродами.

Основное преимущество ручной дуговой сварки заключается в ее универсальности: сварка осуществляется в любых пространственных положениях, а место выполнения сварочных работ может быть удалено от источника питания. К недостаткам этого способа сварки следует отнести ее ограниченную скорость и потребление значительного количества электроэнергии. Невысокая производительность ручной сварки обусловлена малыми допустимыми значениями плотности сварочного тока, а также тем, что металл шва формируется в основном за счет электродного металла. В этой связи следует подробнее остановиться на понятиях производительности расплавления электрода, производительности наплавки и коэффициента потерь.

Производительность расплавления электрода (Π_e) характеризуется массой электродного металла, расплавленного дугой в единицу времени, и определяется по формуле

$$\Pi_3 = \alpha_3 I_{\text{св}}$$

где α_3 — коэффициент расплавления электрода, равный массе расплавленного в течение 1 ч горения дуги электродного металла, приходящейся на 1 А силы тока; $I_{\text{св}}$ — сила сварочного тока, А.

Значение коэффициента α_3 зависит от физико-химических свойств покрытия, рода и полярности тока, его плотности, режима сварки и т.д. Обычно $\alpha_3 = 7 \dots 22 \text{ г}/(\text{А} \cdot \text{ч})$.

Производительность наплавки определяется по формуле

$$\Pi_n = \alpha_n I_{\text{св}}$$

Здесь α_n — коэффициент наплавки, который меньше коэффициента расплавления α_3 на значение потерь электродного металла на разбрзгивание, испарение и угар в процессе горения дуги. Обычно α_n меньше α_3 на $1 \dots 3 \text{ г}/(\text{А} \cdot \text{ч})$.

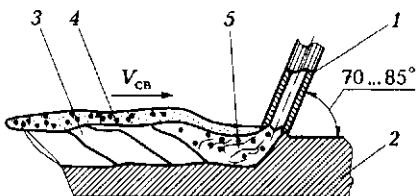
С учетом потерь на огарки коэффициент потерь электродного металла в машиностроении составляет 3...20 %. Менее 3 % потерь электродного металла, как правило, обычно не бывает. Наличие более 20 % потерь позволяет считать такой способ сварки нерациональным. Значения коэффициентов расплавления и наплавки используются для расчета расхода электродов и нормирования продолжительности сварки.

Повышение производительности процесса ручной дуговой сварки может быть достигнуто за счет организационных и технических мероприятий. Например, при сварке покрытыми электродами необходимо устройство нескольких распределительных щитов для подключения источников питания с возможностью быстрого переключения сварочных проводов при переходе сварщика к другому месту сварки. Не менее важным является применение быстродействующих пневмоприжимов и приспособлений, обеспечивающих ускоренный поворот деталей для сварки тех швов, которые были недоступны при наложении предыдущих.

Разработка технологических мероприятий связана с внедрением новейших способов сварки, усовершенствованием сварочного оборудования и технологии сварки. Для повышения производительности ручной дуговой сварки можно увеличивать силу сварочного тока до верхнего предела, рекомендуемого для данного диаметра электрода. Двухсторонние швы можно сваривать на постоянном токе одновременно с двух сторон способом «дуга в дугу». Вместо односторонней разделки кромок желательно выполнять двухстороннюю. Целесообразно использовать электроды с большим коэффициентом наплавки. Например, при сварке электродом

Рис. 10.18. Схема сварки с глубоким проплавлением опирающимся электродом:

1 — электрод; 2 — свариваемая деталь;
3 — наплавленный металл; 4 — шлак;
5 — сварочная ванна



МР-3 коэффициент наплавки составляет 8,5 г/(А·ч), а при сварке электродом ИТС-1 — 12,0 г/(А·ч) при прочих равных характеристиках и условиях работы.

При изготовлении крупногабаритных металлоконструкций, строительстве плотин, плавучих буровых установок и опор линий электропередачи иногда не представляется возможным применять ни полуавтоматы, ни автоматы. Поэтому используются специальные способы сварки, позволяющие одновременно существенно экономить электроэнергию и повышать производительность.

Сварка с глубоким проплавлением опирающимся электродом (рис. 10.18) осуществляется с применением толстопокрытых электродов. Металлический стержень расплавляется быстрее покрытия, поэтому на конце электрода образуется чехольчик. Опираясь чехольчиком на кромки свариваемых деталей, электрод перемещают вдоль шва без колебательных движений. Для получения узких швов рекомендуется усиливать нажим на электрод в направлении сварки (углом назад), а для получения широких швов нажим необходимо ослаблять. Короткая дуга и повышенная концентрация теплоты в зоне горения дуги значительно увеличивают глубину проплавления основного металла. За счет снижения расхода наплавляемого металла на единицу длины шва при его формировании за счет вытеснения в шов расплавленного основного металла представляется возможным повысить производительность сварки на 50...70 %. Причем потери металла на угар и разбрзгивание будут минимальными, так как область зоны горения дуги прикрыта чехольчиком. Силу сварочного тока можно увеличить на 40...60 %. Такой метод предпочтителен при сварке угловых и тавровых соединений в нижнем положении (в лодочку). Наиболее эффективными являются электроды ЦМ-7с, ОММ-5 и МЭЗ-04.

Сварка пучком электродов — наиболее эффективный способ высокопроизводительной сварки. В пучок (рис. 10.19) собирают до шести электродов и связывают их в нескольких местах тонкой стальной отожженной проволокой. Оголенные концы соединяют прихватками, причем один из электродов выдвинут из пучка так,

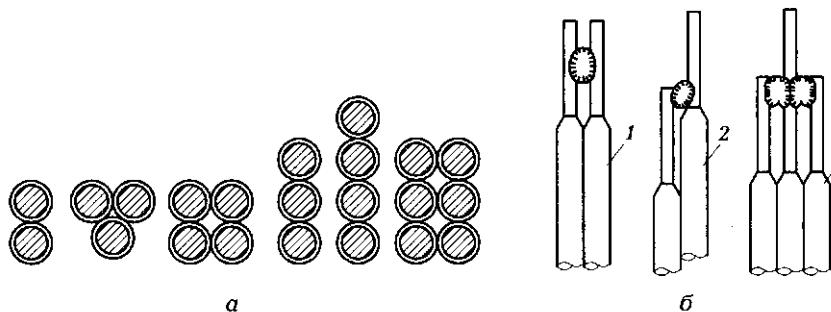


Рис. 10.19. Схемы соединения электродов в пучки (а) и расположение прихваток на концах электродов (б):

1 — пучок из двух электродов с прихваткой по центру их концов; 2 — пучок с прихваткой со сдвигом; 3 — пучок из трех электродов для сварки «гребенкой»

чтобы выступающий оголенный конец можно было поместить в электрододержатель.

Для пучка из двух электродов применяются специальные электрододержатели. В пучке электроды плотно прилегают друг к другу боковыми поверхностями покрытия, которое является надежным изолятором, предотвращающим короткое замыкание между металлическими стержнями электродов. Через электрододержатель ток подводится одновременно ко всем электродам.

Дуга возбуждается на том электроде, который ближе к свариваемой детали. По мере его расплавления дуга переходит на соседний электрод и затем, поочередно автоматически возникая то на одном, то на другом электроде, она расплавляет все электроды. Благодаря попеременному их расплавлению каждый из электродов нагревается меньше, чем при сварке одним электродом. Это обстоятельство позволяет производить сварку при значительно большей силе тока. Например, при сварке пучком из трех электродов диаметром 3 мм сила сварочного тока достигает 300 А. При этом потери металла на угар и разбрзгивание снижаются, а производительность сварки увеличивается в 1,5—2 раза. Коэффициент наплавки электродов в этом случае возрастает, так как их стержни постоянно подогреваются теплотой дуги. Дальнейшим развитием этого способа сварки является сварка опирающимся пучком.

Сварка пучком электродов может применяться для получения любых типов сварных соединений. К ее недостаткам следует отнести непригодность для сварки корневого шва, а также вертикальных и потолочных швов на тонколистовых узлах и конструк-

циях. При сварке пучком электродов наряду с производительностью возрастает коэффициент использования сварочного поста и снижается удельный расход электроэнергии на 20...30 %. За счет сокращения времени на замену одинарных электродов заметно повышается качество швов, но для этого необходимо пучки электродов готовить заранее. Электроды собирают в пучки на заводах по специальному заказу или на месте выполнения сварочных работ в случае отсутствия пучков заводского изготовления. Для сборки пучков применяют электроды тех же марок, что и при сварке с глубоким проплавлением.

Сварка многослойных швов без очистки шлака имеет свои особенности: после сварки каждого предыдущего валика шлак не удаляют в целях экономии времени, так как на очистку 1 м шва от шлака в среднем затрачивается примерно 2 мин. Этот метод часто используется при сварке тавровых и нахлесточных соединений. Первый валик накладывают непосредственно в угол, вторым валиком перекрывают первый на 40...60 %, выполняя его рядом (частично — на первом валике и частично — на основном металле). Третий валик накладывают в угол, как и первый. Таким же образом выполняют и следующие валики. Шлак от предыдущего валика расплавляется в зоне горения дуги и вместе со шлаком свариваемого валика всплывает на поверхность расплавленного металла. Расплавленный шлак стекает к основанию валика и подпирает расплавленный металл. Таким способом удается получить многослойный сварной шов с равными катетами.

Сварка трехфазной дугой показана на рис. 10.20. Большинство потребителей переменного тока, например сварочные трансформаторы и электродвигатели, подключаются к двум фазам источника питания, а третья его фаза остается неиспользованной. Неравномерность загрузки фаз отрицательно сказывается на работе источников питания дуги, снижая их КПД. При сварке трехфазной дугой ток от трех фаз источника подводится к двум электродам и свариваемым деталям. В этом случае горят три дуги: две — между электродами и свариваемыми деталями, а третья — между электродами. Третья дуга увеличивает скорость расплавления электродов. При таком способе подключения

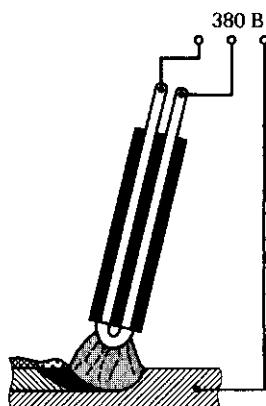


Рис. 10.20. Схема сварки трехфазной дугой

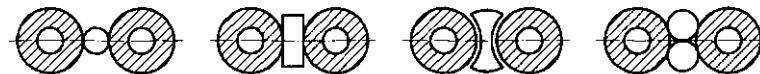


Рис. 10.21. Схемы расположения вставок между электродами

к источнику питания удается повысить производительность сварки на 120 % и на 10...15 % увеличить коэффициент наплавки за счет более равномерной загрузки фаз.

Для повышения производительности сварки трехфазной дугой применяют дополнительные металлические вставки между электродами по аналогии со сваркой пучком электродов. Схемы расположения вставок между электродами приведены на рис. 10.21.

При сварке трехфазной дугой используют электроды ОММ-5, МЭЗ-04 и УОНИ-13/45.

Этот способ сварки имеет такие же недостатки, как и сварка пучком электродов.

Сварка трехфазной дугой применяется в основном для заваривания дефектов стального литья, а также для сварки угловых и стыковых швов большого сечения при изготовлении металлоконструкций тяжелого машиностроения.

Ванным способом сваривают арматуру железобетонных конструкций. К горизонтальным и вертикальным стержням арматуры в месте стыка приваривают специальные стальные формы-стаканы, в которых за счет теплоты дуги создается ванна расплавленного металла. Этот металл непрерывно подогревается дугой, торцы стержней начинают расплавляться, и образуется общая ванна с расплавленным металлом (рис. 10.22), при охлаждении которого формируется сварное соединение. Обычно такую сварку выполняют электродами УОНИ-13/55. Процесс сварки осуществляют при большой силе сварочного тока (при диаметре электрода 5...6 мм сила тока составляет 400...450 А).

Сварку ванным способом можно выполнять одним или несколькими электродами одновременно. В зимнее время при низких температурах, силу тока увеличивают на 10...12 %. Для удаления шлака в стенке формы прожигают отверстие, которое впоследствии заваривают. Зазор между торцами стержней должен составлять не менее удвоенного диаметра электрода.

Сварка ванным способом позволяет значительно снизить расход электродов и электроэнергии, а также по сравнению со сваркой арматурных стержней одиночными электродами снижаются трудоемкость и себестоимость сварочных работ.

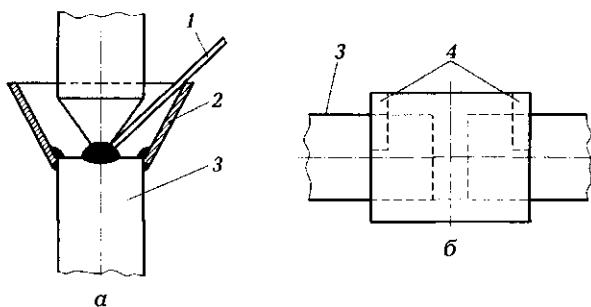


Рис. 10.22. Схема сварки ванным способом вертикальных (а) и горизонтальных (б) стержней железобетонной арматуры:

1 — электрод; 2 — стальная штампованная форма-чашка; 3 — стержни арматуры;
4 — ограничительные вставки по торцам свариваемых стержней

Сварка наклонным электродом (рис. 10.23) позволяет одному сварщику, которого следует считать оператором, одновременно обслуживать до четырех сварочных постов. Для сварки наклонным электродом используют приспособление, содержащее штангу, электрически изолированную от свариваемых деталей. На штанге крепится скользящая обойма-втулка, к которой подводится ток от источника питания.

Электрод с покрытием большой толщины устанавливают наклонно на кромки свариваемых деталей. Контактный конец электрода зажимают в обойме. Дугу возбуждают замыканием стержня электрода на свариваемую деталь с помощью угольного или стального электрода-поджигателя.

Горение дуги и плавление электрода происходят произвольно, без участия сварщика-оператора. По мере расплавления электрода обойма под собственным весом перемещается вниз по штанге. Таким образом, дуга перемещается в сторону штанги, а обойма — к ее основанию. При диаметре 4...8 мм рекомендуемая длина наклонного электрода 450...1 000 мм, а при диаметре 6...10 мм —

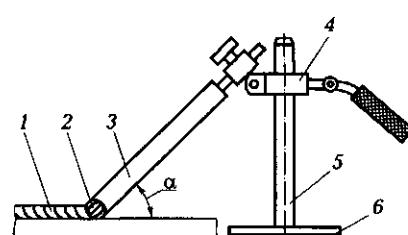


Рис. 10.23. Схема сварки наклонным электродом:

1 — сварочный шов; 2 — дуга; 3 — электрод; 4 — обойма-втулка; 5 — штанга; 6 — изоляция; α — угол наклона электрода

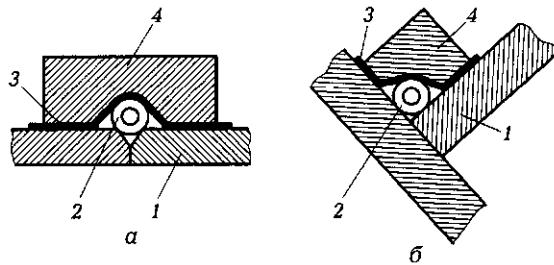


Рис. 10.24. Схемы сварки лежачим электродом стыкового [а] и таврового [б] соединений:

1 — свариваемые детали; 2 — лежачий электрод; 3 — изоляционный слой картона;
4 — медная накладка

700...1 200 мм. Электроды изготавливают по специальному заказу на заводе.

Формирование сварного шва в этом случае происходит так же, как и при сварке с глубоким проплавлением (углом назад 25...30°). Силу сварочного тока подбирают из расчета 40...45 А на 1 мм диаметра электрода. Длинномерные швы выполняют с использованием нескольких приспособлений, устанавливаемых вдоль свариваемых кромок. По сравнению с ручной дуговой сваркой производительность этого способа больше в 2—3 раза.

Применение **сварки лежачим электродом** (рис. 10.24) — это еще один способ повышения производительности сварочных работ. Выполняется она следующим образом. В разделку кромок стыкового или в угол таврового соединения укладывают один или несколько электродов диаметром 6...10 мм с высококачественным покрытием. Поверх электрода помещают изоляционную прокладку из пресс-шпана — тонкого прессованного картона, на который устанавливают массивную медную накладку для плотного приле-

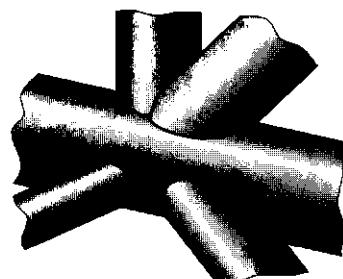


Рис. 10.25. Сварной узел с изменяющимся типом сварного соединения

гания электрода к поверхности кромок свариваемых деталей. Дугу возбуждают вспомогательным электродом. Устойчивое горение дуги обеспечивается саморегулированием. Длина электродов составляет 800...1 000 мм. Для сварки длинномерных швов стержни электродов соединяют металлическими вставками.

Ток подводится через контакты, расположенные через каждые 500...800 мм. В местах нахождения контактов электродное покрытие удаляется. К каждому электроду ток подводится от отдельного источника питания. Помещая в разделку кромок три электрода и более, можно выполнять многослойные швы. При работе на нескольких постах производительность сварки значительно возрастает.

Сварка трубопроводов, работающих под давлением, имеет ряд особенностей. К выполнению сварочных работ ручной дуговой сваркой покрытыми электродами допускаются только обученные и аттестованные специалисты — так называемые паспортисты. В процессе работы сварщик должен учитывать специфику формирования сварного шва во всех пространственных положениях, соблюдать предписанные технологические приемы и очередность наложения швов. Кроме того, работать им приходится в стесненных условиях.

Наиболее сложной работой для сварщиков-монтажников является сварка металлоконструкций из различных труб, узлы которых расположены в разных положениях в пространстве с изменяющимся типом сварного соединения (рис. 10.25). В таких условиях сварочные работы могут производиться традиционным способом — одним электродом. Получение качественного сварного шва возможно только при высокой квалификации сварщика и его уважительном отношении к своей профессии.

10.5. ОСОБЕННОСТИ СВАРКИ В ЗАЩИТНЫХ ГАЗАХ

Дуговая сварка в защитных газах благодаря ее технологическим и экономическим преимуществам получает все более широкое распространение. Ее технологическими преимуществами являются относительная простота процесса и возможность применения средств механизации в разных пространственных положениях. Незначительный объем образующихся шлаков позволяет получать сварные швы высокого качества. Сварка в защитных газах ис-

пользуется для соединения различных сталей, цветных металлов и их сплавов. Кроме источника питания дуги для данной сварки требуются специальное дополнительное оборудование и устройства.

Сварка в защитных газах — это общее название всех видов дуговой сварки, при выполнении которых через сопло горелки в зону горения дуги подается струя защитного газа. В качестве защитных газов применяют аргон, гелий (инертные газы), углекислый газ, кислород, азот, водород (активные газы) и смеси газов (Ar, CO₂ и O₂; Ar и O₂; Ar и CO₂ и др.).

Аргонокислородную смесь (Ar и 1...5 % O₂) используют при сварке низкоуглеродистых и легированных сталей. В процессе сварки капельный перенос металла переходит в струйный, что позволяет повысить производительность сварки и уменьшить разбрызгивание металла.

Смесь аргона с углекислым газом (Ar и 10...20 % CO₂) применяют при сварке низкоуглеродистых и низколегированных сталей. При использовании этой смеси защитных газов предотвращается пористость сварных швов, повышается стабильность горения дуги и улучшается формирование шва.

Тройная смесь газов (75 % Ar, 20 % CO₂ и 5 % O₂) при сварке сталей плавящимся электродом обеспечивает высокую стабильность горения дуги, минимальное разбрызгивание металла, хорошее формирование шва и отсутствие пористости. На практике поставляют баллоны либо с готовой смесью газов, либо с каждым газом раздельно. В последнем случае расход каждого газа регулируется отдельным редуктором и измеряется ротаметром.

Различают следующие основные способы сварки в защитных газах: сварка постоянной или импульсной дугой, неплавящимся или плавящимся электродом.

При **сварке неплавящимся электродом** в защитных газах в качестве источника теплоты применяется дуга, возбуждаемая между вольфрамовым или угольным (графитовым) электродом и свариваемой деталью. Сварка может производиться как на постоянном, так и на переменном токе. Например, при сварке алюминия или его сплавов на переменном токе в момент, когда свариваемая деталь становится катодом, положительные ионы инертного газа с высокой энергией разрушают слой пленки оксида алюминия на поверхности свариваемой детали, создавая и поддерживающая эффект катодного распыления. При сварке вольфрамовым электродом на переменном токе в качестве источников питания используются сварочные трансформаторы для ручной дуговой сварки.

Для облегчения процесса возбуждения дуги и поддержания устойчивого дугового разряда при сварке в инертных газах применяется осциллятор. Это связано с тем, что защитные газы, попадая в зону горения дуги, охлаждают дуговой промежуток, и дуга плохо возбуждается. Наиболее широко используются осцилляторы следующих марок: ОСПЗ-300М, УПД-1, ВИР-101, ОСПЗ-2М и -3М или стабилизатор-возбудитель дуги ВСД-01. Сварку можно выполнять как с присадочной проволокой, так и без нее.

В процессе сварки на *переменном токе* возникает постоянная составляющая тока, которая ухудшает стабильность горения дуги и в целом сварочного процесса. Поэтому при сварке на *переменном токе* (как и на *постоянном*) применяются балластные реостаты, но они служат лишь для компенсации постоянной составляющей тока. При сварке на *постоянном токе*, когда недопустимы ожоги детали, осуществляется бесконтактное возбуждение дуги с помощью осциллятора.

При сварке на *постоянном токе* чаще всего используются универсальные источники питания с крутопадающей ВАХ: выпрямители ВДУ-305, -504, -505, -601 и ВСВУ-300, сварочные преобразователи, агрегаты, инверторные специальные источники и установки (ТИР-300Д и -315). В комплект аппаратуры для сварки на *постоянном токе* входят сварочные горелки, устройства для первоначального возбуждения дуги, балластный реостат, аппаратура управления сварочным циклом и газовой защиты. Балластный реостат формирует крутопадающую характеристику и позволяет дискретно регулировать режим сварки. При сварке от специальных источников питания реостат не нужен. Современные регуляторы расхода защитных газов являются комбинированными, т. е. они объединяют в себя редуктор с ротаметром.

При *сварке плавящимся электродом* в инертных газах дуга образуется между концом непрерывно расплавляемой проволоки и свариваемой деталью. Электродная проволока направляется в зону горения дуги подающим механизмом со скоростью, равной средней скорости ее плавления, и расплавленный металл электродной проволоки переходит в сварочную ванну.

Этот способ сварки обеспечивает следующие преимущества: повышенную плотность сварочного тока, более узкую зону термического влияния, возможность механизации процесса сварки и высокую производительность. Различают две основные разновидности сварки плавящимся электродом: сварка короткой и длинной дугой.

Сварка короткой дугой при импульсном процессе осуществляется при постоянной скорости подачи электродной проволоки.

Особенностью этого процесса являются замыкания дугового промежутка с частотой $150 \dots 300 \text{ с}^{-1}$. При сварке короткой дугой наблюдается мелкокапельный (струйный) перенос электродного металла с частотой, равной частоте коротких замыканий. Это позволяет производить сварку при меньших значениях силы сварочного тока, способствует повышению стабильности процесса сварки и снижению потерь металла на разбрзгивание.

