

В. С. ВИНОГРАДОВ

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ДУГОВАЯ СВАРКА

УЧЕБНИК

Допущено

*Экспертным советом по профессиональному образованию
в качестве учебника для использования в учебном процессе
образовательных учреждений, реализующих программы
начального профессионального образования*

9-е издание, стереотипное



Москва
Издательский центр «Академия»
2018

УДК 621.791.7(075.32)
ББК 34.641я722
В493

Рецензенты:

преподаватель спецтехнологии сварки
Политехнического колледжа № 31 г. Москвы *В. А. Грошев*;
начальник лаборатории сварки ФГУП «Российская самолетостроительная
корпорация «МиГ», д-р техн. наук, проф. *В. В. Овчинников*

Виноградов В. С.

В493 Электрическая дуговая сварка : учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / В. С. Виноградов. — 8-е изд., стер. — М. : Издательский центр «Академия», 2015. — 320 с. ISBN 978-5-4468-7162-9

Приведены сведения об основных видах и технологии электрической дуговой сварки, а также сварочных материалах и применяемом оборудовании. Охарактеризованы особенности сварки конструкционных материалов различных групп и изготовления сварных металлоконструкций. Рассмотрены виды дефектов и способы контроля сварных швов и соединений, а также вопросы охраны труда и экологии.

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» (МДК.02.02) по профессии «Сварщик (электросварочные и газосварочные работы)».

Для студентов учреждений среднего профессионального образования.

УДК 621.791.7(075.32)
ББК 34.641я722

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

ISBN 978-5-4468-7162-9

© Гаврилова О. В. (наследница Виноградова В. С.), 2012
© Образовательно-издательский центр «Академия», 2012
© Оформление. Издательский центр «Академия», 2012

ПРЕДИСЛОВИЕ

Электрическая дуговая сварка в современном производстве получила большое развитие и является одним из ведущих технологических процессов обработки металлов. Достоинства сварных соединений обеспечили их широкое применение в изделиях разного назначения.

Использование сварки при создании конструкций позволяет экономить материалы и время. При этом открываются большие возможности механизации и автоматизации производства, создаются предпосылки для повышения производительности и улучшаются условия труда работающих.

С развитием техники возникает необходимость сварки деталей разных толщин из разных материалов, и, как следствие, расширяется набор применяемых видов и способов сварки. В настоящее время сваривают детали толщиной от нескольких микронов (в микроэлектронике) до десятков сантиметров и даже метров (в тяжелом машиностроении). Наряду с конструкционными углеродистыми и низколегированными сталями все чаще приходится сваривать специальные стали, легкие сплавы и сплавы на основе титана, молибдена, циркония и других металлов, а также разнородные материалы. От применяемой технологии сварки и качества выполнения сварочных работ во многом зависят качество и надежность готовых изделий и эффективность производства в целом. Одно из наиболее развивающихся направлений в сварочном производстве — широкое использование механизированной и автоматической дуговой сварки, т.е. механизация и автоматизация как самих сварочных процессов, так и комплексная механизация и автоматизация, охватывающая все виды работ, связанных с изготовлением сварных конструкций и созданием поточных и автоматических производственных линий. Важное значение при этом отводится созданию специального оборудования и средств оснащения технологических процессов.

В условиях постоянного усложнения конструкций и роста объема сварочных работ большую роль играет правильное проведение технологической подготовки производства, в значительной степени определяющей его трудоемкость и сроки освоения, экономические показатели, использование средств механизации и автоматизации.

Рост технического уровня производства, введение в эксплуатацию сложного сварочного оборудования неразрывно связаны с повышением требований к уровню технической подготовки кадров, работающих в области сварочного производства, в первую очередь рабочих-сварщиков.

ЧАСТЬ I

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ДУГОВОЙ СВАРКИ

Глава 1

ВИДЫ И СПОСОБЫ СВАРКИ. СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

1.1. Понятие о сварке и ее сущность

Сложные конструкции, как правило, получают в результате объединения между собой отдельных элементов (деталей, агрегатов, узлов). Такие объединения могут выполняться с помощью разъемных или неразъемных соединений.

В соответствии с ГОСТ 2601—74 *сварка* определяется как процесс получения неразъемных соединений посредством установления межатомных связей между свариваемыми частями при их местном или общем нагреве, пластическом деформировании или совместном действии того и другого.

Неразъемные соединения, выполненные с помощью сварки, называют *сварными соединениями*. Чаще всего с помощью сварки соединяют детали из металлов. Однако сварные соединения применяют и для деталей из неметаллов — пластмасс, керамик или их сочетаний.

Для получения сварных соединений не требуется применения каких-либо специальных соединительных элементов (заклепок, накладок и т. п.). Образование неразъемного соединения обеспечивается за счет проявления действия внутренних сил системы. При этом происходит образование связей между атомами металла соединяемых деталей. Для сварных соединений металлов характерно возникновение металлической связи, обусловленной взаимодействием ионов и обобществленных электронов, проявляющимся при сближении их на расстояние межатомного взаимодействия, составляющее $(3...5) \cdot 10^{-7}$ мкм.

Для получения сварного соединения недостаточно простого соприкосновения поверхностей соединяемых деталей. Межатомные связи могут установиться только тогда, когда соединяемые атомы получают некоторую дополнительную энергию, необходимую для преодоления существующего между ними энергетического барьера, при этом атомы достигают состояния равновесия в действии сил притяжения и отталкивания. Эту энергию называют

энергией активации. При сварке ее вводят извне путем нагрева (термическая активация) или пластического деформирования (механическая активация).

Сближение свариваемых частей на расстояние межатомного взаимодействия и приложение энергии активации — необходимые условия для образования неразъемных сварных соединений.

В зависимости от вида активации при выполнении соединений различают два вида сварки: плавлением и давлением. При сварке плавлением детали по соединяемым кромкам оплавляют под действием источника нагрева. Оплавленные поверхности кромок покрываются расплавленным металлом, который, сливаясь в общий объем, образует жидкую сварочную ванну. При охлаждении сварочной ванны жидкий металл затвердевает и образует сварной шов. Шов может быть образован только за счет расплавления металла свариваемых кромок или за счет их металла и дополнительного введения в сварочную ванну расплавленной присадки.

Сущность сварки давлением состоит в непрерывном или прерывистом совместном пластическом деформировании материала по кромкам свариваемых деталей. Благодаря пластической деформации и течению металла облегчается установление межатомных связей соединяемых частей. Для ускорения процесса применяют сварку давлением с нагревом. В некоторых случаях нагрев может производиться до оплавления металла свариваемых поверхностей.

1.2. Классификация дуговой сварки

Общая классификация. В настоящее время различают более 150 видов и способов сварочных процессов. Существует классификация сварочных процессов по физическим, техническим и технологическим признакам (ГОСТ 19521—74).

Основным физическим признаком сварки является вид энергии, используемой для получения сварного соединения. По физическим признакам все виды сварки относят к одному из трех классов: термическому, термомеханическому и механическому.

К *термическому* классу относят все виды сварки плавлением, осуществляемые с использованием тепловой энергии, — газовую, дуговую, электрошлаковую, электронно-лучевую, лазерную и др.

К *термомеханическому* классу относят все виды сварки, осуществляемые с использованием тепловой энергии и давления, — контактную, диффузионную, газо- и дугопрессовую, кузнечную и др.

К *механическому* классу относят все виды сварки давлением, осуществляемые с использованием механической энергии, — холодную, трением, ультразвуковую, взрывом и др.

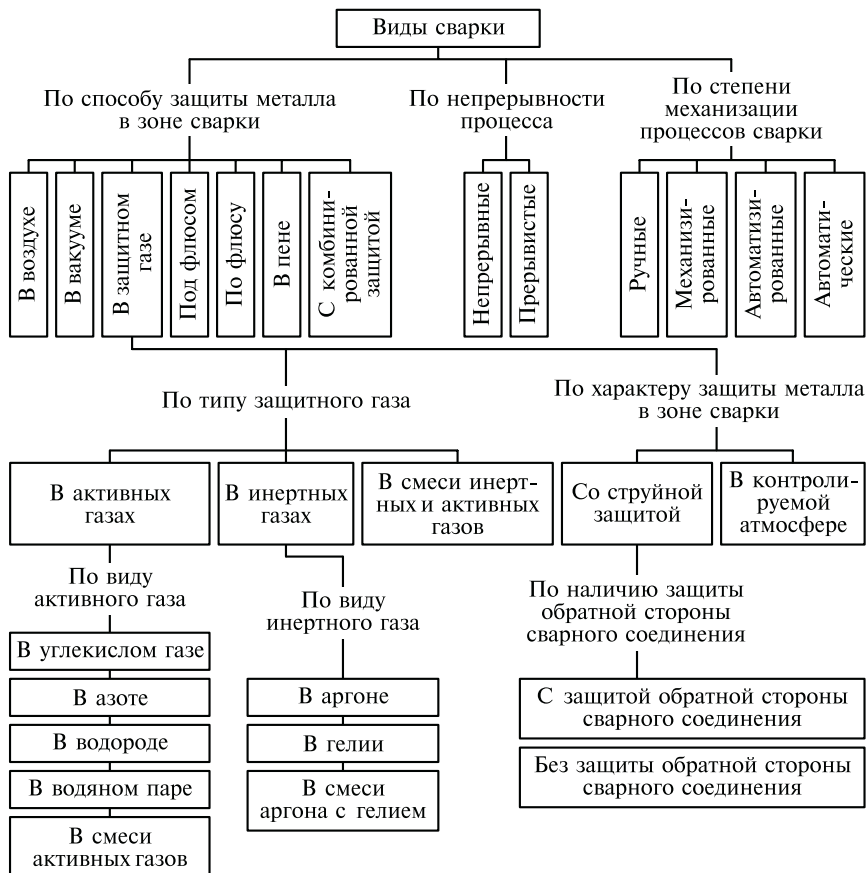


Рис. 1.1. Классификация способов дуговой сварки

К техническим признакам сварочных процессов относят способы защиты металла в зоне сварки, непрерывность процесса и степень его механизации.

Технологические признаки устанавливаются для каждого вида сварки отдельно. Например, вид дуговой сварки может быть классифицирован по следующим признакам: виду электрода, характеру защиты, уровню автоматизации и т. п.

Классификация способов дуговой сварки представлена на рис. 1.1.

Виды сварки плавлением. Источником нагрева при дуговых способах сварки является сварочная дуга, представляющая собой устойчивый электрический разряд, происходящий в газовой среде между двумя электродами или электродами и деталью. Для поддержания такого разряда нужной продолжительности необходимо

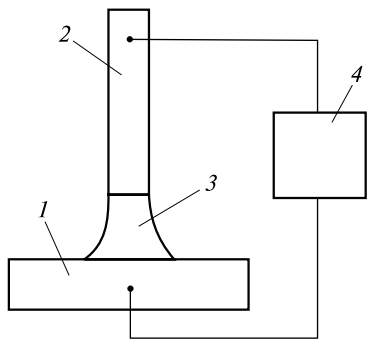


Рис. 1.2. Схема электрической цепи дуговой сварки:

1 — деталь; 2 — электрод; 3 — дуга;
4 — источник питания дуги

применение специальных источников питания дуги. Электрическая дуга может питаться переменным или постоянным током. На рис. 1.2 показана схема электрической цепи дуговой сварки.

Открытие способа дуговой сварки было обусловлено открытием явления электрической дуги, сделанным в 1802 г. русским физиком В. В. Петровым. Впервые соединение металлических деталей с помощью электрической дуги, горящей между неплавящимся угольным электродом и свариваемым изделием, было осуществлено Н. Н. Бенардосом в 1882 г.

При необходимости в сварочную ванну дополнительно подавался присадочный материал. В 1888 г. русский инженер Н. Г. Славянов усовершенствовал процесс, заменив неплавящийся угольный электрод на плавящийся металлический. Тем самым было достигнуто объединение функции электрода для существования дугового разряда и присадочного металла для образования ванны. Предложенные Н. Н. Бенардосом и Н. Г. Славяновым способы дуговой сварки неплавящимся и плавящимся электродами легли в основу разработки наиболее распространенных современных способов дуговой сварки.

Дальнейшее совершенствование дуговой сварки шло по двум направлениям:

- изыскание средств защиты и обработки расплавленного металла сварочной ванны;
- автоматизация процесса.

В зависимости от способа защиты свариваемого металла и сварочной ванны от воздействия окружающей среды выделяют дуговую сварку с шлаковой, газошлаковой и газовой защитой, по степени автоматизации процесса — ручную, механизированную и автоматическую сварку.

Дуговая сварка покрытыми электродами. При этом способе процесс выполняется вручную. Сварочные электроды могут быть плавящиеся (стальные, медные, алюминиевые и др.) и неплавящиеся (угольные, графитовые, вольфрамовые). Наиболее широко применяют сварку стальными электродами, имеющими на поверхности электродное покрытие. Покрытие электродов готовится из порошкообразной смеси различных компонентов и наносится на поверхность стального стержня в виде затвердевающей пасты. Его назначение — повысить устойчивость горения дуги, провести металлургическую обработку сварочной ванны и улучшить качество сварки.

Сварной шов образуется за счет расплавления металла свариваемых кромок и плавления стержня сварочного электрода. При этом сварщик вручную осуществляет два основных технологических движения: подачу покрытого электрода в зону сварки по мере его расплавления и перемещение дуги вдоль свариваемых кромок.

Ручная дуговая сварка покрытыми электродами — один из наиболее распространенных способов, используемых при изготовлении сварных конструкций. Такая сварка отличается простотой и универсальностью, возможностью выполнения соединений в разных пространственных положениях и труднодоступных местах. Существенный недостаток ее — малая производительность процесса и зависимость качества сварки от квалификации сварщика.

Дуговая сварка под флюсом. При таком способе сварки электрическая дуга горит между плавящимся электродом и деталью под слоем сварочного флюса, полностью защищающего дугу и сварочную ванну от взаимодействия с воздухом. Газовая полость, в которой горит дуга, состоит из паров флюса и металла. Сварочный электрод выполнен в виде проволоки, свернутой в кассету и автоматически подаваемой в зону сварки. Перемещение дуги вдоль свариваемых кромок может выполняться или вручную, или с помощью специального привода. В первом случае процесс ведется с помощью сварочных полуавтоматов, во втором — сварочных автоматов.

Дуговая сварка под флюсом отличается высокими производительностью и качеством получаемых соединений. К недостаткам процесса следует отнести трудность сварки деталей небольших толщин, выполнения коротких швов и швов в основных положениях, отличных от нижних.

Дуговая сварка в защитных газах. При сварке в защитных газах электрическая дуга горит в среде специально подаваемых в зону сварки защитных газов. При этом используют как неплавящийся, так и плавящийся электроды, а выполнять процесс можно ручным, механизированным или автоматическим способами. Сварка применяется для широкого круга металлов и сплавов.

Электрошлаковая сварка. Процесс электрошлаковой сварки является бездуговым. В отличие от дуговой сварки для расплавления основного и присадочного металлов используется теплота, выделяющаяся при прохождении сварочного тока через расплавленный электропроводный шлак (флюс). После затвердевания расплава образуется сварной шов. Сварку выполняют чаще всего при вертикальном положении свариваемых деталей с зазором между ними. Для формирования шва по обе стороны зазора устанавливают медные ползуны-кристаллизаторы, охлаждаемые водой. Электрошлаковую сварку применяют для соединения деталей больших толщин (20... 1 000 мм и более).

1.3. Сварные соединения и швы

Согласно ГОСТ 2601—84 существует ряд терминов и определений, связанных со сварными соединениями и швами.

Металлическую конструкцию, изготовленную с помощью сварки отдельных деталей, называют *сварной конструкцией*, часть такой конструкции — *сварным узлом*.

Сварное соединение — это неразъемное соединение нескольких деталей, выполненное сваркой. Конструктивный тип сварного соединения определяется взаиморасположением свариваемых частей. При сварке плавлением различают следующие типы сварных соединений: стыковое, нахлесточное, торцовое, угловое и тавровое (рис. 1.3). Применяется также соединение нахлесточное с точечным сварным швом, выполненное дуговой сваркой.

Стыковое соединение (рис. 1.3, а) представляет собой сварное соединение двух деталей, расположенных в одной плоскости и примыкающих друг к другу торцовыми поверхностями. Оно наиболее распространено в сварных конструкциях. Условные обозначения стыковых соединений: С1 — С48.

Нахлесточное соединение (рис. 1.3, б) представляет собой сварное соединение, в котором соединяемые элементы расположены параллельно и частично перекрывают друг друга. Условные обозначения: Н1 — Н9.

Торцовое соединение (рис. 1.3, в) — это соединение, в котором боковые поверхности элементов примыкают друг к другу. Условных обозначений в стандарте пока нет.

Угловое соединение (рис. 1.3, г) представляет собой сварное соединение двух элементов, расположенных под углом друг к другу и сваренных в месте приложения их кромок. Условные обозначения угловых соединений: У1 — У10.

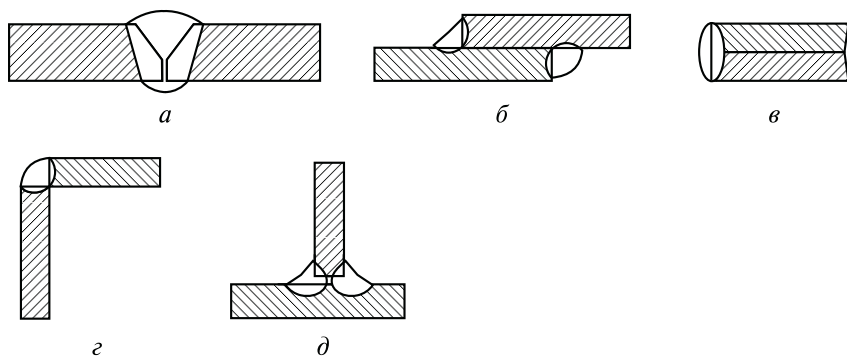


Рис. 1.3. Типы сварных соединений:

а — стыковое; б — нахлесточное; в — торцовое; г — угловое; д — тавровое

Тавровое соединение (рис. 1.3, д) — это соединение, в котором к боковой поверхности одного элемента примыкает под углом и приварен торцом другой элемент. Как правило, угол между элементами прямой. Условные обозначения тавровых соединений: Т1 — Т8.

В сварное соединение входит сварной шов. *Сварной шов* представляет собой участок сварного соединения, образовавшийся в результате кристаллизации расплавленного металла сварочной ванны.

Сварочная ванна — это часть металла сварного шва, находящаяся в момент сварки в расплавленном состоянии. Углубление, образующееся в сварочной ванне под действием дуги, называют *кратером*. Металл соединяемых частей, подвергающихся сварке, называют *основным металлом*. Металл, предназначенный для введения в сварочную ванну в дополнение к расплавленному основному металлу, называют *присадочным металлом*. Переплавленный присадочный металл, введенный в сварочную ванну или наплавленный на основной металл, называют *наплавленным металлом*. Сплав, образованный переплавленным основным и наплавленным металлами, называют *металлом шва*. В зависимости от параметров и формы подготовки свариваемых кромок деталей доли участия основного и наплавленного металлов в формировании шва могут существенно изменяться (рис. 1.4).

Площадь сечения всего шва $F_{ш}$ рассчитывается по формуле

$$F_{ш} = F_{пр} + F_{н},$$

где $F_{пр}$ — площадь сечения шва, сформированного за счет расплавления основного металла; $F_{н}$ — площадь сечения шва, сформированного за счет наплавленного (присадочного) металла.

Доли основного m и наплавленного n металлов в шве рассчитываются по следующим формулам:

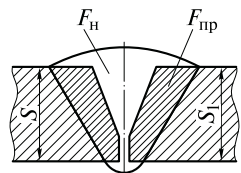
$$m = F_{пр}/F_{ш} = F_{пр}/(F_{пр} + F_{н});$$

$$n = F_{н}/F_{ш} = F_{н}/(F_{пр} + F_{н}).$$

Доли основного и наплавленного металлов в шве изменяются в пределах от 0 до 1. Например, при сварке соединения без присадочного металла с зазором между кромками, близким к нулю, $m = 1$, $n = 0$.

Рис. 1.4. Схема поперечного сечения стыкового шва:

$F_{н}$ — площадь сечения шва, сформированного за счет наплавленного металла; $F_{пр}$ — площадь сечения шва, сформированного за счет расплавленного основного металла; S и S_1 — толщины свариваемых деталей



В зависимости от доли участия основного и присадочного металлов в формировании шва его состав может изменяться. В этом случае содержание того или иного элемента в металле шва $[Me]_{ш}$ может быть рассчитано следующим образом:

$$[Me]_{ш} = m[Me]_o + n[Me]_п,$$

где $[Me]_o$ и $[Me]_п$ — концентрация рассчитываемого элемента в основном и присадочном металлах соответственно.

Часть сварного шва, наиболее удаленную от его лицевой поверхности, называют *корнем шва*. Торцовые поверхности деталей, подлежащие нагреву и расплавлению при сварке, называют *свариваемыми кромками*. Для обеспечения равномерного проплавления свариваемых кромок в зависимости от толщины основного металла и способа сварки по ГОСТ 5264—80 им придают наибо-

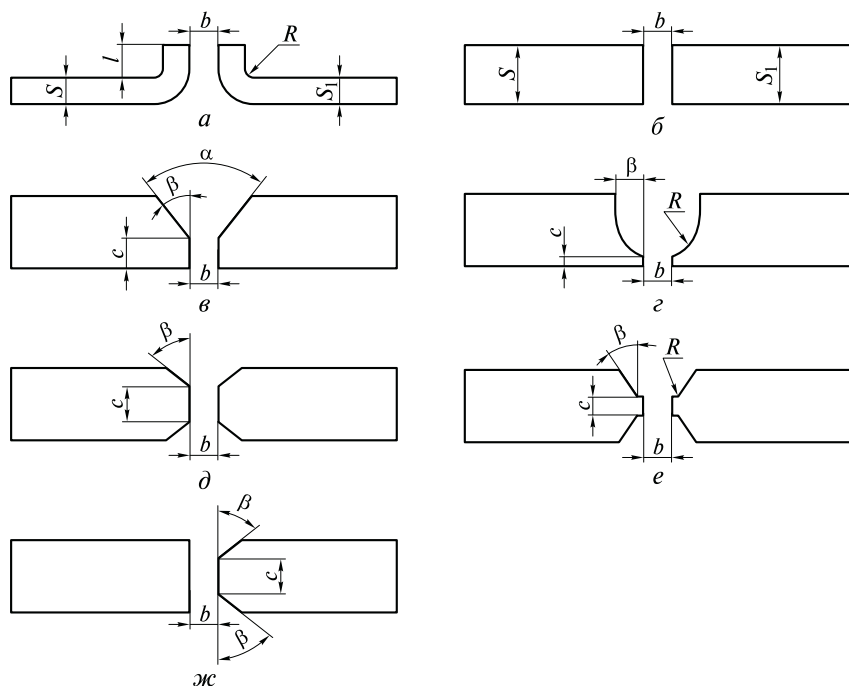


Рис. 1.5. Формы поперечного сечения подготовленных кромок в стыковом соединении:

a — с отбортовкой кромок; *б* — без скоса кромок; *в* — с прямолинейным скосом; *г* — с криволинейным скосом; *д* — с двумя симметричными прямолинейными скосами; *е* — с двумя симметричными ломаными скосами; *ж* — с двумя симметричными прямолинейными скосами одной кромки; *з* — с притуплением кромок; *б* — зазор; α — угол разделки кромок; β — угол скоса кромок; *l* — высота отбортовки; *R* — радиус закругления; *S* и *S*₁ — толщины металла свариваемых деталей

лее оптимальную форму, выполняя предварительно подготовку кромок (рис. 1.5). Отбортовку кромок применяют при сварке тонкостенных деталей. Для толстостенных деталей применяют разделку кромок за счет их скоса, т. е. выполняют прямолинейный или криволинейный наклонный скос кромки, подлежащей сварке. Нескошенная часть кромки s называется *притуплением кромки*, а расстояние b между кромками при сборке — *зазором*. Острый угол β между плоскостью скоса кромки и плоскостью торца называют *углом скоса кромки*, угол α между скошенными кромками — *углом разделки кромок*.

В зависимости от типов сварных соединений различают стыковые и угловые сварные швы. Первый вид швов используется при получении стыковых сварных соединений. Второй вид швов используется в угловых, тавровых и нахлесточных соединениях. Основными параметрами стыкового шва являются (рис. 1.6, а) ширина шва e , выпуклость шва q , глубина проплавления (провар) H ; углового шва (рис. 1.6, б) — величина катета K . Размеры параметров сечения швов устанавливают по ГОСТ 5264—80.

В зависимости от расположения швов в конструкции сварку выполняют в разных положениях (рис. 1.7): нижнем, горизонтальном, вертикальном и потолочном (ГОСТ 11969—79).

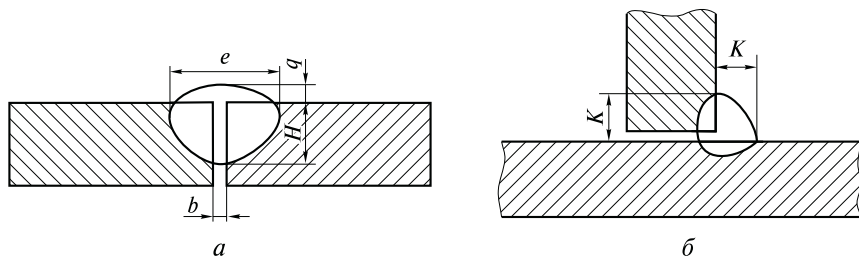


Рис. 1.6. Основные параметры сварных швов:

a — стыкового; b — углового; e — ширина шва; q — выпуклость шва; H — глубина проплавления; K — катет шва; b — зазор

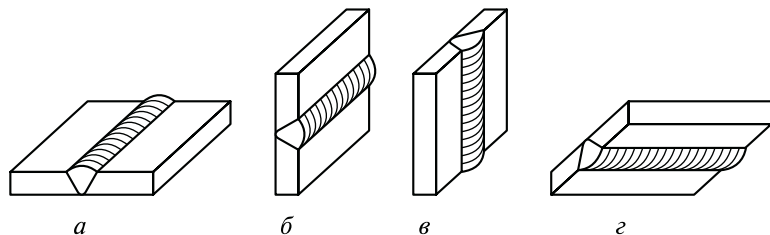


Рис. 1.7. Основные положения сварки:

a — нижнее; b — горизонтальное; v — вертикальное; z — потолочное

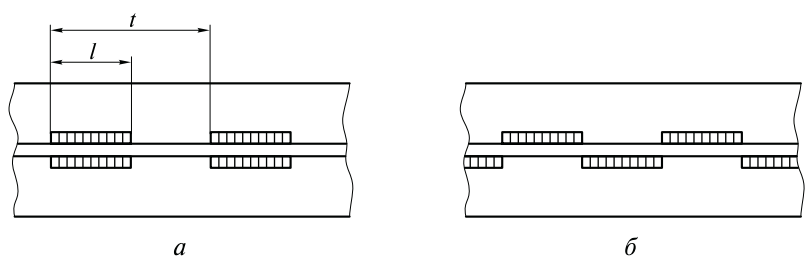


Рис. 1.8. Прерывистые сварные швы:

a — цепной; *б* — шахматный; *l* — длина шва; *t* — шаг шва

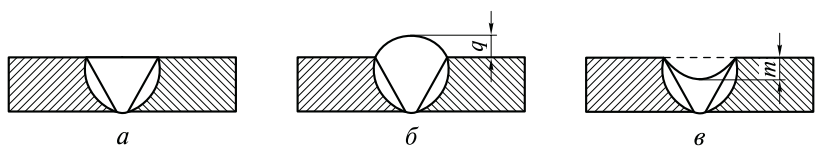


Рис. 1.9. Форма сварных швов:

a — стандартная; *б* — выпуклая; *в* — вогнутая; *q* — выпуклость; *m* — вогнутость

По характеру выполнения различают одно- и двусторонние швы, выполняемые как на весу, так и на различного рода подкладках и флюсовых подушках. Часть двустороннего шва, выполняемую предварительно для предотвращения прожогов при последующей сварке или накладываемую в последнюю очередь в корень шва для обеспечения высокого качества шва, называют *подварочным швом*.

По протяженности различают непрерывные и прерывистые швы. Непрерывный шов — это сварной шов без промежутков по длине; прерывистый шов имеет промежутки (рис. 1.8). По форме поперечного сечения сварные швы подразделяют на стандартные, выпуклые и вогнутые (рис. 1.9). По числу слоев сварные швы могут быть однослойными и многослойными (рис. 1.10). *Слой* — это часть металла сварного шва, которая состоит из одного или нескольких

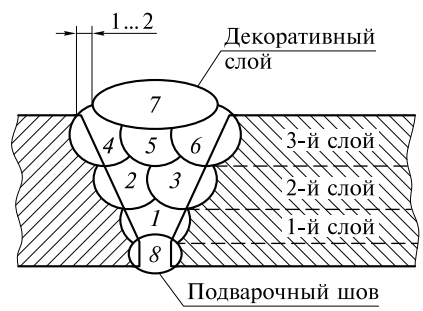


Рис. 1.10. Многослойный сварной шов:

1—8 — последовательность наплавления заполняющих валиков

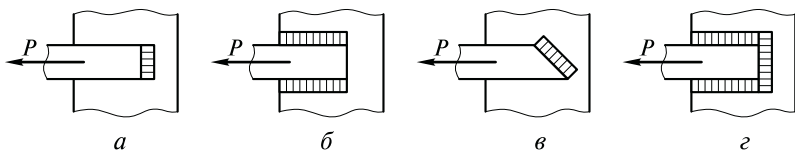


Рис. 1.11. Виды швов в зависимости от действующего усилия:

а — лобовой; *б* — фланговый; *в* — косой; *г* — комбинированный; *P* — усилие

валиков, располагающихся на одном уровне поперечного сечения шва. *Валик* — это металл шва, наплавленный или переплавленный за один проход.

По отношению к направлению действующих усилий сварные швы подразделяются на лобовые, оси которых перпендикулярны направлению усилия; фланговые, оси которых параллельны направлению усилия; косые, расположенные под углом к действующим усилиям, и комбинированные, представляющие собой комбинацию перечисленных швов (рис. 1.11).

В зависимости от условий работы швы подразделяются на рабочие, воспринимающие внешние нагрузки, и связующие (соединительные), предназначенные только для скрепления частей изделий и не рассчитанные на внешние нагрузки.

1.4. Условные изображения и обозначения швов сварных соединений

Согласно Единой системе конструкторской документации (ЕСКД) изображения и обозначения швов сварных соединений на чертежах изделий должны соответствовать ГОСТ 2.312—72. Независимо от вида сварки видимый шов сварного соединения условно изображают сплошной основной линией, а невидимый — штриховой (рис. 1.12).