Сварка *длинной дугой* — это процесс с редкими замыканиями дугового промежутка (с частотой $3 \dots 10 \text{ с}^{-1}$). В зависимости от режима сварки, вида защитного газа и применяемых сварочных материалов наблюдаются разные способы переноса электродного металла в сварочную ванну: крупно- и мелкокапельный, струйный и др.

Определенным недостатком сварки плавящимся электродом в аргоне и смеси аргона с гелием является сложность поддержания струйного переноса электродного металла. Для повышения стабильности процесса сварки и улучшения формирования сварного шва к аргону добавляют до 5 % кислорода или до 20 % углекислого газа.

Наиболее распространенные способы аргонодуговой сварки цветных и тугоплавких металлов и их сплавов — это ручная и автоматическая сварка вольфрамовым электродом (без присадочного металла и с использованием присадочного металла) непрерывной или импульсной дугой, а также автоматическая и полуавтоматическая сварка плавящимся электродом. При сварке вольфрамовым электродом титана, tantalа, ниобия, молибдена и вольфрама применяется постоянный ток прямой полярности, а при сварке алюминия — переменный ток. Сварка плавящимся электродом производится на постоянном токе обратной полярности.

Сварку в углекислом газе обычно выполняют на постоянном токе обратной полярности плавящимся электродом. Основными параметрами режима сварки в углекислом газе и его смесях являются полярность и сила тока, напряжение дуги, диаметр и скорость подачи проволоки, вылет и наклон электрода, скорость сварки, расход и состав защитного газа.

Силу сварочного тока и диаметр электродной проволоки выбирают в зависимости от типа сварного соединения, толщины свариваемого металла и расположения шва в пространстве. Стабильный процесс сварки с хорошими технологическими характеристиками возможен только в определенном диапазоне значений силы сварочного тока (при плотности тока выше 100 А/мм^2), которая зависит от диаметра и состава электродной проволоки и расхода

защитного газа. Силу сварочного тока, определяющую глубину проплавления металла и производительность процесса сварки, регулируют изменением скорости подачи электродной проволоки.

Одним из важных параметров режима сварки в углекислом газе является напряжение дуги. С повышением напряжения увеличивается ширина шва и улучшается его формирование, однако возрастает угар полезных элементов — кремния и марганца, повышается чувствительность дуги к магнитному дутью и усиливается разбрызгивание металла сварочной ванны. При пониженном напряжении дуги ухудшается формирование сварочного шва. Оптимальное значение напряжения дуги зависит от силы сварочного тока, диаметра и состава электродной проволоки и вида защитного газа.

Другие параметры режима сварки в углекислом газе находятся в сложной зависимости от различных факторов, влияющих на сварочный процесс. Режим сварки выбирают на основании обобщенных опытных данных, приведенных в справочной литературе, или определяют по номограммам. Однако справочные сведения являются ориентировочными (приближенными), поэтому обязательно сваривают опытные образцы, по которым корректируют параметры режима сварки. Уточненные режимы сварки заносят в технологические документы.

Условия сварки в углекислом газе в значительной степени отличаются от условий выполнения ручной дуговой сварки. Необходимо принимать во внимание некоторые особенности сварки в углекислом газе и смесях газов на его основе.

Расход углекислого газа влияет на качество сварного шва: при повышенном расходе газа снижаются коэффициенты плавления и наплавки из-за охлаждения столба дуги; при малом расходе газа ухудшается защита сварочной ванны от влияния атмосферных газов. На практике установлено, что надежная защита обеспечивается, если при сварке электродной проволокой диаметром 0,8...1,2 мм объемный расход углекислого газа составляет 6...10 л/мин, а при сварке проволокой диаметром 1,6...2,0 мм — 10...20 л/мин.

На условия защиты сварочной ванны влияет не только диаметр электродной проволоки, но и тип сварного соединения и его положение в пространстве. Кроме того, расход углекислого газа зависит от скорости сварки.

При повышенной скорости перемещения сварочной дуги необходимо увеличить и расход газа, так как расплавляющийся конец сварочной проволоки и сварочная ванна должны быть надежно защищены от влияния атмосферных газов.

Повышение расхода углекислого газа при прочих постоянных условиях приводит к увеличению выгорания кремния и марганца — наиболее эффективных раскислителей. При этом содержание углерода в металле шва не изменяется.

В исключительных случаях, когда приходится сваривать много-проходныестыковые швы или угловые швы в соединениях без сварочного зазора, сварку в углекислом газе можно осуществлять на постоянном токе прямой полярности. Однако основной объем сварочных работ в данном газе выполняют на постоянном токе обратной полярности. Это объясняется тем, что при прямой полярности существенно усиливается разбрзгивание металла даже при пониженной силе сварочного тока, вследствие чего уменьшается глубина проплавления металла.

Несмотря на то что при сварке на токе прямой полярности коэффициент расплавления электродной проволоки почти вдвое выше, чем при сварке на токе обратной полярности, реализовать это преимущество не удается, так как в этом случае изменяется механизм формирования сварного шва. При сварке на токе прямой полярности ширина шва значительно меньше, выпуклость больше, а усиление процесса окисления приводит к увеличению пористости шва.

Таким образом, преимущество сварки в углекислом газе на токе обратной полярности состоит в том, что качество сварных швов значительно выше, и этот способ наиболее широко применяется на практике.

Перед началом сварки необходимо отрегулировать расход газа и выждать 10... 20 с до полного удаления воздуха защитным газом из шлангов. Перед возбуждением дуги следует убедиться в том, что вылет электрода из мундштука не превышает 25 мм. Движение горелки должно осуществляться без задержки дуги на сварочной ванне, чтобы не вызывать усиленного разбрзгивания металла.

Сварка в нижнем положении производится с наклоном горелки на 5... 15° углом вперед или назад. Предпочтительнее вести сварку углом назад, так как при этом обеспечивается более надежная защита сварочной ванны.

Механизированную сварку металла малой толщины (1... 2 мм) выполняют без поперечных колебательных движений горелки. Сварку ведут при максимально возможной длине дуги с наибольшей скоростью. При достаточной газовой защите можно избежать прожогов и обеспечить нормальное формирование шва, если горелку вести углом назад при угле ее наклона 30... 45°.

Стыковые соединения при толщине металла 1,5...3,0 мм сваривают на весу. Более тонкий металл в вертикальном положении сваривают на спуск (сверху вниз); необходимая глубина проплавления при этом обеспечивается за один проход.

Сварку нахлесточных соединений металла толщиной 0,8...2,0 мм чаще всего производят на весу и реже на медной подкладке. При качественной сборке нахлесточных соединений представляется возможным значительно увеличить скорость сварки.

Колебательные движения горелкой при сварке металла большой толщины такие же, как и при ручной дуговой сварке. При сварке с сопутствующим подогревом для уменьшения пористости металла шва осуществляют продольные колебания горелки вдоль его оси, что обеспечивает более полное удаление водорода из сварочной ванны.

Сварка в углекислом газе является высокопроизводительным процессом. В массовом и крупносерийном производстве вместе со сварщиком работают слесари-сборщики, которые освобождают сварщика от сборочных операций. Сварочный пост в этом случае оборудован не только сварочной аппаратурой, но и специальными приспособлениями, позволяющими повысить производительность сварочных работ при гарантированном качестве сварных соединений. Требования к качеству сборки и подготовки деталей под сварку в углекислом газе электродной проволокой диаметром 0,8...2,5 мм устанавливает ГОСТ 14771—76.

10.6. ОСОБЕННОСТИ СВАРКИ ПОД ФЛЮСОМ И ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ СВАРКИ

Сварку под флюсом производят в основном на полуавтоматах и автоматах электродной проволокой, которую подают в зону горения дуги отдельным специальным механизмом или механизмом, установленным в сварочной головке. Металл электродной проволоки расплавляется дугой и переносится каплями в сварочную ванну, где он смешивается с расплавленным основным металлом.

Подвод тока к проволоке осуществляется через мундштук, изготавливаемый из меди или ее сплавов. Малый вылет электрода, отсутствие покрытия и большая скорость подачи электродной проволоки позволяют значительно увеличить силу сварочного тока по сравнению с ручной дуговой сваркой электродом того же диаметра. Это приводит к ускорению процесса плавления сварочной

проводки, увеличению глубины проплавления основного металла и значительному повышению производительности сварки.

При сварке под флюсом коэффициент наплавки достигает в некоторых случаях $30 \text{ г}/(\text{A} \cdot \text{ч})$, что в несколько раз выше его значения для ручной дуговой сварки при прочих равных условиях.

Толстый слой флюса (толщиной до 60 мм), засыпаемый в зону сварки, расплавляется на 30 %. Это делает дугу закрытой и обеспечивает надежную защиту расплавленного металла от атмосферных газов, а также стабилизирует сварочный процесс. Существенное достоинство сварки под флюсом — незначительные потери металла на угар и разбрзгивание. Вследствие увеличения эффективной тепловой мощности дуги возможно увеличение толщины деталей, свариваемых без скоса кромок.

Например, при обычных режимах сварки под флюсомстык без скоса кромок можно сваривать металл толщиной 15...20 мм. В этом случае увеличивается проплавление основного металла (его доля в металле шва составляет 0,5...0,7) и существенно снижается расход электродной проволоки. При сварке угловых швов за счет увеличения глубины проплавления обеспечивается провар в корне шва, чего нельзя достичь с помощью ручной дуговой сварки при одинаковом катете шва. За счет большего вложения теплоты при автоматической сварке под флюсом катет угловых швов может быть меньше, чем у швов, выполняемых ручной дуговой сваркой.

Флюсы влияют на устойчивость горения дуги, формирование и химический состав металла шва. Они в значительной мере определяют стойкость металла шва к образованию пор и кристаллизационных трещин. Требуемые механические свойства, структура металла шва и сварного соединения в целом обеспечиваются определенным сочетанием флюса и электродной проволоки.

Размеры и форма шва при сварке под флюсом характеризуются глубиной проплавления основного металла, шириной шва, его выпуклостью и т.д. Закономерности изменения формы шва обусловлены, главным образом, режимом сварки и незначительно зависят от типа сварного соединения.

Параметры режима сварки под флюсом условно можно разбить на основные и дополнительные. К *основным параметрам* относят силу сварочного тока, напряжение дуги, диаметр электродной проволоки и скорость сварки. При сварке под флюсом с постоянной скоростью подачи электродной проволоки часто вместо силы сварочного тока используют скорость подачи электродной проволоки. Чем выше скорость подачи электродной проволоки,

тем больше должна быть сила сварочного тока, чтобы расплавить проволоку, подаваемую в зону горения дуги.

Расчет основных режимов сварки особенно важен при изготовлении ответственных металлоконструкций. Руководствуясь требованиями ГОСТов и ТУ, определяют тип сварного соединения для заданной толщины основного металла и подбирают флюс, который обеспечит надежную защиту сварного шва.

На миллиметровой бумаге в натуральную величину тщательно вычерчивают шов или в масштабе выполняют соответствующее поперечное сечение однопроходного сварного шва при оптимальных значениях глубины проплавления, ширины и выпуклости шва, а также площади наплавленного металла. В случае необходимости наложения многопроходных швов определяют общую площадь их поперечного сечения. Максимальная площадь сечения однопроходного шва при автоматической сварке под флюсом не должна превышать 100 мм^2 .

Практический опыт производства сварных конструкций в разных отраслях промышленности позволяет установить ориентировочные и рекомендуемые основные параметры режимов сварки сталей, цветных металлов и их сплавов. По этим режимам изготавливают образцы сварных соединений и подвергают их механическим испытаниям. После испытаний параметры режимов корректируют и вносят в технологические документы.

В зависимости от выбранных параметров режимов сварки и технологических факторов реализуется тот или иной механизм формирования шва в сварочном процессе, изменяются глубина проплавления металла, ширина и выпуклость шва, а также доля участия электродного и основного металлов в металле шва. Влияние каждого параметра режима и технологических факторов на формирование сварного шва весьма неоднозначное.

Влияние силы сварочного тока (одного из наиболее важных параметров режима сварки) проявляется в следующем. При увеличении силы тока усиливается давление столба дуги на поверхность сварочной ванны, дуга погружается в основной металл, возрастают ее напряжение и мощность, погонная энергия и масса расплавленного электродного металла в единицу времени. В результате одновременно увеличиваются выпуклость шва и глубина проплавления, что при неизменной ширине шва приводит к возрастанию доли основного металла в металле шва. При этом количество расплавленного флюса уменьшается.

Влияние напряжения дуги на формирование сварного шва зависит в основном от длины дуги и состава газов, заполняющих ду-

говой промежуток в процессе сварки. Увеличение длины дуги всегда связано с необходимостью повышения ее напряжения, а это приводит к увеличению ее подвижности. В результате существенно возрастает ширина шва, уменьшается его выпуклость, а глубина проплавления остается почти постоянной (при незначительных колебаниях напряжения дуги).

При увеличении толщины свариваемого металла необходимо увеличивать силу сварочного тока и, следовательно, напряжение дуги. При сварке металла толщиной менее 3 мм для получения высококачественного сварного шва рекомендуется применять постоянный ток обратной полярности, так как при сварке на переменном токе увеличивается вероятность прожога или непровара из-за повышенных колебаний напряжения дуги вследствие суммарного влияния несинусоидального характера изменения силы сварочного тока и напряжения дуги, проявляющегося в момент ее обрыва и повторного возбуждения.

Увеличение скорости сварки приводит к большему отклонению столба дуги в сторону, противоположную направлению перемещения дуги. Из-под дуги вытесняется больше жидкого металла, и толщина его слоя под дугой сокращается. Несмотря на снижение погонной энергии, глубина проплавления металла возрастает, что вызывает уменьшение площади поперечного сечения шва. Снижается его ширина и увеличивается выпуклость, а также возрастает доля основного металла в металле шва. Такие изменения в механизме формирования шва характерны при повышении скорости сварки до 25 м/ч. При дальнейшем увеличении скорости сварки до 70 м/ч интенсивность аналогичных изменений нарастает, но при этом снижение погонной энергии становится преобладающим. В результате шов значительно сужается, а по обе его стороны образуются краевые подрезы.

Увеличение диаметра электродной проволоки (электрода) при неизменной силе сварочного тока приводит к усилению блуждания активного пятна по площади сечения конца электрода и поверхности сварочной ванны. Глубина проплавления и выпуклость шва уменьшаются, а ширина шва увеличивается. Допускается применять электродную проволоку меньшего диаметра при той же силе сварочного тока. В этом случае будет увеличиваться плотность тока, что приведет к возрастанию глубины проплавления металла и уменьшению ширины шва. Использование сварочной проволоки малого диаметра для сварки под флюсом позволяет применять сварочное оборудование меньшей мощности и существенно экономить электроэнергию.

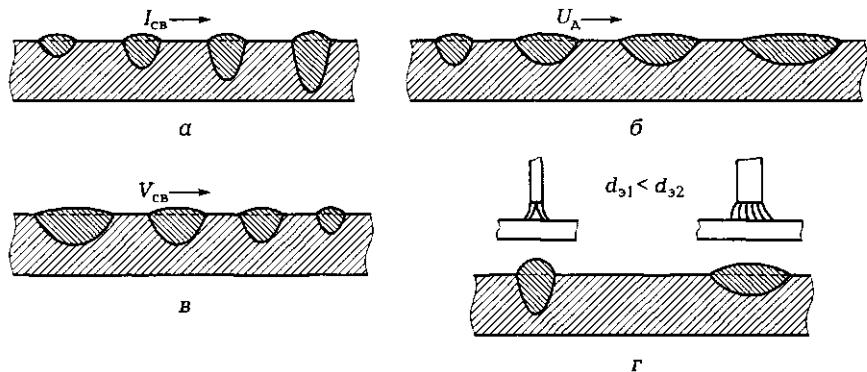


Рис. 10.26. Изменение формы сварных швов в зависимости от основных параметров режимов сварки:

а — от силы сварочного тока I_{cb} ; *б* — от напряжения дуги U_d ; *в* — от скорости сварки V_{cb} ; *г* — от диаметра электрода d_e

Влияние основных параметров режима сварки на формирование сварного шва схематично изображено на рис. 10.26.

На механизм формирования сварного шва влияют не только основные, но **дополнительные параметры** режима сварки, а также технологические факторы: род и полярность тока, наклон электрода и свариваемых деталей в процессе сварки (рис. 10.27) вылет электрода, химический состав и структура флюса, сварочный зазор и в незначительной степени тип сварного соединения.

Влияние рода и полярности тока на механизм формирования шва обусловлено разным количеством тепловой энергии, выделяющейся на катоде и аноде. При сварке под флюсом плотность тока на анодном пятне значительно меньше, чем на катодном. Из катода происходит эмиссия электронов, требующая большего вложения кинетической энергии, которая расходуется на нагрев и расплавление основного металла (непременное условие устойчивого горения дуги). Энергия, выделяющаяся на аноде, расходуется только на расплавление электродного металла.

При сварке на постоянном токе прямой полярности меньше расплывается основной металл, и шов формируется в основном за счет электродного металла, поэтому уменьшаются ширина шва и глубина проплавления, возрастают коэффициент наплавки и выпуклость шва. При необходимости увеличения глубины проплавления основного металла предпочтительна сварка на токе обрат-

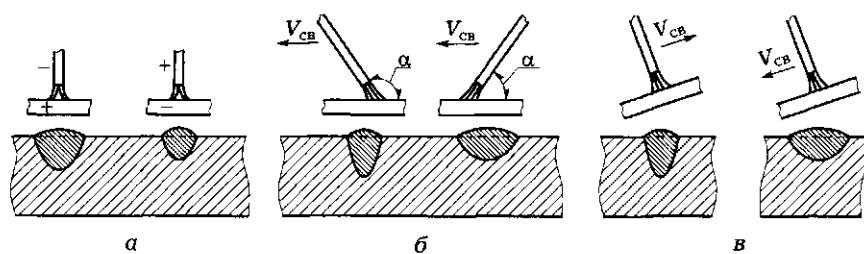


Рис. 10.27. Формы сварных швов при сварке на постоянном токе прямой или обратной полярности (а), сварке углом α назад или углом вперед (б), при отклонении поверхности детали от горизонтальной плоскости (в)

ной полярности. Многолетней практикой установлено, что это увеличение может составлять 40...50 %. При сварке на переменном токе глубина проплавления на 15...20 % меньше, чем при сварке на постоянном токе обратной полярности.

Автоматическую сварку под флюсом обычно выполняют вертикально расположенным электродом. Наклон электрода (в особых случаях) изменяет положение дуги, а следовательно, и условия формирования шва. По наклону электрода, определяемому по отношению к его вертикальному положению, различают сварку углом вперед или углом назад.

При сварке углом вперед уменьшаются глубина проплавления металла, выпуклость шва и доля основного металла в шве. В то же время увеличиваются ширина шва и расход флюса. Этот эффект объясняется тем, что большая часть дуги располагается над поверхностью расплавленного металла и интенсивнее прогреваются кромки свариваемых деталей. В результате выпуклость шва имеет плавный переход к основному металлу, что предотвращает образование подрезов по краям шва и шлаковых прослоек по границам сплавления металла шва с основным металлом. Этим способом выполняют сварку под флюсом на скорости, несколько превышающей 80 м/ч.

При сварке углом назад под давлением дуги происходит более интенсивное вытеснение металла сварочной ванны. Столб дуги глубже проникает в основной металл, поэтому увеличивается глубина его проплавления и сужается ширина шва. Этот способ применяется реже, чем сварка вертикально расположенным электродом, так как краевые подрезы образуются даже при относительно низкой скорости сварки.

Влияние положения свариваемых деталей относительно горизонтальной плоскости и направления сварки на механизм формирования сварного шва проявляется по-разному. В зависимости от угла наклона свариваемых деталей относительно горизонтальной плоскости сварку производят на спуск (сверху вниз) или на подъем (снизу вверх). Допустимый угол наклона свариваемых деталей составляет 3...5°, в отдельных случаях — 6...8°.

При сварке снизу вверх расплавленный металл под действием собственного веса перемещается из-под дуги в заднюю часть сварочной ванны, и дуга глубже проникает в основной металл. При этом подвижность дуги снижается, что приводит к увеличению глубины проплавления металла, выпуклости шва и доли основного металла в шве, а ширина шва уменьшается. Если угол наклона свариваемых деталей больше 6°, то по обе стороны шва могут образоваться подрезы.

При сварке сверху вниз расплавленный металл под действием собственного веса перемещается под столб дуги, что приводит к увеличению толщины слоя металла под дугой и усилинию блуждания дуги по поверхности сварочной ванны. В результате уменьшаются глубина проплавления металла, выпуклость шва и доля основного металла в шве, а ширина шва увеличивается. Иногда, в силу особенностей конструкции изготавливаемого узла, приходится сваривать тонкий металл или производить сварку на завышенной скорости при отклонении деталей от горизонтальной поверхности на 15...20°. В этих случаях применима сварка сверху вниз, которая в большей мере предотвращает образование зоны несплавления и обеспечивает условия для формирования более высококачественного шва.

Изменение вылета электрода и марки флюса влияет на условия выделения теплоты при формировании сварного шва. Увеличение вылета электрода вызывает повышение напряжения дуги, уменьшение силы сварочного тока и глубины проплавления металла. Влияние вылета электрода наиболее существенно при механизированной сварке проволокой диаметром 1,0...2,5 мм. В этом случае колебания вылета электрода в пределах 8...10 мм могут привести к резкому ухудшению условий для формирования шва.

Флюсы отличаются друг от друга своими стабилизирующими свойствами, плотностью вещества, газопроницаемостью в жидком состоянии и вязкостью. Повышенные стабилизирующие характеристики флюсов приводят к увеличению длины и напряжения дуги, в результате чего возрастает ширина шва и уменьшается глу-

бина проплавления металла. Аналогичный процесс формирования шва происходит при сварке с уменьшенной насыпной массой флюса.

Чем мельче зерно флюса, тем уже шов и глубже проплавление металла. С увеличением размеров (грануляции) зерен флюса уменьшается глубина проплавления и возрастает ширина шва. Стекловидные флюсы увеличивают глубину проплавления и сужают шов, а пемзovidные — способствуют формированию низких широких швов с плавным переходом к основному металлу. При сварке электродной проволокой диаметром до 3 мм рекомендуется использовать мелкозернистый флюс, обеспечивающий лучшее формирование шва, чем крупнозернистый. При сварке под пемзovidными и стекловидными флюсами одинакового химического состава насыпная масса стекловидных флюсов составляет $1,4 \dots 1,7 \text{ г}/\text{см}^3$, а пемзovidных — $0,7 \dots 0,9 \text{ г}/\text{см}^3$. Поэтому для расплавления стекловидного флюса требуется вдвое больше энергии. В результате ширина шва, сваренного под пемзovidным флюсом, больше.

Высота слоя флюса вдоль всего свариваемого шва должна быть одинаковой, так как она влияет на его формирование.

Состав применяемых флюсов также оказывается на процессе формирования шва. Например, при сварке под низкокремнистыми марганцевыми флюсами швы имеют менее гладкую и ровную поверхность, чем при сварке под высококремнистыми флюсами ОСЦ-45 и АН-348-А.

Зазор между деталями, форма скоса кромок и тип сварного соединения не оказывают значительного влияния на форму шва. Очертание проплавления и общая высота шва остаются практически постоянными. Чем больше зазор или скос кромок, тем меньше доля основного металла в металле шва.

В зависимости от зазора и формы скоса кромок различают швы выпуклые, нормальные и вогнутые. Наиболее существенное влияние на форму и качество шва оказывает зазор между деталями. При сварке вручную сварщик может сам выправить дефект сборки (заплавить увеличенный зазор) и обеспечить требуемую форму шва. При автоматической сварке это осуществить невозможно. Плохая сборка не обеспечивает заданные зазоры и получение высококачественного шва. Сборку деталей под сварку выполняют согласно требованиям ГОСТ 8713—79.

В целом механизированная (полуавтоматическая и автоматическая) сварка под флюсом является более экономичным и высоко-производительным процессом по сравнению с ручной дуговой сваркой. Сварные швы получаются более плотными, с улучшенны-

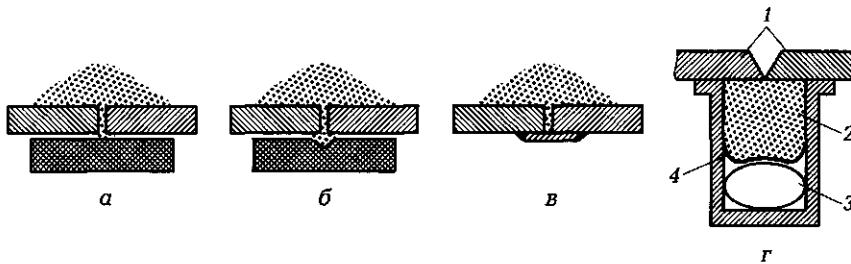


Рис. 10.28. Схемы сварки под флюсом:

а — на съемной подкладке; б — на съемной подкладке с формирующей канавкой; в — на остающейся стальной подкладке; г — на флюсовой подушке: 1 — свариваемые детали; 2 — флюсовая подушка; 3 — брезентовый надувной рукав; 4 — лоток

ми физико-механическими свойствами (предел прочности, относительное удлинение и ударная вязкость).

Сварка под флюсом наиболее широко применяется для получения стыковых соединений с одно- и двухсторонними швами одно- и многопроходными, со скосом и без скоса кромок. Для обеспечения высокого качества сварного шва необходимо использовать заходные и выводные планки. Из той части сварного шва, которая остается на выводных планках, вырезают и испытывают образцы для контроля его качества.

Односторонняя автоматическая сварка без скоса кромок с неполным проплавлением основного металла (сварка на весу) должна выполняться на таком режиме, при котором непроплавленный слой металла сможет удерживать сварочную ванну. Если при односторонней сварке требуется обеспечить полное проплавление, то необходимо принять технологические меры для того, чтобы жидкий металл не вытекал в зазор. Для предотвращения прожогов сварку производят на остающейся стальной подкладке или применяют замковую разделку кромок. Сварку также можно производить на медной или флюсовой подкладке и флюсовой подушке. В некоторых случаях с помощью полуавтомата предварительно проваривают корень шва. Схемы сварки под флюсом на подкладках и флюсовой подушке изображены на рис. 10.28.

Двухсторонняя автоматическая сварка под флюсом является основным способом получения высококачественных швов. В этом случае стыковое соединение сначала проваривают автоматической сваркой с одной стороны на весу таким образом, чтобы глубина

бина проплавления металла составляла чуть больше половины толщины свариваемых деталей. После поворота сварного узла сварку производят с противоположной стороны.

Некоторые технологические трудности не всегда позволяют выполнить первый проход без нарушения технологии. Для того чтобы гарантировать высокое качество шва при первом проходе, сварку выполняют на флюсобумажных подкладках.

Тавровые, угловые и нахлесточные соединения сваривают угловыми швами. Швы «в лодочку» получают при вертикальном положении электрода. Другие швы нижнего положения выполняют наклонным электродом. Основная трудность при сварке «в лодочку» заключается в том, что жидкий металл протекает в зазоры. В этом случае к сборке под сварку предъявляют более жесткие требования. Если зазор превышает 1,5 мм, то необходимо принять меры, предупреждающие протекание жидкого металла.

Автоматическая сварка под флюсом развивается в направлении усовершенствования сварочного оборудования в целях повышения его производительности. Выпускаются автоматы и установки с многоголовочными механизмами подачи сварочной проволоки (двухголовочные — с параллельным или последовательным расположением электродов вдоль свариваемого шва, трехголовочные — с комбинированным расположением электродов и для сварки трехфазной дугой). Разрабатываются различные системы управления сварочными процессами.

В развитие технологии сварки под флюсом сформировалось самостоятельное направление — электрошлаковая сварка (ЭШС), которая стала широко применяться при изготовлении энергетического оборудования и металлоконструкций тяжелого машиностроения. Электрошлаковая сварка, имеющая ряд характерных особенностей, принципиально отличается от разновидностей механизированных способов сварки под флюсом.

К особенностям ЭШС следует отнести то обстоятельство, что первоначально возбуждается дуга для расплавления флюса и получения электропроводного шлака. Дуга обрывается, но при отсутствии дугового разряда процесс расплавления металла обеспечивается за счет прохождения электрического тока через электропроводный шлак. Сварка протекает без разбрызгивания металла и шлака. Ее можно производить одновременно несколькими электродами. Толщина деталей, свариваемых за один проход, достигает 3 000 мм. Расход флюса в 20—30 раз меньше, чем при механизированной сварке аналогичных соединений под флюсом. При электрошлаковой сварке электродами могут слу-

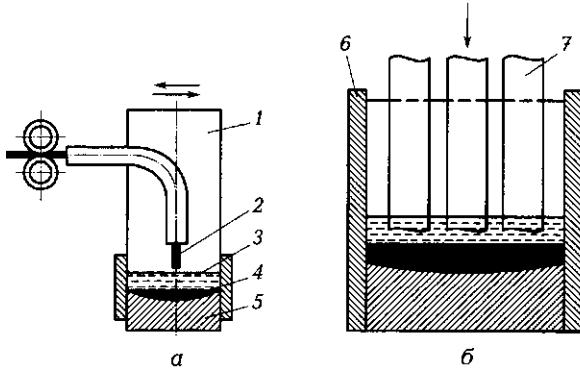


Рис. 10.29. Процессы электрошлаковой сварки:

а — проволочным электродом без его колебаний или с колебаниями; *б* — пластинчатыми электродами; 1 — свариваемая деталь; 2 — электродная проволока; 3 — ванна расплавленного шлака; 4 — расплавленный металл детали и электрода; 5 — сварной шов; 6 — кристаллизатор; 7 — пластинчатый электрод; стрелками указаны направления колебаний и подачи электродов

жить проволока, стержни и пластины; легче удаляются легко-плавкие вредные примеси, шлаки и газы из металла шва; замедляется охлаждение металла; уменьшается вероятность образования пор и холодных трещин. Этим способом часто сваривают металлы небольшой толщины (20...30 мм). Некоторые процессы электрошлаковой сварки проволочным и пластинчатыми электродами показаны на рис. 10.29.

Подготовка деталей под ЭШС имеет определенные особенности и подразделяется на предварительную и непосредственную.

При *предварительной подготовке* свариваемым кромкам соединяемых деталей придается требуемая форма и обеспечивается соответствующая чистота обработки. Особое внимание уделяется боковым поверхностям, по которым будут перемещаться формирующие шов устройства.

Для ЭШС деталей из конструкционных сталей толщиной до 200 мм кромки подготавливают газопламенной резкой, а для сварки деталей толщиной более 200 мм — механической обработкой. При газопламенной резке размер отдельных гребешков не должен превышать 3 мм.

Если заготовки выполнены из проката, то поверхность деталей под ползунами должна быть очищена от заусенцев и окалины. Кромки кольцевых швов, как правило, обрабатываются механическим способом.

Таблица 10.2. Обобщенные технологические характеристики типовых способов дуговой сварки, область их применения и режимы

Способ сварки	Основные размеры сварного соединения		Область применения	Режимы сварки				
	Толщина детали, мм	Катет шва, мм		$I_{\text{сп}}, \text{А}$	$U_{\Delta} \text{ или } U_{\text{шв}}, \text{ В}$	$V_{\text{сп}}, \text{ м/ч}$	$d_s, \text{ мм}$	$Q, \text{ А/мин}$
Ручная дуговая сварка покрытыми электродами (MMA)	2...10	3...10	Сварка и наплавка углеродистых, низко- и высоколегированных сталей, износостойких сплавов, сплавов алюминия и меди во всех областях металлообработки	50...400	15...40	7,2	—	—
Сварка под флюсом	2...100	3...10	Сварка углеродистых, низко- и высоколегированных сталей, сплавов титана и алюминия в тяжелом и транспортном машиностроении, судостроении	200...2000	20...50	9...200	—	—

Сварка плавящимся электродом в активных газах (MAG) и их смесях (CO_2 , CO_2 и O_2 ; Ar и CO_2 ; Ar , CO_2 и O_2)	1...20	2...8	Сварка углеродистых, низко- и высоколегированных сталей в вагоно- и автомобилестроении; стальных металлоконструкций, трубопроводов и сосудов	40...500 (1 000)	16...35	18...60	0,8...2,5	< 20
Сварка плавящимся электродом в инертных газах (MIG) и их смесях (Ar , He , Ar и He)	1...20	3...10	Сварка средне- и высоколегированных сталей, сплавов алюминия, меди, никеля, титана, бериллия и других цветных металлов в приборостроении, ракетно-космической технике, судостроении и самолетостроении	120...150	20...30	12...90	1,2...2,5	< 20
Сварка неплавящимся вольфрамовым электродом (TIG/WIG)	1...10	2...8	Сварка средне- и высоколегированных сталей, сплавов алюминия, меди, никеля, титана, бериллия	10...600	10...30	6...18 (50)	0,5...6,5	< 12

Окончание табл. 10.2

Способ сварки	Основные размеры сварного соединения		Область применения	Режимы сварки				
	Толщина детали, мм	Катет шва, мм		$I_{\text{св}}, \text{А}$	U_A или $U_{\text{шв}}, \text{В}$	$V_{\text{св}}, \text{м}/\text{ч}$	$d_{\text{ш}}, \text{мм}$	$Q, \text{л}/\text{мин}$
			и других цветных металлов в судо- и авиастроении, ракетно-космической технике (сосуды, аппараты), транспортном машиностроении					
Электрошлаковая сварка	Более 12	—	Сварка жаростойких и жаропрочных сталей, сплавов алюминия и титана в металлургии, судостроении и производстве энергетического оборудования	200...2 000	25...50	—	—	—

Непосредственная подготовка деталей к ЭШС заключается в сборке деталей под сварку. В зависимости от вида расплавляемого металла, способа ЭШС, ее режима и способов фиксации деталей угол разделки кромок деталей должен составлять 1 ... 2°. Соединяемые детали фиксируют скобами или планками, привариваемыми вдоль стыка через 50 ... 80 см.

После сварки (до обязательной термической обработки) входной карман и выводные планки удаляют газопламенной или плазменной резкой.

Конструктивные элементы сварных соединений и швов ЭШС должны соответствовать требованиям ГОСТ 15164—78. Электрошлаковой сваркой можно получать практически все виды сварных соединений.

При сварке стыковых соединений между двумя прямыми кромками предусматривается зазор, который является одним из наиболее важных технологических параметров режима сварки и зависит от толщины свариваемых деталей:

Зазор, мм.....	20 ... 21	26 ... 27	28 ... 32	36 ... 40	40 ... 42
Толщина свариваемых деталей, мм.....	16 ... 30	30 ... 80	80 ... 500	500 ... 1 000	1 000 ... 2 000

При ЭШС деталей с кромками разной толщины срезают более толстую кромку или наращивают более тонкую для выравнивания толщины свариваемых деталей.

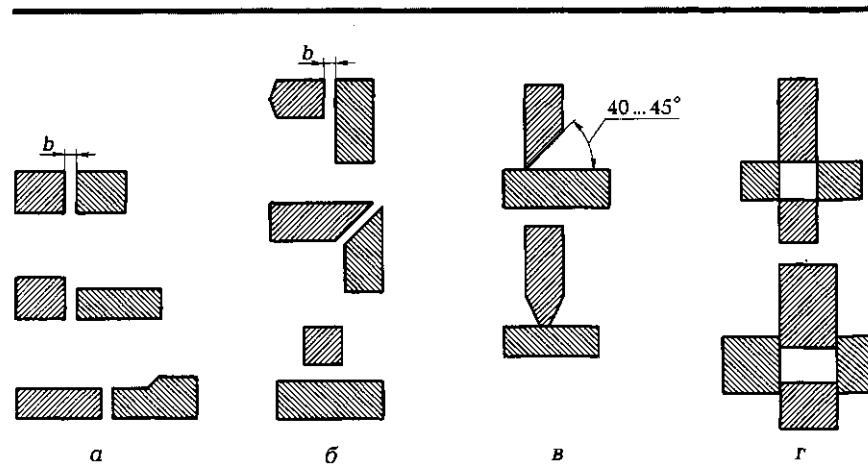


Рис. 10.30. Типы соединений, выполняемых электрошлаковой сваркой:
а — стыковые; б — угловые; в — тавровые; г — крестообразные; *b* — зазор

Угловые и тавровые соединения выполняют ЭШС значительно реже стыковых. Наиболее широкое распространение эти два вида соединений получили при изготовлении станин различных прессов из литья и проката. Некоторые типы сварных соединений, получаемых с помощью ЭШС, показаны на рис. 10.30.

Обобщенные технологические характеристики типовых способов дуговой сварки, область их применения и режимы (сила сварочного тока I_{cb} , напряжение дуги U_d при дуговой сварке, падение напряжения на вылете электрода в шлаковой ванне U_{sh} при ЭШС, скорость сварки V_{cb} , диаметр электрода d_s , расход защитного газа Q) приведены в табл. 10.2.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие виды проектной документации вы знаете? В чем состоит ее назначение?
2. Какие требования предъявляют к качеству и надежности сварных соединений?
3. На какие группы подразделяются сварные конструкции и в каких условиях они работают?
4. Назовите основные технологические операции заготовительного участка.
5. Какие виды заготовительного оборудования применяют для первоначального раскroя металла?
6. Какие виды механической обработки используют при разделке и обработке кромок?
7. Каково назначение химической подготовки деталей?
8. Какие основные требования необходимо выполнить, чтобы обеспечить заданное положение деталей в сборочно-сварочном приспособлении?
9. Какие виды вспомогательных приспособлений применяют при сборке деталей под сварку?
10. Какие сведения указывают в операционных маршрутных технологических картах?
11. Для чего используется обратноступенчатая сварка?
12. Что следует понимать под режимом сварки?
13. Каковы особенности сварки потолочных горизонтальных швов на вертикальной стенке?
14. Чем отличается производительность расплавления электрода от производительности наплавки?
15. Какие организационные и технические мероприятия позволяют повысить производительность ручной дуговой сварки?
16. Каковы достоинства и недостатки сварки пучком электродов?
17. В чем состоят преимущества сварки трехфазной дугой?
18. Как осуществляется сварка наклонным электродом?

19. Каковы преимущества сварки в защитных газах?
20. Какие защитные газы относятся к инертным и какие к активным?
21. Перечислите особенности сварки неплавящимся электродом.
22. Каковы особенности сварки плавящимся электродом?
23. Для чего к аргону добавляют кислород или углекислый газ?
24. Как влияют на формирование сварного шва сила тока и напряжение дуги?
25. Каковы преимущества сварки под флюсом?
26. Как влияет сила сварочного тока и напряжение дуги на формирование сварного шва при сварке под флюсом?
27. В чем состоят особенности формирования сварного шва при разных углах наклона электрода относительно свариваемой детали?
28. Каковы особенности процесса электрошлаковой сварки?

ГЛАВА 11

ДУГОВАЯ СВАРКА, НАПЛАВКА И РЕЗКА МЕТАЛЛОВ

11.1. СВАРКА УГЛЕРОДИСТЫХ И ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

Низкоуглеродистые стали обладают существенным технологическим достоинством: они хорошо свариваются при использовании практически любых способов сварки. Для изготовления ответственных сварных металлоконструкций в основном применяют стали обыкновенного качества группы В с гарантированными механическими свойствами и химическим составом или качественные стали. Технологию их сварки выбирают исходя из условия обеспечения равнопрочности основного металла и сварного соединения при минимальном снижении пластичности зоны соединения и отсутствии дефектов в сварных швах.

Металл шва при сварке низкоуглеродистых сталей несколько отличается от основного металла по содержанию углерода, марганца и кремния. Углерод в процессе сварки частично выгорает, а содержание кремния и марганца, поступающих в металл шва в виде добавок (полезных составляющих), оказывается повышенным.

При сварке кипящих и полуспокойных низкоуглеродистых сталей наблюдается снижение ударной вязкости в зоне термического влияния. Для снижения напряжений и склонности к охрупчиванию сварных соединений после сварки их подвергают нормализации с последующим высоким отпуском.

Металлоконструкции из низкоуглеродистых сталей сваривают ручной дуговой сваркой электродами типа Э46 с рутиловым покрытием (МР-3, АНО-3 и -4) и типов Э42А и Э50А с фтористокальциевым покрытием (УОНИ-13/45 и -13/55).

Для сварки металла толщиной до 5 мм применяют электроды диаметром 3 мм, а при большей толщине металла — электроды диаметром 4 или 5 мм.

В табл. 11.1 приведены рекомендуемые режимы сварки низкоуглеродистых конструкционных сталей.

Таблица 11.1. Рекомендуемые режимы ручной сварки низкоуглеродистых конструкционных сталей

Толщина металла, мм	Соединения					
	Стыковое		Тавровое		Налесточное	
	$I_{\text{сп}} \text{ A}$	$d_s \text{ mm}$	$I_{\text{сп}} \text{ A}$	$d_s \text{ mm}$	$I_{\text{сп}} \text{ A}$	$d_s \text{ mm}$
2,0	45...70	2,5	50...80	3	55...85	3
4,0	120...160	3...4	120...160	3...4	120...160	3...4
5,0	130...180	3...4	130...180	4	130...180	4
10,0	140...220	4...5	150...220	4...5	150...220	4...5

Таблица 11.2. Рекомендуемые режимы автоматической сварки под флюсом низкоуглеродистых сталей односторонним стыковым швом без разделки кромок

Толщина металла, мм	Зазор, мм	Диаметр проволоки, мм	Сила сварочного тока, А	Напряжение дуги, В, при сварочном токе		Скорость сварки, м/ч
				переменном	постоянном	
10	2...3	4...5	700...750	34...38	30...32	28...30
14	3...5	4...5	850...900	36...40	30...34	25...27
16	5...7	4...5	900...950	28...42	30...34	20...24

При сварке кольцевых или продольных швов под флюсом с помощью автоматов подвесного или тракторного типа широко используют порошкообразный присадочный металл. За счет концентрации теплоты сварочной дуги под расплавленным флюсом применение ПГМ позволяет значительно повысить производительность процесса сварки и избежать появления угловых деформаций при сварке стыковых соединений. Рекомендуемые режимы автоматической сварки под флюсом низкоуглеродистых сталей односторонним стыковым швом без разделки кромок приведены в табл. 11.2.

При невысоких показателях механических свойств низкоуглеродистых сталей приходится увеличивать толщину металла конструкции.

Для снижения металлоемкости конструкций широко используются **низколегированные стали**. Даже незначительное легирование сталей марганцем, кремнием, хромом, никелем, ванадием и другими элементами позволяет уменьшить массу конструкции и увеличить срок ее эксплуатации. Для повышения коррозионной стойкости и снижения охрупчивания конструкций при температурах до -70°C в сталь добавляют до 1 % меди. Например, медь содержится в широко применяемых сталях 10ХСНД и 15ХСНД.

Низколегированные стали в отличие от низкоуглеродистых имеют несколько большую склонность к образованию закалочных структур в металле шва и околошовной зоне при повышенной скорости их охлаждения, поэтому металл сварного соединения теряет пластичность и становится менее стойким к хрупкому разрушению. Наиболее заметно эти изменения проявляются в теплоустойчивых сталях (12МХ, 12Х1МФ и др.), используемых в энергетическом машиностроении. Для повышения жаропрочности этих сталей применяют легирующие элементы — молибден и вольфрам, общее содержание которых достигает 4 %. Основная функция легирующих элементов — обеспечение равнопрочности шва и основного металла. Легирующие элементы вводятся в металл шва через сварочные материалы или переходят из основного металла в шов в процессе сварки. Для снижения отрицательного влияния легирующих элементов при сварке следует уменьшать скорость охлаждения металла и не допускать его перегрева.

Необходимо выбирать сварочную проволоку с пониженным содержанием углерода и серы, соблюдать определенную последовательность наложения сварных швов и осуществлять предварительный или сопутствующий подогрев согласно указаниям технологических документов.

Подготовка деталей под сварку и технология сварки низкоуглеродистых и низколегированных сталей не имеют существенных отличий, за исключением некоторых особенностей сварки теплоустойчивых сталей. Для получения их соединений применять ручную дуговую сварку, сварку в углекислом газе или под флюсом на постоянном токе обратной полярности при жестком ограничении содержания углерода и примесей в основном металле, а также проводят предварительный подогрев и термообработку после сварки. Выполнение указанных условий позволяет значительно снизить склонность теплоустойчивых сталей к охрупчиванию, появлению холодных трещин, развитию процессов старения и разупрочнения сварных швов металлоконструкций при их эксплуатации.

Для сварки в углекислом газе низколегированной стали толщиной до 10 мм используют сварочную проволоку марки Св-08ГС или -08Г2С диаметром 0,5...1,2 мм, а для стали большей толщины — проволоку диаметром 1,4...2 мм; применяют также порошковую проволоку диаметром до 3 мм.

Весьма важным показателем для металлоконструкций является определение расхода металла на единицу рабочей нагрузки. Для уменьшения массы конструкции при сохранении ее работоспособности необходимо снижать этот показатель, используя для изготовления стали, сочетающие в себе высокие прочность и пластичность, вязкость, усталостную прочность и свариваемость. Такие механические свойства достигаются за счет увеличения содержания легирующих элементов в металле сварных швов. Однако при этом ухудшается свариваемость, снижаются пластичность и ударная вязкость металла шва и околосшовной зоны. Появляются наиболее опасные дефекты — холодные трещины, которые образуются в процессе мартенситных превращений и при наличии растворенного водорода.

Для изготовления ответственных металлоконструкций применяют низколегированные стали высокой прочности марки 16Г2АФ (предел текучести 450 МПа) с нитридным упрочнением за счет легирования ванадием (обозначается буквой Ф в марке стали) и азотом (А) и марки 14Х2ГМР (предел текучести 600 МПа) с боридным упрочнением посредством введения бора (Р) в качестве основного легирующего элемента. Чтобы обеспечить высокие прочностные характеристики сварных швов и соединений необходима тщательная очистка свариваемых деталей и предварительная подготовка кромок. Сварочные материалы должны прокаливаться не менее 2 ч (электроды — при температурах 400...450 °C, флюсы — при 350...380 °C, порошковая проволока — при 240...250 °C). Свароч-

ные материалы, подготовленные таким образом, следует использовать за один прием при непрерывной сварке в течение 2...4 ч. Если материалы не израсходованы, то их возвращают на повторное прокаливание. Сварочная проволока подлежит тщательной очистке от ржавчины, загрязнений и смазочных масел непосредственно перед сваркой.

В процессе сварки применяют такие технологические приемы, как увеличение числа проходов, использование легированной сварочной проволоки и ППМ, снижение погонной энергии (уменьшение тепловложения) для ограничения роста зерен в околосварочной зоне.