От изображения шва проводят линию-выноску, заканчивающуюся односторонней стрелкой. Характеристика шва проставля-

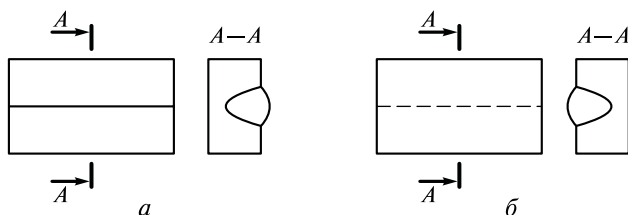


Рис. 1.12. Изображение сварных швов на чертежах:

а — видимого; *б* — невидимого

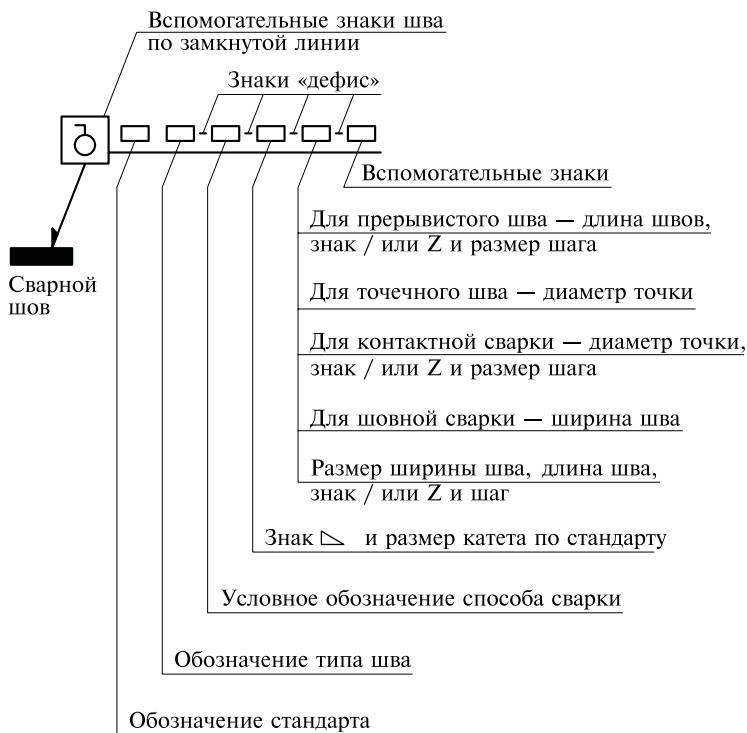



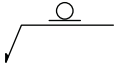
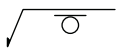

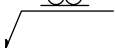
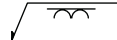

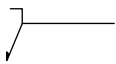

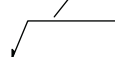
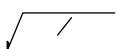

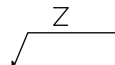
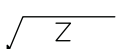

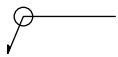

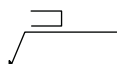

Рис. 1.13. Схема условного обозначения сварного шва

ется на полке линии-выноски (для лицевой стороны шва) или под полкой (для обратной стороны шва). Структура условного обозначения сварного шва приведена на рис. 1.13.

В настоящее время существует ряд стандартов, устанавливающих виды и конструктивные элементы швов сварных соединений для различных видов сварки: ГОСТ 8713—79 «Сварка под флюсом. Сварные соединения»; ГОСТ 5264—80 «Ручная дуговая сварка. Соединения сварные»; ГОСТ 14771—76 «Дуговая сварка в защитном газе. Сварные соединения»; ГОСТ 15164—79 «Электрошлаковая сварка. Соединения сварные». Этими стандартами в зависимости от толщины металла устанавливаются формы поперечного сечения и конструктивные элементы подготовленных кромок и швов, которым присваивают условные буквенно-цифровые обозначения. Буквенная часть указывает на вид сварного соединения; цифры являются порядковым номером типа шва в данном конкретном стандарте.


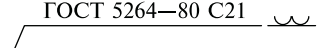
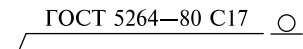
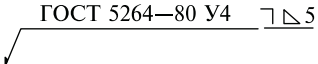
Для условного обозначения сварных швов используют также вспомогательные знаки (табл. 1.1).

Вспомогательные знаки для условного обозначения сварных швов

Вспомогательный знак	Значение вспомогательного знака	Расположение вспомогательного знака относительно линии выноски при расположении шва	
		с лицевой стороны	с оборотной стороны
	Выпуклость шва снять		
	Наплывы и неровности шва обработать с плавным переходом к основному металлу		
	Шов выполнить при монтаже изделия		
	Шов прерывистый или точечный с цепным расположением		
	Шов прерывистый или точечный с шахматным расположением		
	Шов по замкнутой линии		
	Шов по незамкнутой линии		

Буквенные обозначения способа сварки необходимо проставлять на чертеже только в случае применения в данном изделии нескольких видов сварки, например П — механизированная дуговая сварка, А — автоматическая дуговая сварка, У — дуговая сварка в углекислом газе и др. Ручная дуговая сварка не имеет буквенного обозначения. Можно не указывать на полке линии-выноски обозначение стандарта, если все швы в изделии выполняются по одному стандарту. В этом случае следует сделать соответствующее указание в примечаниях на чертеже. Примеры условного обозначения сварных швов приведены в табл. 1.2.

Примеры условного обозначения сварных швов

Наименование шва	Обозначение
Стыковой односторонний шов на остающейся подкладке, со скосом двух кромок, выполненный дуговой сваркой покрытыми электродами	ГОСТ 5264—80 C16 
Стыковой двусторонний шов с двумя симметричными скосами двух кромок, выполненный дуговой сваркой покрытыми электродами. Участок перехода от шва к основному металлу дополнительно обработан	ГОСТ 5264—80 C21 
Стыковой односторонний шов со скосом кромок, замковый. Выпуклость шва снята механической обработкой	ГОСТ 5264—80 C17 
Шов углового соединения, односторонний, без скоса кромок, выполненный дуговой сваркой покрытыми электродами при монтаже. Катет шва равен 5 мм	ГОСТ 5264—80 У4 

1.5. Расчет прочности сварных соединений

При проектировании сварных конструкций их прочность определяется на основании расчетов, которые сводятся к определению напряжений, возникающих в элементах изделия от нагрузок.

Существует два основных метода расчета конструкций: по допускаемым напряжениям и по предельным состояниям. По допускаемым напряжениям условие прочности имеет вид

$$\sigma \leq [\sigma],$$

где σ — напряжение в опасном сечении элемента; $[\sigma]$ — допускаемое напряжение, которое составляет некоторую часть от предела текучести материала:

$$[\sigma] = \sigma_T/n,$$

где σ_T — предел текучести; n — коэффициент запаса прочности.

Например, для конструкций, выполняемых из углеродистой стали обыкновенного качества марки Ст3, допускаемое напряжение $[\sigma] = 16 \cdot 10^7 \text{ Н/м}^2$. Так как предел текучести стали Ст3 $\sigma_T = 24 \cdot 10^7 \text{ Н/м}^2$, то коэффициент запаса прочности $n = 240/160 = 1,5$.

При действии осевых нагрузок расчетные напряжения вычисляются по формуле

$$\sigma = P/F,$$

где P — осевое усилие, Н; F — площадь поперечного сечения нагружаемого элемента, м².

Более точным методом расчета, учитывающим условия работы и однородность материала конструкции, является метод расчета *по предельным состояниям*. Предельным называют состояние, когда под действием нагрузки происходят качественные изменения свойств материала или начинается физический процесс, по каким-либо причинам недопустимый, нежелательный или опасный.

Характерными случаями предельного состояния являются:

- появление текучести в основном сечении элементов конструкции или разрушение под действием статических, повторно-переменных и динамических нагрузок;
- предельное состояние, обусловленное наибольшей деформацией конструкции, недопустимыми прогибами при статических нагрузках, колебаниями при динамических нагрузках;
- предельное состояние, характеризуемое максимально допустимыми местными повреждениями (деформациями, трещинами).

Возможно сочетание различных предельных состояний.

При расчете прочности конструкции по предельным состояниям выполняется следующее условие:

$$N/F \leq mR,$$

где N — расчетное усилие, Н; F — площадь расчетного сечения, м²; m — коэффициент условий работы, учитывающий степень ответственности конструкции, возможность дополнительных деформаций при эксплуатации, жесткость узлов; R — расчетное сопротивление металла, Н/м².

Расчетное сопротивление металла стыковых швов устанавливают по специальным нормативам. Так, для стыковых швов, выполненных ручной и механизированной сваркой на стали Ст3, расчетное сопротивление при растяжении равно $18 \cdot 10^7$ Н/м² (180 МПа), при срезе — 130 МПа, для угловых швов расчетное сопротивление составляет 150 МПа.

Стыковые швы на прочность рассчитывают по формуле

$$N = R_c^{cb} S l,$$

где N — расчетное действующее усилие в соединении, Н; R_c^{cb} — расчетное сопротивление сварного стыкового соединения, Н/м²; S — толщина металла в расчетном сечении, м; l — длина шва, м.

Расчетное усилие для угловых швов рассчитывают по формуле

$$N = 0,7 K I R_c^{cb},$$

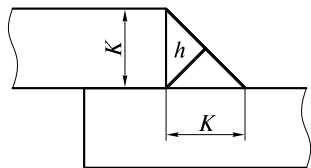


Рис. 1.14. Плоскость разрушения h в сечении углового сварного шва:

K — катет шва

где K — катет шва, м; l — длина шва, м; $R_c^{св}$ — расчетное сопротивление срезу, Н/м²; коэффициент 0,7 показывает, что расчет ведется из предположения разрушения шва в плоскости, проходящей по гипотенузе прямоугольного треугольника (рис. 1.14).

Пример. Определить допустимое усилие для сварной тяги, выполненной из двух частей стальной полосы (Ст3) толщиной 5 мм и шириной 150 мм, соединенных лобовым стыковым швом и внахлестку.

Решение. Расчетное сопротивление при растяжении для стали Ст3 составляет $18 \cdot 10^7$ Н/м², сопротивление на срез — $15 \cdot 10^7$ Н/м², толщина стыкового шва и катет углового шва равны 0,005 м, длина швов в обоих случаях составляет 0,15 м. Расчет усилия N , Н, для стыкового соединения выполняем по формуле

$$N = R_c^{св} S l = 18 \cdot 10^7 \cdot 0,005 \cdot 0,15 = 13,5 \cdot 10^4.$$

Расчет усилия N , Н, для нахлесточного соединения выполняем по формуле

$$N = 0,7 K l R_c^{св} = 0,7 \cdot 0,005 \cdot 0,15 \cdot 15 \cdot 10^7 = 7,875 \cdot 10^4.$$

При стыковом соединении полос расчетное усилие тяги в 1,7 раза больше, чем при нахлесточном соединении.

Контрольные вопросы

1. Что называют сваркой?
2. Как классифицируются виды и способы сварки?
3. В чем заключается сущность сварки плавлением?
4. Какие существуют виды сварных соединений и швов?
5. Как изображаются сварные соединения и швы на чертежах?
6. Как рассчитывают прочность сварных соединений со швами разных типов?
7. Почему невозможно получить неразъемные соединения деталей при простом соприкосновении их поверхностей?
8. В чем заключаются преимущества сварки как способа получения неразъемных соединений?

Глава 2

ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОЧИХ МЕСТ ДЛЯ ДУГОВОЙ СВАРКИ

2.1. Оборудование сварочных постов

При выполнении производственных операций за рабочим или бригадой рабочих закрепляется рабочее место в виде участка производственной площади, оснащенной, согласно требованиям технологического процесса, соответствующим оборудованием и необходимыми принадлежностями. Рабочее место электросварщика, оборудованное всем необходимым для выполнения сварочных работ, называют *сварочным постом*. Сварочные посты могут быть стационарными или подвижными. От правильной организации рабочего места в значительной степени зависят высокая производительность труда сварщиков и качество сварных швов и соединений.

Рабочие места сварщиков в зависимости от выполняемой работы и габаритов свариваемых конструкций могут располагаться в специальных сварочных кабинах или непосредственно возле этих изделий.

При сварке небольших изделий рабочие места оборудуются сварочными кабинами размером $2\,000 \times 2\,000$ или $2\,000 \times 3\,000$ мм (рис. 2.1). Каркас кабины изготавливается металлическим из стальных труб или профильного проката. Стены кабин делают высотой $1\,800 \dots 2\,000$ мм, для лучшей вентиляции не доводя их до пола на $200 \dots 300$ мм. В качестве материала для стен используют тонколистовую сталь, асбоцементные плиты и другие негорючие материалы. Стены окрашивают в светлые тона огнестойкой краской — цинковыми или титановыми белилами, желтым кроном и другими, хорошо поглощающими ультрафиолетовые лучи сварочной дуги. Окраска стен в более темные тона не рекомендуется, так как ухудшается освещенность во время перерывов в горении сварочной дуги. Дверной проем в кабине закрывают брезентовым занавесом на кольцах, пропитанным огнестойким составом. Полы в кабинах настилают из огнеупорного материала: кирпича, цемента или бетона. Кабины должны быть освещены дневным или искусственным светом, а также оснащены вентиляцией. Кроме общей вентиляции устраивают местные отсосы, поглощающие вредные газы и сварочную пыль непосредственно из зоны их образования.

Для сборки и сварки деталей внутри кабины устанавливают сварочный стол высотой $500 \dots 600$ мм для работы сидя и около 900 мм для работы стоя. Крышку стола площадью около 1 м^2 изго-

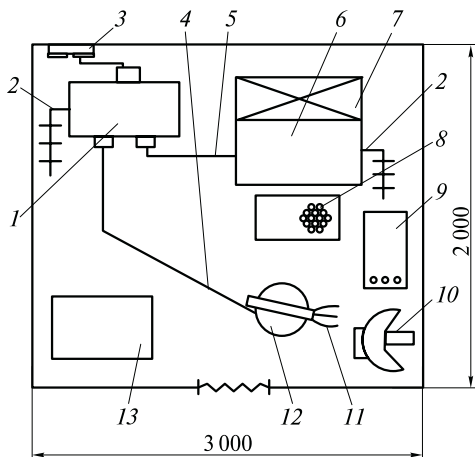


Рис. 2.1. Планировка сварочной кабины:

1 — источник питания дуги; 2 — заземление; 3 — пускатель источника питания; 4 и 5 — прямой и обратный токоподводящие провода; 6 — стол; 7 — вентиляция; 8 — коврик; 9 — электроды; 10 — щиток; 11 — электрододержатель; 12 — стул; 13 — ящик для отходов

товляют из листовой стали толщиной 15...20 мм или из чугунной плиты толщиной 20...25 мм, что лучше, так как чугунная крышка не деформируется от нагревания. К нижней части крышки или к ножке стола приваривают стальной болт, служащий для крепления токоподводящего провода от источника сварочного тока и провода заземления стола. Сбоку стола имеются гнезда для хранения электродов или присадочной проволоки. В выдвижном ящике стола хранится инструмент, а также технологическая документация. Для удобства работы в кабине устанавливают металлический стул с подъемным винтовым сиденьем, изготовленным из неэлектропроводного материала (дерево, пластмасса и др.). Под ногами у сварщика должен находиться резиновый коврик. При работе в кабинах, на сборочных площадках и особенно внутри емкостей особое внимание должно уделяться электробезопасности и соблюдению действующих норм и правил заземления источников питания дуги, сварочных установок, столов и другой аппаратуры. Внутри замкнутых емкостей сварщик должен работать в присутствии страхующего наблюдателя.

При механизированной или автоматической сварке в кабине размещают сварочный полуавтомат или автомат и необходимые вспомогательное оборудование и приспособления.

Один из основных видов оборудования сварочных постов — источники питания дуги. Они могут быть однопостовыми или многопостовыми. На рабочем месте обычно размещают однопос-

товые источники питания. При питании сварочных постов от многопостовых источников сварочный ток разводят по кабинам с помощью токоподводящих проводов или шин. В кабине устанавливается рубильник или магнитный пускатель для включения сварочного тока.

Для дуговой сварки используют как переменный, так и постоянный ток. Источниками переменного тока являются сварочные трансформаторы, а постоянного — сварочные выпрямители, преобразователи и агрегаты. В настоящее время промышленность выпускает различные конструкции всех видов сварочных источников питания.

2.2. Инструменты и принадлежности электросварщика

Для выполнения сварочных работ сварщик должен иметь определенный набор инструментов и принадлежностей.

Для закрепления покрытого электрода и подвода к нему сварочного тока используют *электрододержатели*, являющиеся основным инструментом электросварщика (рис. 2.2). Электрододержатели для ручной сварки должны быть массой не более 0,5 кг и иметь конструкцию, обеспечивающую надежное закрепление и быструю смену электродов, а также обладать достаточной механической прочностью и хорошими тепло- и электроизоляционными свойствами применяемых материалов. В зависимости от силы сварочного тока предусмотрены три типа электрододержателей: рассчитанные на ток до 125 А, 125... 315 А и 315... 500 А.

Для защиты глаз и лица электросварщика от прямых излучений сварочной дуги, брызг расплавленного металла и искр применяют *защитные щитки*. Предусмотрены два типа щитков: ручные с непрозрачным корпусом (тип РН) и наголовные с непрозрачным корпусом (тип НН). Корпус щитков изготавливается из токопроводящего и невоспламеняющегося материала, стойкого к

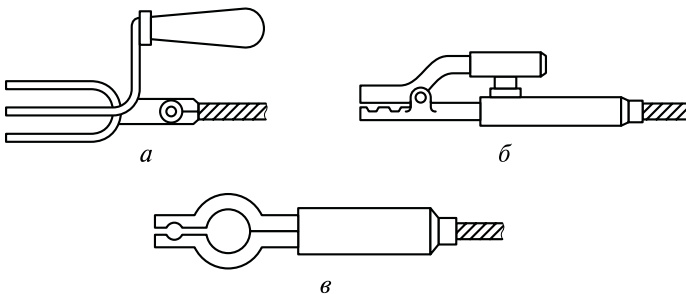


Рис. 2.2. Типы электрододержателей:

а — вилочный; *б* — шипцовый; *в* — с пружинящим кольцом

брызгам расплавленного металла. Обычно применяют черную фибру. В зависимости от силы сварочного тока щитки комплектуют защитными стеклами — светофильтрами (ГОСТ 124080—79). Светофильтры темно-зеленого цвета обеспечивают защиту глаз и кожи лица от излучений в ультрафиолетовой, видимой и инфракрасной областях спектра дуги при сварке на токах 20...1 000 А. Они изготавливаются 13 классов (С1—С13). Класс светофильтра выбирается в зависимости от силы сварочного тока и способа сварки. Размер светофильтра 52 × 102 мм.

Для подвода сварочного тока от источника к электрододержателю и детали применяют *сварочные провода*. Электрододержатели присоединяют к гибкому с медными жилами проводу марки ПРГД или ПРГДО. При отсутствии значительных механических воздействий можно использовать провод марки АПРГДО с алюминиевыми жилами.

Помимо отмеченных принадлежностей сварщику приходится пользоваться *набором дополнительного инструмента*: стальными щетками для зачистки кромок перед сваркой и удаления с поверхности швов остатков шлака, зубилом, набором шаблонов для проверки размеров швов и формы подготовленных кромок, стальным клеймом, метром, угольником, чертилкой, ящиком для хранения и переноски инструмента.

Спецодежду сварщиков (куртка, брюки, рукавицы) шьют из плотной и трудновоспламеняемой ткани (брезент, сукно и др.).

Контрольные вопросы

1. Что такое сварочный пост?
2. Как оборудуются сварочные посты для ручной и механизированной дуговой сварки?
3. Какие источники питания сварочным током используются при дуговой сварке?
4. Назовите принадлежности и инструмент сварщика.
5. Почему при выполнении сварочных работ применяют разные сварочные посты?

**ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ДУГА И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ
ПРИ СВАРКЕ****3.1. Природа сварочной дуги**

Электрическая дуга представляет собой один из видов электрических разрядов в газах, при котором наблюдается прохождение электрического тока через газовый промежуток под воздействием электрического поля. Электрическую дугу, используемую для сварки металлов, называют *сварочной дугой*. Дуга является частью электрической сварочной цепи, и на ней происходит падение напряжения. При сварке на постоянном токе электрод, подсоединенный к положительному полюсу источника питания дуги, называют *анодом*, а к отрицательному — *катодом*. Если сварка ведется на переменном токе, каждый из электродов является попеременно то анодом, то катодом.

Промежуток между электродами называют *областью дугового разряда*, или *дуговым промежутком*. Длину дугового промежутка называют *длиной дуги*. В обычных условиях при низких температурах газы состоят из нейтральных атомов и молекул и не обладают электропроводностью. Прохождение электрического тока через газ возможно только при наличии в нем заряженных частиц — электронов и ионов.

Процесс образования заряженных частиц газа называют *ионизацией*, а сам газ — ионизированным. Возникновение заряженных частиц в дуговом промежутке обуславливается эмиссией (испусканием) электронов с поверхности отрицательного электрода (катада) и ионизацией находящихся в промежутке газов и паров. Дуга, горящая между электродом и объектом сварки, является дугой прямого действия. Такую дугу принято называть *свободной дугой* (в отличие от сжатой, поперечное сечение которой принудительно уменьшено за счет сопла горелки, потока газа, электромагнитного поля). Возбуждение дуги происходит следующим образом. При коротком замыкании электрода и детали в местах касания их поверхности разогреваются. При размыкании электродов с нагретой поверхности катада происходит испускание электронов — электронная эмиссия. Выход электронов в первую очередь связывают с термическим эффектом (термоэлектронная эмиссия) и наличием у катада электрического поля высокой напряженности (автоэлектронная эмиссия). Наличие электронной эмиссии с поверхности катада является непременным условием существования дугового разряда.

По длине дугового промежутка дуга разделяется на три области: катодную, анодную и находящийся между ними столб дуги (рис. 3.1). *Катодная область* включает в себя нагретую поверхность катода, называемую катодным пятном, и часть дугового промежутка, примыкающую к ней. Протяженность катодной области мала, но она характеризуется повышенной напряженностью и протекающими в ней процессами получения электронов, являющимися необходимым условием для существования дугового разряда. Температура катодного пятна для стальных электродов достигает $2\,400 \dots 2\,700 \text{ }^\circ\text{C}$. На нем выделяется до 38 % общей теплоты дуги. Основным физическим процессом в этой области является электронная эмиссия и разгон электронов. Падение напряжения в катодной области U_k составляет порядка $12 \dots 17 \text{ В}$, а ее протяженность — примерно 10^{-5} см .

Анодная область состоит из анодного пятна на поверхности анода и части дугового промежутка, примыкающего к нему. Ток в анодной области определяется потоком электронов, идущих из столба дуги. Анодное пятно является местом входа и нейтрализации свободных электронов в материале анода. Оно имеет примерно такую же температуру, как и катодное пятно, но в результате бомбардировки электронами на нем выделяется больше теплоты, чем на катоде. Анодная область также характеризуется повышенной напряженностью. Падение напряжения в ней U_a составляет примерно $2 \dots 11 \text{ В}$. Протяженность этой области также мала и составляет $10^{-3} \dots 10^{-4} \text{ см}$.

Столб дуги занимает наибольшую часть дугового промежутка, расположенную между катодной и анодной областями. Основным процессом образования заряженных частиц здесь является ионизация газа. Этот процесс происходит в результате соударения заряженных (в первую очередь электронов) и нейтральных частиц газа. При достаточной энергии соударения из частиц газа происходит выбивание электронов и образование положительных ионов. Такую ионизацию называют ионизацией соударением. Соударение может произойти и без ионизации, тогда энергия соударения

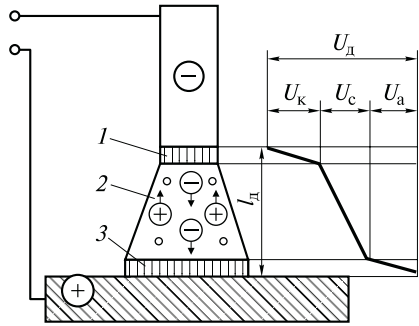


Рис. 3.1. Строение электрической дуги и распределение напряжения в ней:

1 — катодная область; 2 — столб дуги; 3 — анодная область; U_k, U_a, U_c, U_d — падение напряжения в катодной, анодной областях, столбе дуги и общее соответственно; l_d — длина дуги

выделяется в виде теплоты и идет на повышение температуры дугового столба. Образующиеся в столбе дуги заряженные частицы движутся к электродам: электроны — к аноду, ионы — к катоду. Часть положительных ионов достигает катодного пятна, другая их часть не достигает катода и, присоединяя к себе отрицательно заряженные электроны, образует нейтральные атомы. Такой процесс нейтрализации частиц называют рекомбинацией. В столбе дуги при всех условиях ее горения наблюдается устойчивое равновесие между процессами ионизации и рекомбинации. В целом столб дуги не имеет заряда. Он нейтрален, так как в каждом его сечении одновременно находятся равные количества противоположно заряженных частиц. Температура столба дуги достигает 6 000... 8 000 °С и более. Падение напряжения в нем U_c изменяется практически линейно по длине, увеличиваясь с увеличением длины столба. Падение напряжения зависит от состава газовой среды и уменьшается с введением в нее легко ионизирующих компонентов. Такими компонентами являются щелочные и щелочно-земельные элементы (кальций, натрий, калий и др.). Общее падение напряжения в дуге $U_d = U_k + U_a + U_c$. Падение напряжения в столбе дуги можно представить в виде линейной зависимости

$$U_c = El_c,$$

где E — напряженность по длине столба (около 2... 3 В/мм); l_c — длина столба. Значения U_k , U_a , E практически зависят лишь от материала электродов и состава среды дугового промежутка и при их неизменности остаются постоянными при разных условиях сварки. В связи с малой протяженностью катодной и анодной областей можно считать длину столба l_c практически равной длине дуги l_d , тогда

$$U_d = U_a + U_k + El_d,$$

что означает, что напряжение дуги прямым образом зависит от ее длины.

Непременным условием получения качественного сварного соединения является устойчивое горение дуги (ее стабильность), под которым понимают такой режим ее существования, при котором дуга длительное время горит при заданных значениях силы тока и напряжения, не прерываясь и не переходя в другие виды разрядов. При устойчивом горении сварочной дуги основные ее параметры (сила тока и напряжение) находятся в определенной взаимной зависимости, поэтому одной из основных характеристик дугового разряда является зависимость ее напряжения от силы тока при постоянной длине дуги. Графическое изображение этой зависимости при работе в статическом режиме (в состоянии устойчивого горения дуги) называют *статической вольт-амперной*

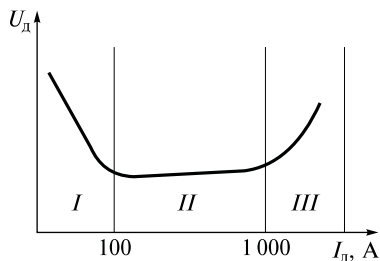


Рис. 3.2. Кривая статической вольт-амперной характеристики дуги:

I, *II* и *III* — падающая, жесткая и возрастающая области соответственно; U_d — напряжение дуги; I_d — ток дуги

характеристикой дуги (рис. 3.2). С увеличением длины дуги ее напряжение возрастает, и графическая кривая статической вольт-амперной характеристики поднимается выше, с уменьшением длины дуги — опускается ниже, качественно сохраняя при этом свою форму. Кривую статической характеристики можно разделить на три области: падающую *I*, жесткую *II* и возрастающую *III*. В области *I* увеличение тока приводит к резкому падению напряжения дуги. Это обусловлено тем, что с увеличением силы тока увеличиваются площадь сечения столба дуги и его электропроводность. Горение дуги на режимах в этой области отличается малой устойчивостью. В области *II* увеличение силы тока не связано с изменением напряжения дуги. Это объясняется тем, что площадь сечения столба дуги и активных пятен изменяется пропорционально силе тока, в связи с чем плотность тока и падение напряжения в дуге сохраняются постоянными. Сварка дугой с жесткой статической характеристикой находит широкое применение в сварочной технологии, особенно при ручной сварке. В области *III* с увеличением силы тока напряжение возрастает. Это связано с тем, что диаметр катодного пятна становится равным диаметру электрода и увеличиваться далее не может, при этом в дуге возрастают плотность тока и напряжение. Дуга с возрастающей статической характеристикой широко используется при автоматической и механизированной сварке под флюсом и в защитных газах с применением тонкой сварочной проволоки.

Особым видом сварочной дуги является сжатая дуга, столб которой сжат с помощью узкого сопла горелки или обдувающим потоком газа (аргона, азота и др.). Плазма — это ионизированный газ дугового столба, состоящий из положительно и отрицательно заряженных частиц. Плазма генерируется в канале сопла горелки, обжимается и стабилизируется его водоохлаждаемыми стенками и холодным потоком плазмообразующего газа. Обжатие и охлаждение наружной поверхности столба дуги вызывает его концентрацию, что приводит к резкому увеличению числа соударений между частицами плазмы, увеличению степени ионизации и резкому повышению температуры столба дуги (10 000 ... 30 000 К) и кинетической энергии плазменной струи. В результате ионизированная плазма представляет собой источник теплоты с высокой

концентрацией энергии. Это позволяет с успехом использовать ее для сварки, наплавки, напыления и термической резки самых разнообразных материалов.

3.2. Особенности дуги на переменном токе

При сварке на постоянном токе в установившемся режиме все процессы в дуге протекают с определенной скоростью и горение дуги отличается высокой стабильностью. При питании дуги переменным током полярность электрода и изделия, а также условия существования дугового разряда периодически изменяются. Так, дуга переменного тока промышленной частоты 50 Гц погасает и вновь возбуждается 100 раз в секунду, или дважды за каждый период. В первую очередь устойчивость горения такой дуги зависит от того, насколько легко происходит повторное возбуждение дуги в каждом полупериоде. Это определяется ходом физических и электрических процессов в дуговом промежутке и на электродах в отрезки времени между каждым погасанием и новым зажиганием дуги. Снижение тока сопровождается уменьшением температуры в столбе дуги и степени ионизации дугового промежутка. При переходе тока через нуль и перемене полярности в начале и конце каждого полупериода дуга гаснет. Одновременно падает и температура активных пятен на аноде и катоде. Падение температуры несколько отстает по фазе при переходе тока через нуль, что связано с тепловой инерционностью процесса. Особенно интенсивно падает температура активного пятна, расположенного на поверхности сварочной ванны, в связи с интенсивным отводом теплоты в массу детали. В следующий за погасанием дуги момент меняется полярность напряжения на дуговом промежутке (рис. 3.3). Одно-

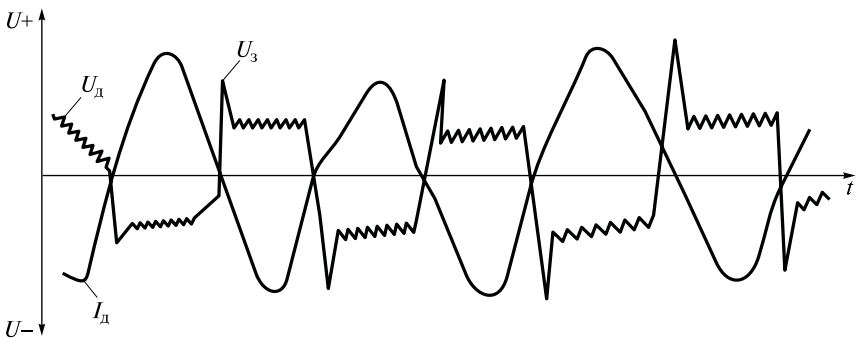


Рис. 3.3. Изменение полярности напряжения при горении дуги на переменном токе:

U_d — напряжение дуги; I_d — ток дуги; t — время; U_3 — пик зажигания

временно изменяется и направление движения заряженных частиц в дуговом промежутке. В условиях пониженных температуры активных пятен и степени ионизации в дуговом промежутке повторное зажигание дуги в начале каждого полупериода происходит только при повышенном напряжении между электродами, именуемом пиком зажигания, или напряжением повторного зажигания дуги. Пик зажигания всегда выше напряжения дуги, соответствующего стабильному режиму ее горения. Для сварки открытой дугой напряжение повторного зажигания U_3 и напряжение дуги U_d имеют следующую зависимость:

$$U_3 = (1,3 \dots 2,5) U_d.$$

При этом напряжение повторного зажигания несколько выше в тех случаях, когда катодное пятно находится на основном металле. Величина напряжения повторного зажигания существенно влияет на устойчивость горения дуги переменного тока. Деионизация и охлаждение дугового промежутка возрастают с увеличением длины дуги, что приводит к необходимости дополнительного повышения пика зажигания и влечет снижение устойчивости дуги. Поэтому затухание и обрыв дуги переменного тока при прочих равных условиях всегда происходят при меньшей ее длине, чем для постоянного тока. При наличии в дуговом промежутке паров легкоионизирующихся элементов пик зажигания уменьшается и устойчивость горения дуги переменного тока повышается.