Для выполнения прихваток и самой сварки стали 16Г2АФ рекомендуются покрытые электроды типов Э60А-Ф (УОНИ-13/65) и Э50А-Ф (УОНИ-13/55, АНО-10). При сварке под флюсом применяют сочетание трех видов сварочных материалов: флюса АН-17, сварочной проволоки Св-10НМА и в качестве ППМ — рубленой сварочной проволоки Св-10НМА или Св-08Г2С (при сварке ребер жесткости в балках коробчатого сечения можно использовать порошковую проволоку ГП-АН8).

При сварке под флюсом деталей из стали 16Г2АФ большой толщины (10 мм и более) предварительный подогрев обязателен. Необходимость в сопутствующем подогреве зависит от условий сварки.

Ручную дуговую сварку и сварку под флюсом многослойных швов производят особым технологическим приемом — с мягкой прослойкой. При ручной сварке первые слои выполняют электродами УОНИ-13/45, а последующие — электродами УОНИ-13/55 или -13/65. При сварке под флюсом для получения первых слоев швов применяют сварочную проволоку Св-08ГА.

При многослойной двухсторонней механизированной сварке в углекислом газе первый слой сварного шва выполняют со стороны, противоположной расположению прихваток.

При изготовлении сварных узлов из стали 16Г2АФ большой толщины необходимо в течение 1 ч подогревать сварные соединения, препятствуя их охлаждению до температур ниже 200 °С.

В табл. 11.3 и 11.4 приведены рекомендуемые режимы полуавтоматической сварки в углекислом газе для стыковых соединений без разделки кромок и угловых соединений.

Сварные узлы из стали 14Х2ГМР изготавливают ручной дуговой сваркой электродами АНП-2, прокаливаемыми непосредственно перед сваркой. При автоматической или полуавтоматической сварке под флюсом используют сочетание флюса АН-17М и сва-

Таблица 11.3. Рекомендуемые режимы полуавтоматической сварки в углекислом газе стыковых соединений без разделки кромок

Толщина металла, мм	Зазор, мм	Число проходов	Диаметр проволоки, мм	Сила сварочного тока, А	Напряжение дуги, В	Расход газа, л/мин
1,2...2,0	0,8...1,0	1	0,8...1,0	70...100	18...20	10...12
3,0...5,0	1,6...2,0	1	1,0...1,2	180...200	26...28	14...16
6,0...8,0	1,6...2,0	2	1,2...1,4	280...300	28...30	16...18

Таблица 11.4. Рекомендуемые режимы полуавтоматической сварки в углекислом газе угловых соединений

Катет шва, мм	Диаметр проволоки, мм	Число проходов	Сила сварочного тока, А	Напряжение дуги, В	Вылет электрода, мм	Расход газа, л/мин
1,2...2,0	0,8	1	80...120	18...22	8...12	8...10
2,0...4,0	1,0	1	90...180	20...24	10...15	10...12
5,0...6	1,2	2	230...360	26...35	16...25	12...16

рочной проволоки Св-10ХГ2Н2МЮ, а при сварке в углекислом газе или его смеси с кислородом применяют сварочную проволоку Св-10ХГСН2МЮ.

Теплоустойчивые стали относятся к группе *среднелегированных сталей*, у которых суммарное содержание легирующих элементов не превышает 10 %. Легирующими добавками служат хром, никель, марганец, кремний, титан, вольфрам, молибден, ванадий и др. Исходная структура этих сталей — перлит. Стали некоторых марок (30Х2ГСНВМ, 28Х3СНМВФА) могут относиться к мартенситному или мартенситно-перлитному классу.

Среднелегированные стали имеют довольно высокий предел прочности (до 2 000 МПа), хорошую пластичность и повышенную стойкость к хрупкому разрушению. Применение этих сталей разнообразно: ответственные конструкции в авиационной промышленности, химическом и энергетическом машиностроении. В процессе эксплуатации сварные конструкции должны сохранять прочностные характеристики при высоких температурах и длительном воздействии нагрузок.

Для изготовления сварных конструкций или отдельных узлов из среднелегированных сталей применяются основные известные способы сварки, но технологически их сварочный процесс значительно сложнее, чем сварка низколегированных сталей.

Наиболее широко используются среднелегированные стали перлитного класса средней прочности (их предел прочности составляет 1 300...1 400 МПа). Это весьма распространенные марки сталей (25ХГСА, 30ХГСА и др.) с малым или большим содержанием углерода и низкоуглеродистые стали (12Х2НВФА и других, у которых содержание углерода менее 0,15 %). Они занимают промежуточное положение между сталью с хорошей и удовлетворительной свариваемостью.

Высокопрочные среднелегированные стали (30ХГСН2А, 28Х3СНВФА и 30Х2ГСНВМ с пределом прочности до 2 000 МПа), отличающиеся повышенным содержанием углерода, относятся к удовлетворительно, ограниченно или плохо сваривающимся сталью. Они склонны к образованию закалочных структур при охлаждении после сварки. В связи с этим увеличивается вероятность появления холодных трещин. Горячие трещины возникают в металле шва из-за многокомпонентного легирования и образования по границам зерен легкоплавких эвтектик. Для сварных соединений характерна повышенная чувствительность к концентраторам напряжений, особенно опасных при наличии динамических нагрузок.

Для уменьшения отрицательного влияния перечисленных факторов на работоспособность конструкций из высокопрочных среднелегированных сталей технологию их сварки разрабатывают особенно тщательно. Необходимо, чтобы содержание углерода и примесей (серы и фосфора) в основном металле было пониженным, сварочные материалы должны быть подготовлены к сварке за 2...3 ч, в процессе сварки не должны выполняться пересекающиеся или близко расположенные швы, сборка деталей под сварку должна осуществляться с минимальным смещением кромок (не превышающим 10 % от толщины свариваемого металла), сварка должна производиться короткой дугой на постоянном токе обратной полярности с предварительным или сопутствующим подогревом, а после сварки незамедлительно должен осуществляться высокий отпуск при медленном охлаждении сварных соединений.

Коррозионно-стойкие стали относятся к группе высоколегированных сталей, т. е. содержащих свыше 10 % легирующих элементов и более 45 % железа. Основные легирующие элементы для этих сталей те же, что и для среднелегированных. Высоколегированные стали незаменимы в производстве оборудования, работающего в широком диапазоне температур в газовых, жидкых и агрессивных средах, для пищевой и химической промышленности, в авиации и энергетике. Высоколегированные стали обладают весьма ценными, специфическими свойствами: высокими коррозионной стойкостью, хладо- и жаростойкостью, жаропрочностью, сопротивлением ползучести при нагревании и т.д. Жаропрочные стали выдерживают при эксплуатации в условиях высоких температур значительные механические нагрузки без разрушения. Жаростойкие стали противостоят химическому воздействию при высоких температурах в газовой среде или окислению на воздухе. Высоколегированные стали подразделяются на хромистые, хромоникелевые, хромомарганцевые и др.

Например, стали 12Х13, 20Х13, 30Х13 и 40Х13 применяют для изготовления сварных конструкций, работающих в условиях повышенных температур (600...900 °C) воздушной среды. Эти стали сохраняют коррозионную стойкость при эксплуатации в дистиллированной, морской и пресной воде, растворах азотной и серной кислот, а также в атмосфере амиака (до 24 %). Стали 12Х18Н9 и 08Х18Н10 обладают коррозионной стойкостью при эксплуатации в морской воде и влажном воздухе с парами соляной и серной кислот. Сталь 10Х14Г14Н4Т сохраняет жаростойкость в условиях повышенных температур (700...800 °C) окружающей среды и кор-

ционную стойкость в растворах азотной и уксусной кислот. По структуре высоколегированные стали подразделяются на мартенситные, ферритные и аустенитные, а также могут относиться к любому промежуточному (по отношению к основным структурам) классу: мартенситно-ферритному и др.

Хромистые стали могут иметь различную структуру в зависимости от содержания хрома и углерода: при наличии в них 12...13 % хрома и 0,06...0,08 % углерода — мартенситную, при увеличении содержания хрома до 16 % — мартенситно-ферритную, а при содержании хрома выше 16 % — ферритную. Переход сталей из одного структурного класса в другой достигается добавлением в сталь и других элементов.

В процессе эксплуатации конструкций из хромистых сталей с ферритной структурой под воздействием нагретой рабочей среды могут произойти структурные изменения, и металл станет хрупким. Стали проявляют склонность к межкристаллитной коррозии. Охрупчивание и снижение их коррозионной стойкости связывают с выделением карбива хрома по границам зерен в твердых растворах и снижением содержания в областях, прилегающих к границам зерен сформированной структуры металла.

В процессе сварки хромистых сталей мартенситного класса в металле сварного соединения образуются закалочные мартенситные структуры, что приводит к снижению пластичности и повышению твердости металла. В результате таких изменений появляются холодные трещины. Избежать их образования удается с помощью предварительного и сопутствующего подогревов до температур 250...450 °С, обязательного последующего высокого отпуска и мер по снижению содержания водорода в металле шва.

В процессе сварки хромистых сталей ферритного класса происходит резкое изменение их структуры — укрупнение зерен в околосшовной зоне и металле шва при незначительном повышении погонной энергии сварочного процесса. По этой причине такие стали не подвергаются никаким видам термообработки.

При сварке аустенитных сталей в металле сварного шва и околосшовной зоне могут возникать горячие трещины, что необходимо прогнозировать и предупреждать принятием соответствующих мер. Наиболее известный и широко используемый способ предотвращения возникновения горячих трещин заключается в том, что в сварной шов вводят посредством легирования ферритообразующие элементы — титан, молибден, кремний и др. Этот прием обеспечивает создание двухфазной структуры, которая способствует измельчению зерен в металле шва и уменьшению

ликаций. Двухфазная структура в аустенитных сталях может быть сформирована и за счет выделения в металле шва карбидов или боридов.

Для получения двухфазной аустенитно-карбидной структуры шов легируют углеродом и карбидаобразующими элементами — ниобием и титаном. Однако при таком легировании возникает другая проблема: углерод резко повышает склонность сварных швов к межкристаллитной коррозии. Поэтому данный способ предупреждения образования трещин применим только при сварке жаропрочных и жаростойких сталей. При формировании двухфазной аустенитно-боридной структуры достаточно легировать сварной шов бором (0,2...0,7%). Незначительное повышение содержания бора может вызывать возникновение холодных трещин. В этом случае следует осуществлять предварительный или сопутствующий подогрев до температур 250...300 °C для предупреждения их появления.

Таким образом, в процессе сварки высоколегированных сталей возникают серьезные затруднения, в связи с чем свариваемость этих сталей оценивается как ограниченная или плохая. Поэтому при проектировании конструкций из таких сталей технологии в проектной документации предусматривают все возможные и допустимые технологические приемы.

Ручная дуговая сварка высоколегированных сталей покрытыми электродами осуществляется, как правило, на постоянном токе обратной полярности. Подготовку кромок и сборку под сварку производят так же, как и при сварке углеродистых сталей. Выбор марки электрода зависит от вида свариваемой стали и тех условий, в которых будет эксплуатироваться сварная конструкция. Основное легирование происходит за счет металла электродного стержня, а дополнительное — за счет материала покрытия электрода.

В табл. 11.5 приведены рекомендуемые режимы ручной дуговой сварки высоколегированных сталей.

Сварка под флюсом обеспечивает постоянную глубину проплавления основного металла по всей длине сварного шва, более постоянный химический состав металла шва, отсутствие кратеров, образующихся в процессе ручной сварки при замене электродов, и чешуйчатости на поверхности шва, а также стабильные условия для формирования сварного шва. Однако возникают некоторые затруднения при сварке кольцевых стыков труб малого диаметра: невозможно осуществлять в полном объеме предварительный и особенно сопутствующий подогревы. Невысокие значения теплопроводности и температуры плавления высоколегированных ста-

Таблица 11.5. Рекомендуемые режимы ручной дуговой сварки высоколегированных сталей

Толщина металла, мм	Электрод		Сила сварочного тока, А, при различных пространственных положениях сварки		
	Диаметр, мм	Длина, мм	нижнем	вертикальном	поперечном
2...3	3	222 или 250	70...100	50...80	45...75
3...8	3...4	250 или 350	85...140	75...130	65...120
8...12	4...5	350 или 450	85...160	75...150	65...130

лей по сравнению с аналогичными параметрами низколегированных сталей позволяют уменьшить силу сварочного тока на 10...30 % (при одинаковой глубине проплавления). Вылет электрода уменьшают в 1,5—2 раза из-за более высокого электросопротивления высоколегированных сталей. Состав применяемых флюсов существенно влияет на режим сварки. При использовании флюсов на основе фтора сварку производят на постоянном токе обратной полярности, при сварке под слоем бесфтористых флюсов (высокоосновных) — на постоянном токе прямой полярности.

Широкое распространение получила ручная сварка неплавящимся вольфрамовым электродом в аргоне (TIG/WIG). Кромки свариваемых деталей и присадочный металл расплавляются постоянной или импульсной дугой. Дуга, сварочная ванна, торцевой конец присадочной проволоки и формирующийся сварной шов

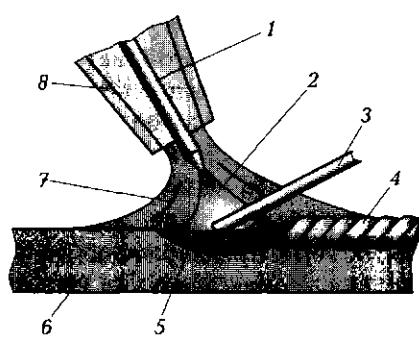


Рис. 11.1. Схема сварки неплавящимся вольфрамовым электродом в инертном газе:

1 — электрод; 2 — сварочная дуга; 3 — присадочный металл; 4 — сварной шов; 5 — сварочная ванна; 6 — основной металл; 7 — поток защитного инертного газа; 8 — сопло горелки

надежно защищаются от воздействия воздуха ламинарным потоком инертного газа, который подается в зону сварки через сварочную горелку. Схема сварки неплавящимся вольфрамовым электродом в инертном газе приведена на рис. 11.1.

Ручную сварку неплавящимся вольфрамовым электродом классифицируют по следующим критериям: по способу возбуждения дуги (касанием о свариваемую деталь или заходную планку, бесконтактное возбуждение), виду защиты дугового промежутка (ламинарным потоком, в защитной газовой камере), виду защитного газа (argon, гелий, азот или смесь газов), виду дугового разряда (непрерывно горящая дуга, импульсная сжатая дуга) и техническим признакам (погруженной или проникающей дугой несколькими вольфрамовыми электродами).

Способ TIG/WIG широко используется при выполнении сварочных работ в химической, нефтеперерабатывающей, теплоэнергетической, авиационной, космической, автомобилестроительной, пищевой и других отраслях промышленности. В этих отраслях находят применение углеродистые конструкционные и коррозионно-стойкие стали, алюминий и его сплавы, титан, никель, медь и ее сплавы. Для сварки такого широкого спектра металлов этот способ незаменим. Его используют также при сварке разнородных металлов и наплавке.

В качестве защитных газов применяют аргон, гелий или их смесь (35...40 % аргона и 60...65 % гелия). С помощью этой смеси защитных газов достигается высокое качество сварного шва: аргон обеспечивает стабильность горения дуги, а гелий — более глубокое проплавление металла. Чистый азот используют только для сварки меди. Его выпускают четырех сортов (ГОСТ 9293—74) — высшего, первого, второго и третьего в зависимости от степени чистоты.

Вольфрамовые электроды ЭВЧ (чистый вольфрам) применяют при сварке на переменном токе, а электроды с добавками-присадками лантана или иттрия — как на переменном, так и на постоянном токе любой полярности. Рабочую часть электродов зачищают на конус (только в продольном направлении). Торец электрода для сварки на постоянном токе имеет плоский срез, а для сварки на переменном токе — сфероидальную форму.

Для сварки вольфрамовым электродом на переменном токе используют обычные сварочные трансформаторы серии ТДМ или СТШ, применяемые при ручной дуговой сварке. Однако сварочный трансформатор должен иметь высокое напряжение холостого хода для того, чтобы обеспечить устойчивость сварочного процес-

са — стабильность сварочного тока при изменениях длины дуги. При сварке в гелии или при малой силе тока необходимо повышенное напряжение холостого хода, достигающее 120 В. Для обеспечения безопасности сварщика, особенно при монтаже металлоконструкций на открытых строительных объектах, используют ограничители напряжения холостого хода.

Сварка неплавящимся вольфрамовым электродом обеспечивает минимальный угар легирующих элементов. Это позволяет получить сварной шов, по химическому составу близкий к основному металлу. Сварку выполняют в основном на постоянном токе прямой полярности. Исключение составляют стали с высоким содержанием алюминия; их сваривают на переменном токе. Толщина свариваемого металла не должна превышать 7 мм. Формирование аккуратного сварного шва неплавящимся вольфрамовым электродом позволяет применять этот способ для выполнения корневых швов на стальях относительно большой толщины. Последующие швы могут быть получены по скосу кромки сваркой под флюсом, покрытыми или плавящимися электродами в защитных газах и их смесях. Аргонодуговую сварку высоколегированных сталей вольфрамовым электродом можно производить непрерывно горящей либо импульсной дугой вручную или механизированными способами на режимах, представленных в табл. 11.6.

Существуют некоторые особенности сварки плавящимся электродом в защитных газах и их смесях. Так, при сварке с применением полуавтомата или автомата тех сталей, в которых содержатся легкоокисляющиеся элементы (алюминий, титан и др.), рекомендуется использовать инертный газ аргон, а силу сварочного тока устанавливать с расчетом обеспечения струйного переноса электродного металла. Рекомендуемые режимы механизированной аргонодуговой сварки плавящимся электродом высоколегированных сталей приведены в табл. 11.7.

Таблица 11.6. Рекомендуемые режимы аргонодуговой сварки вольфрамовым электродом высоколегированных сталей

Толщина металла, мм	Диаметры, мм		Сила сварочного тока, А	Расход аргона, л/мин
	вольфрамового электрода	присадочной проволоки		
2...3	2,0...2,5	1,6...2,0	50...70	8...10
4...6	2,5...3,0	2,0...3,0	70...120	10...16

Таблица 11.7. Рекомендуемые режимы механизированной аргонодуговой сварки плавящимся электродом высоколегированных сталей (стыковых соединений в нижнем положении)

Толщина металла, мм	Разделка кромок	Диаметр сварочной проволоки, мм	Сила сварочного тока, А	Скорость сварки, м/ч	Расход аргона, л/мин
2 ... 4	Без разделки	1 ... 2	200 ... 240	30 ... 50	8 ... 12
6 ... 8	Прямолинейная односторонняя	1 ... 2	260 ... 280	30 ... 40	12 ... 16
8 ... 10	То же	2 ... 3	300 ... 440	15 ... 25	16 ... 18

При сварке в защитных газах с применением смеси аргона, кислорода и углекислого газа отмечается повышенное разбрызгивание и угар легирующих элементов. Например, содержание титана уменьшается почти вдвое, а металл шва значительно науглероживается. В коррозионно-стойких сталях науглероживание удается предотвратить увеличением содержания в металле шва титана, ниobia и ферритизаторов (кремния, алюминия, хрома).

11.2. СВАРКА ЧУГУНОВ

Структура и свойства чугунов формируются в процессе графитизации — выделения углерода в виде включений свободного графита при охлаждении отливок. Этот процесс зависит от скорости охлаждения и химического состава чугунов, которые по *степени легирования* подразделяются на нелегированные, низко-, средне- и высоколегированные.

Если в чугуне углерод находится в свободном состоянии (в виде графита), то такой чугун в изломе имеет серый цвет и называется серым. Он характеризуется удовлетворительной прочностью и достаточной твердостью, хорошо обрабатывается и довольно широко применяется как конструкционный материал.

Если в чугуне углерод находится в химически связанном состоянии (в виде цементита), то в изломе он имеет светлый цвет и на-

зывается белым. Белые чугуны отличаются очень высокой твердостью, и поэтому чрезвычайно трудно обрабатываются. Высокая твердость обеспечивает их длительную износостойкость, но как конструкционные материалы белые чугуны используются ограниченно.

Легирующие элементы по-разному влияют на процесс графитизации и образуют две группы: *графитизаторы* (углерод, кремний, алюминий, никель, кобальт, медь), способствующие процессу графитизации, и *отбеливающие* элементы (сера, ванадий, хром, олово, молибден, марганец), задерживающие процесс графитизации и вызывающие выделение углерода в виде цементита и карбидов, а также охрупчивание чугуна.

По *структуре основы* различают ферритные, перлитные, ферритно-перлитные, перлитно-карбидные, мартенситные и аустенитные чугуны. *Форма графитовых включений* обуславливает в конечном итоге свойства чугунов. По этому признаку они подразделяются на несколько видов:

- серый чугун с пластинчатым графитом на ферритной или перлитной основе;
- ковкий чугун с хлопьевидным графитом на ферритно-перлитной основе;
- высокопрочный чугун с шаровидным графитом на ферритной или перлитной основе;
- легированные чугуны с пластинчатым или шаровидным графитом на ферритной, перлитной или аустенитной основе (хромистые, никелевые, кремнистые, марганцевые и алюминиевые).

Из чугуна отливают корпуса различных насосов, блоки цилиндров автомобильных двигателей, гильзы цилиндров, кронштейны, муфты для валов карданных передач, корпуса редукторов; опоры железнодорожных, автомобильных и других мостов. В процессе эксплуатации эти изделия требуют проведения ремонтно-восстановительных работ с применением сварочных процессов.

Свариваемость чугунов не имеет четкой классификации, так как трудности, возникающие при сварке, носят разный характер. Основные из них вызваны охрупчиванием сварного шва и зоны термического влияния вследствие отбеливания при быстром охлаждении деталей после сварки; склонностью к образованию горячих трещин в связи с присутствием в металле шва примесей, способствующих появлению легкоплавких эвтектик; склонностью к образованию холодных трещин в связи с формированием хрупких структур и наличием высоких сварочных напряжений; повы-

шенной пористостью, обусловленной интенсивным газовыделением в процессе сварки; повышенной жидкотекучестью, затрудняющей удержание сварочной ванны от вытекания.

Для уменьшения опасности охрупчивания сварных швов обычно применяют подогрев основного металла. В качестве присадочных материалов используют чугунные электроды с легирующими элементами (графитизаторами), входящими в состав покрытия. После сварки осуществляют медленное охлаждение.

Для уменьшения вероятности образования горячих трещин в металле шва строго ограничивают содержание серы и фосфора и применяют соответствующие сварочные материалы (модификаторы), которые придают графиту глобуллярную форму.

При увеличении количества включений графита уменьшаются линейная усадка металла шва и напряжение, увеличивается пластичность основы, которая имеет ферритную или ферритно-перлитную структуру. Представляется возможным производить сварку электродами, содержащими медь или никель без предварительного подогрева, так как металл шва приобретает повышенную стойкость к образованию холодных трещин.

Поры в металле шва обусловлены наличием водорода, кислорода, азота и углекислого газа. Для ограничения влияния водорода используют фтористые соединения во флюсах или электродных покрытиях. Влияние азота уменьшают, легируя металл шва титаном и алюминием. За счет раскисления сварочной ванны кремнием и алюминием удается снизить концентрацию углекислого газа. Кроме этих приемов активному удалению газов (дегазации) способствуют предварительный подогрев, уменьшение скорости охлаждения и увеличение продолжительности пребывания металла шва в расплавленном состоянии.

В зависимости от температуры предварительного подогрева различают горячую и холодную сварку. Горячая сварка может быть с высоким подогревом (до температур 600...700 °C) и низким подогревом (до 300...400 °C). Холодная сварка осуществляется покрытыми электродами без подогрева с использованием режимов, приведенных в табл. 11.8.

При горячей сварке дефектное место на детали подготавливают механическим способом или воздушно-дуговой резкой. Ручная дуговая горячая сварка с высоким или низким подогревом производится при повышенной силе сварочного тока, которая рассчитывается, А, по формуле $I_{cb} = (60...100)d_s$, где d_s — диаметр электрода, мм, или подбирается опытным путем. Место сварки в разде-
лке ограничивают формами из огнеупорной смеси (рис. 11.2).

Таблица 11.8. Рекомендуемые режимы холодной сварки

Марка электрода	Сила сварочного тока, А, при диаметре электродов, мм				Коэффициент наплавки, г/(А·ч)
	3,0	4,0	5,0	6,0	
ЦЧ-4	65...80	90...120	130...150	—	9...11
ОЗЧ-2	90...110	120...140	160...190	220...250	13...14
ОЗЖН-1	100...120	130...150	160...180	—	10...12
МНЧ-2	90...110	120...140	160...190	210...230	11...12

Края стенок таких форм должны превышать уровень расплавленной сварочной ванны на 5 мм.

Сварку производят посредством наплавки отдельных участков с последующим формированием соседней сварочной ванны. Температуру подогрева определяют с помощью термокарандашей или по внешним признакам. Чаще всего для подогрева применяют специальные газопламенные горелки.

Сварку осуществляют на переменном или постоянном токе обратной полярности. Во время заполнения формы с поверхности ванны периодически удаляют лишний шлак. Для сварки используют электроды в виде чугунного стержня с покрытием. В состав покрытия входят компоненты, стабилизирующие процесс горения дуги, шлакообразующие и легирующие элементы. Электродные стержни из чугуна марок А и Б содержат основные легирующие элементы (3...3,5% углерода; 3...4% кремния; 0,5...0,8% марганца) и графитизирующие добавки. При горячей сварке наиболее широко применяются электроды ОМЧ-1, ВЧ-3 и др. Электрододержатели должны быть широкозахватные, так как диаметр электродов составляет не менее 10 мм. В процессе сварки добавляют флюс на основе буры.

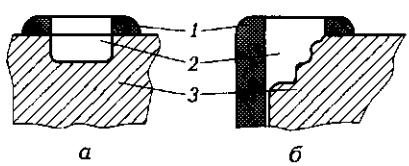


Рис. 11.2. Формы, применяемые при дуговой сварке деталей из чугуна:
а — для исправления поверхностного дефекта; б — для наплавки скола кромки;
1 — формы из огнеупорного материала;
2 — дефекты; 3 — детали

Механизированную горячую сварку чугунов осуществляют порошковой сварочной проволокой ППЧ-3 диаметром 3 мм (содержащей 4,5...5 % углерода; 4,0...5,3 % кремния, 0,1...0,3 % алюминия и 0,1...0,3 % титана), с защитой в углекислом газе или без защиты. Сварку ведут на постоянном токе обратной полярности.

Недостатками горячей сварки чугунов являются сложность технологических приемов, связанных с устройством формы вокруг сварочной ванны, и тяжелые условия труда сварщика.

При холодной сварке чугунов вручную необходимы специальные меры для предупреждения образования трещин и хрупких зон: выполнение сварки электродами из чугуна или порошковой сварочной проволоки и применение электродов с повышенным содержанием графитизаторов (углерода и кремния) и модификаторов для получения в металле шва структуры серого чугуна, а также с добавками из цветных металлов и сплавов для придания пластичности металлу шва.

Для холодной сварки чугунов рекомендуются электроды МНЧ-1, которые не образуют соединений с углеродом и не растворяют его, препятствуют отбеливанию и способствуют графитизации. Возможно использование и других электродов: железомедных, железоникелевых и медноникелевых. Такие электроды называют составными. Они содержат стержень из цветного металла, железную оплетку или дополнительный стержень и покрытие с добавкой порошка. Сварку производят с минимальным тепловложением в целях уменьшения зоны нагрева, в которой ожидается образование закалочных структур и значительных остаточных напряжений. Диаметр электродов, как правило, составляет 3...4 мм. Силу сварочного тока определяют по формуле $I_{\text{ср}} = (20...30)d$. Сварку ведут короткими участками (длиной 15...20 мм). По завершении сварки производят проковку швов.

Многолетней практикой рекомендован способ сварки чугунов по стальным шпилькам. Шпильки ввинчивают в подготовленные кромки и в разделку в шахматном порядке, приваривают, а затем соединяют их расплавляемым металлом. Сварку ведут вразброс на наиболее холодных участках. При нарезании резьбы в разделке и установке шпилек не рекомендуется применять смазочный материал.

Механизированную сварку можно производить в углекислом газе электродной проволокой Св-09Г2СА диаметром 1 мм при низких значениях силы сварочного тока или порошковой сварочной проволокой ППАНЧ-1 и -5. Высоколегированные и высокопрочные чугуны с аустенитной основой обладают удовлетворительной свариваемостью. Если подогрев до высоких температур невозмож-

Таблица 11.9. Режимы сварки высокопрочных чугунов порошковой проволокой ППАНЧ-5

Способ наплавки	Скорость подачи проволоки, м/ч	Вылет электрода, мм	Сила сварочного тока, А	Напряжение дуги, В
Валиками	112	20...25	370...390	32...34
Полужидкой ванной	159...210	40...60	400...540	38...42

жен, то рекомендуется применять электродные материалы аустенитного класса и железоникелевые электроды. Режимы сварки высокопрочных чугунов порошковой проволокой ППАНЧ-5 приведены в табл. 11.9.

При электрошлаковой сварке кроме электродов, однотипных по химическому составу с основным металлом, используют неплавящиеся графитовые стержни с дополнительным металлом (присадкой) в виде стальной стружки или прутки из чугуна, подаваемые в сварочную ванну.

11.3. НАПЛАВКА И РЕЗКА МЕТАЛЛОВ

Детали машин и механизмов выходят из строя в процессе эксплуатации вследствие истирания, воздействия ударных или комбинированных нагрузок, эрозии и т.д. Современная техника располагает различными способами восстановления и упрочнения деталей для повышения срока их службы. Одним из них является **наплавка** — нанесение слоя металла на поверхность заготовки или детали посредством сварки плавлением. Различают восстановительную и изготовительную наплавку.

Восстановительная наплавка применяется для получения первоначальных размеров изношенных или поврежденных деталей. В этом случае наплавленный металл близок по составу и механическим свойствам к основному металлу.

Изготовительная наплавка служит для получения многослойных деталей. Такие детали состоят из основного металла (основы) и наплавленного рабочего слоя. Основной металл обеспечивает необходимую конструкционную прочность. Слой наплавленного металла придает особые заданные свойства: износостойкость, коррозионную стойкость и т.д.

Наплавку производят не только при восстановлении изношенных, но и при изготовлении новых деталей машин и механизмов. Наиболее широко наплавка применяется при ремонтных работах. Восстановлению подлежат корпусные детали металлообрабатывающих станков и детали двигателей внутреннего сгорания: распределительные и коленчатые валы, клапаны, шкивы, маховики и т.д.

Наплавку можно осуществлять почти всеми известными способами сварки плавлением. Каждый способ наплавки имеет свои достоинства и недостатки. Наиболее важные требования, предъявляемые к наплавке, заключаются в следующем: минимальное проплавление основного металла; минимальное значение остаточных напряжений и деформаций металла в зоне наплавки; уменьшение до приемлемых значений припусков на последующую обработку деталей.

Однако не все способы наплавки могут обеспечить выполнение предъявляемых требований. Выбор способа наплавки зависит от возможности получения наплавленного слоя, имеющего определенный состав и необходимые механические свойства, а также от характера и допустимой размера износа. На выбор способа наплавки оказывают влияние размеры и конфигурация деталей, производительность процесса и доля основного металла в наплавленном слое. В табл. 11.10 приведены сравнительные характеристики некоторых способов наплавки.

Таблица 11.10. Сравнительные характеристики некоторых способов наплавки

Способ наплавки	Производительность, кг/ч	Доля основного металла, %	Толщина наплавленного слоя, мм
Аргонодуговая плавящимся электродом (TIG/WIG)	1,0...1,7	10...30	2,5...5,0
Плавящимся электродом в защитном газе (MIG/MAG)	1,5...9,0	30...60	3,0...5,0
Ручная дуговая покрытыми электродами (MMA)	0,8...3,0	20...50	2,0...5,0
Дуговая самозащитной проволокой	2,0...9,0	25...50	2,5...5,0
Плазменная с порошком	0,8...6,0	5...15	0,3...6,0

Несмотря на невысокие характеристики, ручная дуговая наплавка покрытыми электродами является наиболее универсальным способом, применимым для деталей сложной формы, и может выполняться в любых пространственных положениях.

Для наплавки используют электроды диаметром 3...6 мм. При толщине наплавленного слоя до 1,5 мм применяют электроды диаметром 3 мм, а при большей толщине — диаметром 4...6 мм. Для обеспечения минимального проплавления основного металла при достаточной устойчивости дуги плотность тока должна составлять 11...12 А/мм².

Основными достоинствами ручной дуговой наплавки являются универсальность и возможность выполнения сложных наплавочных работ в труднодоступных местах. Для ручной дуговой наплавки используется обычное оборудование сварочного поста. К недостаткам ручной дуговой наплавки можно отнести относительно низкую производительность, тяжелые условия труда сварщика из-за повышенной загазованности рабочей зоны, а также сложность получения необходимого качества наплавленного слоя и значительное проплавление основного металла.

Для ручной дуговой наплавки применяют как специальные наплавочные электроды, так и обычные сварочные, предназначенные для сварки легированных сталей (ГОСТ 1005—75). Выбор электрода для наплавки определяется составом основного металла. Например, при наплавке слоя низколегированной стали с содержанием углерода менее 0,4 % используют электроды следующих марок: ОЗН-250У, -300У, -350У, -400У и др. В маркировке электродов буква Н означает «наплавочный». Для наплавки слоя низколегированной стали с содержанием углерода более 0,4 % применяют электроды ЭН60М, ОЗШ-3, 13КН/ЛИВТ и др. При дуговой наплавке неплавящимися электродами используют литые присадочные прутки Пр-С1, -С2, -С27, -ВЗК, -ВЗК-Р и др. Для восстановления размеров изношенных деталей помимо электродов и присадочных прутков применяется наплавочная проволока Нп-30, -40, -50 и др. Для наплавки штампов используется легированная наплавочная проволока Нп-45Х4В3Ф, -45Х2В8Т и др.

Для износостойкой наплавки широкое распространение получила порошковая проволока. Например, для наплавки металла на детали, работающие в условиях абразивного износа с умеренными ударными нагрузками, используют порошковую проволоку следующих марок: ПП-Нп-200Х12М, -200Х12ВФ и др.

Для плазменной наплавки комбинированной дугой с применением вольфрамового электрода предназначены наплавочные по-

рошки. Их изготавливают на основе железа типа сормайт (ПГ-С1, -УС25, -С27 и -АН1), никеля (ПГ-СР2, -СР3 и -СР4) и кобальта (ПР-К60Х3ОВС, ПН-АН35 и ПГ-ЮК-1).

Источниками питания плазменной дуги при наплавочных работах обычно служат серийные выпрямители ВД-303 и -306, ВДУ-504,-505, -506, ИПН-160/100 и др. При дуговой наплавке в качестве источников питания применяют и сварочные трансформаторы.

Все наплавочные электроды для ручной дуговой сварки имеют основное покрытие, что обеспечивает высокую сопротивляемость образованию трещин при наплавке металла на стальные детали с повышенным содержанием углерода.

В зависимости от назначения слоя наплавленного металла в соответствии с условиями работы деталей наплавочные электроды условно подразделены на шесть групп:

- электроды (ОЗН-300М/11Г3С, -400М/15Г4С и НР-70/Э-30Г2ХМ) для наплавки слоя металла средней твердости на детали, работающие в условиях трения и воздействия ударных нагрузок (валы, оси, крестовины и другие детали автомобильного и железнодорожного транспорта), а также электроды (ЦНИИН-4/ Э-65Х25Г13Н13), применяемые для заварки дефектов в отливках железнодорожных крестовин и других деталей из высоко-марганцовистой стали 110Г13Л (дорожно-строительное оборудование, суда ледокольного типа);
- электроды (ЭН-60М/Э-70Х3СМТ, ЦН-14, 13КН/ЛИВТ/Э-80Х4С и ОЗШ-3/Э-37Х9С2), обеспечивающие повышенное содержание углерода в слое наплавленного металла, для деталей из низколегированных сталей, работающих в условиях трения при повышенной температуре (шестерни, эксцентрики, штампы), а также электроды (ОЗИ-3/20Х4М4ВФ), применяемые для наплавки металла на штампы горячего деформирования, ножи и зубья ковшей экскаваторов, вырубные штампы холодной и горячей штамповки, детали оборудования для горнодобывающей и металлургической промышленности;
- электроды (ОЗН-6/90Х4Г2С3Р, -7/75Х5Г4С3РФ, ВСН-6/Э-110Х14В13Ф2 и др.), обеспечивающие повышенные характеристики наплавленного углеродистого легированного металла, для деталей из сталей типа 110Г13Л, работающих в условиях ударно-абразивного износа (оборудование для горнодобывающей промышленности, щеки дробильных установок, измельчители);

- электроды (ОЗШ-6/10Х33Н11М3СГ, УОНН-13/Н1-БК/Э-09Х31Н8АМ2, ОЗИ-6/100Х4М8В2СФ и др.) для наплавки металла на детали, работающие в сверхтяжелых условиях при высоких давлениях и температурах 680...850 °C (бойки радиально-и горизонтально-ковочных машин, тяжелонагруженные штампы горячего деформирования и др.);
- электроды (ЦН-6Л/Э-08Х17Н8С6Г и -18/Э-15Х15Н10С5М3Г), обеспечивающие получение высоколегированного наплавленного металла с высокой стойкостью в условиях коррозионно-эрзационного износа при высоких давлениях и температурах (уплотнительные поверхности деталей и узлов котельного оборудования, работающих в среде перегретого пара и горячей воды);
- электроды (ОЗШ-6, -8, ЭА-855/51(ЭА-582/23) и -898/21Б/09Х19Н9Г2Б1М) для получения высоколегированного слоя наплавленного металла, работающего в коррозионно-активной среде при температурах 950...1 100 °C (детали и узлы атомно-энергетического и химического машиностроения).

Ускоренному изнашиванию подвержены всевозможные шлицевые соединения, оси и валы, ведущие звездочки машин на гусеничном ходу, шестерни и зубчатые колеса. На плоские поверхности износа металл наплавляется без особых затруднений. Проблемы возникают при наплавке металла на поверхности сложной формы.

Наиболее высокопроизводительной является многоэлектродная наплавка под флюсом, когда дуга автоматически возникает на торце то одного, то другого электрода. Благодаря попеременному плавлению электродов обеспечиваются более равномерное вложение тепловой энергии в основной металл и малая глубина проплавления. Сила сварочного тока при наплавке под флюсом выбирается в зависимости от диаметра сварочной проволоки (табл. 11.11).

Таблица 11.11. Зависимость силы сварочного тока от диаметра проволоки при наплавке под флюсом

Диаметр сварочной проволоки, мм	Сила сварочного тока, А, при наплавке проволокой	
	одноэлектродной	многоэлектродной
1,6	120...300	150...180
2,0	160...400	180...1 200
2,5	180...450	200...1 400
3,0	220...500	250...1 600

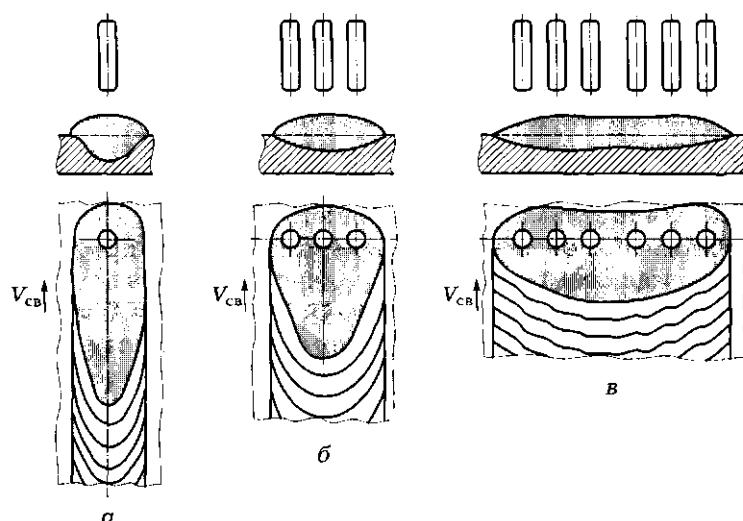


Рис. 11.3. Формы сварочной ванны и глубина проплавления при наплавке одним (а), тремя (б) и шестью (в) электродами (стрелками показаны направления наплавки)

Устойчивый процесс наплавки обеспечивается при постоянном токе обратной полярности. Чем меньше предполагаемая толщина наплавляемого слоя, тем меньше должны быть сила сварочного тока и диаметр сварочной проволоки. Формы сварочной ванны и глубина проплавления при однотипной и многоэлектродной наплавке представлены на рис. 11.3.

Дуговая резка металлов принципиально отличается от сварки как самим процессом, так и технологическими и техническими приемами. Объединяет эти процессы только то, что при их осуществлении применяются однотипные источники питания. Получили распространение следующие виды электродуговой резки: дуговая металлическим электродом, кислородно-дуговая и воздушно-дуговая. Кроме того, для высоколегированных сталей, цветных металлов и их сплавов используется резка в защитных газах: аргон-новодородная, азотно-дуговая, аргонокислородная и в аргоне. Все виды резки применяются для раскроя заготовок, обработки литья, при производстве монтажных и ремонтных работ надземных сооружений и под водой.

Дуговую резку металлическим электродом используют, как правило, для грубой разделки металла. Металлическим электродом можно резать чугун, коррозионно-стойкие стали и цветные метал-

лы, которые не поддаются традиционной газопламенной кислородной резке. Данную резку можно производить как на переменном, так и на постоянном токе. Наряду с ручной резкой распространена и автоматическая резка, осуществляемая под флюсом.

Воздушно-дуговая резка производится аналогично дуговой резке металлическим электродом, но с применением струи сжатого воздуха для выдувания расплавленного металла из зоны реза при разделительной или поверхностной резке в любых пространственных положениях. Данную резку можно выполнять омедненными угольными или графитизированными электродами с использованием специальных резаков и подводом сжатого воздуха к месту реза. Этот способ применяется для разделительной резки углеродистых и высоколегированных сталей, цветных металлов и чугуна. Резка углеродистых и коррозионно-стойких сталей производится преимущественно на постоянном токе обратной полярности, тогда как резка цветных металлов — на постоянном токе прямой полярности или переменном токе.

При кислородно-дуговой резке, применяемой для любых металлов и сплавов, расплавленный металл сжигается струей технически чистого кислорода и одновременно удаляются продукты сгорания из зоны реза. Режущая струя кислорода располагается за электродом. Данную резку производят трубчатыми стальными и тугоплавкими неметаллическими (угольными или графитовыми) электродами, а также обычными покрытыми электродами на постоянном или переменном токе. Для этого способа используются резаки с подводом кислорода к месту реза (специальные резаки применяются для резки и прошивки отверстий в железобетонных плитах).

Таблица 11.12. Рекомендуемые режимы кислородно-дуговой резки сталей

Толщина металла, мм	Диаметр электрода, мм	Сила тока, А	Объем кислорода на 1 м длины реза, м ³	Скорость резки, м/ч
10	4	100	0,10	30
15		170	0,13	28
20		180	0,16	26
30	5	220	0,30	22
40		240	0,37	17
50		260	0,40	12

Рекомендуемые режимы кислородно-дуговой резки сталей приведены в табл. 11.12.

Более качественную резку сплавов алюминия, углеродистых и легированных сталей выполняют на специальных установках плазменной или лазерной резки с автоматизированной системой управления процессом по размерам, заданным чертежом и программой режимов резки. При высокой температуре плазменной дуги (до 30 000 °С) металл в зоне реза быстро расплывается, а затем частично испаряется и частично выдувается плазмообразующим газом (argon, смеси аргона с воздухом, азота с водородом и др.). Скорость резки может достигать 5 м/мин. Чистота поверхности и точность реза при плазменной резке значительно выше, чем при других способах. Плазменную резку используют для раскroя металла толщиной от десятых долей миллиметра до 200 мм. Лазерная резка применяется также для резки неметаллов: текстолита, пластины, стекла и других материалов.

11.4. СВАРКА АЛЮМИНИЕВЫХ И ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

Алюминий имеет плотность 2,7 г/см³. Температура плавления алюминия составляет 658 °С. При высоких тепло- и электропроводности его предел прочности не превышает 100 МПа. Алюминий широко применяется в электротехнической промышленности, а благодаря наличию поверхностной оксидной пленки — и в пищевой. Пленка, защищающая металл от воздействия кислорода воздуха, в процессе сварки создает определенные трудности. Имея плотность 3,6 г/см³, она тяжелее алюминия, ее температура плавления составляет 2 050 °С, а предел прочности до 200 МПа.

При нагревании деталей в процессе сварки металл расплавляется раньше расположенной над ним оксидной пленки, которая разламывается на нерасплавляющиеся частицы и погружается в жидкий алюминий. Эти оксидные включения ослабляют сечение шва. Поэтому оксидную пленку необходимо удалять и перед сваркой, и в процессе сварки как с поверхности основного металла, так и со сварочной проволоки.

Для удаления оксидной пленки перед сваркой осуществляют либо механическую очистку свариваемых кромок с последующим обезжириванием, либо травление в растворах щелочей при температуре 60...70 °С с последующей нейтрализацией, промывкой в те-

плой (50 °C) и холодной проточной воде. Затем при температуре 60...70 °C производят осветление детали в 15%-ном растворе азотной кислоты. Аналогичными способами предварительно удаляют оксидную пленку и со сварочной проволоки.

В процессе сварки покрытыми электродами или с применением флюсов на основе хлоридов натрия и лития оксидная пленка удаляется вследствие того, что эти соединения проникают в микротрещины пленки, она поддается, при их испарении отрывается от поверхности алюминия, раздробляется и частично уносится шлаком. При сварке на постоянном токе обратной полярности (катод — свариваемая деталь) происходит так называемое катодное распыление оксидной пленки и удаление ее из зоны формирования сварного шва. При сварке на переменном токе оксидная пленка разрушается наиболее эффективно.

Алюминиевые сплавы используются более широко, чем чистый алюминий. Благодаря наличию в составе сплавов легирующих элементов или модификаторов они имеют высокую прочность (предел прочности 600 МПа и выше) в сочетании с малой плотностью и по применимости уступают только стали. Из них изготавливают сосуды для химической и пищевой промышленности, детали, узлы, корпуса транспортных средств и т. д.

При сварке алюминиевых сплавов возникают те же трудности, что и при сварке алюминия, подготовка деталей под сварку и способы удаления оксидной пленки в процессе сварки не имеют принципиальных различий. Соединения этих сплавов (как и чистого алюминия) получают сваркой в инертных газах (argonе и гелии) ручной дуговой, газоплазменной и контактной сваркой с использованием плавящихся и неплавящихся электродов.