С увеличением силы тока физические условия горения дуги улучшаются, что также приводит к снижению пика зажигания и повышению устойчивости дугового разряда. Таким образом, величина пика зажигания является важной характеристикой дуги переменного тока и оказывает существенное влияние на ее устойчивость. Чем хуже условия для повторного возбуждения дуги, тем больше разница между пиком зажигания и напряжением дуги. Чем выше пик зажигания, тем выше должно быть напряжение холостого хода источника питания дуги током.

При сварке на переменном токе неплавящимся электродом, когда материал электрода и изделия резко различаются по своим теплофизическим свойствам, проявляется выпрямляющее действие дуги. Это характеризуется протеканием в цепи переменного тока некоторой *составляющей постоянного тока*, сдвигающей в определенном направлении на графике кривые напряжения и тока от оси абсцисс (рис. 3.4). Наличие в сварочной цепи составляющей постоянного тока отрицательно сказывается на качестве сварного соединения и условиях процесса: уменьшается глубина проплавления, увеличивается напряжение дуги, значительно повышается температура электрода и увеличивается его расход. Поэтому приходится применять специальные меры для подавления действия составляющей постоянного тока.

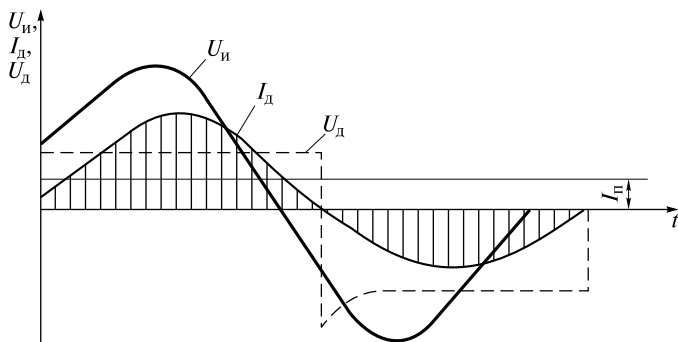


Рис. 3.4. Составляющая постоянного тока при горении дуги на переменном токе:

$U_{и}$ — напряжение источника питания дуги; $U_{д}$ — напряжение дуги; $I_{д}$ — ток дуги; $I_{п}$ — составляющая постоянного тока дуги; t — время

При сварке плавящимся электродом, близким по составу к основному металлу, на режимах, обеспечивающих устойчивое горение дуги, выпрямляющее действие дуги незначительно и кривые тока и напряжения располагаются практически симметрично относительно оси абсцисс.

3.3. Технологические свойства сварочной дуги

Под технологическими свойствами сварочной дуги понимают совокупность ее теплового, механического и физико-химического воздействия на электроды, определяющие интенсивность плавления электрода, характер его переноса, проплавление основного металла, формирование и качество шва. К технологическим свойствам дуги относятся также ее пространственная устойчивость и эластичность. Технологические свойства дуги взаимосвязаны и определяются параметрами режима сварки.

Важными технологическими характеристиками дуги являются *зажигание* и *стабильность горения дуги*. Условия зажигания и горения дуги зависят от рода тока, полярности, химического состава электродов, межэлектродного промежутка и его длины. Для надежного обеспечения процесса зажигания дуги необходимо подведение к электродам от источника питания дуги достаточного и в то же время безопасного для работающего напряжения холостого хода. Для источников сварочного тока напряжение холостого хода не превышает 80 В при сварке на переменном токе и 90 В — на постоянном. Дуга зажигается от нагрева электродов, возникающего при их соприкосновении. В момент отрыва электрода от изделия с нагретого катода происходит электронная эмиссия. Элек-

тронный ток ионизирует газы и пары металла межэлектродного промежутка, и с этого момента в дуге появляются электронный и ионный токи. Время установления дугового разряда составляет $10^{-5} \dots 10^{-4}$ с. Поддержание непрерывного горения дуги будет осуществляться, если приток энергии в дугу компенсирует ее потери. Таким образом, условием для зажигания и устойчивого горения дуги является наличие специального источника питания электрическим током. Вторым условием является наличие ионизации в дуговом промежутке. Степень ионизации зависит от химического состава электродов и газовой среды в дуговом промежутке. При наличии в дуговом промежутке легкоионизирующихся элементов она выше. Горящая дуга может быть растянута до определенной длины, после чего она гаснет. Чем выше степень ионизации в дуговом промежутке, тем длиннее может быть дуга. Максимальная длина горящей без обрыва дуги характеризует ее важнейшее технологическое свойство — стабильность. Стабильность дуги зависит от целого ряда факторов: температуры катода, его эмиссионной способности, степени ионизации среды, длины дуги и др.

К технологическим характеристикам дуги относятся также *пространственная устойчивость* и *эластичность*, под которыми понимают способность сохранения дугой неизменности пространственного положения относительно электродов в режиме устойчивого горения и возможность отклонения и перемещения без затухания под воздействием внешних факторов. Такими факторами могут быть магнитные поля и ферромагнитные массы (железо, сталь), с которыми дуга может взаимодействовать. При этом взаимодействии наблюдается отклонение дуги от естественного положения в пространстве.

Отклонение столба дуги под действием магнитного поля, наблюдаемое в основном при сварке постоянным током (рис. 3.5), называют магнитным дутьем. Возникновение магнитного дутья объясняется тем, что в местах изменения направления тока повы-

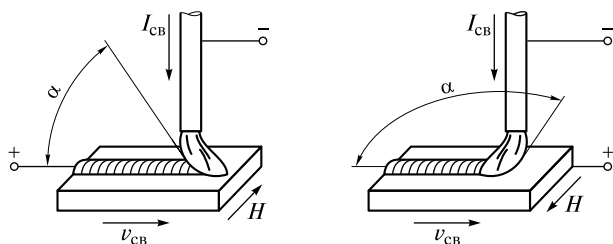


Рис. 3.5. Отклонения столба дуги под действием магнитного поля при сварке:

H — направление магнитного поля; $v_{св}$ — скорость сварки; $I_{св}$ — сварочный ток; α — угол отклонения столба дуги

шается напряженность магнитного поля. Дуга является своеобразной газовой вставкой между электродами, и как любой проводник взаимодействует с магнитными полями. При этом столб сварочной дуги можно рассматривать в качестве гибкого проводника, который под воздействием магнитного поля может перемещаться, как любой проводник, деформироваться и удлиняться. Это приводит к отклонению дуги в сторону, противоположную большей напряженности. При сварке переменным током в связи с тем, что полярность меняется с частотой тока, это явление проявляется значительно слабее.

Отклонение дуги также имеет место при сварке вблизи ферромагнитных масс. Это объясняется тем, что магнитные силовые линии проходят через ферромагнитные массы, обладающие хорошей магнитной проницаемостью, значительно легче, чем через воздух. Дуга в этом случае отклонится в сторону таких масс.

Возникновение магнитного дутья вызывает непровары и ухудшение формирования швов. Устранить его можно за счет изменения места токоподвода к изделию или угла наклона электрода, временным размещением балластных ферромагнитных масс, позволяющих выравнять несимметричность магнитных полей, у сварного соединения, а также заменой постоянного тока переменным.

Контрольные вопросы

1. Опишите природу и строение сварочной дуги.
2. Назовите основные процессы, протекающие в различных областях дуги.
3. В чем сущность вольт-амперной характеристики дуги и каковы ее особенности?
4. Каковы особенности дуги на переменном токе?
5. Перечислите технологические свойства дуги.
6. Каким образом связаны устойчивость горения и пик зажигания дуги при сварке на переменном токе?
7. Каким образом можно уменьшить пик зажигания дуги при сварке на переменном токе?
8. В чем заключается выпрямляющее действие дуги?

4.1. Сварочная дуга как источник нагрева

Сварочная дуга является мощным концентрированным источником теплоты. Электрическая энергия, потребляемая дугой, в основном превращается в тепловую энергию. Выделение тепловой энергии происходит в анодном и катодном активных пятнах и дуговом промежутке. При нагреве детали тепловой поток дуги достигает наибольшей интенсивности в центральной зоне активного пятна (рис. 4.1). По мере удаления от центра пятна интенсивность теплового потока убывает. Распределение теплоты вдоль дугового промежутка происходит в соответствии с падением напряжения в его областях.

Полная тепловая мощность дуги Q , Дж/с, зависит от силы сварочного тока $I_{св}$, А, и напряжения дуги $U_{д}$, В:

$$Q = I_{св} U_{д}$$

Однако не вся теплота дуги затрачивается на расплавление металла, т.е. на собственно сварку. Значительная ее часть расходуется на теплоотдачу в окружающую среду, расплавление электродного покрытия или флюса, разбрызгивание и т.п. Характер распределения полной тепловой мощности по отдельным статьям расхода называют тепловым балансом дуги. На рис. 4.2 пока-

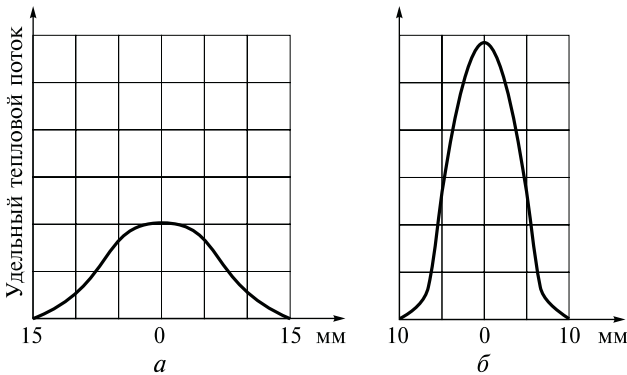


Рис. 4.1. Тепловой поток дуги в пятне нагрева при сварке:

а — покрытыми электродами; б — под флюсом

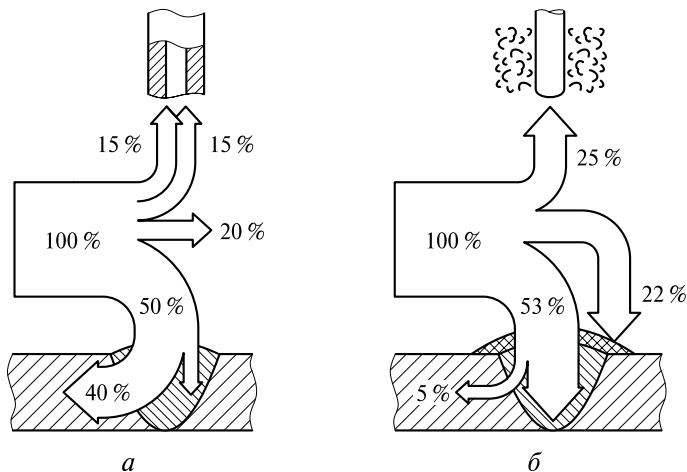


Рис. 4.2. Тепловой баланс дуги при сварке:
a — покрытыми электродами; *б* — под флюсом

заны схемы тепловых балансов дуги при ручной сварке покрытыми электродами и сварке под флюсом.

Часть общей тепловой мощности дуги, расходуемой непосредственно на нагрев и расплавление основного и присадочного металлов, называют *эффективной тепловой мощностью дуги* q , Дж/с. Она всегда меньше полной тепловой мощности дуги Q .

Эффективная тепловая мощность сварочной дуги представляет собой количество теплоты, введенное дугой в свариваемую деталь за единицу времени, и вычисляется по формуле

$$q = I_{св} U_{д} \eta,$$

где η — коэффициент полезного действия дуги, представляющий собой отношение эффективной тепловой мощности к полной тепловой мощности дуги.

Эффективная тепловая мощность зависит от способа сварки, материала электрода, состава покрытия или флюса и ряда других факторов.

Существуют определенные значения η для различных способов сварки:

Способ сварки	Значение η
В защитном газе вольфрамовыми электродами	0,6
Покрытыми электродами	0,75
Под флюсом	0,8...0,9

Теплота дуги наиболее рационально используется при автоматической сварке под флюсом.

4.2. Плавление металла электрода и его перенос в дуге при сварке

Нагрев и плавление электрода осуществляются за счет энергии, выделяемой в активном пятне, расположенном на его торце, и теплоты, выделяющейся по закону Ленца—Джоуля, при протекании сварочного тока по вылету электрода. Вылетом называют свободный участок электрода от места контакта с токоподводом до его торца. В начале процесса ручной дуговой сварки вылет электрода составляет 400 мм и изменяется по мере плавления электрода, при автоматической сварке он равен 12...60 мм. Расплаваясь в процессе сварки, жидкий металл с торца электрода переходит в сварочную ванну в виде капель разного размера. За 1 с может переноситься от 1—2 до 150 капель и более, в зависимости от их размера. Независимо от основного положения сварки капли жидкого металла всегда перемещаются вдоль оси электрода по направлению к сварочной ванне. Это объясняется действием на каплю разных сил в дуге. В первую очередь к ним относятся гравитационная сила (сила тяжести), сила поверхностного натяжения, электромагнитная сила, возникающая при прохождении по электроду сварочного тока, давление образующихся внутри капли газов, которые отрывают ее от электрода и дробят на более мелкие капли.

Гравитационная сила проявляется в стремлении капли перемещаться по вертикали сверху вниз. *Сила поверхностного натяжения* обеспечивает капле сферическую форму. *Электромагнитные силы* играют важнейшую роль в отрыве и направленном переносе капель к сварочной ванне при сварке швов в любом пространственном положении. Электрический ток, проходя по электроду, создает вокруг него магнитное поле, оказывающее сжимающее действие. Сжатие расплавленной части электрода приводит к образованию шейки у места перехода к твердому металлу (рис. 4.3). По мере уменьшения ее сечения и возрастания плотности тока жидкий металл формируется и отделяется в виде сферической капли. При этом капля за счет действия электромагнитной силы приобретает направленность движения к сварочной ванне. *Сила внутреннего давления газов* также участвует в переносе капли. Расплавленный металл на электроде сильно перегрет. Образующиеся в нем газы способствуют отрыву его от торца электрода и могут раздробить его на более мелкие капли.

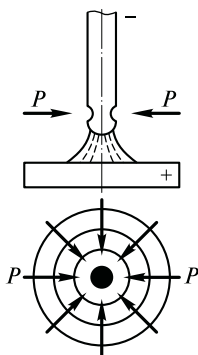


Рис. 4.3. Схема действия сжимающих сил P на жидкий металл электрода

При дуговой сварке плавящимся электродом различают следующие типы переноса электродного металла: крупнокапельный, мелкокапельный, или струйный, и перенос с образованием коротких замыканий дуги.

Характер переноса капель с электрода в сварочную ванну зависит от силы сварочного тока и напряжения дуги. Установлено, что с увеличением силы тока размер капель уменьшается, а число капель, образующихся в единицу времени, возрастает. С увеличением напряжения дуги, наоборот, размер капель увеличивается, а их число уменьшается. Так, при сварке голой проволокой на малых токах (плотностях) жидкий металл переходит в сварочную ванну в виде крупных капель с кратковременными замыканиями дугового промежутка, а при сварке покрытыми электродами и под флюсом на обычных плотностях тока — в виде мелких капель без замыкания дугового промежутка. При сварке в защитных газах и под флюсом тонкой проволокой на повышенных плотностях тока наблюдается мелкокапельный (струйный) перенос металла. В этом случае очень мелкие капли образуют сплошную коническую струю жидкого металла, переходящего в шов также без коротких замыканий, что уменьшает разбрызгивание металла и улучшает формирование швов.

4.3. Производительность процесса дуговой сварки

Производительность процесса дуговой сварки оценивают по количеству проплавленного в единицу времени основного металла $G_{пр}$ (производительность расплавления) и количеству наплавленного металла $G_{н}$ (производительность наплавки), определяемого как избыток массы конструкции после сварки по сравнению с массой до сварки.

При сварке неплавящимся электродом соединений встык или с отбортовкой без присадочной проволоки важно обеспечить производительность проплавления, а при сварке плавящимся электродом — производительность проплавления и наплавки. При сварке плавящимся электродом производительность оценивают по количеству наплавленного электродного металла, которое определяется по формуле

$$G_{н} = \alpha_{н} I_{св},$$

где $\alpha_{н}$ — коэффициент наплавки, г/(А·ч); $I_{св}$ — сила сварочного тока, А.

Количество наплавленного металла за время сварки определяется по формуле

$$G_{н} = \alpha_{н} I_{св} t_0,$$

где t_0 — основное время сварки (время чистого горения дуги), ч.

Чем больше $\alpha_{н}$, тем выше производительность сварки.

Коэффициент наплавки α_n выражается отношением массы металла, наплавленного за единицу времени горения дуги, к единице силы сварочного тока. Обычно его представляют количеством наплавленного в течение 1 ч электродного металла в граммах, приходящимся на 1 А сварочного тока. При сварке покрытыми электродами коэффициент наплавки составляет 6...12 г/(А·ч), под флюсом — 10...16 г/(А·ч), в углекислом газе — 12...20 г/(А·ч), при электрошлаковой сварке — 18...22 г/(А·ч).

Производительность наплавки G_n связана с производительностью расплавления электродной проволоки G_p :

$$G_p = \alpha_p I_{св} t_0,$$

где α_p — коэффициент расплавления электродной проволоки, г/(А·ч).

Коэффициент расплавления α_p выражают отношением массы электрода, расплавленного за единицу времени горения дуги, к единице силы сварочного тока. Обычно его представляют количеством расплавленного металла электрода в граммах в течение 1 ч, приходящимся на 1 А сварочного тока. Скорость расплавления электродного металла в значительной степени определяет производительность и эффективность процесса сварки, а коэффициент расплавления зависит от ряда факторов, определяющих условия сварки: рода и силы тока, полярности, напряжения дуги, состава и толщины покрытия электрода или флюса. Коэффициент расплавления при сварке плавящимся электродом в среде защитных газов заметно изменяется с изменением полярности тока и состава газа. При увеличении сварочного тока, как правило, коэффициент расплавления возрастает. Особенно это заметно при больших плотностях тока, применяемых при механизированной и автоматической сварке. В большинстве случаев при сварке коэффициент α_n меньше коэффициента α_p на величину потерь электродного металла, возникающих в результате угара и разбрызгивания. Эта часть металла, не участвующая в образовании шва, характеризуется коэффициентом потерь a , %:

$$a = \frac{G_p - G_n}{G_p} 100,$$

или

$$a = \frac{\alpha_p - \alpha_n}{\alpha_p} 100.$$

Коэффициент потерь a зависит от способа сварки, типа электрода и параметров режима. На потери значительное влияние ока-

зывает характер капельного переноса электродного металла в дуге при сварке. Так, при сварке покрытыми электродами он составляет 5...10 %, под флюсом — 1...5 %, в защитных газах — 1...5 %. В тех случаях, когда в составе электродных покрытий или наполнителя порошковой проволоки содержится значительное количество металлических составляющих, коэффициент наплавки α_n может иметь положительную величину, т.е. α_n будет больше α_p .

Величины α_p и α_n используются для нормирования расхода электродов и времени сварки.

Контрольные вопросы

1. Назовите тепловые характеристики дуги.
2. Как происходят расплавление электрода и перенос металла в дуге?
3. Назовите основные типы капельного переноса.
4. Как определить производительность дуговой сварки?
5. Назовите параметры, характеризующие производительность процесса дуговой сварки.
6. Как при ручной дуговой сварке покрытыми электродами увеличить производительность процесса?
7. Почему глубина проплавления при сварке на постоянном токе прямой полярности больше, чем на обратной?

5.1. Общие сведения о нагреве металла при сварке

Нагрев металла в сварном соединении при дуговой сварке определяется эффективной тепловой мощностью дуги и распределением выделяемой теплоты на поверхности и в объеме детали. Наибольшей интенсивности тепловой поток сварочной дуги достигает в центральной зоне активного пятна, где вследствие электронной и ионной бомбардировки происходит непосредственное выделение теплоты в поверхностных слоях металла. В пограничных с активным пятном областях металл нагревается в основном за счет излучения и конвективного обмена с горячими газами дуги. По мере удаления от центра пятна интенсивность теплового потока убывает. Из приведенных данных видно, что тепловой поток дуги при сварке под флюсом является более сосредоточенным, чем при ручной дуговой сварке. Знание закономерностей распространения теплоты при сварке имеет важное значение для изучения процессов, связанных с нагревом металла при всех видах сварки.

Распространение теплоты в основном металле происходит за счет теплопроводности. В начальный момент сварки поступление теплоты в металл превышает теплоотвод от места нагрева. При этом температура металла в точках, находящихся на определенном расстоянии от дуги, непрерывно повышается. Такое состояние металла в сварном соединении рассматривается как *неустановившийся* тепловой режим. По прошествии некоторого времени наступает равновесие между количеством теплоты, поступающей от источника нагрева, и теплоты, отводимой в изделие. При этом температура металла в точках, находящихся на определенных расстояниях от дуги, остается неизменной. Тепловое состояние металла достигает определенной стабильности и характеризуется как *установившийся* тепловой режим.

Тепловое состояние металла в сварном соединении обычно графически изображают с помощью системы изотерм — линий, соединяющих точки с одинаковой температурой. Семейство таких изотерм для определенных условий сварки рассматривается как температурное поле в нагреваемом металле. В свою очередь, по отношению к нагреваемому металлу источники теплоты делятся на неподвижные и подвижные, перемещающиеся с определенной скоростью. Для сварочных условий наиболее характерным является применение подвижных источников нагрева.

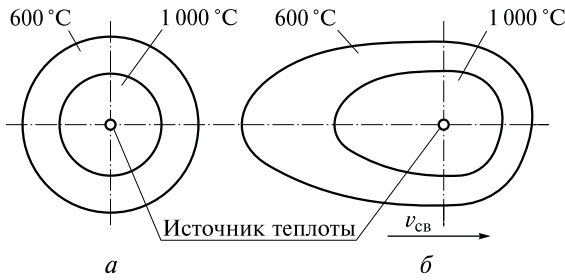


Рис. 5.1. Характер изотерм при нагреве источником теплоты:
а — неподвижным; *б* — подвижным; $v_{св}$ — скорость сварки

В качестве *подвижного источника* теплоты выступает источник определенной тепловой мощности, перемещающийся прямолинейно и равномерно, т. е. с постоянной скоростью. При *неподвижном источнике* нагрева (рис. 5.1, *а*) тепловое поле в металле характеризуется системой концентрических изотерм с общим центром. При подвижном источнике нагрева (рис. 5.1, *б*) изотермы приобретают вытянутую форму и перемещаются в направлении его движения.

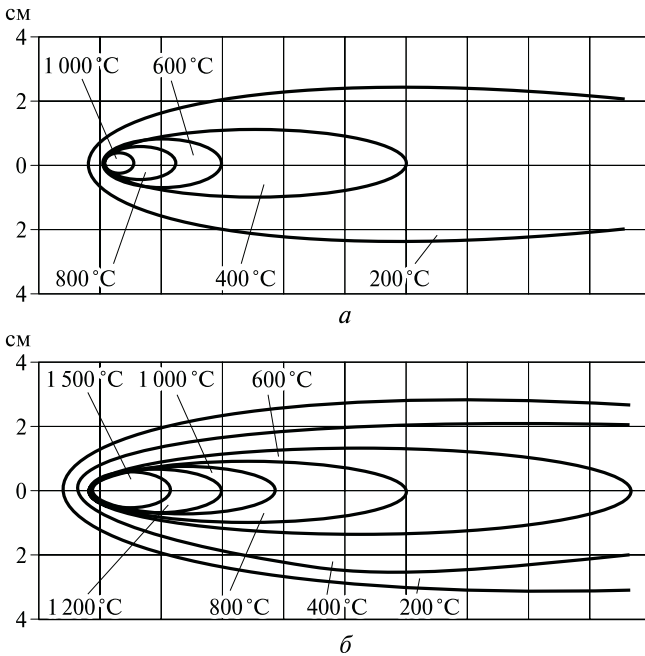


Рис. 5.2. Характер изотерм при разных мощностях дуги:
а — сварочный ток 300 А; *б* — сварочный ток 400 А

Процесс распространения теплоты в металле зависит от ряда факторов: эффективной тепловой мощности дуги, характера ее перемещения, размера и формы свариваемого изделия, теплофизических свойств материала. Изменение этих факторов определенным образом влияет на нагрев изделия, что можно оценить по изменению формы изотерм температурного поля. Так, с увеличением мощности дуги области металла, нагретые до определенных температур, увеличиваются (рис. 5.2). Увеличение скорости перемещения дуги приводит к уменьшению таких областей, а соответствующие изотермы сужаются в направлении, перпендикулярном оси шва, и стгущаются впереди дуги.

Из основных теплофизических свойств металла наиболее сильное влияние на характер распределения температур оказывает теплопроводность. На рис. 5.3 показаны температурные поля в пластинах из металлов с разными теплофизическими свойствами, построенные при одинаковых режимах сварки. Области, нагретые выше определенной температуры, в хромоникелевой стали имеют бóльшие размеры, чем в низкоуглеродистой, что объясняется меньшей теплопроводностью хромоникелевой стали. В связи с высокой теплопроводностью алюминия и меди происходит значительное уменьшение площади областей, нагретых до одинаковых температур, по сравнению со сталями, а сами изотермы у-

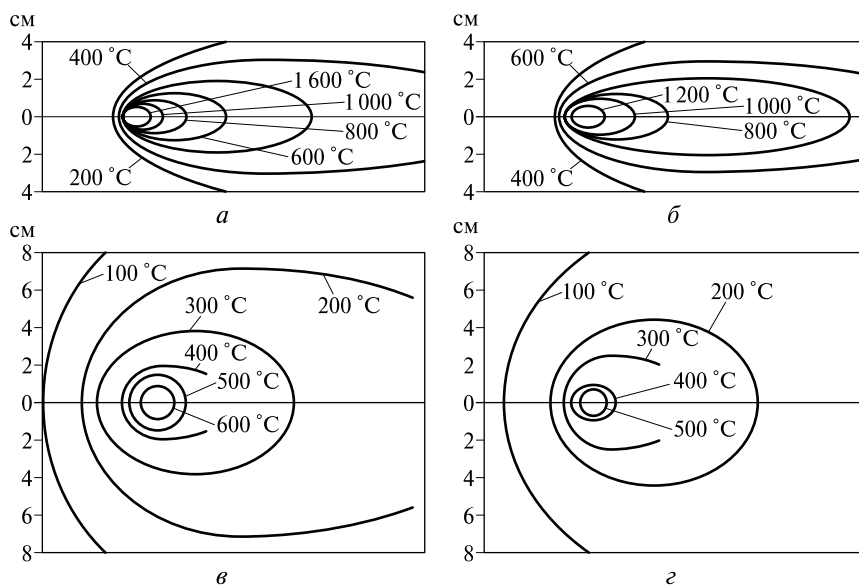


Рис. 5.3. Характер изотерм при сварке разных металлов:

a — низкоуглеродистая сталь; *б* — аустенитная сталь; *в* — алюминий; *г* — медь

рачиваются, приближаясь к форме окружности, и смещаются в область, расположенную впереди источника нагрева.

В зависимости от формы и размеров изделия в настоящее время разработаны методики и расчетные схемы процесса нагрева металла при сварке, позволяющие расчетным путем определять температуру в точках теплового поля сварного соединения в зависимости от свойств свариваемого металла и условий его сварки.

5.2. Формирование сварочной ванны

Формирование сварочной ванны является важнейшим этапом получения соединения при сварке плавлением. От формы и размеров сварочной ванны зависят форма и размеры сварных швов. Последние во многом определяют эксплуатационные характеристики получаемых соединений.

Форму и размеры сварочной ванны определяют границами изотермической поверхности объемного теплового поля, соответствующими температуре плавления металла $T_{пл}$. Однако такой подход является несколько идеализированным, поскольку формирование объема расплавленного металла учитывает лишь эффект распространения теплоты в глубь металла за счет теплопроводности. В реальных условиях сварки сварочная ванна формируется под действием целого ряда сил, действующих в ней, в первую очередь силы тяжести жидкого металла, поверхностного натяжения и давления источника нагрева. Дуга, обеспечивающая местный нагрев и расплавление кромок соединяемых элементов, оказывает на расплавленный металл давление, за счет которого он вытесняется из передней части ванны, т. е. из области с наибольшей интенсивностью нагрева, в ее хвостовую часть. Это ведет к уменьшению толщины жидкой прослойки под дугой и создает условия для углубления ванны. В результате изменяются очертания зоны расплавления (рис. 5.4). Давление на расплавленный металл определяется разностью его уровней h в ванне. Изменение условий сварки, в свою очередь, существенно отражается на формировании сварочной ванны, соотношении ее геометрических размеров. Так, увеличение эффективной тепловой мощности, сосредоточенности источника, давления дуги ведет к увеличению глубины проплавления и уменьшению ширины, при этом ванна удлиняется. Важным фактором, влияющим на геометрические параметры ванны, является пространственное расположение выполняемых швов.

При сварке в *вертикальном положении* (рис. 5.5, а) процесс можно вести сверху вниз (на спуск) и снизу вверх (на подъем). В обоих случаях сила тяжести направлена вниз. При сварке на подъем сварочная ванна удерживается только силой поверхностного натяжения. При этом глубина проплавления резко возрастает. Для

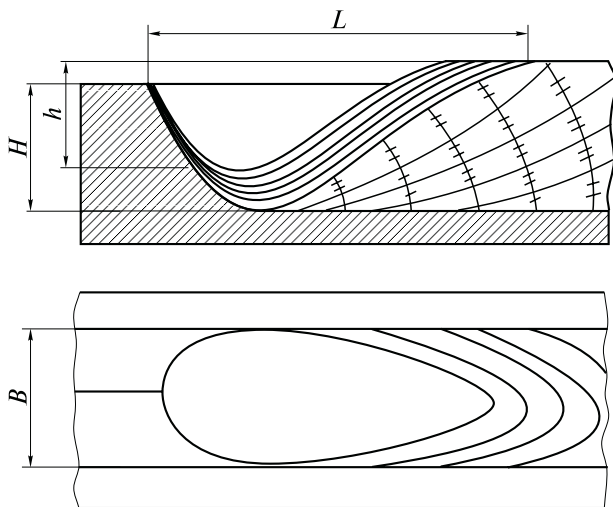


Рис. 5.4. Параметры формы сварочной ванны:

L — длина; B — ширина; h — разность уровней расплавленного металла; H — глубина проплавления

удержания расплава приходится ограничивать тепловую мощность дуги и размеры ванны. При сварке на спуск удержанию жидкого металла способствует давление дуги, а глубина проплавления уменьшается.

При сварке изделий в *наклонном положении* на подъем (перемещение ванны снизу вверх) глубина проплавления возрастает, при сварке на спуск (перемещение ванны сверху вниз) — снижается (рис. 5.5, б). В первом случае жидкий металл перетекает в хвостовую часть ванны, уменьшая толщину жидкой прослойки под дугой, во втором случае, наоборот, он затекает в головную часть ванны и толщина прослойки увеличивается.

При сварке в *потолочном положении* (рис. 5.5, в) сварочная ванна удерживается силами поверхностного натяжения и давлением источника нагрева. Для удержания ванны в потолочном положении также необходимы меры по ограничению ее объема.

Особенно неблагоприятные условия формирования сварочной ванны создаются при выполнении швов в *горизонтальном положении* (рис. 5.5, г). Расплавленный металл натекает на нижнюю кромку. Это приводит к образованию несимметричной выпуклой формы шва, а также подрезов. Требование к сокращению размеров сварочной ванны в этом случае особенно жесткое.

Важным фактором, влияющим на работоспособность сварных соединений и также связанным с образованием сварочной ванны, является формирование проплава корня шва. На рис. 5.6 по-

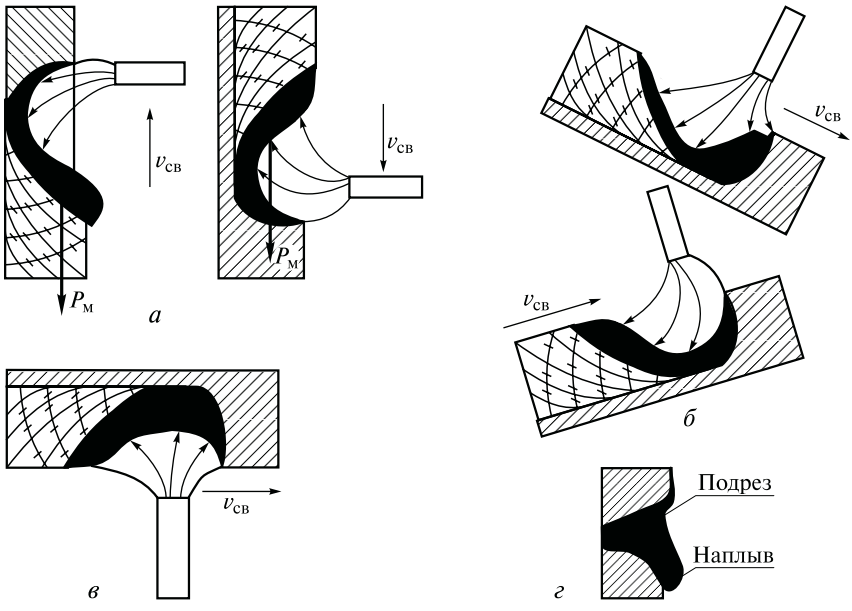


Рис. 5.5. Формирование сварочной ванны в разных положениях: *а* — вертикальном; *б* — наклонном; *в* — потолочном; *г* — горизонтальном; v_{CB} — скорость сварки; P_M — давление жидкого металла

казаны силы, действующие на ванну. Ванна удерживается на весу силой поверхностного натяжения P_{Π} , определяемой по формуле

$$P_{\Pi} = \sigma_{ж}(1/r_1 + 1/r_2),$$

где $\sigma_{ж}$ — поверхностное натяжение расплавленного (жидкого) металла; r_1 и r_2 — радиусы кривизны поверхности расплава.

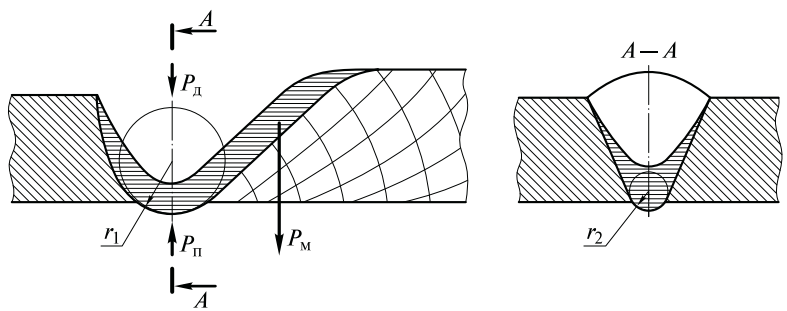


Рис. 5.6. Схема формирования проплава корня сварного шва: P_d — давление дуги; P_M — давление жидкого металла; P_{Π} — сила поверхностного натяжения; r_1 и r_2 — радиусы кривизны ванны в поперечном и продольном направлении

Поверхностное натяжение уравнивает давление P_d , оказываемое на ванну дугой, и давление P_m , определяющееся разницей уровней h и плотностью расплавленного металла ρ ($P_m = h\rho$).

Условие равновесия ванны в положении на весу можно записать следующим образом:

$$P_d + P_m = \sigma_{\text{ж}}(1/r_1 + 1/r_2).$$

Из этой формулы следует, что удержание ванны облегчается при уменьшении радиуса кривизны проплава, определяющегося его размерами в поперечном r_1 и продольном r_2 сечениях. С увеличением ширины и протяженности ванны возрастают радиусы кривизны поверхности жидкого металла в двух взаимно-перпендикулярных направлениях. В момент достижения одним из радиусов величины, большей критической, металлостатическое давление расплавленного металла и сила давления дуги превысят силу поверхностного натяжения, удерживающую сварочную ванну. Произойдет разрыв поверхностного слоя в корне шва, и жидкий металл вытечет из ванны, образуя прожог. Особенно часто это наблюдается при сварке металла малой толщины, когда сварочная ванна по ширине значительно превышает толщину свариваемого металла. Наиболее распространенные меры предупреждения прожогов и обеспечения формирования проплава требуемой формы — это правильный выбор сварочных режимов и применение сварочных подкладок.

5.3. Параметры режима дуговой сварки и их влияние на форму и размеры сварочной ванны

К основным параметрам дуговой сварки относятся сила сварочного тока $I_{\text{св}}$, напряжение дуги U_d , скорость сварки $v_{\text{св}}$. Кроме того, условия сварки зависят от ряда дополнительных факторов: диаметра электрода, рода и полярности тока, положения электрода по отношению к ванне и др.

Сила сварочного тока в наибольшей степени определяет тепловую мощность дуги. При постоянном диаметре электрода с увеличением силы тока возрастает концентрация тепловой энергии в пятне нагрева, повышается температура газовой среды столба дуги, стабилизируется положение активных пятен на электродах. С увеличением силы тока дуги возрастают длина сварочной ванны, ее ширина и особенно глубина проплавления. В определенных пределах изменения силы тока глубина проплавления H сварочной ванны может быть оценена зависимостью, близкой к линейной:

$$H = kI_{\text{св}},$$

где k — коэффициент, зависящий от рода тока, полярности, диаметра электрода, степени сжатия дуги и др.

С увеличением *напряжения дуги* также возрастает тепловая мощность, а следовательно, и размеры ванны. Наиболее интенсивно увеличиваются ширина и длина ванны. При постоянной силе тока повышение напряжения дуги незначительно сказывается на глубине проплавления. Путем медленного уменьшения длины дуги и ее напряжения можно перейти к процессу сварки погруженной дугой.

Изменение *скорости сварки* при постоянной тепловой мощности дуги заметно сказывается на размерах сварочной ванны и шва. С повышением скорости уменьшаются глубина проплавления и ширина ванны, а длина несколько увеличивается.

Важным параметром дуговой сварки является *погонная энергия* $q_{п}$, представляющая собой отношение эффективной тепловой мощности дуги к скорости ее перемещения (скорости сварки). Этот параметр является обобщающим по отношению к основным параметрам сварочного режима и может быть представлен формулой

$$q_{п} = \frac{I_{св} U_{д} \eta}{v_{св}},$$

где $I_{св}$ — сварочный ток; $U_{д}$ — напряжение дуги; η — КПД дуги; $v_{св}$ — скорость сварки.

Погонная энергия характеризует тепловложение в сварное соединение и представляет собой количество тепловой энергии, вводимое на единицу длины однопроходного шва. Этот параметр очень важен для оценки воздействия термического цикла сварки на основной и наплавленный металл шва. При постоянной погонной энергии повышение скорости сварки вызывает увеличение термического КПД процесса, что связано с возрастанием глубины проплавления и уменьшением ширины сварочной ванны.

Контрольные вопросы

1. Назовите основные параметры сварочного режима для дуговой сварки.
2. Каковы особенности нагрева металла в условиях сварки?
3. Каковы особенности неподвижных и подвижных источников нагрева?
4. Какие факторы влияют на формирование теплового поля при сварке?
5. Назовите основные силы, действующие в сварочной ванне.
6. В чем заключаются особенности формирования сварочной ванны в зависимости от основных положений сварки?
7. Что такое погонная энергия и как она определяется при дуговой сварке?
8. Почему рекомендуется проводить сварку на форсированных режимах с повышенной силой тока с большой скоростью?

МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ СВАРКЕ

6.1. Общие сведения и особенности сварочных металлургических процессов

По своей природе сварка является металлургическим процессом. Металлургия сварки характеризуется теми физико-химическими процессами, которые протекают в сварочной зоне. Они определяются взаимодействием расплавленного металла со сварочными флюсами, шлаками и газами, а также охлаждением и кристаллизацией металла шва и превращениями основного металла в зоне термического влияния. Эти процессы протекают на всех стадиях дуговой сварки: в период плавления электрода, перехода капли жидкого металла через дуговой промежуток и в самой сварочной ванне. Однако в отличие от общей металлургии, характерной для сталеплавильных агрегатов, условия протекания металлургических процессов при сварке отличаются рядом особенностей, влияющих на получаемые результаты. Такими особенностями являются:

- малый объем сварочной ванны и в то же время достаточно большие относительные количества реагирующих в ней фаз;
- высокие температуры в разных областях сварочной зоны и большой перегрев расплава в ванне;
- движение жидкого металла, интенсивное перемешивание расплавленных продуктов и их непрерывное обновление и обмен в сварочной ванне;
- высокие скорости охлаждения и кристаллизации наплавленного металла.

В этих условиях наблюдается активное взаимодействие расплавленного металла с окружающей газовой средой и флюсами, нагретыми до высоких температур. Протекание процессов происходит с большой скоростью. Однако в связи с кратковременностью существования расплава и постоянным обновлением взаимодействующих фаз чаще всего они не доходят до полного завершения и большинство реакций в сварочной зоне не достигает равновесного состояния. К тому же создаются условия, препятствующие полному очищению металла шва от различных неметаллических включений, оксидов и газов, которые из-за быстрого затвердевания расплава не успевают выходить на поверхность сварочной ванны и удаляться в шлак. С другой стороны, высокие скорости охлаждения и кристаллизации металла существенно отражаются на строении получаемых швов, приводят к их мелкозернистой струк-

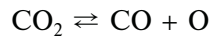
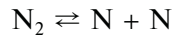
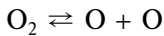
туре, уменьшению химической неоднородности, а в результате — повышению свойств литого металла шва.

Металлургические процессы связаны с протеканием определенных химических реакций, в результате которых может происходить окисление или раскисление металла шва, легирование его определенными элементами, растворение и выделение в шве газов и др. Некоторые из них ведут к ухудшению свойств получаемых соединений и являются нежелательными (например, окисление), другие способствуют повышению качества и свойств соединений и часто проводятся преднамеренно (например, раскисление). Поэтому при выборе условий сварки необходимо исходить из всего комплекса физико-химических процессов, предполагая, что общим результатом их должно быть получение металла шва определенного химического состава с определенными свойствами. Это определяется не только составом присадочного и основного металла, но и в значительной степени зависит от характера и интенсивности реакций, протекающих в процессе сварки.

6.2. Основные процессы, протекающие при дуговой сварке

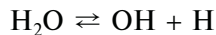
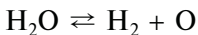
Рассмотрим металлургические процессы, которые имеют общий характер во всех или большинстве случаев выполнения дуговой сварки.

Диссоциация газов и соединений. При диссоциации происходит распад более сложных компонентов на атомы или составные части. Этому процессу способствуют наличие высоких температур в зоне сварки и каталитическое действие расплавленного металла. При дуговой сварке в первую очередь диссоциации подвергаются молекулы газов, как простых (кислород, азот, водород), так и сложных (углекислый газ, пары воды и др.). Диссоциация газов происходит по реакциям



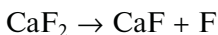
Кислород и водород при температурах дуги практически полностью диссоциируют на атомы, азот диссоциирует в меньшей степени.

Диссоциация водяного пара в зависимости от температуры проходит по реакциям



Следовательно, в зависимости от условий протекания реакций водяной пар может окислять или восстанавливать металл сварочной ванны.

Диссоциации подвергаются и более сложные соединения. Во многих электродных покрытиях и флюсах содержится плавиковый шпат CaF_2 . При высоких температурах он разлагается по реакции



Атомы фтора, соединяясь с электронами, превращаются в ионы малой подвижности. Это ведет к снижению проводимости дугового промежутка и ухудшению стабильности дуги. Но в то же время атомы фтора способны связывать водород в молекулы HF , не растворяющиеся в металле ванны, уменьшая насыщение металла шва водородом. В состав многих покрытий электродов входят карбонаты, например CaCO_3 . Разлагаясь при высоких температурах, они выделяют углекислый газ, который, в свою очередь, диссоциирует с образованием кислорода:

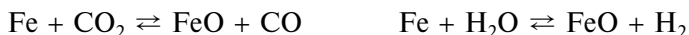


Находясь в атомарном состоянии, газы становятся химически активными и, реагируя с металлом, резко ухудшают его качество.

Окисление металла при сварке. Металл сварочной ванны может окисляться за счет кислорода, содержащегося в газовой среде и шлаках в зоне сварки. При недостаточной защите сварочной ванны окисление происходит за счет кислорода воздуха.

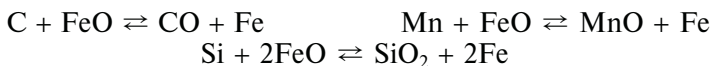
При высокой температуре сварочной дуги за счет атомарного кислорода в результате реакции $\text{Fe} + \text{O} \rightarrow \text{FeO}$ образуется низший оксид FeO , способный растворяться в жидком металле. Этот оксид обладает меньшей температурой плавления, чем у основного металла, поэтому при кристаллизации металла шва он затвердевает в последнюю очередь. В результате он располагается в виде прослоек по границам зерен, что вызывает снижение пластических свойств металла шва. Чем больше кислорода в шве находится в виде FeO , тем сильнее ухудшаются его механические свойства. Высшие оксиды железа не растворяются в жидком металле и, если они не успевают всплыть на поверхность сварочной ванны, остаются в металле шва в виде шлаковых включений.

Железо может окисляться также за счет кислорода, содержащегося в CO_2 и парах воды H_2O :



В процессе сварки кроме железа окисляются и другие элементы, находящиеся в стали, — углерод, кремний, марганец. При переходе капель электродного металла в дуге окисление элементов происходит в результате взаимодействия их с атомарным кислородом газовой среды дугового промежутка: $\text{C} + \text{O} \rightarrow \text{CO}$, $\text{Mn} + \text{O} \rightarrow \text{MnO}$, $\text{Si} + 2\text{O} \rightarrow \text{SiO}_2$.

В сварочной ванне элементы окисляются при взаимодействии их с оксидом железа:



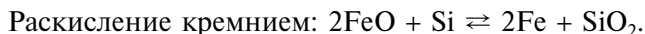
Окисление этих элементов приводит к уменьшению их содержания в металле шва. Кроме того, образующиеся оксиды могут оказаться в шве в виде различных включений, значительно снижающих механические свойства сварных соединений, особенно пластичность и ударную вязкость металла шва. Повышенное содержание кислорода вредно влияет и на другие свойства: уменьшает стойкость против коррозии, повышает склонность к старению металла, придает ему хладноломкость и красноломкость. Поэтому одним из условий получения качественного металла шва является предупреждение его окисления в первую очередь путем создания различных защитных сред.

Раскисление металла при сварке. Применяемые при сварке защитные меры не всегда обеспечивают отсутствие окисления расплавленного металла, поэтому его требуется раскислить. Раскислением называют процесс восстановления железа из его оксида и перевод кислорода в форму нерастворимых соединений с последующим удалением их в шлак. Окисление и раскисление, в сущности, представляют собой два направления протекания одного и того же химического процесса. В общем случае реакция раскисления имеет вид $\text{FeO} + \text{Me} \rightleftharpoons \text{Fe} + \text{MeO}$, где Me — раскислитель.

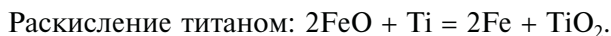
Раскислителем является элемент, обладающий в условиях сварки большим сродством к кислороду, чем железо. В качестве раскислителей применяют кремний, марганец, титан, алюминий, углерод. Раскислители вводят в сварочную ванну через электродную проволоку, покрытия электродов и флюсы. Далее приведены наиболее типичные реакции раскисления.



Оксид марганца малорастворим в железе, но сам хорошо растворяет оксид железа FeO , увлекая его за собой в шлак.



Оксид кремния плохо растворим в железе и всплывает в шлак. Раскисление кремнием сопровождается реакциями образования более легкоплавких комплексных силикатов марганца, кремния и железа, которые лучше переходят в шлак:



Титан — энергичный раскислитель, при этом образуются легкоплавкие титанаты марганца и железа:



Раскисление углеродом: $\text{FeO} + \text{C} = \text{Fe} + \text{CO}$.

Образующийся оксид углерода выделяется в атмосферу в газообразном состоянии, вызывая сильное кипение сварочной ванны и образуя поры в шве. Для получения плотных швов реакцию раскисления углеродом следует «подавить» введением в сварочную ванну других раскислителей, например кремния.

Взаимодействие с азотом. Азот воздуха, попадая в столб дуги, разогревается и частично диссоциирует. В атомарном состоянии азот растворяется в жидком металле. В процессе охлаждения азот выпадает из раствора и взаимодействует с металлом, образуя ряд соединений — нитридов Fe_2N , Fe_4N . Атомарный азот может соединиться и с кислородом, образуя оксид азота NO , который, растворяясь в каплях электродного металла, переходит в сварочную ванну. Содержание азота в металле шва вредно влияет на его механические свойства, особенно пластичность. Кроме того, насыщение металла азотом способствует образованию газовых пор. Для снижения содержания азота в металле применяют устройства для защиты расплавленного металла от взаимодействия с воздухом или вводят в металл химические элементы, удаляющие азот в виде неметаллических включений.

Взаимодействие с водородом. Водород может попасть в зону сварки из влаги покрытия электрода или флюса, ржавчины на поверхности сварочной проволоки и детали, из воздуха. Атомарный водород хорошо растворяется в жидком металле, и с увеличением температуры нагрева растворимость увеличивается. Важной закономерностью в поведении газов является скачкообразное изменение их растворимости в металле при его фазовых изменениях, особенно при переходе из жидкого состояния в твердое. Например, при затвердевании низкоуглеродистой стали растворимость азота снижается в 4 раза, а водорода — в 1,7 раза. Еще большая разница в растворимости водорода наблюдается при сварке алюминия и его сплавов.

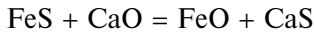
При охлаждении и кристаллизации сварочной ванны выделяющийся водород не успевает полностью удалиться из металла шва. Это приводит к образованию в нем газовых пор. Кроме того, атомы водорода, диффундируя в имеющиеся полости и несплошности в затвердевающем металле, приводят к повышению в них давления, развитию в металле внутренних напряжений и образованию микротрещин. Снижение газонасыщения швов проводят за счет качественной защиты расплавленного металла при сварке, очисткой и прокаткой свариваемого и сварочного материалов.

Взаимодействие с серой. Сера является вредной примесью в сталях. В сварочную ванну она попадает из основного металла, сварочной проволоки и иногда из покрытия электродов или флюса. В металле сера может находиться в виде соединений — сульфидов. Особо вреден сульфид железа FeS , хорошо растворимый в железе.

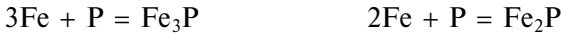
Наличие в металле серы снижает его механические свойства и сильно повышает склонность к образованию трещин, поэтому десульфация (очистка металла от серы) имеет целью уменьшение общего содержания серы в шве и особенно FeS. Десульфацию проводят введением в сварочную ванну элементов, имеющих большее сродство к сере, чем железо. Образующийся сульфид элемента должен плохо растворяться в металле и хорошо в шлаке. Таким элементом является марганец, обладающий большим сродством к сере. Сульфид марганца не растворяется в металле, имеет малую плотность и легко всплывает в шлак сварочной ванны. Процесс идет по реакциям



Такого же эффекта достигают введением кальция по реакции



Взаимодействие с фосфором. Фосфор — вредная примесь в сталях. Пути попадания его в шов те же самые, что и для серы. В металле фосфор находится в виде соединений — фосфидов железа с температурой плавления намного ниже, чем у железа (1 170 °С):



Фосфор в металле шва располагается по границам зерен в виде легкоплавкой прослойки и приводит к сильной неоднородности металла, росту зерен и снижению пластичности, особенно при низких температурах, вызывая хладноломкость металла. Удаление фосфора проводят его окислением и последующим связыванием в прочное соединение, удаляемое в шлак:



Затем происходит связывание оксида фосфора по реакциям



Полученные соединения выводятся в шлак.

6.3. Особенности металлургических процессов при разных видах сварки

Дуговая сварка под флюсом. При автоматической и механизированной сварке под флюсом сварочная дуга горит во флюсогазовом пузыре, заполненном раскаленными газами столба дуги и парами флюса. Условия протекания металлургических процессов отличаются рядом особенностей:

- более эффективная защита сварочной ванны от взаимодействия с кислородом и азотом воздуха (в швах, выполненных под флюсом, содержание азота не превышает 0,008 %);

- объем сварочной ванны больше, чем при ручной дуговой сварке, а также больше время пребывания ее в расплавленном состоянии, что способствует более полному протеканию химических реакций между жидким металлом и шлаком;

- более устойчивая зависимость между режимом сварки и химическим составом расплавляемого металла, что позволяет с достаточной точностью и стабильностью получать заданный состав металла швов.

Одной из особенностей металлургических процессов при сварке под флюсом является легирование шва марганцем и кремнием за счет их восстановления из оксидов MnO и SiO_2 , находящихся во флюсе. В зоне сварки с высокой температурой протекают восстановительные реакции:



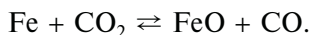
Образовавшийся оксид FeO частично всплывает в шлак, частично растворяется в жидком металле. Марганец и кремний полностью растворяются в металле.

В хвостовой части сварочной ванны в зоне пониженных температур протекают реакции раскисления за счет Mn и Si , имеющих большее сродство к кислороду в этих условиях, чем железо:



Получающиеся при этом оксиды соединяются между собой в комплексные легкоплавкие силикаты марганца и железа, легко всплывающие в шлак.

Дуговая сварка в защитных газах. Из активных защитных газов наибольшее распространение получил углекислый газ (CO_2). Особенность металлургических процессов в этом случае обусловлена его сильным окислительным действием. Газовая среда в дуге, горящей в CO_2 , имеет более окислительный характер (33 % O_2), поэтому наблюдается сильное окисление сварочной ванны по следующей реакции:



Одновременно происходит диссоциация углекислого газа. Атомарный кислород также окисляет в сварочной ванне железо и другие примеси: кремний, марганец, углерод и др. Эти реакции происходят как в период перехода каплевого электрода металла в дугу, так и на поверхности самой ванны. Для управления реакцией окисления, а также пополнения потерь элементов применяют электродные проволоки с повышенным содержанием марганца и кремния (Св-08ГС, Св-07Г2С и др.). При использовании этих проволок в зоне понижения температуры в сварочной ванне протекают реакции раскисления:



Образующиеся оксиды марганца и кремния всплывают на поверхность сварочной ванны.

Инертные защитные газы (аргон, гелий) не растворяются в расплавленном металле и не образуют в ванне химических соединений.

Окислению сварочной ванны способствуют находящиеся примеси в защитном газе в виде свободного кислорода и паров воды. При этом окисляется в основном углерод с образованием газобразного оксида СО. Для подавления реакции окисления углерода в сварочной ванне должно находиться достаточное количество раскислителей — кремния, марганца. С этой целью при сварке углеродистых сталей используют те же электродные проволоки, что и при сварке в углекислом газе, — с повышенным содержанием раскислителей.

6.4. Кристаллизация сварочной ванны

Сварной шов при дуговой сварке формируется путем кристаллизации расплавленного металла сварочной ванны. *Кристаллизацией* называют процесс образования кристаллов металла из расплава при его переходе из жидкого в твердое состояние. Образующиеся при этом кристаллы металла принято называть *кристаллитами*.

Сварочная ванна условно может быть разделена на две области: переднюю (головную) и заднюю (хвостовую). В передней части горит дуга и происходит нагревание и расплавление металла, а в хвостовой части происходит охлаждение и кристаллизация расплава. В процессе образования шва различают первичную и вторичную кристаллизации. *Первичной* кристаллизацией называют непосредственный переход металла из жидкого состояния в твердое с образованием первичных кристаллитов (зерен). Преобразование первичных кристаллитов, происходящее при охлаждении уже затвердевшего металла, структурные превращения в нем, называют *вторичной* кристаллизацией. Первичная кристаллизация происходит при высоких скоростях охлаждения и затвердевания. Теплота отводится в основной металл, окружающий сварочную ванну. В общем виде процесс кристаллизации состоит из двух стадий: образования центров кристаллизации (зародышей) и роста этих центров — образования кристаллитов. При первичной кристаллизации металла шва в качестве центров кристаллизации выступают поверхности оплавленных зерен основного металла, окружающих сварочную ванну. При этом между основным металлом и металлом шва возникают общие зерна. Условную поверхность раздела между зернами основного металла и кристаллитами шва называют *зоной сплавления* при сварке.

В процессе затвердевания в расплаве могут появляться и новые центры кристаллизации — тугоплавкие частицы примесей, обломки зерен и т. п.

При многослойной сварке центрами кристаллизации являются поверхности выросших кристаллитов предыдущего слоя. Рост кристаллитов происходит в результате присоединения к их поверхности отдельных атомов из окружающего расплава. В зависимости от формы и расположения кристаллитов в строении затвердевшего металла шва различают столбчатую и зернистую структуру металла шва. При столбчатой структуре кристаллиты имеют определенную ориентированность — вытянуты в одном направлении, противоположном направлению теплоотвода. При зернистой структуре металла шва кристаллиты не имеют определенной ориентировки, а по форме напоминают многогранники. Такая структура обычно характерна для основного металла, а также может встречаться в швах с большим объемом сварочной ванны и при малых скоростях охлаждения расплава. Поэтому закристаллизовавшийся металл шва в большинстве случаев имеет столбчатую структуру. В зависимости от условий сварки размеры столбчатых кристаллитов изменяются в широких пределах. При дуговой сварке их размер в поперечном сечении обычно составляет 0,3... 3,0 мм.

Первичная кристаллизация металла сварочной ванны носит прерывистый характер. После начала кристаллизации через некоторое время происходит задержка в росте кристаллитов в связи с выделением скрытой теплоты плавления металла. По мере отвода теплоты процесс роста вновь убыстряется до следующей задержки. Так повторяется до полного затвердевания всей ванны. В результате этого сварные швы имеют характерное слоистое строение (рис. 6.1).

Толщина кристаллизационных слоев может быть от десятых долей до нескольких миллиметров в зависимости от объема ванны и условий теплоотвода. Столбчатые кристаллиты каждого по-

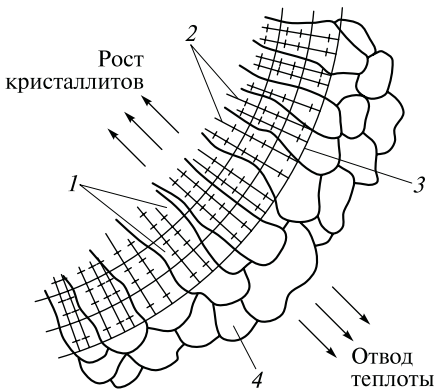


Рис. 6.1. Схема кристаллизации расплава в сварочной ванне:

1 — кристаллизационные слои; 2 — растущие кристаллиты; 3 — зона сплавления; 4 — основной металл

следующего слоя являются продолжением кристаллитов предыдущего слоя. В итоге образующиеся кристаллиты как бы «прорастают» из слоя в слой.

Характер получаемой структуры и расположения кристаллитов в металле шва во многом определяется формой сварочной ванны и схемой ее кристаллизации. Кристаллиты растут перпендикулярно границе сплавления в направлении, противоположном отводу теплоты. При кристаллизации сварочной ванны с узким, глубоким проплавлением (рис. 6.2, *а*) кристаллиты растут от противоположных стенок навстречу друг другу. При этом перед фронтом кристаллизации накапливаются различного рода примеси. В результате по оси шва в месте стыка вершин кристаллитов, растущих с противоположных сторон ванны, образуется область ослабления, в которой могут располагаться разные включения. При затвердевании широкой сварочной ванны с небольшим проплавлением (рис. 6.2, *б*) схема кристаллизации существенно отличается — кристаллиты соприкасаются не вершинами, а боковыми гранями, а примеси, концентрирующиеся перед фронтом кристаллизации, вытесняются на поверхность шва в виде шлаков. Такие швы более устойчивы против образования трещин.

В процессе кристаллизации состав жидкого металла ванны непрерывно изменяется, поэтому одновременно с кристаллизацией в нем развиваются диффузионные процессы, стремящиеся к однородному составу металла как внутри кристаллитов, так и между затвердевшими кристаллитами и еще оставшимся жидким расплавом. Однако из-за различия скоростей роста кристаллитов и процессов диффузии, являющихся более медленными, полного выравнивания состава не происходит. Это приводит к возникновению неравномерности в распределении элементов сплава свариваемого шва — химической неоднородности металла шва. Различают макроскопическую и микроскопическую неоднородности. Макроскопическая неоднородность характеризуется неравномерностью состава в отдельных областях металла по сечению шва (зональная ликвация). При микроскопической неоднородности наблюдается неравномерность состава металла в пределах отдельных

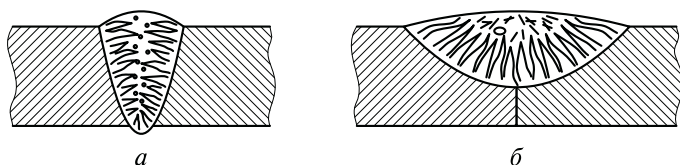


Рис. 6.2. Схема кристаллизации в зависимости от формы сварочной ванны: *а* — узкая с глубоким проплавлением; *б* — широкая с малой глубиной проплавления

кристаллитов (микроскопическая ликвация). За счет ликвации создается химическая неоднородность металла шва.

Изучение и анализ строения металла шва проводят путем выявления его кристаллического строения на специально приготовленных шлифах поперечных и продольных сечений. При этом различают макроструктуры и микроструктуры. *Макроструктурой* называют строение металла шва, выявляемое при осмотре невооруженным глазом или при небольших увеличениях с помощью луп или бинокулярных микроскопов. При этом удается определить общий характер строения металла (столбчатое, зернистое), форму провара, наличие дефектов (поры, трещины, включения и т. п.). *Микроструктура* металла шва характеризует его тонкое строение, выявляемое на шлифах с помощью металлографических микроскопов с высокой степенью увеличения (строение кристаллитов, наличие внутридendrитной ликвации, микродефектов).

6.5. Образование трещин и газовых пор в металле шва

В процессе кристаллизации сварочной ванны в металле шва возможно образование трещин. По расположению относительно оси шва они могут быть продольными и поперечными, в зависимости от величины — микро- и макроскопическими (первые из них обнаруживаются с помощью микроскопа, а вторые — невооруженным глазом). В зависимости от температур, при которых они образуются, трещины разделяют на две группы: горячие (высокотемпературные) и холодные (низкотемпературные). Механизм их возникновения различен.

Горячие трещины представляют собой хрупкие межкристаллические разрушения металла шва и околошовной зоны, возникающие в процессе кристаллизации в твердо-жидком состоянии, а также при высоких температурах в твердом состоянии. Трещины, как правило, располагаются по границам кристаллитов и вызывают межкристаллическое разрушение. Объясняется это тем, что при затвердевании металла шва в процессе первичной кристаллизации между кристаллитами располагаются жидкие прослойки, имеющие небольшую температуру плавления. Если возникающие в это время в металле растягивающие внутренние напряжения (вследствие линейной усадки при охлаждении) будут достаточно велики, то по этим прослойкам произойдет разрушение с образованием трещины. Если же процесс полного затвердевания расплава заканчивается до появления больших растягивающих напряжений, то горячие трещины не образуются. Образованию горячих трещин способствует содержание в металле шва примесей — серы, фосфора и др. Так, сера образует легкоплавкий сульфид железа FeS, располагающийся при кристаллизации по границам зерен и

увеличивающий вероятность образования трещин. На образовании трещин сказываются также форма и схема кристаллизации сварочной ванны. Узкие швы с глубоким проплавлением более склонны к образованию трещин, чем широкие швы с небольшим проплавлением. Для уменьшения возможности образования горячих трещин применяют следующие меры: используют сварочные материалы с минимальным содержанием серы, углерода, фосфора; повышают в металле шва содержание марганца, который связывает серу в более тугоплавкое соединение — сульфид марганца; проводят рафинирование (очистку) расплава ванны от серы с помощью введения компонентов, содержащих кальций.