Согласно ГОСТ 7871—75 выпускают 14 марок сварочной проволоки из алюминия и его сплавов разного химического состава (например, СвАМг3, СвАМг5 и др.).

При ручной дуговой сварке применяются неплавящиеся угольные электроды СК (сварочные круглые) длиной до 250 мм и диаметром 4; 6; 8; 10 и 18 мм (ГОСТ 10720—75).

Покрытия электродов изготавливают на основе хлоридов и фторидов (ОЗА-1 — для сварки, ОЗА-2 — для заваривания дефектов в отливках).

При сварке в защитных газах используются неплавящиеся вольфрамовые электроды и инертные газы (аргон первого или второго сорта и гелий либо их смеси).

Флюсы применяются при всех способах сварки, кроме дуговой сварки в защитных газах. Основное назначение флюсов — удале-

ние оксидной пленки благодаря наличию в их составе хлоридов и фторидов калия, натрия, лития и бария.

При дуговой сварке в инертных газах допустимы любые типы сварных соединений. Если необходимо использовать флюсы, то чаще всего выполняютстыковые соединения. При сборке деталей под сварку применяют прихватки или прижимы и фиксаторы, допускающие некоторое перемещение деталей в процессе сварки. При жестком закреплении деталей неизбежно появление деформаций и короблений, вследствие довольно высокого коэффициента линейного расширения алюминия.

В процессе сварки алюминия и его сплавов возникают и другие проблемы, связанные с формированием сварного шва: из-за высокой жидкотекучести расплавленного металла легко образуются прожоги и происходит неравномерное проплавление металла; только визуально можно определить начало процесса формирования жидкой ванны, так как цвет алюминия не изменяется в процессе нагревания и расплавления; чрезмерная пористость шва вследствие активного поглощения водорода расплавленным металлом (в одном объеме жидкого алюминия могут раствориться до 600 объемов водорода).

Уменьшить пористость в зоне сварки позволяют некоторые технологические приемы. В начальный момент затвердевания формирующегося шва растворимость водорода резко уменьшается, но продолжается его бурное выделение из расплава. Поэтому необходимо замедлить охлаждение жидкого металла, чтобы водород успел выделяться на поверхность сварочной ванны. Кроме того, для уменьшения пористости в аргон добавляют до 1,5 % кислорода, который создает в зоне сварки окислительную атмосферу или перед сваркой и по ее окончании производят подогрев деталей до 150...300 °C.

Перед сваркой тщательно подготавливают сварочные материалы и поверхности свариваемых деталей, не допуская наличия влаги — основного источника водорода, поступающего в зону сварки, а также максимально сокращают промежуток времени от начала подготовки сварочных материалов и деталей до окончания сварочного процесса.

При сварке на весустыковых соединений из алюминия и его сплавов применяют съемные подкладки из хромоникелевой стали или меди с формирующей канавкой вдоль всего сварного шва. В эту канавку в процессе сварки стекает жидкий металл, вместе с которым осаждаются оксидные пленки. В результате металл шва будет менее насыщен оксидными включениями.

Таблица 11.13. Рекомендуемые режимы дуговой сварки алюминиевых сплавов неплавящимся вольфрамовым электродом в инертных газах

Толщина металла, мм	Диаметр, мм		Сила тока, А, при сварке	
	вольфрамового электрода	присадочной проволоки	в аргоне	в гелии
1 ... 2	2	1 ... 2	50 ... 70	30 ... 40
4 ... 6	3	2 ... 3	100 ... 130	60 ... 90
6 ... 10	5	3 ... 4	220 ... 300	160 ... 240

Рекомендуемые режимы дуговой сварки алюминиевых сплавов неплавящимся вольфрамовым электродом в инертных газах приведены в табл. 11.13.

При сварке по отбортовке иногда используют специальный прием (низом вверх), аналогичный сварке в потолочном положении. Капли металла при формировании сварного шва в этом случае находятся в вертикальном положении головкой вниз, и частицы оксидной пленки осаждаются в нижней части головки затвердевающей капли сварного шва. Для выполнения сварки этим способом требуется высококвалифицированный сварщик.

Аргонодуговая сварка неплавящимся электродом на переменном токе — это один из наиболее предпочтительных способов сварки тонколистовых сплавов на основе алюминия. При этом способе сварки обеспечиваются минимальная деформация сварного соединения и высокое качество сварных швов. Рекомендуется возбуждать дугу на вспомогательной пластине и быстро переносить электрод на свариваемые кромки деталей.

Ручная сварка неплавящимся электродом производится как с присадочным металлом, так и без него. Длина дуги выбирается в пределах 1,5 ... 2,5 мм. Расстояние между концом электрода и нижним срезом сопла горелки при сварке стыковых соединений составляет 1,0 ... 1,5 мм, а при сварке тавровых соединений — 4 ... 8 мм. Давление защитного газа выбирается в пределах 0,01 ... 0,05 МПа. Когда под неплавящимся электродом образуется сварочная ванна, в нее подают присадочный металл для заполнения, затем присадочный металл отводят, а электрод быстро перемещают по направлению формирующемуся сварного шва к нерасплавленным кромкам, после чего снова формируют сварочную ванну и процесс повторяется.

Алюминий и его сплавы обладают высокой жидкотекучестью, поэтому при сварке вертикальных и горизонтальных швов на вер-

тикальной стенке необходимо вовремя подавать присадочный металл, который несколько охлаждает металл сварочной ванны. При этом увеличивается вязкость жидкого металла, что препятствует его стеканию. При обрыве дуги защитный газ продолжают подавать в течение 3...5 с, чтобы предотвратить окисление вольфрамового электрода и последующее растрескивание его поверхности. Такой способ защиты электрода позволяет избежать попадания в шов вольфрамовых включений. В нормальном рабочем состоянии на серебристо-белом конце электрода не имеется трещин и налипших частиц алюминия.

При автоматической сварке неплавящийся электрод располагается вертикально, а присадочный металл подается в переднюю часть сварочной ванны. В процессе сварки вольфрамовым электродом на переменном токе, несмотря на достоинства этого способа, в сварочной цепи возникает постоянная составляющая тока, которая снижает стабильность горения дуги и ослабляет эффект катодного распыления, что приводит к снижению качества шва. Для подавления постоянной составляющей тока в сварочную цепь источника питания (УДГ-301, -501 и др.) последовательно включают батарею конденсаторов, которая пропускает переменный ток и отсекает постоянный.

Основное преимущество сварки вольфрамовым электродом в аргоне — устойчивое горение дуги. При малой толщине свариваемых деталей лучше применять импульсную дугу, с помощью которой импульсами сварочного тока удается сформировать аккуратный шов с равномерным проплавлением металла по отдельным точкам, перекрывающим друг друга. Сварка деталей средней и большой толщины трехфазной дугой позволяет получить значительную глубину проплавления при использовании в качестве источника питания мощного трехфазного сварочного трансформатора.

Сварка плавящимся электродом находит применение при изготовлении сварных узлов из металла средней толщины (4...6 мм). Наиболее распространена в производственных условиях полуавтоматическая сварка, обеспечивающая высокую оперативность при получении любых сварных соединений во всех пространственных положениях. Используя усредненные режимы, сварщик формирует шов, не отвлекаясь на переналадку источника питания дуги.

При сварке в потолочном положении режимы снижают по всем показателям. Источник питания должен иметь жесткую или пологопадающую ВАХ. Сварку выполняют с короткими замыканиями дуги на постоянном токе обратной полярности.

Таблица 11.14. Рекомендуемые режимы полуавтоматической аргонодуговой сварки сплавов алюминия плавящимся электродом

Соединение	Толщина металла, мм	Диаметр электродной проволоки, мм	Сила сварочного тока, А	Напряжение дуги, В	Расход аргона, л/мин
Стыковое, на подкладке, с односторонним прямолинейным скосом кромок	5...8	1,5...2	220...280	21...24	8...10
Тавровое	4...6	1,5...2	200...260	18...22	6...10

Рекомендуемые режимы полуавтоматической аргонодуговой сварки сплавов алюминия плавящимся электродом представлены в табл. 11.14.

При сварке с применением флюсов лучшие результаты получают, если сварку осуществляют не под флюсом, а по флюсу, который напышется на поверхность свариваемых кромок тонким слоем. При сварочном зазоре 1...2 мм вылет электрода составляет 50...60 мм. Сборку и сварку производят на флюсовой подушке или стальной подкладке с применением флюсов (АН-11, УФОК-А1, МАТИ-10 и др.) на основе хлоридов и фторидов натрия, калия и лития.

Электрошлаковую сварку алюминиевых сплавов производят с использованием пластинчатых электродов. Флюсы АМ-А301 и АН-А302 имеют ту же основу — соли хлоридов и фторидов.

Сварка угольным электродом позволяет получать плотные швы высокой прочности. Поэтому ручная сварка угольным электродом с применением флюсов на основе буры является наиболее эффективным способом исправления брака в отливках.

После сварки по флюсу или сварки покрытыми электродами необходимо тщательно удалять шлак с поверхностей сварного шва и околосшовной зоны, так как остатки шлака продолжают реагировать с металлом, разрушая сварное соединение.

Титан имеет плотность 4,5 г/см³, предел прочности до 337 МПа и температуру плавления 1 668 °С. При невысоких температурах он обладает коррозийной стойкостью даже в самых агрессивных средах, но очень активен при нагревании до температур выше 400 °С. В контакте с кислородом чистый титан способен самовоз-

гораться, он бурно реагирует с азотом, окисляется водяным паром и углекислым газом, активно поглощает водород.

При производстве сварных конструкций применяются сплавы титана, предел прочности которых достигает 1 250 МПа. Они используются в авиа-, ракето- и машиностроении, а также в химической промышленности. Изготовление современного спортивного оборудования и снаряжения немыслимо без применения легких, прочных и надежных конструкций, узлов и деталей.

Титан может находиться в двух стабильных фазах (α и β), которые отличаются друг от друга строением кристаллической решетки. В виде α -фазы титан имеет мелкозернистую структуру, которая мало чувствительна к скорости охлаждения. При температуре выше 882 °C формируется β -фаза с крупнозернистым строением и высокой чувствительностью к скорости охлаждения.

С помощью легирующих элементов и примесей (алюминий, кислород, азот) α -фаза стабилизируется, и образуются сплавы α -титана (ВТ1, ВТ5), которые обладают высокой пластичностью, хорошо свариваются и не нуждаются в термическом упрочнении.

Сплавы β -титана получают при стабилизации β -фазы посредством введения хрома, марганца и ванадия. Сплавы с β -структурой (ВТ15, ВТ22) свариваются хуже, они склонны к образованию крупнозернистой структуры и холодных трещин.

При малых добавках β -стабилизаторов формируются двухфазные структуры ($\alpha + \beta$). К этой группе титановых сплавов относятся ОТ4, ВТ3, ВТ4, ВТ6 и ВТ8, обладающие хорошей свариваемостью. Таким образом, различают три группы титановых сплавов.

При комнатной температуре титановые сплавы защищены слоем насыщенного раствора кислорода в α -титане (по аналогии с оксидной пленкой алюминия). Этот слой, надежно предохраняющий металл от дальнейшего окисления, называется альфированным.

При подготовке сварочной проволоки и деталей под сварку используют шаберы или металлические щетки, дробеструйные или гидропескоструйные аппараты (установки) для удаления альфированного слоя. После механической очистки необходимо провести дополнительную химическую обработку — травление и осветление. Непосредственно перед сваркой кромки протирают этиловым спиртом или ацетоном. Сварочную проволоку предварительно отжигают в вакууме при температуре 900...1 000 °C в течение 4 ч. По завершении подготовки сварочная проволока и свариваемые детали имеют блестящую светло-серую поверхность.

Сварку титановых сплавов плавящимся электродом осуществляют на постоянном токе обратной полярности. Режимы выби-

рают исходя из толщины металла с учетом склонности сплава к росту зерен и термического цикла. Для уменьшения вероятности образования крупнозернистой структуры необходимы режимы сварки с малой погонной энергией и повышенной скоростью формирования сварного шва. Расплавленный титан имеет высокую жидкотекучесть, поэтому шов хорошо формируется при любых способах сварки (дуговая в инертных газах или под флюсом, неплавящимся или плавящимся электродом, электрошлаковая и др.).

При нагревании свариваемых деталей на поверхности образуется оксидная пленка, окраска которой изменяется от золотисто-соломенной до темно-фиолетовой. По этим оттенкам судят о качестве защиты зоны сварки. Темно-синие, серые и фиолетовые оттенки свидетельствуют о плохой защите. Первый критерий качества сварного соединения — это цвет поверхности зоны термического влияния. Он должен быть таким же, каким был перед сваркой — светло-серым. Высокое качество защиты — одно из наиболее важных условий при сварке титановых сплавов.

Дуговую сварку в аргоне или его смесях с гелием в обычных условиях производят с применением местной защиты. Газ или смесь газов подают в зону сварки через сопло горелки. Для обеспечения более надежной защиты применяют сопло с удлиненной (до 500 мм) насадкой. Отметим, что защитный газ должен поступать и к обратной стороне шва.

При сварке ответственных изделий из титановых сплавов используют специальные защитные камеры-насадки для небольших узлов, а при сварке крупногабаритных изделий — обитаемые камеры, которые предварительно вакуумируют, а затем заполняют аргоном. Сварщики работают в скафандрах. Вместимость таких камер достигает 350 м³. В них можно размещать сварочные автоматы или специальные сварочные установки.

Аргонодуговая сварка вольфрамовым электродом широко применяется для соединения тонколистовых (толщиной 0,5...1,5 мм) титановых сплавов. При такой толщине металла сварку можно производить встык, без зазора и присадочного металла. При средних значениях толщины используют присадочный металл. Сварку выполняют на постоянном токе прямой полярности. При толщине металла 10 мм и более осуществляется сварка погруженной дугой. При этом способе сварки увеличивается глубина проплавления металла.

Глубокое проплавление возможно и при сварке неплавящимся электродом в аргоне с применением флюсовых паст АН-ТА и -Т17А

на основе фторида кальция с добавками, которые снижают пористость и частично рафинируют и модифицируют металл шва.

Рекомендуемые режимы сварки титановых сплавов вольфрамовым электродом на постоянном токе прямой полярности приведены в табл. 11.15.

Основные технологические приемы сводятся к преодолению трудностей, связанных со снижением пористости и формированием мелкозернистой структуры сварных швов. Для снижения пористости дуговую сварку плавящимся электродом выполняют на постоянном токе обратной полярности на режимах, обеспечивающих мелкокапельный перенос электродного металла (проволоки диаметром 1,2...2,0 мм). В качестве защитного газа используют смесь аргона (20 %) с гелием (80 %) или чистый гелий. Аргон применяют только высшего сорта, а гелий — высокой чистоты.

При данном способе сварки удается увеличить ширину шва и, следовательно, значительно снизить пористость. При сварке металла средней и большой толщины лучше использовать не защитные инертные газы, а бескислородные флюсы сухой грануляции АН-Т1, -Т3 и -Т7. Электродная проволока диаметром 2,0...5,0 мм, сварка с увеличенным вылетом электрода (14...22 мм) на медной подкладке или флюсовой подушке позволяют получить более мелкозернистую структуру шва за счет модифицирующего действия флюсов.

Рекомендуемые режимы сварки стыковых соединений из титановых сплавов плавящимся электродом в аргоне представлены в табл. 11.16.

При электрошлаковой сварке применяются тугоплавкие фторидные флюсы АН-Т2, -Т4 и -Т6 (предварительно прокаленные при температуре 200...300 °C). Для дополнительной защиты шлаковой ванны осуществляют поддув аргона.

Таблица 11.15. Рекомендуемые режимы сварки титановых сплавов вольфрамовым электродом на постоянном токе прямой полярности

Толщина металла, мм	Диаметр, мм		Сила сварочного тока, А	Скорость сварки, м/ч
	вольфрамового электрода	присадочной проволоки		
0,8...1,2	1,6	2,0	60...80	40...50
1,5...2,0	2,0	2,0...2,5	80...120	35...40
2,5...3,5	3,0	2,0...3,0	150...200	30...35

Таблица 11.16. Рекомендуемые режимы сварки стыковых соединений из титановых сплавов плавящимся электродом в аргоне на постоянном токе обратной полярности

Толщина металла, мм	Диаметр электрода, мм	Сила сварочного тока, А	Напряжение дуги, В	Вылет электрода, мм	Расход аргона, л/мин
4...8	0,6...0,8	150...250	22...24	10...14	20...30
8...10	1,0...1,2	280...320	24...28	17...20	25...35
10...12	1,6...2,0	340...520	30...34	20...25	35...45

Наиболее высокое качество сварных швов удается получить только электронно-лучевой сваркой. За счет глубокого предварительного вакуумирования обеспечиваются надежная защита от влияния атмосферных газов и мелкозернистая структура металла шва.

При сварке особо ответственных узлов или деталей используются и другие приемы, позволяющие влиять на процесс кристаллизации металла: воздействие на сварочную ванну ультразвуком, электромагнитным полем, колебаниями электрода или электронного луча поперек формирующегося шва.

При всех способах сварки титановых сплавов нельзя допускать перегрева металла шва и околосшовной зоны.

11.5. СВАРКА МЕДИ И ЕЕ СПЛАВОВ

В зависимости от содержания примесей марки технической меди обозначаются М1, М2, М3 и т.д. Сплавы на основе меди по химическому составу подразделяют на латуни, бронзы и медно-никелевые сплавы.

Латуни — это сплавы меди и цинка, содержание которого не превышает 38 %. Латуни с малым содержанием цинка имеют технические названия «полутомпак» и «томпак». Специальные латуни содержат и другие элементы. Например, марка ЛАЖМц70-6-3-1 означает, что латунь содержит 70 % меди, 6 % алюминия, 3 % железа, 1 % марганца, остальное — цинк (20 %).

Бронзы — это сплавы меди с алюминием, оловом, свинцом, железом, молибденом, хромом и другими элементами. Бронзы маркируют буквами Бр и цифрами. Например, марка БрАЖМц10-3-1,5 означает, что бронза содержит 10 % алюминия, 3 % железа, 1,5 % марганца, остальное — медь (85,5 %).

Медно-никелевые сплавы маркируют буквами МНЦ и цифрами. Например, марка МНЦ15-20 означает, что сплав содержит 15 % меди, 20 % никеля, остальное — цинк (65 %). Такие сплавы в технике называют «нейзильбер» и «мельхиор».

Сварка меди и ее сплавов вследствие специфических физико-химических свойств существенно отличается от сварки сталей.

Высокая тепло- и температуропроводность меди и ее сплавов сокращает время существования сварочной ванны. Чтобы не происходило ускоренной кристаллизации сварного шва, необходимо применять предварительный подогрев или увеличивать количество подводимой теплоты (погонную энергию).

Значительный коэффициент линейного расширения приводит к необходимости сварки меди и ее сплавов при полужестком закреплении свариваемых деталей или по прихваткам. При сварке металла большой толщины должна быть предусмотрена возможность регулирования размеров зазоров встыке. Повышенная жидкотекучесть расплавленного металла затрудняет сварку в вертикальном и потолочном положениях, поэтому ее чаще всего выполняют в нижнем положении. Из-за высокой чувствительности к водороду (водородная болезнь) и кислороду приходится вводить в сварочную ванну активные раскислители: фосфор, марганец, кремний или флюсы на основе буры.

Перед сваркой меди и ее сплавов разделку кромок и основной металл около них на участке шириной не менее 20 мм следует очистить от смазочных масел, загрязнений и оксидной пленки, обезжирить растворителями или бензином. Сварочную проволоку и присадочный металл очищают травлением в водном растворе смеси азотной, серной и соляной кислот с последующей промывкой в воде и щелочном растворе (нейтрализаторе) и просушкой горячим воздухом. Для предупреждения образования пор в сварных швах из-за взаимодействия расплавленного металла с кислородом и водородом воздуха кромки деталей необходимо покрывать слоем флюс-пасты (АН-М15А).

Медь и ее сплавы сваривают ручной дуговой сваркой покрытыми электродами, неплавящимися (TIG/WIG) и плавящимися электродами (MIG/MAG) в защитных газах, автоматической сваркой под флюсом и электрошлаковой сваркой.

Покрытия электродов имеют специальный состав компонентов. Перед сваркой необходимо тщательно прокалить электроды, а их торцы зачистить до металлического блеска. Сварку производят на постоянном токе обратной полярности. Металл толщиной до 4 мм можно сваривать без скоса кромок, а толщиной до 10 мм — с од-

Таблица 11.17. Рекомендуемые режимы ручной дуговой сварки меди покрытыми электродами

Толщина металла, мм	Диаметр электрода, мм	Сила сварочного тока, А	Напряжение дуги, В
2	2...3	100...120	25...27
4	4...5	160...200	25...27
6	5...7	260...340	26...28

носторонним скосом и притуплением кромок до 3 мм. При большей толщине выполняют двухсторонний скос кромок.

Наиболее широко применяются электроды «Комсомолец-100», ЗТ, АНЦ/ОЗМ-2, ОЗБ-3, ММЗ-2, ЦБ-1 и МН-4. Стержень электродов «Комсомолец-100» изготавливается из меди М1 или М2, а электродов ЗТ — из бронзы БрКМцЗ-1. Покрытие электродов имеет следующий состав: плавиковый шпат — 10 %, полевой шпат — 12 %, ферросилиций — 8 %, ферромарганец — 50 %, жидкое стекло — 20 %. Сварку ведут короткой дугой без выполнения поперечных колебаний. Силу сварочного тока, А, рассчитывают по формуле $I_{\text{св}} = (50...60)d_3$, где d_3 — диаметр электрода, мм.

Рекомендуемые режимы ручной дуговой сварки меди покрытыми электродами приведены в табл. 11.17.

При сварке неплавящимся вольфрамовым электродом используют инертные газы — аргон, гелий, азот или их смеси, которые не растворяются в меди и не взаимодействуют с ней. Чаще всего применяют смесь аргона (70...80 %) с азотом (20...30 %). При использовании такой смеси увеличивается глубина проплавления основного металла.

Перед сваркой металла средней толщины рекомендуется предварительный подогрев деталей до 300...400 °C. Силу сварочного

Таблица 11.18. Рекомендуемые режимы сварки меди и ее сплавов неплавящимся электродом

Толщина металла, мм	Диаметр электрода, мм	Сила сварочного тока, А	Напряжение дуги, В	Расход защитного газа, л/мин
1...2	0,8...1,2	80...110	18...20	7...9
2...3	0,8...1,6	140...210	19...23	8...10
5...6	1,0...1,6	250...300	23...26	10...12
6...8	2,0...3,0	350...550	32...37	14...18

тока выбирают в зависимости от диаметра электрода, рода тока и вида защитного газа.

Сварку в аргоне производят углом назад при вылете электрода 5...7 мм. Электрод располагают строго в плоскостистыка. В качестве присадочных материалов применяют чистую медь М1 и М2 или бронзы БрКМц3-1 и БрОЦ4-3, а также специальные сплавы с активными раскислителями, которые не остаются в металле шва.

Рекомендуемые режимы сварки меди и ее сплавов неплавящимся электродом представлены в табл. 11.18.

Чтобы расплавленный металл не попадал на конец вольфрамового электрода, присадочную проволоку подают к краю сварочной ванны и несколько сбоку.

Сварка меди в азоте производится угольными или графитовыми электродами. Азотно-дуговую сварку угольными электродами ведут на постоянном токе прямой полярности. При диаметре электродов 6...8 мм силу сварочного тока выбирают в пределах 150...500 А при напряжении дуги 22...30 В.

При сварке плавящимся электродом в инертных газах используют обычные полуавтоматы и сварочную проволоку диаметром 1...2 мм. Сварку ведут на постоянном токе обратной полярности. При диаметре проволоки 1 мм силу сварочного тока выбирают в пределах 150...200 А, а при диаметре 2 мм — в пределах 300...450 А при напряжении дуги 22...26 В.

Подготовка деталей и сварочной проволоки в этом случае принципиально не отличается от подготовки при сварке неплавящимся электродом.

При сварке плавящимся электродом более качественный сварной шов формируется при длине дуги 4...5 мм. Стыковые соединения при сварке навесу выполняют на графитовых или медных (охлаждаемых) подкладках, а также на флюсовых подушках.

Импульсно-дуговой сваркой можно соединять тонкий металл. Представляется возможным выполнять вертикальные и потолочные швы, применяя аргон. Сварку производят с короткими замыканиями. При сварке металла толщиной 4 мм и более наблюдается струйный перенос электродного металла.

Рекомендуемые режимы механизированной импульсно-дуговой сварки плавящимся электродом меди, бронз БрАМц9-2, БрАЖМц9-5-2 и латуни ЛМНЖ55-3-1 со сварочной проволокой БрАМц9-2 на постоянном токе обратной полярности приведены в табл. 11.19.

При сварке латуней возникает специфическая проблема, с которой необходимо считаться: низкоплавкий цинк выгорает и ис-

Таблица 11.19. Рекомендуемые режимы механизированной импульсно-дуговой сварки плавящимся электродом меди и ее сплавов на постоянном токе обратной полярности

Толщина металла, мм	Диаметр электрода, мм	Сила сварочного тока, А	Напряжение дуги, В	Вылет электрода, мм	Расход газа, л/мин
1	1,0	80...100	18...20	10...12	7...9
2	1,2	140...210	19...23	10...18	8...10
4	2,0	250...300	23...26	12...25	10...12

паряется (температура кипения цинка 907 °C), т.е. требуется наличие местной вытяжной вентиляционной системы. Испарение цинка приводит к пористости шва. Введение в сварочную ванну марганца и кремния значительно уменьшает испарение цинка.

Автоматическая сварка меди и ее сплавов под флюсом обеспечивает возможность получения сварных швов с довольно высокими и стабильными механическими характеристиками без предварительного подогрева.

При сварке плавящимися электродами применяются флюсы АН-20С, -26С, -348, ОСЦ-45 и др. Вынужденное использование кислых или бескислородных фтористых флюсов ухудшает тепло- и электрофизические свойства сварных соединений по сравнению с основным металлом. Применение керамического флюса ЖМ-1 позволяет раскислить металл шва и сохранить свойства исходного металла. Однако при увеличении толщины свариваемого металла керамические флюсы также не обеспечивают необходимой плотности и пластичности сварных швов. Лучшую плотность швов обеспечивает флюс сухой грануляции АН-М13.

При сварке латуней рекомендуется использовать плавленые флюсы АН-20, АНФ-5, ФН-10 или флюсы на основе буры. Флюсы и подкладки перед сваркой необходимо прокалывать при температуре 300...400 °C.

Для соединения крупномерных деталей применяется электрошлаковая сварка пластинчатыми электродами соответствующего состава и флюсы, температура плавления которых должна быть ниже температуры плавления меди. Легкоплавкие флюсы NaF, LiF и CaF₂ образуют систему, которая обеспечивает необходимый подогрев и плавление кромок на требуемую глубину, устойчивый процесс и как следствие хорошее формирование шва. Силу сварочного тока выбирают в пределах 800...1 000 А, а напряжение

дуги — в пределах 40...50 В. При этом обеспечиваются механические свойства сварного шва, равноценные свойствам основного металла.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем состоит основное достоинство низкоуглеродистых сталей в производстве металлоконструкций?
2. Какие типы покрытых электродов наиболее широко применяют для сварки низкоуглеродистых сталей?
3. Назовите наиболее распространенные марки сварочной проволоки для сварки низкоуглеродистых сталей в углекислом газе.
4. Каковы особенности сварки теплоустойчивых сталей?
5. В чем состоит суть сварки с мягкой прослойкой?
6. Назовите особенности технологических приемов, применяемых при сварке высокопрочных среднелегированных сталей.
7. Почему хромистые стали ферритного структурного класса не подвергают термообработке?
8. Каковы особенности сварки аустенитных сталей?
9. Для сварки каких металлов и сплавов применяется способ TIG/WIG?
10. Перечислите особенности сварки высоколегированных сталей плавящимся электродом MIG/MAG в защитных газах.
11. Какие условия при производстве отливок обусловливают получение серых или белых чугунов?
12. Каково влияние легирующих элементов на формирование структуры чугунов?
13. В чем состоят специфические трудности сварки чугунов?
14. В чем заключается различие горячей и холодной сварки чугунов?
15. Перечислите особенности сварки чугунов по стальным шпилькам.
16. Что называют наплавкой и какие виды наплавки вы знаете?
17. Какие электроды, присадочные прутки и наплавочную проволоку применяют при наплавке легированных сталей?
18. На какие группы подразделяются наплавочные электроды в зависимости от условий работы деталей механизмов и машин?
19. Какой вид дуговой резки применяется для грубой разделки металла?
20. Каковы объективные трудности сварки алюминия и его сплавов?
21. Перечислите способы удаления оксидной пленки перед сваркой и в процессе сварки алюминия.
22. Каковы особенности сварки алюминиевых сплавов на весу и по отбортовке?
23. Каковы особенности аргонодуговой сварки неплавящимся электродом на переменном токе?
24. Какие группы образуют титановые сплавы в зависимости от структуры их кристаллической решетки?
25. Какие способы подготовки титановых сплавов под сварку вы знаете?

26. По каким признакам определяют надежность защиты при сварке титановых сплавов?
27. Как маркируют сплавы меди и техническую медь?
28. В чем состоит различие латуни и бронзы и что у них общего?
29. Каковы особенности подготовки меди под сварку?
30. Каковы особенности сварки сплавов меди неплавящимся и плавящимся электродами?
31. Перечислите особенности сварки меди под флюсом.

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ ШВОВ

IV

РАЗДЕЛ

Глава 12. Наиболее распространенные виды
дефектов в сварных швах

Глава 13. Методы контроля качества сварных
швов

ГЛАВА 12

НАИБОЛЕЕ РАСПРОСТРАНЕННЫЕ ВИДЫ ДЕФЕКТОВ В СВАРНЫХ ШВАХ

При изготовлении сварных конструкций необходима организация системы контроля качества сварных швов и соединений. Такая система включает в себя следующие виды контроля: предварительный, пооперационный и приемочный.

Предварительный контроль обеспечивает проверку квалификации сварщиков и контролеров-дефектоскопистов, качества основного металла и сварочных материалов, состояния сборочно-сварочного оборудования и приборов контроля.

Пооперационный контроль охватывает проверку технологических процессов подготовки деталей под сварку.

Приемочный контроль проводится в целях установления качества готовых сварных конструкций и их соответствия требованиям нормативной документации.

Такая структура системы контроля принята на предприятиях, изготавливающих сварные конструкции в заводских (цеховых) условиях.

При производстве сварных конструкций в условиях строительно-монтажных работ имеются объективные специфические трудности контроля, когда невозможно применить те методы, которые используются в заводских условиях. Поэтому в монтажных условиях особое внимание уделяется подготовке деталей или узлов под сварку. Например, для обеспечения высокого качества сварных швов строительные фирмы Японии обеспечивают сварщиков-монтажников универсальными измерительными шаблонами, с помощью которых можно проверить диаметр электродса, толщину детали, притупление и угол скоса кромки, зазор, катет и выпуклость шва (рис. 12.1).

В заводских условиях изготовление сварных конструкций и контроль их качества отработаны многолетним опытом, и система

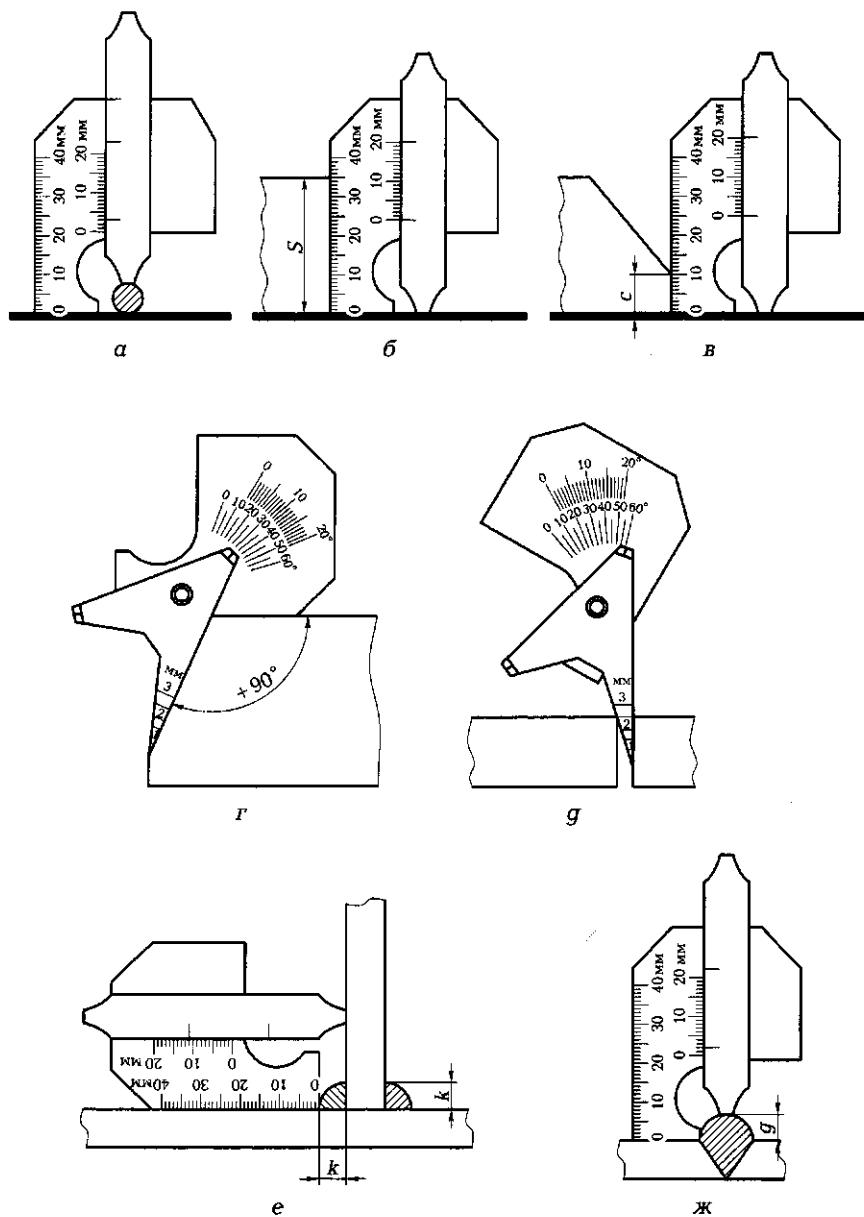


Рис. 12.1. Способы измерений с помощью универсальных шаблонов:
а — диаметра электрода; б — толщины свариваемой детали; в — притупления кромки;
г — угла скоса кромки; д — зазора; е — катета углового шва; ж — выпуклости шва

контроля позволяет гарантировать работоспособность сварной конструкции. Надежность сварных соединений в процессе эксплуатации зависит от их соответствия нормативно-технической документации, которая регламентирует конструктивные размеры и форму сварных швов, прочность, пластичность, коррозионную стойкость и другие свойства сварных соединений.

Сварные соединения, выполняемые в производственных условиях, могут иметь отступления от заданных размеров, формы и механических свойств. При эксплуатации конструкций эти отступления могут привести к разрушению сварных швов и даже всей конструкции. Несоответствие требованиям нормативно-технической документации называется *дефектом*. Задача контроля сварки заключается в выявлении причин возникновения дефектов и разработке мероприятий, направленных на устранение этих причин.

Наиболее часто встречающиеся дефекты сварных швов и соединений (табл. 12.1) можно условно подразделить на четыре группы по их расположению, форме, размерам и числу на единицу площади поперечного сечения сварного шва.

По расположению различают наружные, внутренние и сквозные дефекты; по форме — компактные и протяженные, плоские и объемные, острые и округлые; по размерам — мелкие, средние и крупные; по числу на единицу площади поперечного сечения сварного шва — единичные и групповые.

К *наружным дефектам* относятся нарушения формы, размеров и внешнего вида швов: неравномерная ширина шва по его длине, избыточная выпуклость шва, неодинаковые катеты углового шва, подрезы, наплывы, прожоги, незаваренные кратеры, свищи, вогнутость корня шва, усадочные раковины, смещение кромок (по отношению друг к другу).

Подрезы — это дефекты сварного соединения, представляющие собой углубления по линии сплавления сварного шва с основным металлом.

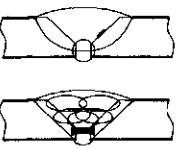
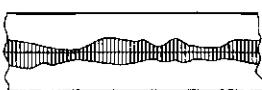
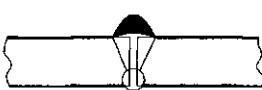
Подрезы относятся к наиболее часто встречающимся дефектам. Обычно они образуются при сварке угловых швов в случае смещения электрода или при несколько завышенном напряжении дуги. Одна из кромок проплавляется глубже, жидкий металл стекает на горизонтально расположенную деталь, и его не хватает для заполнения углубления. Обычно при повышенных значениях напряжения дуги и скорости сварки на стыковых швах образуются двухсторонние подрезы. Такие же дефекты могут появиться в случае увеличения угла разделки кромок при полуавтоматической

и автоматической сварке. Односторонние подрезы всегда возникают при сварке горизонтальных швов на вертикальной стенке.

Таблица 12.1. Дефекты сварных швов и соединений

Эскиз дефекта	Характер и место расположения дефекта
Подрез 	Углубление по линии сплавления сварного шва с основным металлом
Наплыв 	Натекание металла шва на поверхность основного металла без сплавления с ним
Трещина 	Разрыв в сварном шве и (или) прилегающих к нему зонах
Непровар 	Несплавление в сварном соединении вследствие неполного расплавления кромок или поверхностей ранее выполненных валиков сварного шва
Поры в сварном шве 	Полости окружлой формы, заполненные газом

Окончание табл. 12.1

Эскиз дефекта	Характер и место расположения дефекта
Шлаковое включение 	Вкрапления шлака в сварном шве
Вогнутость корня шва 	Углубление на поверхности обратной стороны сварного одностороннего шва
Незаплавленный кратер 	Углубление, образующееся в конце валика вследствие объемной усадки металла сварного шва
Неравномерная ширина шва 	Сужения и расширения шва вследствие непостоянной скорости сварки
Усадочная раковина 	Полость или впадина, образовавшаяся в результате усадки металла шва при отсутствии питания расплавленным металлом
Свищ в сварном шве 	Воронкообразное углубление в сварном шве (если свищ переходит в сквозное отверстие, то образуется прожог)
Избыточная выпуклость сварного шва 	Выпуклость на поверхности шва при нарушении режима сварки
Смещение кромок в стыке 	Смещение кромок свариваемых деталей (по отношению друг к другу) в процессе сварки при их недостаточно надежной фиксации

Подрезы выявляют визуально. Если глубина и протяженность подрезов превышают допустимые значения, то их зачищают до основного металла и повторно заваривают.

Наплывы — это дефекты сварного шва, образующиеся в том случае, когда жидкий металл натекает (наплывает) на основной металл, но с ним не сплавляется. Чаще всего наплывы появляются при пониженном напряжении дуги, наличии на свариваемых кромках толстого слоя окалины или излишнего количества присадочного металла, который в расплавленном состоянии не помещается в разделку кромок или зазор. При сварке поворотных кольцевых стыковых швов наплывы образуются вследствие неправильного расположения электрода относительно оси шва. Наплывы, как правило, не имеют большой ширины, но вдоль шва в некоторых случаях располагаются по всей его длине.

Прожоги — это дефекты, которые возникают в том случае, когда жидкий металл сварочной ванны вытекает через сквозное отверстие в шве с образованием явно выраженного углубления или отверстия. Первопричиной появления прожогов является чрезмерная сила сварочного тока или внезапная остановка движения сварочного автомата. Кроме того, существуют и другие причины: неоправданно увеличенный зазор между кромками при сварке на весу, недостаточная толщина подкладки или неплотное прилегание ее к основному металлу вдоль кромок. При сварке поворотных кольцевых стыков появление прожогов способствует смещение электрода в сторону вращения свариваемых деталей, что вызывает стекание жидкого металла из-под конца электрода и более активное прожигающее воздействие дуги. Прожоги должны быть обработаны до поверхности основного металла и заварены.

Кратеры — это углубления, образующиеся при неправильном обрыве дуги. Эти дефекты чаще всего вырубают, зачищают и заваривают. При механизированных процессах сварки применяют заходные и выводные планки, на которых начинают или заканчивают швы. После сварки эти планки вместе с кратерами удаляются. При правильной настройке автомата кратеры завариваются автоматически за счет плавного уменьшения силы сварочного тока.

Свищи — это воронкообразные углубления в сварных швах, образующиеся из канальных пор.

Образование *внутренних дефектов* при сварке связано с металлургическими, термическими и гидродинамическими явлениями, происходящими при формировании сварного шва. К внутренним дефектам относятся трещины (горячие и холодные), непровары, поры, шлаковые, вольфрамовые и оксидные включения.

Трешины — это дефекты сварных швов, представляющие собой макро- и микроскопические межкристаллические разрушения, образующие полости с очень малым начальным раскрытием. Под действием остаточных или последующих рабочих напряжений трещины, увеличившиеся до критических размеров, могут распространяться с большой скоростью, соизмеримой со скоростью звука. Разрушение сварного шва происходит почти мгновенно и представляет собой большую опасность для целостности всей конструкции. Различают холодные и горячие трещины в зависимости от температуры, при которой они образуются.

Горячие (кристаллизационные) трещины — это разрушения кристаллизующегося металла в жидкых прослойках, вокруг зерен, под действием растягивающих напряжений. Эти напряжения появляются вследствие несвободной усадки металла шва и примыкающих к нему неравномерно нагретых участков основного металла. Образование горячих трещин связано с совместным действием двух факторов: с сокращением по мере кристаллизации количества жидкой фазы, что приводит к уменьшению деформационной способности сплава, и с существенным ухудшением в температурном интервале хрупкости пластических свойств сплавов.

Горячие трещины образуются, если пластическая деформация за время пребывания металла в температурном интервале хрупкости превосходит его запас пластичности в этом интервале температур. Именно поэтому для горячих трещин характерны межкристаллитные разрушения, развивающиеся по границам зерен при наличии между ними жидкой прослойки или за счет межзеренного проскальзывания, происходящего при повышенных температурах по окончании процесса кристаллизации.

Горячие трещины обычно появляются в металле шва и реже — в зоне термического влияния. Они бывают продольные, поперечные и продольные с поперечными ответвлениями, могут выходить на поверхность шва или оставаться скрытыми.

Вероятность образования горячих трещин, зависящая от химического состава металла шва, скорости нарастания и значений растягивающих деформаций и напряжений, формы сварочной ванны и шва, а также от размеров первичных кристаллов, увеличивается с повышением содержания в металле шва углерода, кремния, никеля и особенно вредных примесей — серы и фосфора. Заметно уменьшают вероятность образования горячих трещин в сварном шве марганец, хром и отчасти кислород.

Для снижения значения и скорости нарастания растягивающих напряжений в процессе сварки применяют порошкообразный

присадочный металл в виде крупки. Уменьшение жесткости закрепления узлов в процессе сварки и предварительный подогрев также частично ослабляют напряжения.

Холодные трещины — это разрушения, в большинстве случаев образующиеся в зоне термического влияния и реже — в металле шва сварных соединений средне- и высоколегированных сталей. Появление холодных трещин объясняется многими причинами. Одна из них — влияние высоких внутренних напряжений, возникающих в связи с объемным эффектом при структурных превращениях, происходящих в условиях снижения пластичности металла. Поэтому холодные трещины наблюдаются как при температуре 120 °С и ниже, так и при комнатной температуре через несколько минут после окончания сварки, а иногда и через несколько часов. Кроме того, значительные внутренние напряжения могут развиваться вследствие присутствия водорода в металле и на поверхностях внутренних дефектов, а также в результате накопления его в микронесплошностях.

Непровар — это участок сварного соединения, где отсутствует сплавление между металлом шва и кромками сварных деталей, например в корне шва, между основным и наплавленным металлом, по кромке или между смежными слоями наплавленного металла. Поверхности непроваров обычно покрыты тонкими оксидными пленками и загрязнены. Чаще всего непровары заполняются расплавленным шлаком. Они уменьшают рабочее сечение сварного шва, что приводит к снижению работоспособности сварного соединения и узла в целом.

Непровары являются концентриаторами напряжений и могут вызвать появление трещин, а также снизить коррозионную стойкость сварного шва. Непровар может быть вызван многими причинами: недостаточным углом разделки кромок, малым зазором, завышенным притуплением кромок сварных деталей при заниженной силе сварочного тока, повышенной скоростью сварки, смещением электрода от оси шва (особенно при сварке двухсторонних швов), плохой очисткой от шлака перед наложением последующих слоев шва, излишним количеством ППМ и низкой квалификацией сварщика.

Непровар невозможно выявить визуально. Для обнаружения такого дефекта применяют различные виды контроля: рентгеновский, ультразвуковой и др. Следует отметить, что при наличии непровара могут возникать микротрещины в процессе эксплуатации сварного узла, которые постепенно разрастаются и достигают критического размера, после чего происходит мгновенное разрушение узла.

Поры — это полости округлой формы в металле шва, заполненные газом. Они возникают в жидким металле из-за интенсивного газообразования, при котором не все мелкие газовые поры успевают подняться на поверхность металла и выйти в атмосферу. Размеры остающихся в металле пор колеблются от микроскопических до 2...3 мм в диаметре.

В результате диффузии газов (и в первую очередь водорода) поры могут увеличиваться в размерах. В этом случае образуются раковины или свищи, выходящие на поверхность. Кроме одиночных пор в сварных швах появляются цепочки или отдельные скопления пор. К основным причинам, вызывающим появление пор, относятся плохая очистка свариваемых кромок от ржавчины, масел и различных загрязнений; повышенное содержание углерода в основном и присадочном металлах; высокая скорость сварки, при которой не успевает произойти нормальное газовыделение, и поры остаются в металле шва; высокая влажность электродных покрытий или флюса; выполнение сварки при высокой влажности воздуха.

Шлаковые включения — это полости в металле сварного шва, заполненные шлаком, не успевшим всплыть на поверхность сварочной ванны. Шлаковые включения образуются при высокой скорости сварки, загрязнении кромок деталей и многослойной сварке, если плохо очищены от шлака поверхности предыдущих швов. Размеры шлаковых включений могут достигать нескольких сантиметров. Их форма бывает весьма разнообразной. Эти дефекты более опасны, чем поры.

Вольфрамовые включения появляются в металле шва при аргонодуговой сварке неплавящимся вольфрамовым электродом, например алюминиевых сплавов, в которых вольфрам нерастворим. Частицы вольфрама попадают в шов вследствие нарушения режима сварки. Они погружаются в глубь расплавленной ванны из-за большей удельной плотности вольфрама. На рентгеновских снимках вольфрамовые включения выглядят как светлые пятна неправильной формы и располагаются изолированно или группами.