Холодные трещины в структуре металла располагаются как по границам, так и по телу зерен, поэтому они представляют собой внутрикристаллические разрушения. Холодные трещины в сварных соединениях образуются при температурах 200...300 °С. Чаще всего они образуются в швах при сварке закаливающих сталей. На склонность металла к образованию холодных трещин оказывают влияние повышенное содержание углерода и элементов, облегчающих закалку, наличие в шве водорода, загрязнение фосфором, быстрое охлаждение и наличие в швах внутренних напряжений. С целью уменьшения склонности металла к образованию холодных трещин применяют следующие меры: используют материалы с минимальным содержанием фосфора, уменьшают насыщение сварочной ванны водородом и азотом, принимают меры для уменьшения внутренних напряжений.

Поры в сварных швах возникают при первичной кристаллизации металла сварочной ванны в результате выделения газов. Поры представляют собой полости в швах, заполненные газом, имеющие сферическую, вытянутую или более сложные формы. Поры могут располагаться по оси шва, по сечению или вблизи границы сплавления. Они могут быть скрытыми в металле или выходить на поверхность, располагаться цепочками, отдельными группами или одиночно, могут быть микроскопическими или крупными (до 4...6 мм в диаметре). Поры при сварке в основном возникают за счет газов водорода, азота и оксида углерода, образующихся или в результате химических реакций с выделением газовых продуктов, или в результате выделения газов в связи с разной растворимостью их в жидком и твердом металле. Если образование и выделение газов при сварке происходит в период, когда металлическая ванна находится в жидком состоянии и интенсивно перемешивается, то пузырьки газов успевают выделиться. Их выделение из металла не только не приводит к образованию пор, но даже оказывает рафинирующее действие на сварочную ванну, снижая ее газонасыщенность. Если же образование и выделение газов осуществляется в период затвердевания ванны и проходит вяло, пузырьки газа не успевают всплыть и остаются в шве в виде пор.

Существенную роль в образовании пористости также играет наследственность применяемого в конструкции материала. В этом случае более склонны к образованию пор материалы с большим содержанием растворенных газов, поэтому для сварных конструкций необходимо использовать материалы чистые как по примесям, так и по газосодержанию в исходном состоянии.

Для уменьшения пористости необходимы тщательная подготовка поверхности основного и присадочного металлов под сварку (очистка от ржавчины, масла, влаги, прокатка и т.д.), надежная защита зоны сварки от воздуха, введение в сварочную ванну раскислителей (из основного металла, сварочной проволоки, покрытия, флюса), соблюдение режимов сварки. Снижение скорости сварки, увеличение объема сварочной ванны, уменьшение теплоотвода в основной металл и увеличение его начальной температуры снижают скорость кристаллизации металла шва и также уменьшают пористость в нем.

6.6. Структура сварного соединения

Сварное соединение (рис. 6.3) при сварке плавлением включает в себя сварной шов *1*, образовавшийся в результате кристаллизации сварочной ванны, зону сплавления *2* и зону термического влияния *3*, представляющую собой часть основного металла, непосредственно примыкающую к сварному шву и подвергающуюся тепловому воздействию при сварке, вызывающему изменение структуры и свойств.

Металл в любой зоне сварного соединения испытывает нагрев и охлаждение. Изменение температуры металла во времени называют термическим циклом сварки. Максимальная температура нагрева в разных участках соединения различна.

Сварной шов образуется в результате расплавления основного и электродного металлов, а потому после затвердевания имеет структуру литого металла с вытянутыми столбчатыми кристаллитами. В зоне термического влияния изменение нагрева происходит от температуры плавления на границе со швом до комнатной температуры. При этом в металле могут происходить различные структурные и фазовые превращения, приводящие к появлению участков металла, различающихся по структуре.

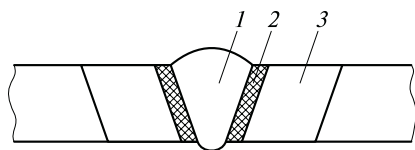


Рис. 6.3. Схема строения сварного соединения:

1 — сварной шов; *2* — зона сплавления; *3* — зона термического влияния

При сварке низкоуглеродистых сталей в ее структуре отмечают участки неполного расплавления, перегрева, нормализации, неполной перекристаллизации, рекристаллизации и синеломкости (рис. 6.4).

Участок *неполного расплавления* примыкает непосредственно к сварному шву и является переходным от литого металла шва к основному. На этом участке происходит образование соединения и проходит граница сплавления. Он представляет собой узкую область (0,1...0,4 мм) основного металла, нагревавшегося до частичного оплавления зерен.

Участок *перегрева* — область основного металла, нагреваемого до температур 1100...1450 °С, в связи с чем металл отличается крупнозернистой структурой и понижением механических свойств, которое тем заметнее, чем крупнее зерно и шире зона перегрева.

Участок *нормализации* (перекристаллизации) охватывает область основного металла, нагреваемого до температуры 900...1100 °С. Металл этого участка обладает высокими механическими свойствами, так как при нагреве и охлаждении на этом участке образуется мелкозернистая структура в результате перекристаллизации без перегрева.

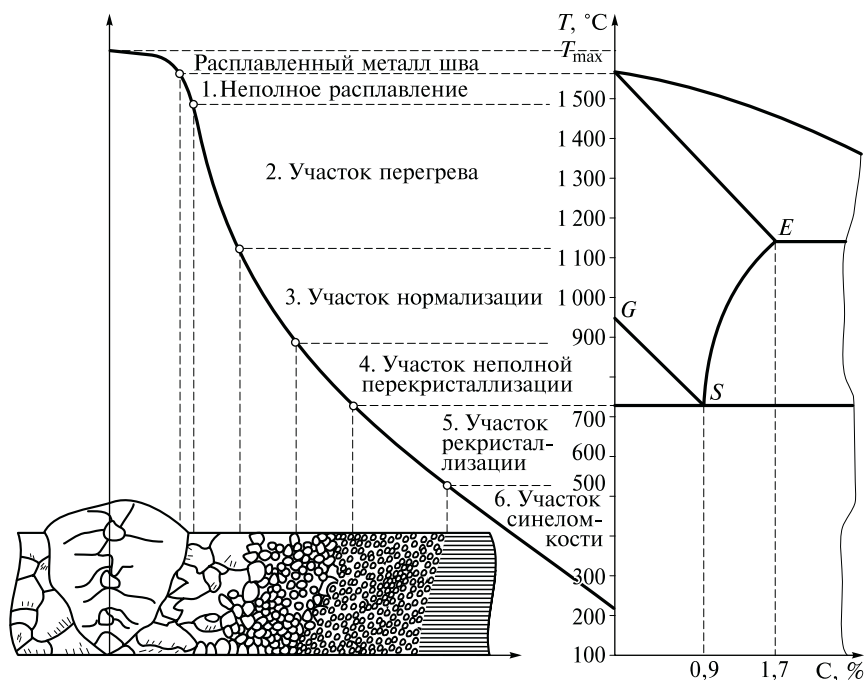


Рис. 6.4. Структура металла в зоне теплового влияния при сварке низкоуглеродистой стали и фрагмент диаграммы состояния железо—углерод

Участок *неполной перекристаллизации* нагревается до температур 725...900 °С. В связи с неполной перекристаллизацией, вызванной недостаточным временем и температурой нагрева, структура металла состоит из смеси мелких перекристаллизовавшихся зерен и крупных зерен, которые не успели перекристаллизоваться. Свойства его более низкие, чем у металла участка нормализации.

Участок *рекристаллизации* наблюдается при сварке сталей, подвергавшихся холодной деформации (прокату, ковке, штамповке). При нагреве до температуры 450...725 °С в этой области основного металла развивается процесс рекристаллизации, приводящий к росту зерна, огрублению структуры и разупрочнению металла.

Участок *синеломкости*, нагреваемый до температур 200...450 °С, является переходным от зоны термического влияния к основному металлу. В этой области могут протекать процессы старения металла в связи с выпадением карбидов и нитридов железа. Понижается пластичность и вязкость металла. По структуре этот участок практически не отличается от основного металла. Таким образом, сварное соединение характеризуется неоднородностью свойств. Ширина околошовной зоны зависит от толщины металла, вида и режима сварки. Например, при ручной дуговой сварке она составляет обычно 5...6 мм.

Контрольные вопросы

1. Какие можно отметить особенности условий протекания металлургических процессов при сварке?
2. Какие физико-химические процессы наблюдаются при сварке?
3. В чем заключаются процессы окисления и раскисления при сварке, как они влияют на свойства металла швов?
4. Назовите особенности кристаллизации металла сварочной ванны.
5. Каковы причины образования трещин и пор в металле швов?
6. Каковы особенности структуры и свойств металла в сварном соединении?
7. Почему механические свойства литого металла шва выше свойств металла в отливках?
8. Каким образом при дуговой сварке можно уменьшить ширину зоны термического влияния в сварном соединении?
9. В чем заключается вредное влияние примесей серы и фосфора при сварке сталей?

НАПРЯЖЕНИЯ И ДЕФОРМАЦИИ ПРИ СВАРКЕ

7.1. Понятия о напряжениях и деформациях

Любое силовое воздействие на тело сопровождается возникновением в нем напряжений и развитием деформаций.

Напряжением называют силу, отнесенную к единице площади сечения тела:

$$\sigma = P/F,$$

где σ — напряжение, МПа; P — действующее усилие, Н; F — площадь поперечного сечения детали, м².

В зависимости от характера приложенных сил различают напряжения растяжения, сжатия, изгиба, кручения и среза.

Деформацией называют изменение размеров или формы тела под действием приложенных сил. Деформации могут быть упругими и пластическими. Если размеры и форма тела восстанавливаются после прекращения силового воздействия, то такая деформация является упругой. Деформацию, остающуюся после снятия нагрузки, называют пластической, или остаточной.

Помимо напряжений и деформаций, возникающих в деталях под действием приложенных нагрузок, в них могут быть, так называемые, собственные напряжения и деформации, существующие в телах и при отсутствии внешних сил. К ним относятся сварочные напряжения и деформации, наблюдаемые в свариваемых деталях. В зависимости от продолжительности существования их разделяют на временные, существующие в период выполнения сварки, и на остаточные, устойчиво сохраняющиеся в течение длительного времени после сварки. В зависимости от характера и объемов распределения напряжения различают одноосные (линейные), двuosные (плоскостные) и трехосные (объемные) напряжения, а также напряжения I рода (в макрообъемах тела), II рода (в пределах кристаллических зерен металла) и III рода (в пределах кристаллической решетки). Для определения сварочных напряжений разработаны специальные расчетные методики, основанные на базе теории упругости и пластичности материалов. При этом используются зависимости изменения предела текучести и модуля упругости от температуры с учетом теплофизических свойств металлов.

Существуют экспериментальные методы определения остаточных напряжений (рентгеновский, магнитный, ультразвуковой), а

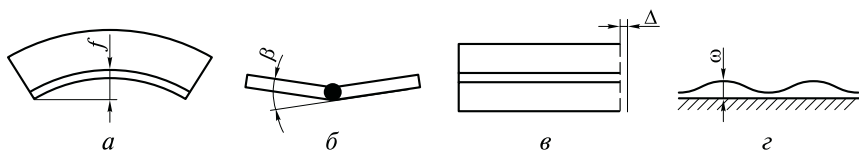


Рис. 7.1. Виды перемещений при деформации сварных конструкций: *a* — прогиб (f — стрела прогиба); *б* — угол поворота β ; *в* — укорочение Δ ; *г* — выход из плоскости равновесия ω

также механические, основанные на разрезании металла сварного соединения на узкие полоски, что приводит к снятию в них напряжений. При этом с помощью тензодатчиков измеряют изменение деформации в полосках до и после разрезки. По полученным результатам измерений вычисляют имевшиеся после сварки остаточные напряжения. Если значения сварочных напряжений достигают предела текучести металла, то возникает его пластическая деформация, вызывающая изменение формы или размеров в сварной конструкции. Сварочные деформации обычно характеризуют прогибами элементов, углами поворота, укорочениями, величинами выхода точек тела из плоскости равновесия и др. (рис. 7.1).

Деформации, приводящие к изменению размеров всего изделия, искривлению его геометрических осей, называют общими, деформации, относящиеся к отдельным участкам, — местными. Сварочные деформации в конструкциях можно определять с применением обычных измерительных инструментов: линеек, измерительных лент, индикаторных головок.

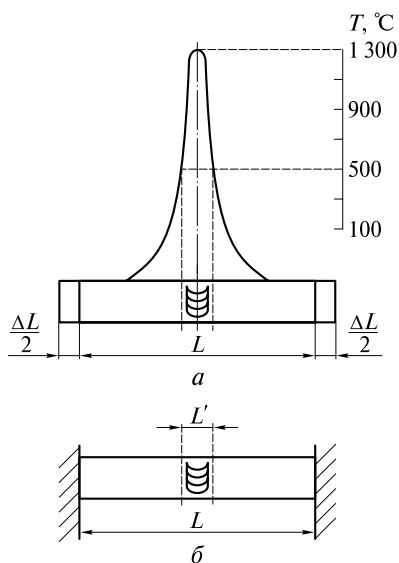
7.2. Причины возникновения напряжений и деформаций при сварке

Основными причинами возникновения собственных напряжений и деформаций в сварных соединениях и конструкциях являются неравномерное нагревание металла при сварке, литейная усадка, структурные и фазовые превращения в затвердевающем металле при охлаждении.

Неравномерное нагревание металла. Все металлы при нагревании расширяются, а при охлаждении сжимаются. Процессы сварки плавлением характеризуются местным нагревом металла с образованием неравномерного температурного поля в сварном соединении. При наличии непрерывной связи между нагретыми и холодными участками металла свариваемой детали в нем возникают сжимающие и растягивающие внутренние напряжения. Рассмотрим механизм их образования на примерах. Представим себе

Рис. 7.2. Местный нагрев стержня:

a — незакрепленного; *б* — закрепленного; *T* — температура; *L* — длина стержня; *L'* — нагретая зона; ΔL — удлинение



металлический стержень, свободно лежащий на сварочном столе (рис. 7.2, *a*). При местном нагреве в центральной части его длина L увеличится на ΔL . Это будет зависеть от коэффициента линейного расширения данного металла, длины нагретой зоны и температуры нагрева. В процессе охлаждения удлинение будет уменьшаться и при достижении начальной температуры станет равным нулю. После полного охлаждения стержень восстанавливает первоначальные размеры и в нем не будет ни внутренних напряжений, ни остаточных деформаций.

При местном нагреве того же стержня, жестко закрепленного с обоих концов (рис. 7.2, *б*), возможность его свободного удлинения исключается. Поэтому в нем возникают сжимающие внутренние напряжения, при определенных значениях которых произойдет пластическая деформация сжатия и на длине L' (нагретой зоны) стержень станет толще, при этом напряжения частично исчезнут. При последующем охлаждении стержень должен укоротиться, но этому препятствует его жесткое закрепление, в результате чего в нем возникают растягивающие напряжения.

Аналогичным образом возникают внутренние напряжения и деформации при наплавке валика на кромку металлической пластины (рис. 7.3). Наплавленный валик и нагретая часть пластины будут расширяться и растягивать холодную часть, вызывая в ней деформацию растяжения с изгибом. Сам же валик и нагретая часть пластины будут сжаты, поскольку их тепловому расширению препятствует ее холодная часть. В результате распределения напряжений пластина прогнется выпуклостью вверх. В процессе остывания наплавленный валик и нагретая часть полосы, претерпев пластическую деформацию, будут укорачиваться. Этому укорочению вновь будут препятствовать слои холодной части металла пластины. Теперь уже наплавленный металл и нагревавшаяся часть пластины будут стягивать участки холодного металла. Они сожмутся, и пластина прогнется выпуклостью вниз. В реальных условиях изменение температуры от нагретой к холодной зоне пластины происхо-

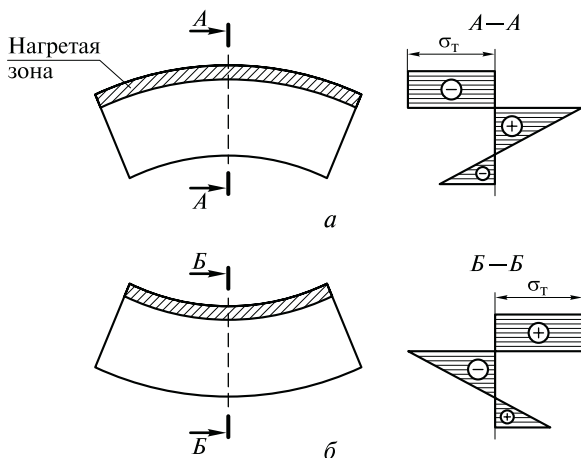


Рис. 7.3. Напряжения и деформации при наплавке валика на кромку металлической пластины:

a — при нагреве; *б* — при охлаждении; σ_T — предел текучести; \ominus — сжимающие напряжения; \oplus — растягивающие напряжения

дит постепенно, поэтому таким же образом происходит и распределение напряжений.

Литейная усадка наплавленного металла. При охлаждении и затвердевании жидкого металла сварочной ванны происходит его усадка. Явление усадки объясняется тем, что при затвердевании увеличивается плотность металла, в результате чего объем его уменьшается. Поскольку металл шва неразрывно связан с основным металлом, остающимся в неизменном объеме и противодействующим этой усадке, в сварном соединении возникают внутренние напряжения. При сварке происходят продольная и поперечная усадки расплавленного металла, в результате чего в шве образуются продольные и поперечные внутренние напряжения, вызывающие деформации сварных соединений. За счет продольной усадки возникает деформация изделий в продольном направлении относительно оси шва, а поперечная усадка, как правило, вызывает угловые деформации в сварном соединении.

Напряжения от структурных превращений в металле. Наряду с термическими напряжениями при сварке могут возникать напряжения, обусловленные превращениями и изменениями структуры основного металла, нагревавшегося выше критических температур. При сварке изделий из углеродистых и высоколегированных сталей особенно легко могут возникать напряжения при образовании мартенсита, обладающего наибольшим удельным объемом. При сварке низкоуглеродистой стали в интервале критических температур A_{c1} и A_{c3} , в связи с тем, что коэффициент ли-

нейного расширения для γ -железа составляет $1,2 \cdot 10^{-5}$, а для α -железа — $2 \cdot 10^{-5}$, наблюдается уменьшение объема при нагревании от A_{c1} до A_{c3} . При охлаждении распад аустенита происходит в интервале $A_{c2} \dots A_{c1}$, когда сталь пластична и изменение объема происходит без образования напряжений. Иная картина наблюдается у легированных сталей, склонных к закалке. Распад аустенита в них происходит при более низких температурах ($200 \dots 300$ °C), когда металл обладает высокой прочностью и меньшей пластичностью. Такое превращение сопровождается возникновением структурных напряжений. Растягивающие напряжения от структурных превращений вызывают дополнительное увеличение деформаций, которые в малопластичных сплавах могут привести к образованию трещин, поэтому сварочные напряжения в закаливающихся сталях более опасны. Для сварки таких материалов необходимо разрабатывать более сложный технологический процесс.

Механическое деформирование. Напряжения в сварных конструкциях дополнительно могут быть вызваны механическим упругим или пластическим деформированием материала при выполнении операций сборки, монтажа или правки изделий. Возникающие при этом напряжения могут складываться со сварочными и существенно влиять на общее распределение их в изделии.

7.3. Уменьшение сварочных напряжений

Предотвращение сварочных напряжений и деформаций является сложной задачей. Мероприятия по их снижению могут осуществляться на различных стадиях создания сварных конструкций: до сварки — на стадии проектирования самой конструкции и разработки технологического процесса ее изготовления, во время выполнения сварки соединений и после выполнения сварочных работ.

На первой стадии очень многое зависит от выбора наиболее рациональных конструктивных и технологических решений. В процессе конструирования сварных конструкций необходимо:

- стремиться к уменьшению расчетных количеств наплавляемого электродного и расплавляемого основного металлов, а следовательно, снижению тепловложения при сварке за счет уменьшения сечений сварных швов и их числа в конструкции;
- не допускать в конструкциях чрезмерных скоплений и пересечений сварных швов, особенно на участках с максимальным воздействием прикладываемых нагрузений;
- использовать симметричное расположение сварных соединений относительно общего центра тяжести изделия с целью взаимного уравновешивания возникающих изгибающих моментов;
- рационально выбирать тип сварных соединений, отдавая предпочтение стыковым соединениям.

В процессе выполнения сварочных работ большое значение имеет выбор рациональной последовательности выполнения сварных соединений в конструкции. При этом следует стремиться к достижению взаимоуравновешивания возможных деформаций от последовательно выполняемых швов, а замыкающие соединения, создающие жесткий контур в изделии, сваривать в последнюю очередь. Каждый последующий валик при многослойной сварке рекомендуется выполнять в направлении, обратном предыдущему. При ручной и механизированной сварке швы большой протяженности рекомендуется выполнять в обратноступенчатом порядке. Рекомендуется закреплять узлы в жестких приспособлениях, а выполнение сварки осуществлять на режимах с меньшими значениями погонной энергии. В некоторых случаях применяют предварительную деформацию кромок свариваемых заготовок, обратную по знаку ожидаемым сварочным деформациям, а также предварительный или сопутствующий подогрев, особенно для материалов, склонных к закалке.

После сварки для снятия сварочных напряжений применяют термическую операцию отпуска. Отпуск после сварки является наиболее эффективным способом уменьшения остаточных напряжений и одновременно позволяет улучшить пластические свойства сварных соединений. Отпуск может быть общим, при котором нагревается все изделие, и местным, когда нагреву подвергаются лишь его часть в зоне сварного соединения. Преимущество общего отпуска состоит в том, что снижение напряжений происходит во всей сварной конструкции независимо от ее сложности. Наиболее часто применяют высокий отпуск при температуре нагрева 550...680 °С. Операция отпуска выполняется в три стадии: нагрев, выдержка при определенной температуре и охлаждение. Выдержка обычно составляет 2...4 ч, после чего производится естественное охлаждение на воздухе. Местный отпуск применяют для снятия остаточных напряжений и восстановления пластических свойств в зоне сварных соединений.

Для снятия остаточных напряжений используют также механические способы обработки после сварки — проковку, прокатку, вибрацию, обработку взрывом и другие операции, основанные на создании пластической деформации металла сварных соединений, приводящей к снижению растягивающих остаточных напряжений.

7.4. Устранение сварочных деформаций

В тех случаях, когда не удастся предупредить возникновение остаточных деформаций и они выходят за пределы допустимых, их устранения добиваются искусственным путем с помощью опе-

рации правки. В зависимости от конструкции изделия, величины деформации, типа материала и его термического состояния используют три основных вида правки: холодную с применением статических или динамических нагрузений, с местным нагревом, с общим нагревом.

Холодная правка основана на растяжении сжатых участков деформированного металла. В зависимости от конструкции, вида и величины деформации холодную правку можно выполнять различными способами. Наиболее простой — проковка сжатой части изделия. Ее применяют для сравнительно небольших изделий из тонколистовых материалов. Таким же образом удается устранять выпучины в листовых деталях, производя проковку с краев детали и перемещаясь к ее центру. Наиболее часто холодную правку производят с приложением статических, безударных нагрузок. Для этой же цели используют ручные прессы, чаще винтовые, специальные правочные приспособления, стальные пуансоны для обжатия на механизированных прессах, а также прокатку на трехвалковых станах или растяжение на специальных станках. Для тел вращения из тонколистовых материалов могут применяться обкатка стальными роликами или калибровка на распорном приспособлении и на разжимных пуансонах (рис. 7.4).

Правка местным нагревом основана на развитии пластического деформирования сжатием растянутых участков конструкции. При правке этим методом обычно нагревают растянутую часть деформированной детали. Нагрев производят в отдельных участках (рис. 7.5). При этом расширению металла препятствуют окружающие его холодные части детали. В этих участках металл испытывает пластическую деформацию сжатия и укорочение растянутых волокон металла. При последующем охлаждении эти участки, сокращаясь, выпрямляют изделие. При правке выпучин листовых деталей нагревают выпуклую часть в отдельных точках в шахматном порядке. Каждый нагретый участок стремится расшириться,

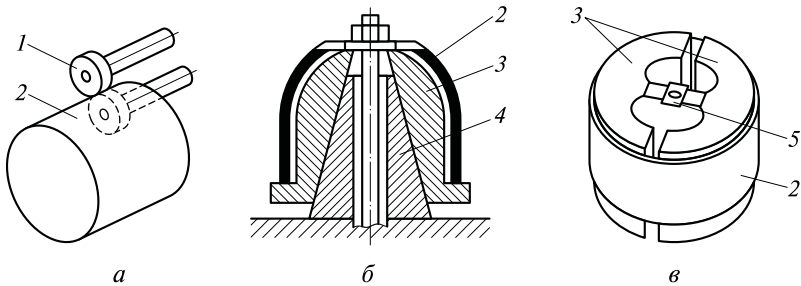


Рис. 7.4. Механизированная правка деталей тел вращения:

а — роликами; *б* — на распорном приспособлении; *в* — на разжимном пуансоне;
 1 — ролик; 2 — деталь; 3 — пуансон; 4 — клин; 5 — распор

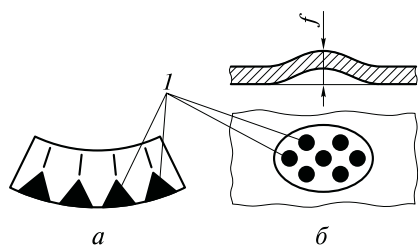


Рис. 7.5. Правка местным нагревом:
a — по ребру; *б* — по плоскости; *l* — места нагрева; *f* — стрела прогиба

но за счет противодействия со стороны окружающего холодного металла в нем возникают пластические деформации сжатия. После охлаждения диаметр нагреваемой окружности уменьшается, что и приводит к исчезновению выпучины. Нагрев можно производить газовой горелкой, электрической дугой, угольным электродом, на машинах для точечной сварки. Правка убыстряется при сочетании

местного нагрева с применением статических нагрузок при использовании специальных правочных приспособлений.

Правку с общим нагревом производят также в специальных правочных приспособлениях, в которых конструкция фиксируется в нужном положении с предварительным натягом. Затем приспособление с изделием загружается в печь и подвергается общему нагреву. Нагретый металл пластически деформируется в приспособлении и при последующем охлаждении сохраняет приданную ему форму. Такую правку можно сочетать с операцией общей термической обработки конструкции. Однако этот метод требует применения дорогостоящих приспособлений из дефицитных материалов.

Необходимо отметить, что правка является операцией нежелательной в технологическом процессе. Необходимо стремиться за счет тщательного анализа всех стадий изготовления конструкций заранее предусмотреть в технологическом процессе мероприятия, позволяющие исключить или свести к минимуму возможность появления остаточных деформаций в сварных изделиях.

Контрольные вопросы

1. Каковы различия в понятиях «напряжения» и «деформации»?
2. Расскажите о классификации напряжений и деформаций в сварных соединениях.
3. Каковы причины возникновения напряжений и деформаций в сварных конструкциях?
4. Какие меры используют для снижения развития напряжений и деформаций в сварных конструкциях?
5. Каковы способы устранения возникших деформаций в сварных конструкциях?
6. Каким образом можно уменьшить деформации за счет изменения условий сварки?

СВАРИВАЕМОСТЬ МЕТАЛЛОВ И СВОЙСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

8.1. Понятие о свариваемости металлов

Под *свариваемостью* металлов по ГОСТ 26001—84 понимают их свойство, характеризующее способность образовывать при установленной технологии сварки соединения с требуемым комплексом свойств, обусловленным условиями эксплуатации конструкции.

Различают понятия физической и технологической свариваемости. Под *физической свариваемостью* понимают свойство материалов образовывать монолитное неразъемное соединение с установлением в нем химических связей. Физической свариваемостью обладают практически все однородные металлы и большинство их сочетаний. Качество соединения во многом зависит от применяемой технологии сварки, поэтому вводится понятие *технологической свариваемости* металлов, определяющей их реакцию на воздействие конкретных условий сварки и способность при этом образовывать соединение с требуемыми свойствами. Свариваемость не является неизменным свойством материала, подобно его физическим характеристикам. Она зависит от способа и режимов сварки, состава присадочного металла, флюса, покрытия, защитного газа, сопровождающих условий (например, подогрев) и т.п. Понятие свариваемости является комплексным и характеризуется совокупностью свойств соединений в зависимости от природы металла и условий эксплуатации. Поэтому для оценки свариваемости проводят ряд испытаний, выбор которых обусловлен назначением сварной конструкции и теми изменениями в структуре и свойствах, которые происходят в материале под влиянием сварки.

Основными показателями свариваемости металлов и их сплавов являются окисляемость металла в условиях сварки, сопротивляемость образованию горячих и холодных трещин, чувствительность металла к тепловому воздействию сварки, образованию пор, соответствие свойств сварного соединения заданным эксплуатационным требованиям. При оценке технологической свариваемости целесообразно использовать дифференцированный подход: с одной стороны, рассматривая поведение металла в сварочной ванне и изменение его свойств в результате взаимодействия с окружающей средой (газами и шлаками), а также кристаллизации в условиях сварочного процесса (металлургическая свариваемость);

с другой стороны, оценивая реакцию металла на тепловые воздействия в тех или иных условиях сварки (тепловая свариваемость). Оценка с металлургических позиций необходима для выбора способа и средств защиты и обработки ванны.

8.2. Оценка свариваемости металлов

Оценка тепловой свариваемости важна для выбора оптимального термического цикла сварки, т. е. источника нагрева и режима. Такой дифференцированный подход к оценке свариваемости позволяет упростить выбор наиболее целесообразного технологического варианта выполнения сварного соединения.

В зависимости от свойств свариваемого металла и требований, предъявляемых к сварному соединению, оценку свариваемости можно проводить по различным показателям: по данным изменения структуры металла, механических свойств соединения, склонности к образованию определенных дефектов и др.

Оценку структуры металла различных областей сварного соединения проводят по равновесным диаграммам состояния и термокинетическим графикам структурно-фазовых превращений в свариваемых материалах. Получаемые данные дополняют результатами исследований механических свойств металла, выполняемых на специальных машинах. Такие испытания позволяют проводить имитацию сварочных термических циклов любого участка сварного соединения и получать результаты по их воздействию на структуру и свойства металла.

Для этой же цели используют и специальные технологические пробы, например так называемую валиковую пробу (ГОСТ 13585—68). Для этого на пластины металла толщиной 14... 30 мм наплавляют валики на режимах с различной погонной энергией (рис. 8.1). Из пластин вырезают поперечные образцы для испытаний на статический 3 и ударный 2 изгиб, а также для определения твердости и структуры 1. Валиковая проба позволяет оценить влияние технологии сварки на свойства и структуру металла в соединении.

Определение механических свойств металла сварного соединения и отдельных его участков для оценки свариваемости проводят по ГОСТ 6996—66, который предусматривает испытания на статическое растяжение, ударный изгиб, старение, твердость. О свариваемости судят или по нормативным значениям соответствующих свойств, или по отношению их к аналогичному свойству основного металла.