Оксидные включения могут возникать в металле сварного шва, если они труднорастворимы (например, оксид алюминия) и металл шва очень быстро охлаждается. Оксидные включения, представляющие собой раздробленные пленки, образуют несплошности металла шва. Частицы пленок существенно ухудшают его механические свойства, даже в большей степени, чем поры или шлаковые включения. Они проникают внутрь шва из сварочной ванны.

Дефекты, которые обнаруживаются визуально или с помощью увеличительных оптических приборов, вырубают и заваривают. Скрытые дефекты, выявленные специальными приборами, подвергают анализу: определяют соответствуют ли их размеры и глубина залегания допустимым техническим условиям значениям. Если размеры обнаруженных дефектов превышают допустимые значения, то их вырубают и заваривают, а после этого производят повторный контроль. Если не удается исправить дефект трижды, то сварной узел бракуют.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называют дефектом сварных швов и по каким признакам подразделяются дефекты?
2. Каковы причины образования подрезов, наплывов и прожогов?
3. Что вызывает появление кратеров?
4. Каковы причины возникновения скрытых дефектов — горячих и холодных трещин?
5. В чем состоят причины образования непроваров в различных сварных соединениях?
6. Что вызывает появление пор и шлаковых включений?

ГЛАВА 13

МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ ШВОВ

Методы контроля качества подразделяются на две группы: *неразрушающие* и *разрушающие*. Обе группы методов контроля отвечают требованиям соответствующих стандартов. Группа методов контроля, объединенная общими физическими характеристиками, составляет вид контроля.

Все виды неразрушающего контроля классифицируют по следующим основным признакам: по характеру физических полей или излучений, взаимодействующих с контролируемым объектом; характеру взаимодействий веществ с объектом; виду информации о качестве контролируемого объекта.

Существует множество видов неразрушающего контроля: акустический, капиллярный, магнитный, оптический, радиационный, тепловой, электрический, электромагнитный и др. Для контроля качества сварных соединений могут применяться любые из них, но наиболее широко используются радиационный, ультразвуковой, магнитный и капиллярный. Каждый вид контроля имеет свою оптимальную область применения, определенные достоинства и недостатки.

Широкое применение находит радиационный контроль, осуществляемый с помощью рентгеновского или гамма-излучения, интенсивность которого изменяется при прохождении через контролируемый объект в случае наличия дефектов. Это изменение регистрируется на рентгеновской пленке или пластине (радиографический метод). Радиационные методы позволяют выявить скрытые внутренние дефекты в стыковых швах практически любых материалов. Невозможно обнаружить дефекты с их помощью только в угловых швах.

Из акустических методов контроля наибольшее распространение получила ультразвуковая дефектоскопия, позволяющая обна-

ружить дефекты с малым раскрытием — типа трещин, пор и шлаковых включений, в том числе и те, которые невозможно выявить радиационной дефектоскопией.

Среди магнитных методов контроля следует отметить магнитографический и магнитопорошковый. Наиболее часто используется магнитопорошковый метод, так как он позволяет визуально наблюдать расположение ферромагнитного порошка вокруг дефекта. Однако этот метод применим только для контроля ферромагнитных материалов (углеродистых сталей).

При капиллярном контроле происходит проникновение индикатора по микропорам и микротрещинам (капиллярам) в глубь дефектов. После нанесения индикатора на поверхность шва и некоторой выдержки излишнюю жидкость удаляют. Оставшийся в дефектах индикатор под воздействием облучения начинает светиться, благодаря чему обнаруживаются эти дефекты.

При контроле течеисканием перемещение контрольного вещества позволяет обнаружить течи через сквозные несплошности в сварных соединениях. С помощью этого вида контроля проверяют герметичность свариваемой конструкции. Как правило, это сосуды и трубопроводы, работающие под давлением. Специальными приборами или счетчиками регистрируют утечку контрольной жидкости (или газа) через сквозные дефекты в сварных швах. Контроль герметичности течеисканием может быть применен для любых материалов разной толщины. К основным методам контроля этого вида относятся пневматический, гидравлический, керосиновый, галогенный, химический и люминесцентно-гидравлический.

Из всего многообразия видов и методов контроля качества представляется необходимым подробно рассмотреть только основные, широко применяемые в производственных условиях.

Визуальный осмотр и обмер готового сварного узла представляет собой первый и наиболее важный этап приемочного контроля. В первую очередь осматривают сварные швы и поверхность сварных деталей в зоне термического воздействия. Внешний осмотр позволяет обнаружить такие наружные дефекты, как подрезы, незаваренные кратеры, выходящие на поверхность трещины, наплыты, отклонения основных размеров сварного шва и т. д. При осмотре предварительно очищенных от шлака и брызг металла поверхностей шва и околосшовной зоны используют лупу и при необходимости дополнительное местное освещение.

Из широко применяемых методов неразрушающего контроля следует кратко описать гидравлические и пневматические испытания, контроль рентгеновским излучением и испытание керосином.

Гидравлическим испытаниям подвергают трубопроводы, резервуары, технологические аппараты и другие объекты в целях проверки плотности и прочности сварных швов. Гидравлические испытания производят с использованием методов, разработанных в соответствии с требованиями ГОСТ 3242—79, который предусматривает испытания гидравлическим давлением, наливом воды и поливом водой.

При испытании гидравлическим давлением конструкцию (резервуар или сосуд) заполняют водой, герметизируют и с помощью насоса создают в замкнутой системе заданное давление (определенное манометром). Выдержав установленное время, остукивают легкими ударами молотка с круглым бойком сварные швы и осматривают их в целях выявления утечек.

Испытание наливом воды производят при положительных температурах для контроля сварных швов открытых сосудов, резервуаров и т. д. Для этого сварные швы сначала протирают и сушат, обдувая воздухом, а затем резервуары заполняют водой, и через некоторое время осматривают все швы.

Испытание поливом водой осуществляют в тех случаях, когда имеется доступ к сварным швам конструкции с двух сторон. Одну сторону шва поливают водой из брандспойта (давление до 1 МПа), а его другую сторону осматривают в целях выявления течей. Вертикальные соединения поливают снизу вверх. Это метод применяют для контроля сварных швов корпусов судов, крупногабаритных резервуаров и т. д.

Пневматические испытания предназначены для контроля сварных швов замкнутых систем: трубопроводов, сосудов и аппаратов. Испытания сжатым воздухом производят посредством создания давления, на 10...20 % превышающего рабочее. Швы покрывают пенообразующим составом с помощью кисти или пульверизатора. При этом на участках, где имеются сквозные дефекты, под действием выходящего воздуха образуются пузырьки, по которым и определяют местонахождение дефекта. Пенообразующие вещества соответствующего состава можно использовать и при отрицательных температурах (до -30 °С).

Контроль рентгеновским излучением, известный в технике как радиационный контроль, основан на способности рентгеновских лучей проникать сквозь сварной шов и воздействовать на регистрирующее устройство (фотопленку). В зависимости от способа регистрации излучения различают три метода радиационного контроля: радиографический, радиоскопический и радиометрический. Наиболее распространение получил *радиографический* ме-

тод контроля сварных соединений, поскольку получаемый снимок является документом, подтверждающим качество сварного шва, а фотопленки можно хранить длительное время.

Из всех известных смесей жидких углеводородов, применяемых для контроля герметичности сварных швов, наиболее широко используется керосин. Это объясняется тем, что благодаря ряду его свойств (высокие жидкотекучесть и смачивающая способность и т.д.) обеспечивается четкое обнаружение дефектов.

Испытание керосином отличается простотой и общедоступностью, не требует сложного и дорогостоящего оборудования, а также дефицитных материалов. Различают четыре способа испытания керосином: керосиновый, керосинопневматический, керосино-вакуумный и керосиновибрационный.

При использовании керосинового способа сварное соединение пропускают легкими ударами молотка на расстоянии 30...40 мм от шва и тщательно очищают швы от шлака, масла и других загрязнений. Для лучшего удаления шлака и развития несквозных дефектов в сквозные целесообразно сварное соединение в течение 10...15 мин подвергать воздействию вибраций. После очистки швов на их поверхность наносят тонкий равномерный слой меловой суспензии, которую приготавливают из расчета 350...450 г молотого просянного мела на 1 дм³ воды. После высыхания суспензии противоположную сторону сварного шва 5—10 раз смачивают керосином. На участках, где имеются течи, на меловой суспензии появляются темные пятна, свидетельствующие о наличии дефектов.

В машиностроении распространены в основном три метода контроля качества сварных швов: рентгеновский, магнитный и ультразвуковой. Приведем краткое описание соответствующей аппаратуры и приборов.

Переносной (передвижной) рентгеновский аппарат РУП-150/300-10-1 (рис. 13.1) предназначен для просвечивания материалов в условиях заводской рентгенодефектоскопической лаборатории. Аппарат работает по сдвоенной выпрямительной схеме при постоянном напряжении и заземлении средней точки. Высокое напряжение (150 или 300 кВ) подводится к рентгеновской трубке от генератора с использованием высоковольтных кабелей со специальными разъемами.

Рентгеновская трубка 0,3БПВ6-150 (острофокусная с заземленным анодом) помещена в металлический освинцованный кожух-цилиндр с пустотелой рубашкой, заполненной трансформаторным маслом, при циркуляции которого анод охлаждается. Выход рентгеновских лучей предусмотрен в средней части трубки. Глуби-

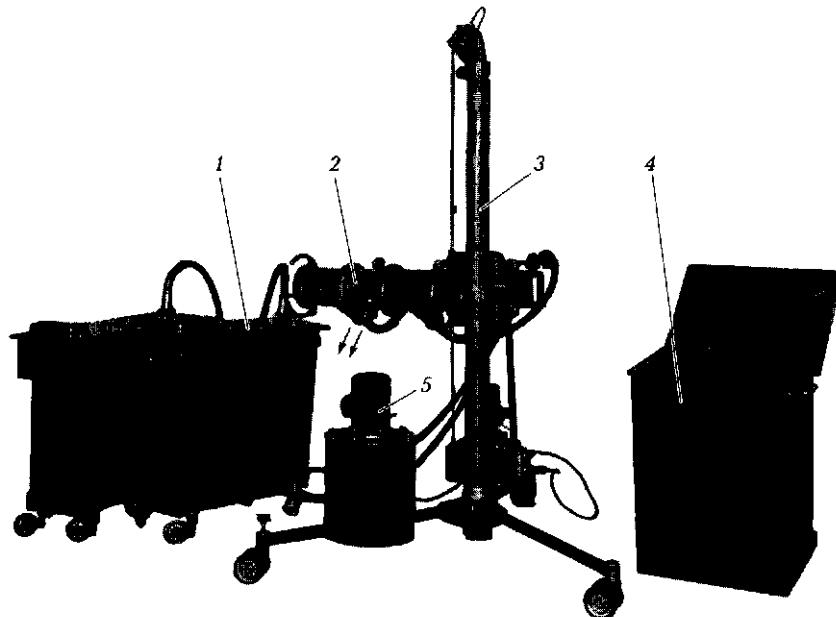


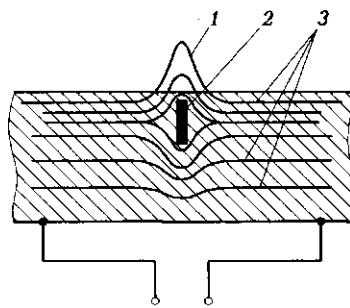
Рис. 13.1. Переносной рентгеновский аппарат РУП-150/300-10-1:
1 — блок питания рентгеновской трубы; 2 — рентгеновская трубка; 3 — стойка крепления рентгеновской трубы; 4 — блок управления; 5 — система охлаждения

на выявления дефекта 200 мм и более с регистрацией на фотопленке. Рентгеновское излучение позволяет обнаруживать дефекты практически в любых металлах.

Переносной магнитный дефектоскоп ПМД-70 предназначен для выявления поверхностных и подповерхностных дефектов сварных швов в деталях из ферромагнитных материалов магнитопорошковым или магнитолюминесцентным методом. Дефектоскоп имеет порог чувствительности, позволяющий обнаруживать дефекты шириной 2,5 мкм при их протяженности свыше 0,5 мм и глубине залегания до 5 мм. Намагничивающие устройства дефектоскопа создают циркулирующее или продольное магнитное поле. Питание этих устройств осуществляется от сети переменного тока напряжением 220 В или от аккумуляторной батареи — источника постоянного тока напряжением 24 В. Схема магнитного контроля приведена на рис. 13.2.

При работе дефектоскопа на переменном токе дефекты выявляются с помощью импульсов тока четырех различных форм, а при его работе на постоянном токе используется электромагнит

Рис. 13.2. Схема магнитного контроля:
1 — возмущение в распределении магнитных
силовых линий; 2 — дефект шва; 3 — магнит-
ные силовые линии



или соленоид. По окончании контроля аппаратура обеспечивает размагничивание детали или сварного узла.

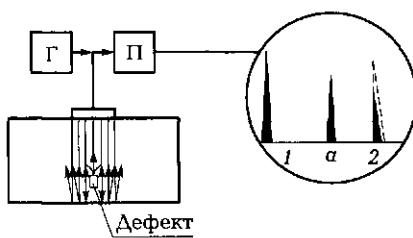
Ультразвуковой переносной дефектоскоп УД2-12 предназначен для обнаружения дефектов с определением их размеров и координат залегания. Диапазон значений толщины контролируемого материала (например, стали) по цифровому индикатору 1...999 мм. Дефектоскоп реализует эхо-метод, теневой и зеркально-теневой методы контроля. Схема ультразвукового контроля представлена на рис. 13.3.

Перед проведением контроля поверхность необходимо подготовить для сканирования таким образом, чтобы ее шероховатость Rz не превышала 250 мкм, радиус кривизны детали (объекта сканирования) составлял не менее 100 мм, а поверхность сварного шва и околосшовной зоны была покрыта слоем веретенного масла.

Настройку ультразвукового дефектоскопа производят по эталону — образцу дефекта. На экране электронно-лучевой трубы высвечиваются импульсы отраженного от дефекта сигнала, который сравнивается с импульсом настройки на образец. По установленной на экране сетке отсчитывают измеряемое расхождение импульсов при выявлении дефекта.

Рис. 13.3. Схема ультразвукового контроля:

1 — сигнал генератора зондирующих импульсов; 2 — сигнал отраженных импульсов; a — сигнал от дефекта; Г — генератор импульсов; П — приемник сигналов



В настоящее время разрабатываются и внедряются быстродействующие, более точные и специальные методы контроля качества сварки.

Необходимо отметить некоторые виды испытаний, связанных с разрушающими методами контроля качества сварных соединений. Механическим испытаниям подвергают как отдельные образцы, вырезанные из сварных швов, так и сами детали или узлы. Эти испытания подразделяются на статические (на растяжение, изгиб, смятие, ползучесть), динамические (на ударный изгиб, знакопеременные нагрузки и др.) и усталостные.

Металлографическими исследованиями (макро- и микроанализ) выявляют изменения, происходящие в структуре металла шва и зоны термического влияния при разных режимах сварки и термообработки. Кроме того, проводят измерение твердости, испытания на коррозионную стойкость, химический и спектральный анализ металла швов и соединений.

На машиностроительных предприятиях действует система управления качеством выпускаемой продукции. Сотрудники метрологической службы, отдела технического контроля и центральной заводской лаборатории проходят обязательный курс обучения с аттестацией. Благодаря взаимодействию этих служб обеспечивается единство мер и измерений при контроле качества сварных швов, узлов и конструкций.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Для чего применяют разрушающие методы контроля?
2. В чем заключается различие радиационного и ультразвукового методов контроля?
3. Какими методами проверяют герметичность конструкции?
4. Какие меры принимают для исправления внутренних дефектов?

Список литературы

1. Виноградов В. С. Оборудование и технология дуговой автоматической и механизированной сварки : учебник / В. С. Виноградов. — М. : Высш. шк., 2001. — 319 с.
2. Виноградов В. М. Основы сварочного производства : учеб. пособие / В. М. Виноградов, А. А. Черепахин, Н. Ф. Шпунькин. — М. : Издательский центр «Академия», 2008. — 272 с.
3. Думов С. И. Технология электрической сварки плавлением : учебник / С. И. Думов. — Л. : Машиностроение, 1987. — 461 с.
4. Куркин С. А. Сварные конструкции : Технология изготовления, механизация, автоматизация и контроль качества в сварочном производстве / С. А. Куркин, Г. А. Николаев. — М. : Высш. шк., 1991. — 398 с.
5. Марочник сталей и сплавов : учеб. пособие / [В. Г. Сорокин, А. В. Волосникова, С. А. Вяткин и др.] ; под общ. ред. В. Г. Сорокина. — М. : Машиностроение, 1989. — 640 с.
6. Маслов Б. Г. Производство сварных конструкций : учебник / Б. Г. Маслов, А. П. Выборнов. — М. : Издательский центр «Академия», 2007. — 256 с.
7. Маслов В. И. Сварочные работы : учеб. пособие / В. И. Маслов. — М. : Издательский центр «Академия», 2003. — 240 с.
8. Овчинников В. В. Дефекты сварных соединений : учеб. пособие / В. В. Овчинников. — М. : Издательский центр «Академия», 2008. — 64 с. — (Сварщик).
9. Розаренов Ю. Н. Оборудование для электрической сварки плавлением : учеб. пособие / Ю. Н. Розаренов. — М. : Машиностроение, 1987. — 208 с.
10. Сварка и резка материалов : учеб. пособие / [М. Д. Банов, Ю. В. Казаков, М. Г. Козулин и др.] ; под ред. Ю. В. Казакова. — М. : Издательский центр «Академия», 2004. — 400 с.
11. Справочник электрогазосварщика и газорезчика : учеб. пособие / [Г. Г. Чернышов, Г. В. Полевой, А. П. Выборнов и др.] ; под ред. Г. Г. Чернышова. — М. : Издательский центр «Академия», 2006. — 400 с.

12. Чернышов Г.Г. Сварочное дело : Сварка и резка металлов : учебник / Г.Г.Чернышов. — М. : Издательский центр «Академия», 2004. — 496 с.
13. Чернышов Г.Г. Технология электрической сварки плавлением : учебник / Г.Г.Чернышов. — М. : Издательский центр «Академия», 2006. — 448 с.
14. Юхин Н.А. Выбор сварочного электрода : учеб.-справ. пособие / Н.А.Юхин ; под ред. О.И.Стеклова. — М. : Соуэло, 2003. — 68 с.
15. Юхин Н.А. Механизированная дуговая сварка плавящимся электродом в защитных газах (MIG/MAG) : учеб. пособие / Н.А.Юхин ; под ред. О.И.Стеклова. — М. : Соуэло, 2002. — 72 с.
16. Юхин Н.А. Ручная дуговая сварка неплавящимся электродом в защитных газах (TIG/WIG) : учеб. пособие / Н.А.Юхин ; под ред. О.И.Стеклова. — М. : Соуэло, 2001. — 48 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.....	3
Введение.....	4

Раздел I ОСНОВЫ ТЕОРИИ СВАРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ

Глава 1. Основные виды сварки.....	10
Глава 2. Основные типы сварных соединений и конструктивные элементы сварных швов.....	17
Глава 3. Общие сведения о сталях и их свариваемости.....	29
3.1. Углеродистые стали.....	29
3.2. Легированные стали	31
Глава 4. Теоретические основы дуговой сварки	35
4.1. Сварочная дуга и сущность протекающих в ней процессов	35
4.2. Перенос металла через сварочную дугу.....	44
Глава 5. Металлургические и тепловые процессы при дуговой сварке плавлением	50
5.1. Металлургические процессы	50
5.2. Тепловые процессы.....	56
Глава 6. Формирование сварного соединения.....	61
6.1. Процесс кристаллизации металла шва и изменение структуры зоны термического влияния.....	61
6.2. Напряжения, деформации и перемещения деталей в процессе сварки	66
Глава 7. Сварочные материалы	76
7.1. Электродные материалы.....	76
7.2. Флюсы и защитные газы, применяемые при дуговой сварке	88

Раздел II СВАРОЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И АППАРАТЫ ДЛЯ ДУГОВОЙ СВАРКИ

Глава 8. Сварочное оборудование	96
8.1. Общие сведения об источниках питания дуги.....	96
8.2. Сварочные трансформаторы и выпрямители	102
8.3. Источники питания со звеном повышенной частоты	112

8.4. Сварочные генераторы, преобразователи, агрегаты и установки	118
8.5. Оборудование сварочного поста	125
Глава 9. Сварочные аппараты.....	134
9.1. Полуавтоматы для дуговой сварки и их основные узлы	134
9.2. Сварочные автоматы	149

**Раздел III
ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ
СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

Глава 10. Особенности сварочного производства	162
10.1. Общие сведения о производстве сварных конструкций	162
10.2. Подготовка металла перед сваркой.....	170
10.3. Сборка под сварку	176
10.4. Способы выполнения сварных швов при ручной дуговой сварке.....	185
10.5. Особенности сварки в защитных газах.....	199
10.6. Особенности сварки под флюсом и электрошлаковой сварки.....	205
Глава 11. Дуговая сварка, наплавка и резка металлов.....	222
11.1. Сварка углеродистых и легированных сталей.....	222
11.2. Сварка чугунов	235
11.3. Наплавка и резка металлов	240
11.4. Сварка алюминиевых и титановых сплавов	247
11.5. Сварка меди и ее сплавов.....	256

**Раздел IV
КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ ШВОВ**

Глава 12. Наиболее распространенные виды дефектов в сварных швах	264
Глава 13. Методы контроля качества сварных швов	274
Список литературы	281

Учебное издание

Маслов Валентин Иванович

Сварочные работы

Учебник

11-е издание, стереотипное

Редакторы И. П. Гаврилова, В. Н. Махова

Технический редактор О. Н. Крайнова

Компьютерная верстка: Р. Ю. Волкова

Корректор С. Ю. Свиридова

Изд. № 111101069. Подписано в печать 27.05.2015. Формат 60×90/16.
Бумага офс. № 1. Печать офсетная. Гарнитура «Балтика». Усл. печ. л. 18,0.
Тираж 1 000 экз. Заказ №3846

ООО «Издательский центр «Академия». www.academia-moscow.ru
129085, Москва, пр-т Мира, 101В, стр. 1.
Тел./факс: (495) 648-0507, 616-00-29.
Санитарно-эпидемиологическое заключение № РОСС RU. АЕ51. II 16679 от 25.05.2015.

Отпечатано с готовых файлов заказчика
и АО «Первая Образцовая типография»,
филиал «УЛЬЯНОВСКИЙ ДОМ ПЕЧАТИ»
432980, г. Ульяновск, ул. Гончарова, 14



Маслов Валентин Иванович — преподаватель спецдисциплин Мытищинского машиностроительного техникума по специальности "Сварочное производство". Окончил Всесоюзный заочный машиностроительный институт и Московский авиационный технологический институт им. К.Э. Циолковского. Заслуженный учитель Российской Федерации, преподавательский стаж 40 лет. Автор многочисленных публикаций об инженерном деле в России в начале XX в. Лауреат премии памяти митрополита Макария, награжден Золотой медалью им. В.Г. Шухова.

СВАРОЧНЫЕ РАБОТЫ

ISBN 978-5-4468-2310-9

Издательский центр «Академия»
www.academia-moscow.ru