Также оценку свариваемости проводят *определением склонности металлов к образованию дефектов*. Горячие трещины представляют собой хрупкие межкристаллические разрушения металла шва

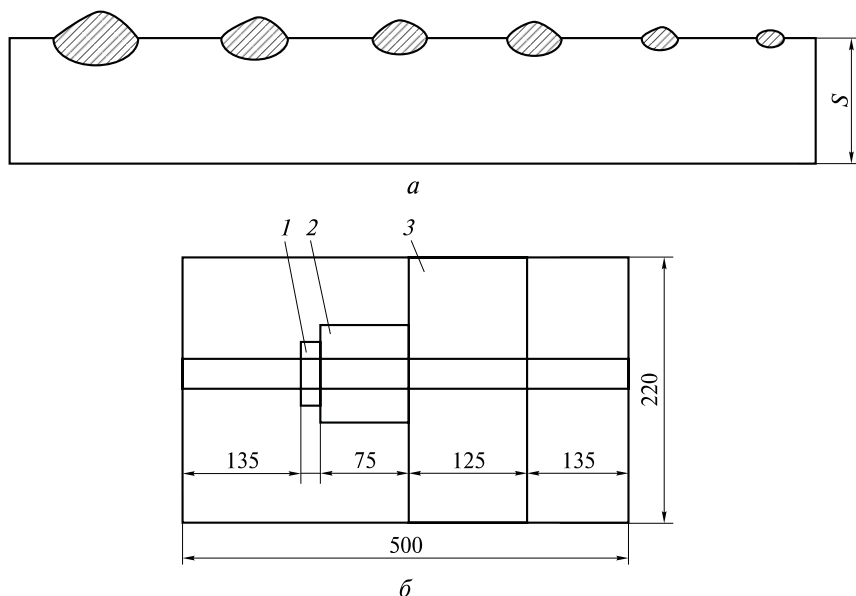


Рис. 8.1. Валиковая проба для оценки свариваемости:

a — образец валиковой пробы; *б* — разметка образцов для исследования структуры (1), испытаний на ударный (2) и статический (3) изгиб; *S* — толщина образца

и околошовной зоны, возникающие в твердо-жидком состоянии в процессе кристаллизации. При кристаллизации жидкий металл шва переходит в жидко-твердое, затем в твердо-жидкое и, наконец, в твердое состояние. В твердо-жидком состоянии образуется скелет из кристаллитов затвердевшего металла (твердой фазы), в промежутках которого находится еще жидкий расплав. Металл в таком состоянии обладает очень низкой деформационной способностью и малой прочностью. Когда металл полностью закристаллизуется, его пластичность и прочность возрастут. Температурный интервал, в котором металл находится в твердо-жидком состоянии с низкой пластичностью и прочностью, называют температурным интервалом хрупкости. При охлаждении одновременно с кристаллизацией в этом интервале начинаются усадка и линейное сокращение шва, ведущие к возникновению внутренних напряжений и деформаций, которые приводят к образованию горячих трещин. Горячие трещины могут образовываться как вдоль, так и поперек шва.

Для оценки свариваемости металлов по критерию сопротивляемости горячим трещинам применяют два основных вида испытаний: на машинах и сварку технологических проб. При машинных испытаниях свариваемый образец растягивают или из-

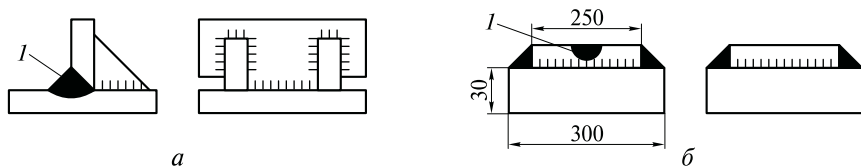


Рис. 8.2. Технологическая проба для оценки склонности к трещинам: *а* — с угловыми швами; *б* — со стыковыми швами; *1* — контрольный шов

гибают во время сварки. Эта деформация имитирует сварочную деформацию. Склонность материала к горячим трещинам оценивают по критической величине или скорости деформирования образца, при которых в нем возникают трещины. Чем выше скорость деформации или ее величина для образования трещины, тем выше сопротивляемость материала к трещинообразованию при сварке.

Для оценки склонности к горячим трещинам используют технологические пробы, имитирующие сварное соединение с угловыми или стыковыми швами (рис. 8.2). Оценку производят по наличию и протяженности образующейся трещины в контрольном шве *1*. Существуют и другие виды технологических проб.

Холодные трещины свое название получили в связи с тем, что их появление наблюдается при относительно низкой температуре. Для оценки свариваемости металлов по критерию сопротивляемости холодным трещинам также применяют два вида испытаний: технологические пробы и методы количественной оценки с приложением к образцам внешней механической нагрузки. Пробы представляют собой жесткие сварные соединения. Стойкость материала оценивают по наличию или отсутствию трещин. Примерами проб могут служить крестовая проба (рис. 8.3) и проба

Кировского завода. В крестовой пробе в наиболее жестких условиях находится последний шов *4*, где и возможно образование трещин.

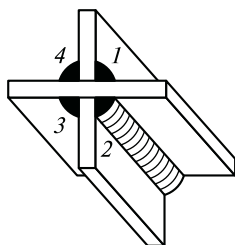


Рис. 8.3. Крестовая проба для оценки склонности к холодным трещинам:

1—*4* — последовательность наложения швов

Количественными показателями сопротивляемости сварного соединения образованию холодных трещин являются минимальные внешние нагрузки, при которых начинают возникать холодные трещины при выдержке образцов под нагрузкой, прикладываемой сразу же после сварки. В качестве показателя сопротивляемости служит минимальная нагрузка, при которой происходит разрушение с образованием трещины.

8.3. Технологическая свариваемость конструкционных материалов

Технологическая свариваемость металлов и их сплавов зависит от многих факторов — химической активности металлов, степени легирования, структуры и содержания примесей. Чем химически более активен металл, тем больше его склонность к взаимодействию с окружающей средой (в первую очередь к окислению) и тем выше в этом случае должны быть качество защиты и возможность металлургической обработки при сварке. К наиболее активным металлам относятся титан, цирконий, ниобий, тантал, молибден. При их сварке необходимо защищать от взаимодействия с воздухом не только расплавленный металл, но и прилегающий к сварочной ванне основной металл и остывающий шов с наружной и обратной сторон. Наилучшее качество защиты обеспечиваются высоким вакуумом и инертным газом высокой чистоты. Большой химической активностью при сварке отличаются и другие цветные металлы: алюминий, магний, медь, никель и сплавы на их основе. Качество их защиты обеспечивается инертными газами, а также специальными электродными покрытиями и флюсами.

При сварке сталей и сплавов на основе железа для предотвращения взаимодействия с воздухом расплавленный металл защищают покрытиями, флюсами и защитными газами.

На свариваемость сталей наибольшее влияние оказывает углерод. С увеличением содержания углерода, а также ряда других легирующих элементов свариваемость сталей ухудшается. Для сварных конструкций в основном применяют конструкционные низкоуглеродистые, низколегированные, а также легированные стали. Главными трудностями при сварке этих сталей являются склонность к горячим трещинам, чувствительность к закаливанию и образованию холодных трещин, обеспечение равнопрочности сварных соединений. Чем выше содержание углерода в стали, тем больше опасность трещинообразования, труднее обеспечить равномерность свойств в сварном соединении. Ориентировочным количественным показателем свариваемости стали известного химического состава является эквивалентное содержание углерода (углеродный эквивалент) C_3 , которое определяется по формуле

$$C_3 = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/13,$$

где содержание углерода и легирующих элементов берется в процентах. В зависимости от эквивалентного содержания углерода и связанной с этим склонности к закалке и образованию трещин стали по свариваемости делят на четыре группы: хорошо, удовлетворительно, ограниченно и плохо свариваемые стали (табл. 8.1).

Хорошо свариваемые стали ($C_3 < 0,25\%$) свариваются без образования закалочных структур и трещин при широком диапа-

Классификация сталей по свариваемости

Свариваемость	Сталь	
	Углеродистая	Конструкционная легированная
Хорошая	Ст1, Ст2, Ст3, Ст4, 0,8, сталь 10, 20, 12кп, 16кп, 20кп	15Г, 20Г, 15ХМ, 10ХСНД, 10ХГСНД, 15ХГСНД
Удовлетворительная	Ст5, сталь 30, 35	12ХН2, 14Х2МР, 20ХН, 20ХГСА, 25ХГСА, 30ХМ
Ограниченная	Ст6, сталь 40, 45, 50	35Г, 40Г, 45Х, 30ХГСА, 40ХМФА, 30ХГСМ
Плохая	Сталь 65, 70, 80, У7, У8, У9, У10	50Г, 8Х3, 45ХНЗМФА, 8Х3, 5ХНТ

зоне режимов, толщин и конструктивных форм. Удовлетворительно сваривающиеся стали ($C_s = 0,25 \dots 0,35 \%$) мало склонны к образованию холодных трещин при правильном выборе режимов сварки, в ряде случаев требуется подогрев. Ограниченно сваривающиеся стали ($C_s = 0,36 \dots 0,45 \%$) склонны к трещинообразованию, возможность регулирования их сопротивляемости образованию трещин изменением режимов сварки ограничена, требуется подогрев. Плохо сваривающиеся стали ($C_s > 0,45 \%$) весьма склонны к закалке и трещинам, требуют при сварке подогрева, специальных технологических приемов сварки и термообработки.

Контрольные вопросы

1. Что понимается под свариваемостью металлов?
2. Каковы способы оценки свариваемости металлов?
3. В чем различие физической и технологической свариваемости?
4. Как разделяются стали по свариваемости?
5. Что такое углеродный эквивалент?
6. Каково влияние углеродного эквивалента на свариваемость?
7. Почему и как углерод влияет на свариваемость стали?
8. Каким образом изменение условий сварки повышает свариваемость углеродистой стали?

ЧАСТЬ II

СВАРОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ СВАРКИ

Глава 9

СВАРОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

9.1. Присадочные материалы для сварки

Общие сведения. Сварочными называются материалы, обеспечивающие возможность протекания сварочных процессов и получение качественных сварных соединений. К ним относятся присадочные металлы, покрытые электроды, флюсы, защитные газы и др.

подавляющее большинство швов при сварке выполняют с применением присадочных материалов. Роль их заключается не только в получении необходимой геометрии шва, но и в обеспечении высоких эксплуатационных характеристик при минимальной склонности к образованию дефектов. В большинстве случаев состав присадочного металла мало отличается от химического состава свариваемого металла. Присадочные металлы разрабатывают применительно к конкретным группам свариваемых металлов и сплавов или даже к их отдельным маркам. При этом учитывают методы сварки, определяющие потери отдельных элементов. Присадочный металл должен быть более чистым по примесям, содержать меньшие количества газов и шлаковых включений. Присадочные металлы используют в виде металлической проволоки сплошного сечения или порошковой проволоки (с порошковым сердечником). Применяют также прутки, пластины, ленты. К сварочной проволоке предъявляют высокие требования по состоянию поверхности, предельным отклонениям по диаметру, овальности и другим показателям.

Высокое качество сварочной проволоки и других присадочных металлов сохраняется при тщательной упаковке и консервации, а также правильном хранении и транспортировке. Наиболее часто сварочную проволоку поставляют в виде мотков, покрытых консервирующей смазкой. Поверхность мотка обертывают влагонепроницаемой бумагой, полимерной пленкой и т. п. Каждая партия проволоки должна снабжаться сертификатом завода-изготовителя, где указывается марка проволоки, ее химический состав, но-

мер плавки и другие сведения. Присадочные материалы перед сваркой должны проходить тщательную очистку поверхности. Наличие следов смазки или других загрязнений не допускается. В большинстве случаев требуется и очистка от оксидов. Для удаления жировых загрязнений применяют обезжиривание. Оксидную пленку удаляют травлением, химическим и электрохимическим полированием. Для сварки необходимо применять преимущественно присадочные материалы, выпускаемые по специализированным стандартам или техническим условиям. Промышленность выпускает присадочные материалы для сварки сталей, чугуна, алюминия, меди, титана и их сплавов.

Присадочные металлы для сварки и наплавки сталей. Холодную стальную сварочную проволоку сплошного сечения выпускают по ГОСТ 2246—70, который предусматривает 77 марок разного химического состава, разделяющихся на три группы: низкоуглеродистые, легированные с содержанием легирующих элементов 2,5... 10,0 %, высоколегированные с содержанием легирующих элементов более 10 %. Химический состав некоторых проволок приведен в табл. 9.1.

Марки сварочной проволоки обозначают буквами Св (сварочная). Следующие за ними цифры показывают содержание углерода в сотых долях процента. Последующие буквы указывают на содержание в проволоке легирующих элементов: алюминий — Ю, азот — А (только в высоколегированных сталях), бор — Р, ванадий — Ф, вольфрам — В, кремний — С, кобальт — К, марганец — Г, медь — Д, молибден — М, никель — Н, ниобий — Б, титан — Т, хром — Х, цирконий — Ц. Цифры после этих букв соответствуют среднему содержанию легирующего элемента в процентах (отсутствие цифры означает содержание данного элемента менее 1 %). Буква А в конце обозначений низкоуглеродистых и легированных проволок указывает на повышенную чистоту металла по содержанию серы и фосфора. В марке Св-08АА сдвоенная А указывает на пониженное содержание серы и фосфора по сравнению с проволокой Св-08А.

Проволоку различают также по назначению: для сварки (наплавки) и для изготовления электродов (условное обозначение — Э). Низкоуглеродистую и легированную проволоку выпускают неомедненной и омедненной (условное обозначение — О) для предохранения ее поверхности от коррозии.

Пример условного обозначения сварочной проволоки диаметром 3 мм марки Св-08А с омедненной поверхностью — проволока 3Св-08А-О ГОСТ 2246—70.

Стальную сварочную проволоку по ГОСТ 2246—70 выпускают следующих диаметров (мм): 0,3; 0,5; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0 и 12,0. Проволока поставляется свернутой в мотки с внутренним диаметром 150... 750 мм, массой 1,5... 40 кг,

Химический состав, %, некоторых марок стальной сварочной проволоки (ГОСТ 2246—70)

Проволока	C	Si	Mn	Cr	Ni	S	P	Ti	Nb	Mo
Низкоуглеродистая:										
Св-08	≤0,10	≤0,03	0,5	≤0,15	≤0,3	<0,04	<0,04	—	—	—
Св-08А	<0,10	≤0,03	0,9	—	—	<0,03	<0,03	—	—	—
Св-08ГА	—	—	0,9	≤0,15	—	≤0,02	<0,03	—	—	—
Св-10Г2	≤0,12	—	1,7	≤0,2	≤0,3	—	—	—	—	—
Легированная:										
Св-08ГС	≤0,10	0,7	1,5	≤0,2	≤0,25	≤0,25	≤0,3	—	—	—
Св-08Г2С	≤0,10	0,8	1,9	—	≤0,25	—	—	—	—	—
Св-18ХГС	≤0,18	1,1	1,0	0,9	≤0,3	≤0,25	≤0,3	—	—	—
Высоколегированная:										
Св-12Х13	≤0,14	≤0,5	0,5	13	≤0,6	<0,25	<0,3	0,7	—	—
Св-07Х19Н10Б	≤0,09	≤0,7	1,8	19	9,5	0,15	<0,3	—	1,3	—
Св-0Х16Н25АМ6	<0,10	≤0,6	1,5	16	25	0,18	0,2	—	—	6,5

а также намотанной на катушки и кассеты (для автоматической и механизированной сварки).

Стальная наплавочная проволока по ГОСТ 10543—75 изготавливается диаметром 0,3... 8,0 мм: из углеродистой стали — 9 марок (Нп-25, Нп-30 и др.), из легированной стали — 11 марок (Нп-10Г, Нп-50Г, Нп-30ХГСА и др.), из высоколегированной стали — 11 марок (Нп-2014, Нп-30Х10Г10Т и др.). Проволока используется для наплавки под флюсом, в защитных газах, при электрошлаковой наплавке и для изготовления покрытых электродов. Марку проволоки выбирают в зависимости от назначения и требуемой твердости металла наплавленного слоя. Используемая для наплавки обрезная холоднокатаная лента в большинстве случаев имеет толщину 0,4... 1,0 мм при ширине 20... 100 мм. Ленту поставляют в рулонах.

Порошковая проволока представляет собой трубчатую (часто со сложным внутренним сечением) проволоку, заполненную порошкообразным наполнителем — шихтой. Оболочку порошковой проволоки изготавливают из стальной (чаще низкоуглеродистой) ленты толщиной 0,2... 0,5 мм.

Наполнитель представляет собой смесь порошков из газо- и шлакообразующих компонентов, а также легирующих компонентов, обеспечивающих защиту зоны сварки и требуемые свойства сварного шва. Наиболее широко используют порошковую проволоку диаметром 2,6... 3,0 мм. В зависимости от состава шихты порошковую проволоку можно использовать для механизированной сварки сталей и чугуна как без защиты, так и с дополнительной защитой (флюсом, защитным газом) от взаимодействия с воздухом. Для сварки углеродистых и легированных сталей применяют порошковые проволоки: ПП-АН1, ПП-АН3, ПП-АН6 — при сварке открытой дугой; ПП-АН4, ПП-АН5, ПП-АН8, ПП-АН9 — при сварке в углекислом газе.

Преимуществом порошковой проволоки является возможность за счет наполнителя в широких пределах регулировать химический состав шва, что используется при наплавке (можно наплавлять изделия под флюсом, в защитных газах и открытой дугой). Разработаны порошковые проволоки для наплавки под флюсом деталей машин из углеродистых сталей (ПП-АН120, ПП-АН121, ПП-АН122), для наплавки высокомарганцовистых сталей (ПП-АН105), для наплавки высокохромистых сталей (ПП-АН170); порошковые ленты (ПЛ-АН101, ПЛ-АН102 и др.). Спеченную ленту толщиной 0,8... 1,2 мм и шириной 30... 80 мм на железной основе изготавливают методом порошковой металлургии из смеси металлических порошков, ферросплавов, графита и других материалов. При дуговой наплавке порошковыми проволоками и лентами применяют меньшие плотности тока по сравнению с электродами сплошного сечения, что обеспечивает меньшую глубину проплавления.

ления и меньшую степень разбавления наплавленного металла основным металлом.

Для наплавки также используют порошки (ГОСТ 21448—75). Изготавливают их путем распыления жидкого металла. Основными компонентами порошков являются углерод, хром, кремний, марганец, никель, вольфрам, молибден, бор. Для наплавки и напыления также применяют порошки соединений карбидов, нитридов, оксидов.

Сварочная проволока из алюминия и алюминиевых сплавов. Диаметр проволоки из алюминия и алюминиевых сплавов может быть в пределах 0,8... 12,5 мм. Допустимые отклонения диаметра и овальности проволоки регламентированы. Стандарт предусматривает 14 марок проволоки (ГОСТ 7871—75). Их можно разделить на пять групп: из алюминия (Св-А97, Св-А85Т), из сплавов системы Al—Mn (Св-АМц), из сплавов системы Al—Mg (Св-АМг3, Св-АМг6 и др.), из сплавов системы Al—Si (Св-АК5, Св-АК10), из сплавов системы Al—Cu (Св-1201). Обозначение марок сварочной проволоки принято по аналогии с соответствующими марками алюминиевых сплавов.

Сварочные проволока и прутки из меди и ее сплавов. Отечественная промышленность выпускает проволоку диаметром 0,8... 8,0 мм и прутки диаметром 6 и 8 мм. Изготавливают проволоку из разных материалов: меди и медных сплавов (М1, МСр1, МНЖ5-1, МНЖКТ5-1-0,2-0,2); бронз хромистых (БрХ0,7) и более сложного состава (БрХНТ, БрЕЦр, БрКМц3-1, БрОЦ4-3, БрАМц9-2, БрОФ-0,15, БрАЖМц10-3-1,5); латуней (Л63, ЛК62-0,5). Условное обозначение марок проволоки принято аналогично маркам меди и ее сплавов.

Проволока для сварки титана и его сплавов. Эта проволока не стандартизирована. Применяют сварочную проволоку, выпускаемую по ведомственным техническим условиям, из технического титана ВТ1-0, ВТ1-1, сплава ВТ2 и резе из других сплавов.

9.2. Электроды для дуговой сварки

Компоненты электродных покрытий. Для ручной дуговой сварки сталей широко применяются плавящиеся металлические электроды в виде стержней длиной 450 мм из сварочной проволоки с нанесенным на них слоем покрытия, обеспечивающим устойчивое горение дуги, защиту от вредного воздействия воздуха, металлургическую обработку сварочной ванны, улучшение формирования шва. В связи с этим в покрытия входят различные группы компонентов.

Стабилизирующие компоненты вводятся в состав покрытия с целью придания устойчивости горению дуги. Это достигается ис-

пользованием материалов, в состав которых входят легкоионизирующиеся элементы (Ca, Na, K). В качестве таких материалов применяют мел, мрамор, полевой шпат и др.

Газообразующие компоненты служат для создания газовой защиты сварочной зоны от вредного воздействия воздуха. Обычно в качестве таких материалов используют органические вещества (крахмал, декстрин, целлюлозу), а также минералы, которые при нагреве диссоциируют с образованием газов (мрамор, магнезит и др.).

Шлакообразующие материалы, основной задачей которых является создание шлакового покрова, защищают расплавленный металл от взаимодействия с кислородом и азотом воздуха. Кроме того, образующиеся шлаки являются средой, в которой протекают металлургические процессы, и в ряде случаев сами активно участвуют в них. Наиболее часто применяемыми шлакообразующими материалами являются марганцевая руда, мрамор, кремнезем, полевой шпат, плавиковый шпат и др.

Раскисляющие материалы служат для раскисления расплавленного металла. С этой целью в покрытие вводят ферросплавы элементов, обладающих высоким сродством к кислороду, дающих жидкие, нерастворимые в металле оксиды (ферросплавы кремния, марганца, титана и др.).

Легирующие материалы применяют для придания металлу шва заданных свойств. В качестве таких материалов обычно используют соответствующие ферросплавы.

Связующие материалы, на которых делается замес обмазочной массы, после ее высыхания обеспечивают прочность электродных покрытий (калиевое или натриевое жидкое стекло, декстрин и др.).

Классификация электродов для дуговой сварки. Металлические электроды для дуговой сварки сталей изготавливают в соответствии с ГОСТ 9466—75, предусматривающим следующую классификацию по назначению и виду.

По назначению электроды подразделяются на следующие:

- для сварки углеродистых и низколегированных конструкционных сталей с временным сопротивлением до 600 МПа, обозначаемых общим индексом У (Э38, Э42, Э42А, Э50, Э60);
- для сварки легированных конструкционных сталей с временным сопротивлением разрыву свыше 600 МПа с общим индексом Л (Э70, Э85, Э100, Э125, Э150);
- для сварки легированных теплоустойчивых сталей с индексом Т;
- для сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами с индексом В;
- для наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами с индексом Н.

По виду покрытия электроды подразделяются на электроды:

- с кислым покрытием А;

- основным покрытием Б;
- целлюлозным покрытием Ц;
- рутиловым покрытием Р;
- покрытием прочих видов П.

Кислые покрытия А (электроды марок АНО-2, СМ-5 и др.) состоят в основном из оксидов железа и марганца (руды), кремнезема, ферромарганца. Они технологичны, однако наличие оксидов марганца делает их токсичными. Рутиловые покрытия Р (электроды АНО-3, АНО-4, ОЗС-3, ОЗС-4, МР-3, МР-4 и др.) имеют в своем составе преобладающее количество рутила (TiO_2). Такие покрытия менее вредны для дыхательных органов сварщика. Целлюлозные покрытия Ц (электроды ВСЦ-1, ВСЦ-2, ОЗС-1 и др.) состоят из целлюлозы, органической смолы, ферросплавов, талька и др. Эти покрытия удобны для сварки в любом положении, но дают наплавленный металл пониженной пластичности. Основные покрытия Б (электроды УОНИ-13/45, ОЗС-2, ДСК-50 и др.) не содержат оксидов железа и марганца. Металл шва, выполненный такими электродами, обладает большой пластичностью. Характеристики некоторых покрытых электродов приведены в табл. 9.2.

По толщине покрытия в зависимости от отношения диаметра электрода D к диаметру стального стержня d различают электроды: М — с тонким покрытием ($D/d < 1,2$); С — со средним покрытием ($D/d = 1,20 \dots 1,45$); Д — с толстым покрытием ($D/d = 1,45 \dots 1,80$) и Г — с особо толстым покрытием ($D/d > 1,8$).

По допустимым основным положениям сварки покрытые электроды делятся на группы: 1 — для всех положений; 2 — для всех положений, кроме вертикального; 3 — для нижнего, горизонтального на вертикальной плоскости; 4 — для нижнего. Разделяют электроды для сварки на переменном и постоянном токе прямой и обратной полярности. Покрытые электроды выпускают диаметром металлического стержня 1,6... 12,0 мм и длиной 150... 450 мм.

Таблица 9.2

Характеристики покрытых электродов

Марка электрода	Тип электрода	Сопротивление на разрыв σ_B , МПа	Предел текучести σ_T , МПа	Ударная вязкость a_n , кДж/м ²	Коэффициент наплавки α_n , г/(А · ч)
АНО-6	Э42-Т	440	323	1 370	8,0
АНО-3	Э46-Т	490	372	1 470	8,4
ОЗС-4	Э46-Т	490	382	1 170	9,0
УОНИ-13/55	Э50-Ф	510	412	1 960	9,4
УОНИ-13/65	Э60-Ф	608	461	1 760	9,5

Условно обозначение типа электрода расшифровывается следующим образом: буква Э — электрод, стоящее за ней число — временное сопротивление на разрыв металла шва. Так, электроды типа Э46 марок ОЗС-4, АНО-3 должны обеспечивать временное сопротивление не менее 460 МПа. Буквы и цифры, входящие в обозначение типов покрытых электродов для сварки легированных сталей, показывают примерный химический состав наплавленного металла (Э-09Х1МФ, Э-12Х13).

Для каждого типа покрытых электродов разработана одна или несколько марок, характеризующихся типом сварочной проволоки, составом покрытия, химическим составом и свойствами металла шва и др. По ГОСТ 10051—75 выпускаются электроды для дуговой наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами (например, Э-10Г2, Э9ОХ4М4ВФ и др.).

Кроме плавящихся покрытых электродов для ручной дуговой и механизированной сварки в защитных газах применяют неплавящиеся вольфрамовые, реже угольные и графитовые электроды. Эти электроды служат для возбуждения и поддержания горения дуги. Для повышения устойчивости горения дуги и стойкости вольфрамовых электродов в них вводят 1,5... 3,0 % оксидов активирующих редкоземельных металлов (тория, лантана, иттрия), повышающих эмиссионную способность электрода. Вольфрамовые электроды выпускают в виде прутков диаметром 0,5; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0 и 10,0 мм. В зависимости от химического состава электроды изготавливают следующих марок: ЭВЧ — из вольфрама чистого, ЭВЛ — из вольфрама с присадкой лантана, ЭВИ — из вольфрама с присадкой оксида иттрия, ЭВТ — из вольфрама с присадкой оксида тория. Цифры в марке вольфрамового электрода указывают количество активирующей присадки в десятых долях процента. Угольные и графитовые электроды (стержни) изготавливают из электротехнического угля или синтетического графита диаметром 4... 18 мм и длиной 250... 700 мм.

9.3. Сварочные флюсы

Большинство металлов и сплавов при сварке взаимодействуют с окружающей средой. Особенно активно реагирует расплавленный металл. Менее подвержены этому закристаллизовавшийся металл шва и металл в зоне термического влияния. В результате взаимодействия с окружающей средой происходит окисление металла, а также растворение в нем азота и водорода. Это приводит в большинстве случаев к ухудшению свойств металла шва и сварных соединений, поэтому при сварке необходима защита металла сварочной ванны от контакта с воздухом. Применяется шлаковая, газовая и комбинированная защита.

Особенность шлаковой защиты заключается в возможности металлургической обработки расплавленного металла. Для этого применяют специальные сварочные флюсы, образующие при расплавлении шлаки с определенными физико-химическими свойствами. Такие флюсы используют при автоматической и механизированной дуговой и электрошлаковой сварке и наплавке.

Шлаки условно можно разделить на две группы: активные и пассивные. Активные шлаки наряду с защитой осуществляют и металлургическую обработку (раскисление, связывание серы и фосфора, легирование и т.п.). Пассивные шлаки осуществляют в основном защитные функции. Кроме того, шлаки должны обеспечивать хорошее формирование шва, надлежащий химический состав металла, отсутствие в нем пор и трещин, устойчивость процесса сварки, легкую отделяемость шлаковой корки от поверхности шва.

Для сварки сталей используют шлаки различных систем. В большинстве из них в качестве обязательной составляющей, оказывающей влияние на физические свойства шлака, содержится фтористый кальций CaF_2 . Наибольшее распространение получили шлаки, содержащие MnO , FeO , CaO , MgO , Al_2O_3 и др. Соотношение оксидов в шлаках для сварки различных сталей изменяется. Уменьшение в шлаках концентрации активных оксидов (FeO , MnO , SiO_2) и повышение в них содержания прочих оксидов (CaO , MgO , Al_2O_3) приводит к снижению окислительной способности системы по отношению к большинству легирующих элементов в сварочной ванне, поэтому по химическому составу шлаков флюсы подразделяют по их основности на *кислые* с высоким содержанием SiO_2 и TiO_2 и *основные* с повышенным содержанием прочих оксидов.

По способу изготовления флюсы подразделяют на *плавленные* и *неплавленные*. Плавленный флюс получают сплавлением его составляющих в электрических или пламенных печах. В качестве шихты при этом используют марганцевую руду (MnO), кварцевый песок (SiO_2), плавиковый шпат (CaF_2) и др. Сплавленную массу после охлаждения подвергают дроблению на зерна требуемого размера. Плавленные флюсы не содержат раскислителей и легирующих элементов в виде ферросплавов, а состоят из оксидов этих элементов, прочно связанных, как правило, в силикаты.

Неплавленные флюсы представляют собой механическую смесь порошкообразных материалов, замешанную на определенном связующем (например, жидком стекле), прокаленную и гранулированную в зерна определенных размеров. Преимуществом плавленных флюсов являются высокие технологические свойства (защита, формирование, отделимость шлаковой корки и др.). Неплавленные флюсы позволяют легировать наплавляемый металл в ши-

роких пределах. Для этой цели во флюсы вводят металлические порошки и ферросплавы.

В настоящее время в промышленности преимущественно применяют плавненные флюсы. Плавненные флюсы для сталей подразделяют по содержанию в них оксидов кремния — на высококремнистые (до 50 % SiO_2), низкокремнистые (до 35 % SiO_2) и бескремнистые; по содержанию оксида марганца — на высокомарганцовистые (более 30 % MnO), среднемарганцовистые (15... 30 % MnO) и низкомарганцовистые.

Низкокремнистые флюсы применяют обычно для сварки легированных сталей. Для сварки низкоуглеродистых сталей применяют преимущественно высококремнистые марганцовистые флюсы в сочетании с низкоуглеродистой сварочной проволокой. При сварке электродной проволокой, не содержащей кремния, например Св-08 или Св-08А под основными флюсами с малым содержанием кремнезема (SiO_2), раскисление сварочной ванны идет за счет углерода. Образование нерастворимого в металле оксида углерода вызывает появление газовых пор в шве. Использование малоуглеродистой проволоки возможно в сочетании с кислым флюсом, когда развивается кремневосстановительный процесс в сварочной ванне и кремний подавляет реакцию окисления углерода и предотвращает появление пор.

С другой стороны, при сварке малоуглеродистых сталей для получения швов, не склонных к образованию горячих трещин, а также для придания требуемых механических свойств в металле должно быть около 0,8... 1,0 % марганца. При сварке малоуглеродистой проволокой с малым содержанием марганца под основным флюсом происходит его окисление в ванне и переход в шлак. В результате металл обедняется марганцем, а швы будут склонны к образованию горячих трещин, поэтому использование малоуглеродистой проволоки возможно в сочетании с высокомарганцовистым флюсом. Таким образом, при сварке обычных малоуглеродистых сталей малоуглеродистой проволокой должны применяться кислые высокомарганцовистые флюсы. При сварке же легированных сталей или использовании проволоки, содержащей раскислители, применение таких флюсов приведет к окислению большинства легирующих элементов и засорению металла швов неметаллическими включениями. Поэтому при сварке высоколегированных сталей должны применяться безмарганцовистые низкокремнистые основные флюсы.

Для сварки высоколегированных сталей с большим содержанием таких легкоокисляющихся элементов, как молибден, титан, алюминий и др., применяют бескремнистые флюсы на основе соединений CaO , CaF_2 , Al_2O_3 и бескислородные фтористые флюсы на основе CaF_2 , NaF и др. Шлаки этих флюсов имеют основной или нейтральный характер.

Для сварки алюминия, магния, титана и их сплавов используют флюсы, образующие бескислородные шлаковые системы: для титана — на основе CaF_2 с небольшими добавками хлоридов; для алюминия — на основе хлористых солей (NaCl , KCl , LiCl) с добавками фторидов (NaF , KF , LiF и др.), для магниевых сплавов — на основе фторидных соединений (KF , NaF , BaF_2 и др.).

Для сварки меди и медных сплавов применяют флюсы, образующие шлаковые системы, основу которых составляют бораты: бура $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ и борная кислота H_3BO_3 . В другие шлаковые системы эти соединения вводят в виде добавок.

Для изготовления флюсов используют исходные материалы: руды, кварцевый песок, рутил, каолин, мрамор, фтористые и хлористые соли и другие компоненты. Компоненты должны быть недорогими и чистыми от вредных примесей (серы, фосфора и др.). Особенно высокая чистота требуется для флюсов, используемых при сварке титана и его сплавов, и других активных материалов. Несмотря на большое количество флюсов, используемых при сварке и наплавке различных металлов, общий стандарт на них пока не разработан. Имеющийся ГОСТ 9087—81 регламентирует требование к плавленным флюсам для сварки сталей. По этому стандарту выпускается 21 марка плавленных флюсов. Наиболее распространенными являются флюсы марок АН-348А, ОСЦ-45, АН-20, АН-26, АН-15М и др. В табл. 9.3 приведены рекомендуемые области применения сварочных флюсов.

Таблица 9.3

Рекомендуемые области применения сварочных флюсов

Марки флюсов	Назначение
АН-348А, АН-348АМ, ОСЦ-45, АН-348-В, ОСЦ-45М, ФЦ-9, АН-60	Механизированная сварка и наплавка углеродистых и низколегированных сталей
АН-8	Электрошлаковая сварка углеродистых низколегированных сталей
АН-20С, АН-20СМ, АН-20П, АН-15М	Автоматическая сварка и наплавка высоколегированных сталей
АН-22	Электрошлаковая и дуговая автоматическая сварка и наплавка низко- и среднелегированных сталей
АН-26С, АН-26СП, АН-26П	Автоматическая сварка нержавеющей сталей
АН-17М, АН-43, АН-47	Автоматическая дуговая сварка и наплавка сталей высокой прочности

9.4. Защитные газы

Защитные газы при сварке защищают дугу и сварочную ванну от вредного воздействия окружающей воздушной среды. Эта защита осуществляется путем физического оттеснения воздуха потоком газа от места сварки. В качестве защитных газов применяют инертные и активные газы, а также их смеси.

Из *инертных газов* при сварке используют аргон и гелий. Это одноатомные газы, которые не вступают в химические реакции с твердыми и жидкими металлами и практически не растворимы в большинстве из них.

Наибольшее распространение получил аргон (Ar). Его получают из атмосферного воздуха. Инертные газы применяют для сварки химически активных металлов (титан, алюминий, магний и др.), а также легированных сталей, когда необходимо получить сварные швы, однородные по составу с основным и присадочным металлом. Инертные газы обеспечивают защиту металла при сварке, не оказывая металлургического воздействия на него. Согласно ГОСТ 10157—79 аргон выпускается двух сортов: высшего (не менее 99,992 % Ar) и первого (не менее 99,987 % Ar). Хранят и транспортируют аргон в стальных баллонах емкостью 40 л под давлением 15 МПа.

Гелий (He) получают из добываемых природных газов. Он значительно легче воздуха и в 10 раз легче аргона, поэтому при сварке требуется его повышенный расход по сравнению с аргоном. Стоимость гелия также примерно в 5 раз больше стоимости аргона. Выпускают гелий двух сортов: особой и высокой чистоты. Для сварки часто используют смеси из инертных газов, например смесь, состоящую из 70 % аргона и 30 % гелия (по объему). Хранят и транспортируют гелий, так же как и аргон, в баллонах, окрашенных в коричневый цвет.

Активные защитные газы защищают зону сварки от воздуха, но вместе с тем вступают в химическое взаимодействие со свариваемым металлом или могут растворяться в нем. Из активных газов для сварки используют в основном углекислый газ. Другие активные газы (кислород, водород, азот) используют для составления защитных газовых смесей.

Углекислый газ (CO₂) выпускают по ГОСТ 8050—76 трех марок. Для сварки используют сварочный газ чистотой не менее 99,5 % CO₂. Хранят и транспортируют его в жидком виде в стальных баллонах емкостью 40 л под давлением 6...7 МПа. Баллоны окрашивают в черный цвет. Углекислый газ относится к окислительным, поэтому его в основном применяют для сварки низкоуглеродистых и низколегированных сталей. Назначение его состоит в защите расплавленного металла от взаимодействия с азотом воздуха.

Для защитных сред применяют также смеси аргона с водородом, азотом, углекислым газом и кислородом. В ряде случаев такие смеси обладают лучшими технологическими свойствами, чем отдельные газы. Например, смесь углекислого газа с кислородом (до 20 %) способствует мелкокапельному переносу электродного металла и меньшему разбрызгиванию, глубокому проплавлению и улучшению формирования шва. Смесь аргона с добавкой 10...30 % азота применяют при сварке меди и аустенитных сталей некоторых марок. Добавка азота повышает проплавливающее действие дуги.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение сварочным материалам.
2. Расскажите о классификации проволок для сварки сталей и других конструкционных материалов.
3. Для чего предназначены сварочные флюсы?
4. Как классифицируются сварочные электроды?
5. Каково назначение защитных газов при сварке?
6. Чем отличается порошковая проволока от покрытых электродов?
7. Почему и как сварочные материалы влияют на качество швов при сварке разных металлов?
8. Каким образом с помощью сварочных материалов можно ввести легирующие элементы в шов при сварке?
9. Можно ли получить при ручной дуговой сварке низкоуглеродистой стали металл шва прочнее основного металла?

ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ ДЛЯ ДУГОВОЙ СВАРКИ

10.1. Характеристики источников питания дуги
и требования к ним

Для создания устойчивого дугового разряда между электродом и свариваемым изделием к ним необходимо подвести напряжение от специального источника питания электрическим током. Такой источник должен обеспечивать легкое и надежное возбуждение дуги, устойчивое ее горение в установившемся режиме сварки, регулирование мощности (силы тока). Одной из характеристик источников тока является внешняя вольт-амперная характеристика, представляющая собой зависимость напряжения на выходных зажимах источника от силы тока нагрузки и выражаемая графически.

Внешние вольт-амперные характеристики источников питания сварочной дуги (рис. 10.1) могут быть *падающими* (напряжение уменьшается с увеличением сварочного тока), *жесткими* (уменьшения напряжения с увеличением силы тока не происходит), *возрастающими* (при увеличении силы тока напряжение возрастает). Наиболее часто используют источники с характеристиками первого типа. Между статической вольт-амперной характеристикой дуги и внешней характеристикой источника питания должно быть определенное соответствие.

При стабильном горении дуги требуется выполнение условий

$$U_{\text{д}} = U_{\text{и}}; I_{\text{д}} = I_{\text{и}},$$

где $U_{\text{д}}$, $U_{\text{и}}$ — напряжение источника и дуги соответственно; $I_{\text{д}}$, $I_{\text{и}}$ — ток источника и дуги соответственно.

При совмещении вольт-амперных характеристик источника тока 2 и дуги 1 (рис. 10.2) такое условие может выполняться в двух точках *A* и *B*. Однако устойчивый процесс существования дуги будет лишь в точке *A*. В этой точке при уменьшении сварочного тока напряжение источника оказывается больше необходимого для горения дуги по ее статической характеристике, что приведет к возрастанию силы тока, и процесс вернется в точку *A*. Увеличение силы тока в точке *A* требует возрастания напряжения, необходимого для горения дуги, согласно статической характеристике. Однако напряжение источника согласно внешней характеристике будет меньшим, что, в свою очередь, вызовет снижение силы тока. Поэтому сила тока уменьшится и режим горения дуги вновь восстановится в точке *A*.

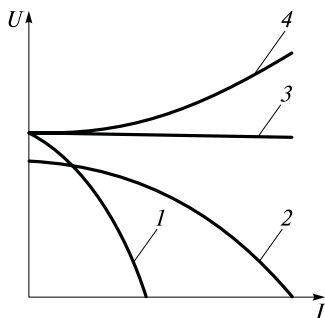


Рис. 10.1. Внешние вольт-амперные характеристики источников питания дуги:

1 — крутопадающая; 2 — пологопадающая; 3 — жесткая; 4 — возрастающая; U и I — напряжение и сила тока источника питания

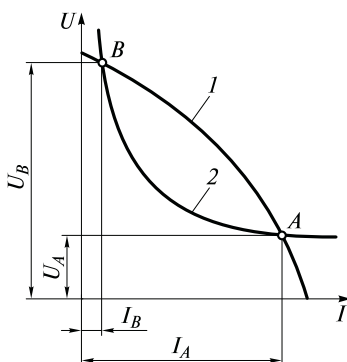


Рис. 10.2. Совмещение вольт-амперных характеристик дуги 1 и источника тока 2:

A и B — точки стабильного горения дуги; U_A и U_B — напряжения в точках A и B ; I_A и I_B — силы тока в точках A и B

При рассмотрении процесса в точке B картина иная. При уменьшении силы тока здесь для поддержания дугового разряда согласно статической характеристике дуги требуется более высокое напряжение. Его значение становится больше, чем может дать источник при этом же токе, и дуга погаснет. Если в точке B сила тока увеличится, то напряжение дуги станет меньше напряжения источника. Избыток напряжения вызовет дальнейшее возрастание силы сварочного тока вплоть до значения, соответствующего силе тока в точке A . В результате процесс достигнет положения устойчивого горения в точке A .

Выбор источника питания по типу внешней характеристики производят в зависимости от способа сварки и конкретных условий ведения процесса. При ручной сварке применяют источники с крутопадающей внешней характеристикой, при этом частые изменения длины дуги сопровождаются незначительными изменениями сварочного тока и теплового режима сварки, что не отражается на размерах сварочной ванны и геометрических параметрах шва. Источники питания с пологопадающей внешней характеристикой применяют для автоматической сварки под слоем флюса и в среде защитных газов проволокой диаметром 1,6...2,0 мм. При этом поддержание постоянства параметров сварочного режима достигается за счет саморегулирования дуги. Оно заключается в изменении скорости плавления электродной проволоки при колебаниях длины дуги. Для этих условий необходимо, чтобы при небольших отклонениях длины дуги (а следовательно, и напряжения) изменения силы тока были значительными. Это лучше обес-

печивается при положопадающей внешней характеристике источника. Сварка в защитных газах тонкой электродной проволокой на больших плотностях силы тока, когда статическая характеристика дуги имеет возрастающий характер, производится от источников тока, имеющих жесткую или слегка возрастающую характеристику. В этом случае процесс саморегулирования протекает более интенсивно, повышается устойчивость горения дуги, облегчается ее зажигание, уменьшается разбрызгивание.

Источник питания дуги должен легко настраиваться на нужный режим сварки. Для этой цели в источниках тока необходимы регулирующие устройства, позволяющие получать семейства однотипных внешних характеристик, различающихся значениями своих параметров (рис. 10.3).

Важны и динамические свойства источников питания дуги. Сила тока и напряжение в дуге в процессе сварки непрерывно меняются. Это связано с переходом капель электродного металла и наличием коротких замыканий. В эти моменты напряжение дуги падает до нуля, а сварочный ток возрастает. При возобновлении дугового разряда напряжение дуги вновь начинает возрастать от нуля до напряжения зажигания. При этом источник питания дуги должен изменять напряжение от нуля до напряжения холостого хода. Источник должен быстро реагировать на все изменения, проходящие в дуге. При этом сила тока и напряжение источника принимают свои установившиеся значения не мгновенно, а в течение некоторого времени в зависимости от его магнитной инерционности. Способность источника быстро реагировать на изменения, происходящие в дуге, определяет его динамические свойства.

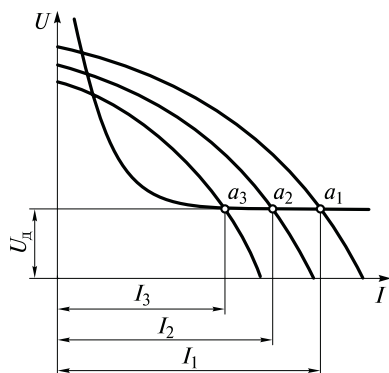


Рис. 10.3. Семейство внешних характеристик источника тока:

U_d — напряжение дуги; a_1, a_2, a_3 — режимы сварки при сварочных токах I_1, I_2, I_3

Чем быстрее источник питания дуги восстанавливает напряжение, тем лучше его динамические свойства. При этом обеспечиваются спокойный перенос металла с электрода в сварочную ванну, уменьшение разбрызгивания и улучшение качества сварки. Динамической характеристикой источника питания является время, необходимое для восстановления напряжения от нулевого значения в момент короткого замыкания до рабочего, которое не должно быть более 0,05 с. При этом скорость нарастания силы тока короткого замыкания также должна быть оптимальной. При больших скоростях нарастания силы тока наблю-

дается взрывной характер плавления электрода с сильным разбрызгиванием металла, при малых скоростях — затрудненное образование ионизированного промежутка и затрудненное возбуждение дуги. Источники питания дуги по современным стандартам характеризуются рядом параметров, получаемых при работе на установившихся режимах. К установившимся режимам относят работу источников при холостом ходе, рабочей нагрузке и коротком замыкании.

Номинальная сила тока определяет расчетное значение сварочного тока источника. Номинальные силы тока источников питания дуги соответствуют параметрическому ряду, обычно установленному для источников электрического тока. Номинальные силы тока большинства выпускаемых источников питания находятся в пределах 50... 1 000 А.

Пределы регулирования сварочного тока соответствуют минимальным и максимальным значениям тока, которые могут быть использованы при сварке. В большинстве случаев за максимальную силу тока принимают номинальную силу тока. Отношение максимальной силы тока к минимальной показывает кратность регулирования. Обычно она изменяется от трех и выше.

Напряжение холостого хода в значительной мере определяет условия зажигания и повторного возбуждения дуги и регулируется на зажимах источника при отсутствии нагрузки в сварочной цепи.

Номинальное рабочее напряжение характеризует напряжение на зажимах источника под нагрузкой и условно определяется линейной функцией от сварочного тока. Для источников с номинальным значением сварочного тока до 600 А оно определяется по формуле $U = 20 + 0,04I_{св}$, где $I_{св}$ — сила тока. Для более мощных источников условное рабочее напряжение принимают равным 44 В и выше. Продолжительность работы источника при заданной мощности определяет возможность его перегрева.

Источники сварочного тока могут работать в одном из сварочных режимов: перемежающемся, повторно-кратковременном и продолжительном.

В перемежающемся режиме работа под нагрузкой в течение времени t_n чередуется с холостым ходом в течение времени $t_{х.х}$, когда источник силы тока не отключается от сети. Такой режим характеризуется относительной продолжительностью нагрузки (ПН), определяемой по формуле

$$ПН = \frac{t_n}{t_n + t_{х.х}} 100 \%$$

Такой режим работы характерен для источников при ручной дуговой сварке, а также для автоматической и механизированной сварки на постоянном токе. Для ручной сварки в большинстве

случаев источники имеют номинальную продолжительность нагрузки, равную 20; 35 и 60 %.

В *повторно-кратковременном* режиме работа под нагрузкой чередуется с временем пауз, когда источник полностью отключается от сети на время $t_{\text{п}}$. Такой режим характеризуется относительной продолжительностью включения (ПВ):

$$\text{ПВ} = \frac{t_{\text{н}}}{t_{\text{н}} + t_{\text{п}}} 100 \%$$

Такой режим характерен для автоматической и механизированной сварки на переменном токе, а источники имеют продолжительность включения, равную 60 % и более. Длительности цикла работы источников $t_{\text{н}}$ и $t_{\text{н.х}}$ и $t_{\text{н}} + t_{\text{п}}$ представляют собой расчетно-проверочный цикл $t_{\text{ц}}$, который для ручной дуговой сварки принимают равным 5 мин, а для автоматической сварки — 10 мин. При этом расчетный ток выбирают при нормальном значении ПН или ПВ.

Если источник питания используется при ПН и ПВ, которые отличаются от указанных в паспорте, максимально допустимый сварочный ток $I_{\text{доп}}$ определяется по формуле

$$I_{\text{доп}} = I_{\text{ном}} \sqrt{\frac{\text{ПН}_{\text{ном}}}{\text{ПН}_{\text{раб}}}},$$

где $I_{\text{ном}}$ — номинальный сварочный ток; $\text{ПН}_{\text{ном}}$ — номинальная продолжительность нагрузки; $\text{ПН}_{\text{раб}}$ — рабочая продолжительность нагрузки.

Пример 1. Дан преобразователь, у которого $I_{\text{ном}} = 500$ А при $\text{ПН}_{\text{ном}} = 65$ %, проверочный цикл 10 мин. Подсчитать максимально допустимый сварочный ток, если генератор работает непрерывно более 10 мин, т.е. $\text{ПН}_{\text{раб}} = 100$ %.

Решение:

$$I_{\text{доп}} = 500 \sqrt{\frac{65}{100}} \approx 500 \cdot \frac{8}{10} = 400 \text{ А.}$$

Следовательно, источник может использоваться для непрерывной работы при силе тока не более 400 А.

Пример 2. Дан сварочный трансформатор, у которого $I_{\text{ном}} = 1000$ А при $\text{ПН}_{\text{ном}} = 75$ %. Определить допустимый ПН, если трансформатор используется при силе тока 1200 А.

Решение:

$$1200 = 1000 \sqrt{\frac{75}{\text{ПН}}};$$

$$\text{ПН} = \frac{100 \cdot 75}{144} \approx 52 \%$$

Следовательно, трансформатор можно применять для сварки при силе тока 1200 А, но при ПН менее 52 %.

В *продолжительном режиме* источник питания может работать под нагрузкой непрерывно (многопостовые источники). Все сварочные источники в промышленности квалифицируются по ряду признаков. На переменном токе работают сварочные трансформаторы, генераторы повышенной частоты; на постоянном токе — генераторы, выпрямители. Также классификацию проводят по конструктивным особенностям, виду внешних характеристик, количеству одновременно подключаемых постов сварки и др. Требования к источникам и их характеристики определяются соответствующими стандартами.

10.2. Сварочные трансформаторы

Общие сведения. Трансформатором называют электромагнитный аппарат, преобразующий переменный ток одного напряжения в переменный ток другого напряжения той же частоты. Работа трансформатора основана на электромагнитном взаимодействии двух или нескольких не связанных между собой обмоток провода. Трансформатор (рис. 10.4) состоит из магнитопровода 1, первичной 2 и вторичной 3 обмоток. Обмотки имеют соответственно число

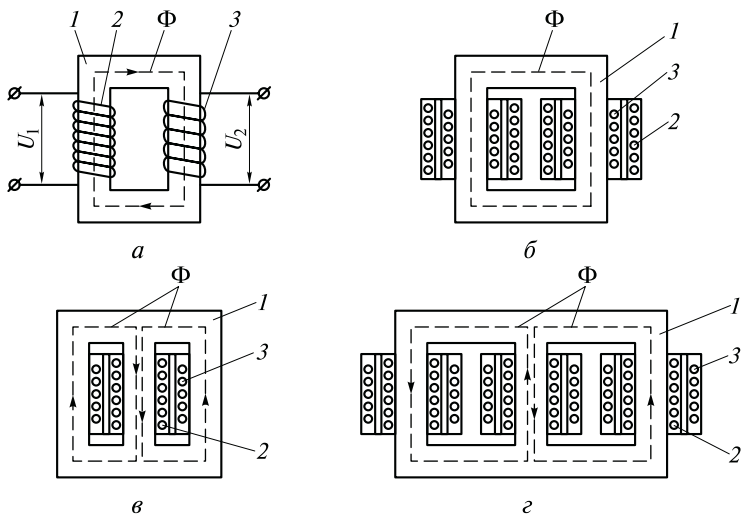


Рис. 10.4. Принципиальная схема (а) и типы трансформаторов (б — стержневой; в — броневой; г — трехфазный):

1 — магнитопровод; 2 и 3 — первичная и вторичная обмотки; Φ — магнитный поток; U₁ и U₂ — напряжения первичной и вторичной обмоток соответственно

витков W_1 и W_2 . Магнитопровод выполняется из листовой электротехнической стали с толщиной листов 0,35 или 0,5 мм с лаковой изоляцией. Такая конструкция магнитопровода дает возможность ослабить возникающие в нем паразитные вихревые токи. Часть магнитопровода с размещенными обмотками называют стержнями, которые соединяются ярмом. Подведение напряжения внешней сети U_1 к первичной обмотке вызывает в ней силу тока I_1 . При этом в магнитопровode возбуждается магнитный поток Φ , пронизывающий витки обеих обмоток. В результате в них индуцируется ЭДС, действующие значения которой определяются следующим образом:

$$E_1 = 4,44 f W_1 \Phi \cdot 10^{-8}; E_2 = 4,44 f W_2 \Phi \cdot 10^{-8},$$

где f — частота переменного тока, Гц; W_1, W_2 — число витков первичной и вторичной обмоток; Φ — магнитный поток, Мкс.

Поскольку потери в трансформаторе малы, можно считать, что $U_1 = E_1$ и $U_2 = E_2$. Тогда

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{W_1}{W_2} = K.$$

Это отношение K называют коэффициентом трансформации, характеризующим преобразующие свойства трансформатора, которые зависят от числа витков первичной и вторичной обмоток.

Сварочные трансформаторы являются специальными понижающими трансформаторами, имеющими требуемую внешнюю характеристику, обеспечивающими питание сварочной дуги и регулирование сварочного тока. Как правило, сварочные трансформаторы имеют падающую характеристику. Их используют для ручной дуговой и автоматической сварки под флюсом. Трансформаторы с жесткой характеристикой применяют для электрошлаковой сварки. Регулирование сварочного тока и создание нужной внешней характеристики в сварочных трансформаторах обеспечивается за счет индуктивного сопротивления путем изменения магнитных потоков рассеяния.

Основные типы сварочных трансформаторов. В зависимости от способа создания в цепи дуги индуктивного сопротивления сварочные трансформаторы делят на две группы: с нормальным магнитным рассеянием и реактивной катушкой — дросселем; с увеличенным магнитным рассеянием. Однако трансформаторы с нормальным магнитным рассеянием в настоящее время менее распространены и практически не выпускаются. Например, для автоматической сварки под флюсом используют трансформатор ТСД-1000-4, имеющий дистанционное управление. Поэтому сейчас в основном используют трансформаторы второй группы.

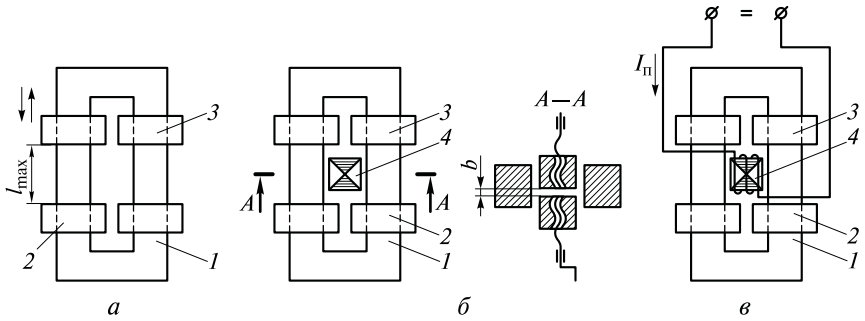


Рис. 10.5. Схемы трансформаторов с увеличенным магнитным рассеянием:

a — с раздвижными обмотками; *б* — с подвижным шунтом; *в* — с управляемым шунтом; 1 — магнитопровод; 2 — первичная обмотка; 3 — вторичная обмотка; 4 — шунт; l_{\max} — максимально возможное расстояние между обмотками; b — зазор в шунте; I_n — постоянный ток управления шунтом

Трансформаторы с увеличенным магнитным рассеянием относятся к стержневому типу (рис. 10.5). В них первичная и вторичная обмотки разнесены по высоте магнитопровода и имеют только электромагнитную связь. При прохождении тока по обмоткам катушек возникают магнитные потоки, основная часть которых замыкается по сердечнику магнитопровода. Другая часть их замыкается по воздуху, создавая потоки рассеяния, наводящие в трансформаторе реактивную ЭДС, которая определяет его индуктивное сопротивление, обеспечивающее создание падающей вольт-амперной характеристики. Сварочные трансформаторы с увеличенным магнитным рассеянием существуют трех типов: с раздвижными обмотками, с подвижными магнитными шунтами, с управляемыми магнитными шунтами. В настоящее время трансформаторы с увеличенным магнитным рассеянием распространены более широко.

Трансформаторы с раздвижными обмотками состоят из магнитопровода 1 (см. рис. 10.5, *a*) и двух обмоток, из которых первичная 2 закреплена неподвижно, а вторичная 3 — подвижная. Регулирование сварочного тока осуществляется изменением расстояния между ними. По этому принципу работают сварочные трансформаторы типа ТД, ТДМ. Трансформаторы этих типов наиболее часто используют для ручной дуговой сварки. Конструктивные особенности трансформаторов этой группы показаны на примере трансформатора ТД-500У2 (рис. 10.6, *a*), предназначенного для ручной и механизированной дуговой сварки, резки и наплавки металлов. Трансформатор представляет собой передвижной источник питания дуги, выполненный в однокорпусном исполнении с естественным охлаждением. Внутри корпуса 1 расположены маг-

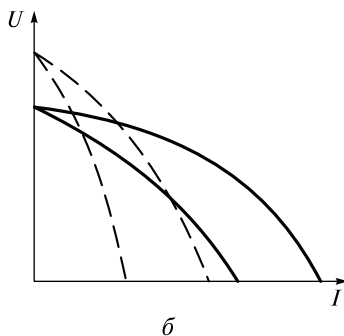
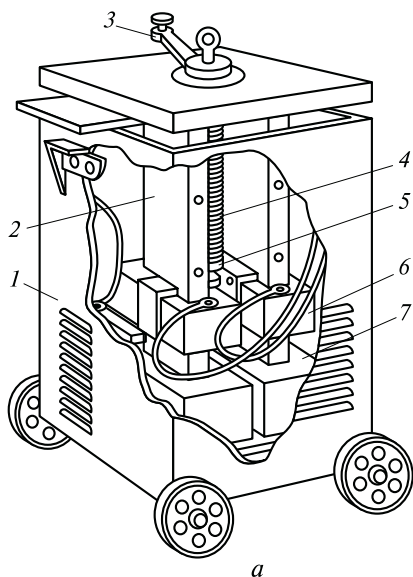


Рис. 10.6. Устройство и внешние характеристики трансформатора ТД-500У2:

a — конструкция; *б* — внешние характеристики; 1 — корпус; 2 — магнитопровод; 3 — ручка винта; 4 — ходовой винт; 5 — ходовая гайка; 6, 7 — обмотки; — — — — большие токи; — — — — малые токи

нитопровод 2, первичная 6 и вторичная 7 обмотки, переключатель ступеней тока и токоуказательный механизм. Каждая из обмоток имеет по две катушки. Перемещение подвижной вторичной обмотки производится с помощью ходового винта 4. Вращая ходовой винт, изменяют расстояние между обмотками.

Сварочный ток регулируется изменением индуктивного сопротивления. В трансформаторе предусмотрены две ступени регулирования сварочного тока. Ступени переключаются специальным переключателем. На каждой из ступеней плавное регулирование силы тока осуществляется изменением расстояния между обмотками. При сближении катушек уменьшается индуктивное сопротивление, что приводит к увеличению сварочного тока, при их раздвижении сварочный ток уменьшается. Вследствие повышенной индуктивности рассеяния трансформатор обладает падающими вольт-амперными характеристиками (рис. 10.6, б).

Трансформаторы с подвижным магнитным шунтом состоят из магнитопровода 1 (см. рис. 10.5, б) с расположенными на нем первичной 2 и вторичной 3 обмотками. Внутри магнитопровода установлен перемещающийся магнитный шунт 4, представляющий собой два пакета из пластин электротехнической стали. С помощью поворота шунта изменяют магнитные потоки рассеяния. При уменьшении зазора между пакетами шунта часть магнитного потока будет замыкаться через шунт, магнитная связь между первичной и вторичной обмотками будет уменьшаться, а следовательно, будет уменьшаться и сварочный ток. При увели-

чении этого зазора большая часть магнитного потока будет проходить по основному магнитопроводу, магнитная связь между обмотками увеличится, что приведет к увеличению сварочного тока. Такой принцип применен, например, в сварочном трансформаторе СТШ-500.

Трансформаторы с управляемым магнитным шунтом также имеют магнитопровод 1 (см. рис. 10.5, в) с расположенными на нем первичной 2 и вторичной 3 обмотками. Магнитный шунт 4 с обмоткой управления расположен в окне магнитопровода. Достоинством таких трансформаторов является возможность расширения пределов регулирования сварочного тока при отсутствии подвижных частей в конструкции, что определяет их надежность и долговечность. Обмотка управления питается постоянным током. Чем больший поток она создает, тем больше будет насыщение сердечника шунта и меньше магнитный поток рассеяния трансформатора. Таким образом, большему току подмагничивания в обмотке управления шунта соответствует большее значение сварочного тока, и наоборот. По такому принципу работают трансформаторы ТДФ, применяемые для автоматической дуговой сварки под флюсом, а также трансформаторы типа ТСФЖ с тиристорным управлением.

Основные параметры сварочных трансформаторов для ручной сварки регламентированы ГОСТ 95—77. Выпускаются трансформаторы переносные, рассчитанные на силу тока 125...250 А при номинальном рабочем напряжении 25...30 В, и передвижные, рассчитанные на силу тока 250...500 А при минимальном рабочем напряжении 30...40 В.

Основные параметры трансформаторов для автоматической сварки регламентированы ГОСТ 7012—77. Их выпускают рассчитанными на номинальный сварочный ток 630...2000 А при номинальном рабочем напряжении 48...76 В.

При электрошлаковой сварке используют специальные однофазные и трехфазные сварочные трансформаторы, обладающие жесткими вольт-амперными характеристиками. К ним относятся трансформаторы ТШС-1000-1, ТШС-1000-3.

Для дуговой сварки алюминиевых сплавов в защитных газах на переменном токе также применяют специальные установки. Наиболее распространены для сварки металла толщиной до 10 мм установки типа УДГ. Основной элемент их конструкции — сварочный трансформатор с электромагнитным шунтом, обеспечивающий крутопадающую внешнюю характеристику. Значительное место в их конструкции занимает батарея конденсаторов, включенная в сварочную цепь последовательно с обмоткой трансформатора с целью устранения постоянной составляющей сварочного тока (см. гл. 3). Кроме того, для возбуждения дуги предусмотрен осциллятор и для стабилизации дугового разряда в момент перехода тока через ноль — стабилизатор. Для дуговой сварки неплавя-

Технические характеристики сварочных трансформаторов

Трансформатор	Напряжение холостого хода $U_{х.х.}$, В	Номинальное напряжение $U_{ном.}$, В	Номинальная сила сварочного тока $I_{ном.}$, А	Диапазон регулирования силы тока, А	Потребляемая мощность, кВт	ПН при $I_{ном.}$, %	Масса, кг
<i>Трансформаторы с раздвижными обмотками</i>							
ТД-306	80	30	250	100...300	19,4	60	67
ТД-500	60...76	38	500	90...600	32	60	210
ТДМ-250	75	26	250	30...280	22	20	55
ТДМ-317	60...80	32	315	60...360	32	60	130
ТДМ-503	65...80	40	500	90...560	36	60	170
<i>Трансформаторы с подвижным шунтом</i>							
СТШ-300	63	30	300	110...400	20,5	60	158
СТШ-500	60	30	500	60...600	44,5	60	323
<i>Трансформаторы с подмагничиваемым управляемым шунтом</i>							
ТДФ-1001	70	40	1 000	400...1 200	80	100	740
ТДФ-1601	90	40	1 600	600...1 800	182	100	990
ТДФ-2001	80	40	2 000	800...2 200	170	65	—
ТДФЖ-2002	120	40	2 000	600...2 200	260	100	490
<i>Установки для сварки алюминиевых сплавов</i>							
УДГ-301	75	—	315	15...315	25	60	—
УДГ-501	72	—	500	40...500	40	60	—
УДГУ-301	75	—	315	15...315	25	60	—
УДГУ-501	65	—	500	15...500	30	60	—

шимся электродом выпускаются установки типа УДГУ, позволяющие вести процесс как на переменном, так и на постоянном токе. Разработаны и применяются в промышленности специализированные установки типа ТИР, в которых переменный сварочный ток имеет не синусоидальную, а прямоугольную форму каждой полуволны.

Технические характеристики перечисленных типов сварочных трансформаторов приведены в табл. 10.1.

Выбор трансформаторов для разных способов сварки. При решении вопроса о выборе трансформатора для разных способов сварки на переменном токе в первую очередь определяют вид вольт-амперной характеристики дуги при данных условиях сварки и рассматривают ее параметры в зависимости от режима сварки. Затем на основании условий эксплуатации сварочных трансформаторов и заданных электрических параметров режима выбирают сварочный трансформатор требуемой мощности и необходимого режима его работы (продолжительный, перемежающийся или повторно-кратковременный). При этом учитывают соответствие вольт-амперной характеристики дуги с внешней характеристикой сварочного трансформатора.

Пример 1. Выбрать источник питания переменного тока для ручной дуговой сварки покрытыми электродами марки АНО-3 диаметром 4 мм в нижнем положении.

Решение. В табл. П.1 Приложения 1 находим, что для электродов диаметром 4 мм сварочный ток равен 150...200 А. Для заданной силы тока вольт-амперная характеристика будет жесткой. Для ручной дуговой сварки покрытыми электродами на переменном токе применяют трансформаторы с подвижными обмотками и падающей внешней характеристикой. При такой внешней характеристике ток короткого замыкания будет немного превышать рабочий ток. Кроме того, сварочный ток в процессе изменяется незначительно при частых изменениях длины дуги, характерных для ручной сварки. В результате тепловой режим сохраняется устойчивым в процессе сварки. Наличие жесткой вольт-амперной характеристики дуги хорошо согласуется с падающей внешней характеристикой источника питания дуги для обеспечения устойчивого процесса горения дуги. Напряжение дуги при ручной дуговой сварке находится в пределах 20...36 В и устанавливается в зависимости от конкретных условий сварки. Для правильного выбора источника питания дуги необходимо знать его технические характеристики (см. табл. 10.1). Заданным параметрам наиболее удовлетворяют трансформаторы ТД-306 и ТДМ-317. Применение трансформаторов меньшей мощности не обеспечит нужный режим сварки, а большей мощности — экономически не эффективно.

Исходя из общего цикла работы, принятого для источников питания дуги при ручной сварке (5 мин), трансформатор ТД-306 обеспечивает работу в режиме 1 мин с паузой в течение 4 мин, трансформатор ТДМ-317 соответственно — 3 и 2 мин, поэтому для обеспечения заданных

параметров трансформатор ТД-306 более пригоден при использовании в монтажных условиях в режиме кратковременной работы, а трансформатор ТДМ-317 — в стационарных условиях, где требуется более продолжительная работа.

Пример 2. Выбрать источник питания дуги переменного тока для сварки под флюсом из стали Ст3 толщиной 10 мм одностороннего стыкового соединения без разделки кромок.

Решение. Находим, что для стали толщиной 10 мм при односторонней сварке под флюсом применяют электрод диаметром 5 мм и силу тока 700...750 А, напряжение дуги 34...38 В, скорость сварки 28...30 м/ч. При заданных условиях вольт-амперная характеристика дуги будет возрастающей, следовательно, для обеспечения устойчивого процесса сварки необходимо применение источника питания дуги с жесткой внешней характеристикой. Для автоматической сварки под флюсом выпускают трансформаторы типа ТДФ (см. табл. 10.1). Для данных условий более подходит трансформатор ТДФ-1001, имеющий $I_{\text{ном}} = 1000$ А и жесткую внешнюю характеристику.

10.3. Сварочные выпрямители

Общие сведения. Сварочные выпрямители представляют собой устройства, предназначенные для преобразования переменного тока в постоянный (выпрямленный). Они состоят из следующих основных узлов: силового трансформатора для понижения напряжения сети до необходимого напряжения холостого хода источника, блока полупроводниковых элементов для выпрямления переменного тока, стабилизирующего дросселя для уменьшения пульсаций выпрямленного тока. Выпрямительный блок представляет собой набор полупроводниковых элементов, включенных по определенной схеме. Особенность полупроводниковых элементов заключается в том, что они проводят ток только в одном направлении, в результате чего сила тока становится постоянной (выпрямленной). Такие элементы обладают вентильным эффектом — пропускают ток в одном направлении; их называют полупроводниковыми вентилями. Полупроводниковые вентили делятся на неуправляемые — диоды и управляемые — тиристоры (рис. 10.7).

В качестве материала для кремниевого диода (рис. 10.7, б) применяют тонкую кремниевую пластину — катод, на одну сторону которой нанесен слой алюминия — анод. При непосредственном контактировании двух полупроводников в месте контакта образуется переходный слой Π_1 , легко пропускающий электрический ток в одном направлении (от анода к катоду) и почти не пропускающий его в обратном направлении. Такой кремниевый диск с переходным слоем, впаянный в неразборный герметический корпус (рис. 10.7, а), который на одном конце имеет шпильку для винчивания в охладитель, а на другом конце — вывод в виде

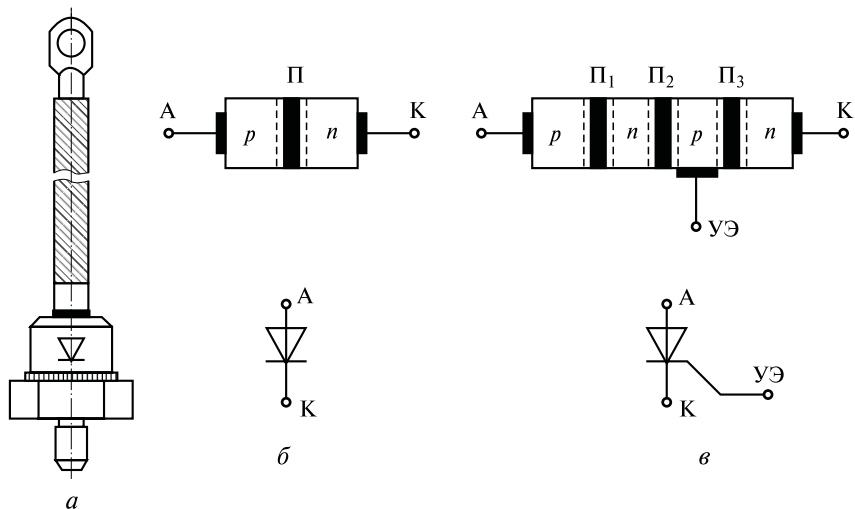


Рис. 10.7. Схема и устройство диода и тиристора:

a — полупроводниковый элемент; *б* — схема диода; *в* — схема тиристора; А — анод; К — катод; УЭ — управляющий электрод; П, П₁–П₃ — переходы

гибкого провода, изолированного от корпуса, и представляет собой конструкцию диода.

Кремниевый тиристор имеет четыре слоя и три перехода (рис. 10.7, *в*). Если к такому элементу приложить внешнее напряжение от анода к катоду, то средний переход П₂ оказывается включенным в обратном направлении, и тиристор тока не пропускает (заперт). Его можно отпереть, если подать на его управляющий электрод (УЭ) положительный потенциал (импульс). В этом случае переход П₂ открывается, и ток идет по тиристорному от анода к катоду. Тиристор снова заперется лишь при спаде протекающего по нему тока до нуля. Изменяя по фазе электрический угол открывания тиристора, т. е. время подачи импульса относительно начала синусоиды питающего напряжения, можно регулировать среднее значение выпрямленного тока. Таким образом, тиристор будет выполнять функции не только выпрямителя, но и регулятора сварочного тока. Изменяют время подачи импульса, а следовательно, и силу тока с помощью специального электронного устройства. Конструктивно кремниевый тиристор выполнен, как и кремниевый диод, но имеет еще третий (управляющий) электрод. В промышленности в настоящее время получили распространение кремниевые и селеновые диоды и кремниевые тиристоры.

На рис. 10.8 показана схема выпрямления однофазного переменного тока. Она состоит из силового однофазного тока трансформатора и четырех диодов, включенных по мостовой схеме. При

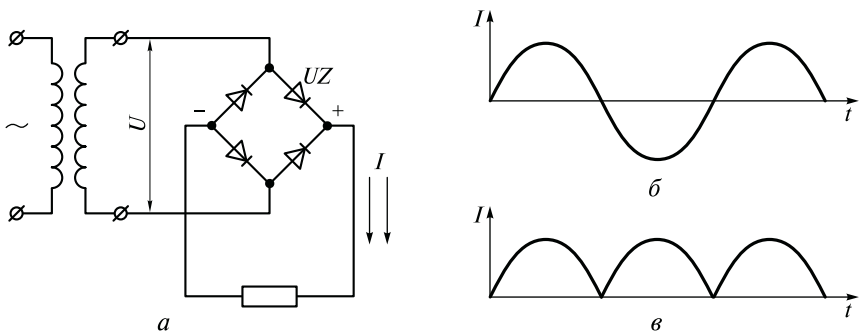


Рис. 10.8. Схема выпрямления однофазного переменного тока:

a — схема включения; *б* — ток внешней цепи; *в* — выпрямленный ток; U — напряжение источника тока; UZ — выпрямитель; I — ток источника; t — время

таким варианте получают непрерывный выпрямленный пульсирующий ток с падением его до нуля после каждого полупериода. В сварочных выпрямителях силовой трансформатор применяют, как правило, трехфазный, что обеспечивает равномерную нагрузку трехфазной сети, а также позволяет получать меньшие пульсации выпрямленного тока. В этом случае диоды соединяют по трехфазной мостовой схеме двухполупериодного выпрямителя (рис. 10.9), представляющей собой мост из шести плеч. В каждом плече моста установлены вентили. Диоды в плечах каждой фазы соединены последовательно. В трех плечах соединены между собой

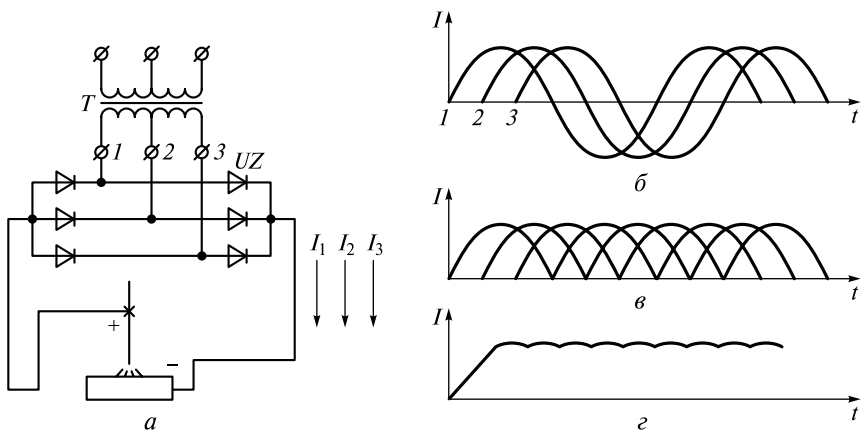


Рис. 10.9. Выпрямление трехфазного переменного тока:

a — схема включения; *б* — трехфазный ток; *в*, *г* — выпрямленные токи; 1–3 — фазы трансформатора; T — трансформатор; UZ — выпрямитель; I_1 – I_3 — фазовые токи

Технические характеристики сварочных выпрямителей

Параметры	ВСВУ-400	ВД-306УЗ	ВДГ-303	ВДГ-601	ВДУ-506	ВДУ-1201
Вид вольт-амперной характеристики	Падающая	Падающая	Жесткая	Жесткая	Универсальная	Универсальная
Номинальный сварочный ток, А	400	315	315	630	500	1 200
Диапазон регулирования силы тока, А	5 ... 400	45 ... 315	50 ... 315	100 ... 630	50 ... 500	300 ... 1 200
Напряжение холостого хода, В	100	70	60	90	80	100
Режим работы ПВ, %	60	60	60	60	60	100
Потребляемая мощность, кВт · А	15,5	24	13	69	40	120
Масса, кг	—	180	230	595	310	850

все катоды, составляющие катодную группу выпрямителя, в остальных трех — все аноды, образующие анодную группу. Такая схема обеспечивает выпрямление обоих полупериодов переменного трехфазного тока во всех трех фазах. Применение трехфазной мостовой схемы позволяет свести пульсации выпрямленного тока до минимума.

Выпрямители для ручной дуговой сварки изготавливают рассчитанными на номинальные значения сварочного тока 125... 500 А при номинальном рабочем напряжении 25... 40 В.

Выпрямители для механизированной и автоматической сварки изготавливают рассчитанными на номинальные значения сварочного тока 500... 2 000 А при номинальном рабочем напряжении 46... 66 В. Технические характеристики некоторых типов выпрямителей, широко применяемых в производстве, приведены в табл. 10.2.

Сварочные выпрямители для ручной и механизированной дуговой сварки. Для ручной дуговой сварки штучными электродами обычно применяют сварочные выпрямители типа ВД с падающей вольт-амперной характеристикой. При сварке плавящимся электродом в защитных газах процесс ведут при большой силе сварочного тока при возрастающей вольт-амперной характеристике дуги, особенно при сварке в углекислом газе. Для устойчивого горения дуги в этих условиях требуется источник с жесткой внешней характеристикой. Такой характеристикой обладают выпрямители типа ВДГ. В универсальных сварочных выпрямителях типа ВДУ предусмотрена возможность ведения процесса с переключением или падающей или жесткой вольт-амперной характеристикой.

Сварочный выпрямитель ВД-306УЗ предназначен для питания сварочной дуги постоянным током при ручной дуговой сварке, наплавке и резке металлов при питании от сети трехфазного переменного тока. Он состоит из понижающего сварочного трансформатора 2 (рис. 10.10, а) с подвижной первичной обмоткой, выпрямительного кремниевого блока 3 с вентилятором 1, пусковой и защитной аппаратуры. Все составляющие части выпрямителя смонтированы на каркасе тележки и защищены кожухом из листового металла. Напряжение, необходимое для процесса сварки, падающая внешняя характеристика выпрямителя и регулирование сварочного тока обеспечиваются трехфазным трансформатором с повышенным магнитным рассеянием. Выпрямитель имеет два диапазона регулирования сварочных токов. Внутри каждого диапазона плавное регулирование сварочного тока производится изменением расстояния между обмотками сварочного трансформатора. Внешние характеристики выпрямителя (рис. 10.10, б) имеют крутопадающую рабочую часть с небольшими кратностями тока короткого замыкания — 1,2—1,4 от сварочного тока при номинальном рабочем напряжении.

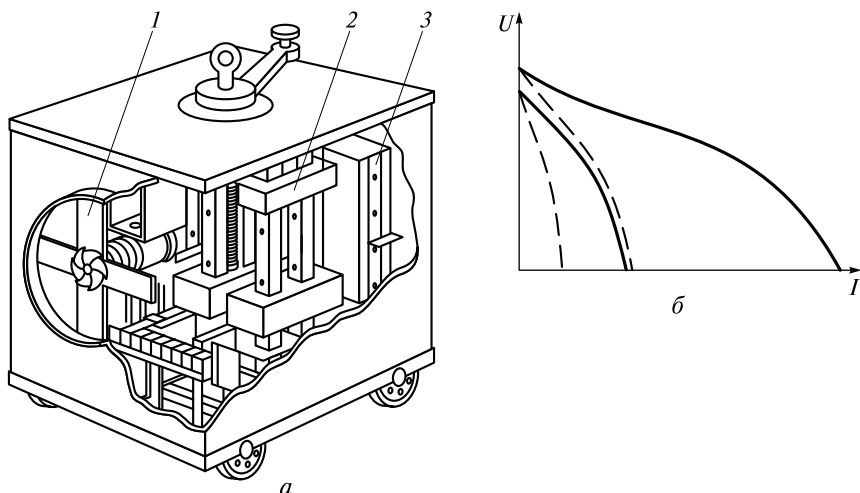


Рис. 10.10. Сварочный выпрямитель ВД-306УЗ:

a — устройство; *б* — внешние характеристики; 1 — вентилятор; 2 — трансформатор; 3 — выпрямительный блок; — — — — большие токи; — — — — малые токи

Сварочный выпрямитель ВДГ-601 предназначен для однопостовой механизированной сварки в среде углекислого газа на форсированных режимах. Выпрямитель имеет трехфазный трансформатор, силовой выпрямительный блок на тиристорах, собранных на шестифазной схеме, дроссель в сварочной цепи, блок управления тиристорами, блок управления сварочным полуавтоматом, подогреватель газа, пускорегулирующую и защитную аппаратуру. Для подключения выпрямителя к сети и подключения сварочного провода имеются специальные зажимы. Силовой сварочный трансформатор — стержневого типа, трехфазный. Первичная и вторичная обмотки расположены концентрически на стержнях магнитопровода. Силовой выпрямительный блок состоит из шести тиристоров. Охлаждение выпрямителя воздушное, принудительное. Плавное регулирование сварочного напряжения осуществляется резисторами, расположенными на блоке управления (местное управление), или с пульта управления полуавтоматом (дистанционное управление). Выпрямитель имеет жесткую внешнюю характеристику.

Сварочные выпрямители ВСВУ и ВСП относятся к тиристорным выпрямителям. Их отличие от перечисленных выпрямителей заключается в наличии тиристорного выпрямительного блока, который может использоваться в качестве регулятора силы тока. За счет управляющих импульсов, подаваемых на тиристор-

ный блок, формируют вольт-амперную характеристику выпрямителя и осуществляют его настройку на заданный режим непрерывной или импульсной дуговой сварки. Для этой цели в источнике предусмотрен специальный блок фазоимпульсного управления. Тиристорные выпрямители отличаются высокой стабилизацией по напряжению и силе тока дуги при изменениях напряжения питающей сети, длины дуги и температуры окружающей среды.

Принципиальная электрическая схема выпрямителей типа ВСВУ приведена на рис. 10.11, *а*. Трехфазный силовой трансформатор имеет одну первичную обмотку W_1 и две вторичные W_2 и $W_{2в}$. Обмотка W_2 подключена к тиристорному выпрямителю $UZ1$, выполняющему роль регулятора тока и имеющему пологопадающую вольт-амперную характеристику. От вторичной обмотки $W_{2в}$ напряжение подводится к диодному выпрямительному блоку $UZ2$, образующему вспомогательный источник питания дуги с крутопадающей вольт-амперной характеристикой с помощью дросселей L . Вспомогательный источник питания предназначен для зажигания дуги, сварки на малых токах и др. В процессе сварки дуга питается одновременно от обоих источников. Совмещение двух источников питания позволило существенно снизить напряжение холостого хода основного источника и сформировать крутопадающие внешние характеристики в области рабочих токов

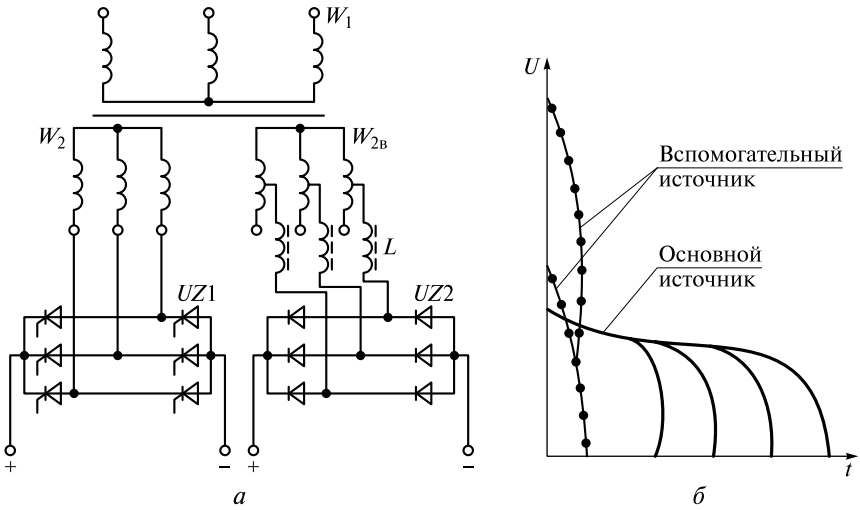


Рис. 10.11. Электрическая схема (*а*) и внешние характеристики (*б*) выпрямителя типа ВСВУ:

W_1 — первичная обмотка; $W_2, W_{2в}$ — вторичные обмотки; $UZ1, UZ2$ — выпрямители; L — дроссель

(рис. 10.11, б). Выпрямители этого типа (ВСВУ-315, ВСВУ-400) используют для ручной, полуавтоматической и автоматической сварки, вольфрамовым электродом импульсной или непрерывной дугой.

Выпрямители типа ВСП предназначены для механизированной сварки плавящимся электродом и имеют пологопадающие внешние характеристики. Единая принципиальная схема источников обоих типов реализована в виде унифицированных блоков. В настоящее время эти выпрямители получили широкое распространение в промышленности.

Выбор выпрямителей для разных способов сварки. При выборе сварочного выпрямителя для разных способов сварки определяют вольт-амперную характеристику дуги и рассчитывают параметры режима сварки. Далее на основании технических условий эксплуатации сварочных выпрямителей и заданных электрических параметров сварки выбирают сварочный выпрямитель требуемой мощности и с необходимым режимом его работы (продолжительный, перемежающийся или повторно-кратковременный), устанавливают соответствие вольт-амперной характеристики дуги с внешней характеристикой источника питания дуги.

Пример 1. Выбрать источник питания постоянного тока для ручной дуговой сварки на постоянном токе 270 А.

Решение. При ручной дуговой сварке покрытыми электродами на постоянном токе 270 А дуга имеет жесткую вольт-амперную характеристику. Для обеспечения устойчивого процесса горения дуги в этом случае необходимо применение выпрямителя с падающей внешней характеристикой. Напряжение дуги при ручной сварке находится в пределах 26...30 В. Для выбора сварочного выпрямителя необходимо знать его технические характеристики (см. табл. 10.2). Наиболее полно удовлетворяет заданным параметрам выпрямитель ВД-306, который обеспечивает работу в течение 3 мин при паузе 2 мин.

Пример 2. Выбрать источник питания постоянного тока для механизированной сварки в среде углекислого газа на токе 500 А.

Решение. Для механизированной сварки в среде углекислого газа применяют выпрямители с жесткой или возрастающей внешней характеристикой, поскольку в этих условиях вольт-амперная характеристика дуги также является жесткой или возрастающей. Напряжение сварочной дуги в среде углекислого газа находится в пределах 22...34 В.

Для механизированной сварки в среде защитных газов выпускают выпрямители с жесткой вольт-амперной характеристикой и универсальные — с жесткой и возрастающей вольт-амперной характеристикой. Заданным условиям наиболее удовлетворяет выпрямитель ВДГ-601, имеющий жесткую внешнюю вольт-амперную характеристику. В зависимости от конкретных условий на выходе выбранного выпрямителя устанавливают напряжение, обеспечивающее стабильное горение дуги. Сварку в среде углекислого газа рекомендуется выполнять на обратной полярности.

10.4. Сварочные электромашинные генераторы и преобразователи

Источниками постоянного тока для сварки наряду с выпрямителями являются сварочные генераторы, преобразующие механическую энергию в электрическую. Принцип действия электрического генератора основан на явлении электромагнитной индукции. Электромагнитной индукцией называют явление возникновения ЭДС в проводнике при перемещении его в магнитном поле, пересекающем этот проводник. Значение возникающей ЭДС зависит от скорости движения проводника, величины магнитного потока и длины проводника (число витков катушки). Сварочные генераторы постоянного тока относятся к электрическим машинам специального назначения. В настоящее время промышленность выпускает генераторы с коллекторным и вентильным способами выпрямления тока.

Сварочный генератор коллекторного типа состоит из статора с магнитными полюсами и якоря с обмоткой и коллектором. При работе генератора якорь вращается в магнитном поле, создаваемом полюсами статора. Обмотка якоря пересекает магнитные силовые линии полюсов генератора, и в ее витках возникает переменный ток, который с помощью коллектора преобразуется в постоянный. К коллектору прижаты угольные щетки, через которые постоянный ток снимается с коллектора и подводится к выходным зажимам. К этим зажимам присоединяют сварочные провода, идущие к электроду и изделию.

В сварочном генераторе ЭДС наводится магнитными потоками, образующимися в самом генераторе:

$$E = C\Phi_r,$$

где C — постоянная генератора (зависит от конструкции); Φ_r — суммарный магнитный поток.

Все генераторы имеют намагничивающие обмотки возбуждения W_n , питающиеся от независимого источника либо от самого генератора. В первом случае генераторы с независимым возбуждением, во втором — с самовозбуждением (рис. 10.12). Намагничивающие обмотки имеют большое число витков (200—500), их выполняют из тонкого провода диаметром 1,5...2,5 мм и располагают на отдельных башмаках корпуса генератора. Намагничивающий ток I_n в этих обмотках невелик (2...20 А) и регулируется резистором R .

При протекании намагничивающего тока в обмотке W_n в генераторе наводится намагничивающий магнитный поток Φ_n :

$$\Phi_n = I_n W_n / R_{mn},$$

где I_H — ток в намагничивающей обмотке; W_H — число витков в намагничивающей обмотке; R_{MH} — сопротивление магнитной цепи. При холостом ходе ЭДС генератора E_r и напряжение U_0 определяют по формуле

$$E_r = C\Phi_H = \frac{I_H W_H}{R_{MH}} = U_0.$$

Изменением тока намагничивания осуществляется плавное регулирование напряжения холостого хода, а следовательно, и работы генератора. Напряжение на зажимах генератора при нагрузке рассчитывается по формуле

$$U_r = E_r - I_r R_r,$$

где I_r — ток в якорной цепи генератора; R_r — суммарное сопротивление в цепи генератора.

В генераторах имеется и последовательная обмотка возбуждения с малым числом витков (3—5). По этой обмотке, включенной последовательно с дугой, протекает ток, равный силе тока дуги. Магнитный поток, наводимый намагничивающей силой последовательной обмотки, возникает только при нагрузке генератора (при сварке). В зависимости от способа включения последовательной обмотки магнитный поток от нее имеет то же направление, что и намагничивающий поток Φ_H , или направление, противоположно ему. При работе генератора его ЭДС будет зависеть от суммарного потока $\Phi_H \pm \Phi_P$:

$$E_r = C(\Phi_H \pm \Phi_P),$$

где Φ_P — магнитный поток последовательной обмотки.

За счет этого можно получить падающие или возрастающие внешние характеристики генераторов. Последовательная обмотка

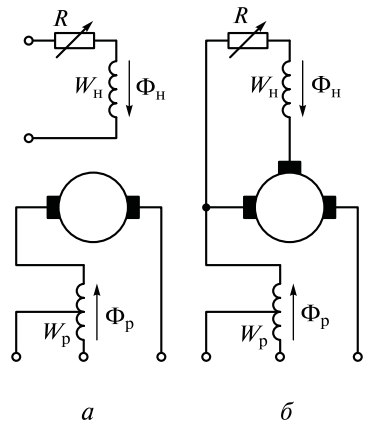


Рис. 10.12. Электрические схемы сварочных генераторов:

a — с независимым возбуждением; *б* — с самовозбуждением; W_H — намагничивающая обмотка возбуждения; Φ_H — намагничивающий поток; W_P — размагничивающая обмотка возбуждения; Φ_P — размагничивающий поток; R — резистор

секционирована. Включая либо все ее витки, либо половину, можно ступенчато регулировать сварочные режимы на два диапазона. В пределах диапазонов режимы регулируют плавно путем изменения силы тока в намагничивающей обмотке возбуждения.

Сварочные генераторы выполняют по различным электрическим схемам. Они могут быть с падающей внешней характеристикой (генераторы ГСО в преобразователях типа ПСО-300, ПСО-500 и др.), с жесткой или пологопадающей характеристикой (генераторы ГСГ в преобразователях типа ПСГ-500) и универсальные (преобразователи ПСУ-300, ПСУ-500).

Вращение якоря генератора может производиться с помощью электрического двигателя или двигателя внутреннего сгорания. Установку, состоящую из сварочного генератора и приводного трехфазного асинхронного электродвигателя, называют *сварочным преобразователем* (например, преобразователи ПСГ-500-1, ПД-502 и др.).

Установку, состоящую из сварочного генератора и приводного двигателя внутреннего сгорания, называют *сварочным агрегатом*. Агрегаты используют в основном для ручной сварки и резки в монтажных и полевых условиях, где отсутствуют электрические сети. В этих условиях рациональным является использование бесколлекторных сварочных генераторов с вентильным способом выпрямления тока. Вентильные генераторы вырабатывают трехфазный переменный ток частотой 200 или 400 Гц, который затем преобразуется в постоянный выпрямительным блоком из кремниевых диодов, а отсутствие коллектора упрощает конструкцию и повышает эксплуатационную надежность источника тока. Например, по такой схеме работают генераторы типа ГД-4006. Генераторы относятся к вентильным индукторным бесщеточным электрическим машинам, имеющим падающую, жесткую вольт-амперную характеристику. Регулировка сварочного тока трехступенчатая и плавная, в пределах каждой ступени в диапазонах 60... 170 А, 150... 330 А, 300... 450 А, с дистанционным управлением. На базе вентильных генераторов комплектуются сварочные агрегаты с дизельными двигателями, например АДД-4001. Номинальный ток агрегата составляет 400 А ($\text{ПН} = 60\%$), напряжение холостого хода — 100 В. Агрегат предназначен для питания одного поста ручной дуговой сварки.

10.5. Источники питания с частотными преобразователями (инверторные)

В промышленности наблюдается общая тенденция к модернизации и совершенствованию технологических процессов и применяемого оборудования. В сварочном производстве одним из пер-

спективных направлений является создание энергосберегающего оборудования с использованием высокочастотных преобразователей. Так, в последние годы расширяется применение источников питания инверторного типа. Основным элементом такого источника является высокочастотный преобразователь тока — инвертор, преобразующий постоянный ток в переменный высокой частоты. Преобразование тока производится с помощью коммутационных элементов тиристорного или транзисторного типа, работающих на частотах, достигающих десятков килогерц. У таких источников масса и габариты уменьшаются в несколько раз по сравнению с безинверторными. Они имеют коэффициент мощности 0,95...0,98, малые потери, более высокие КПД и динамические свойства.

На рис. 10.13 приведена функциональная схема инверторного источника питания для дуговой сварки. Переменное напряжение питающей сети частотой 50 Гц и напряжением 220 или 380 В подается на низкочастотный выпрямитель НВ. После выпрямления оно преобразуется инвертором ИНВ в переменное напряжение высокой частоты (до десятков килогерц), после чего поступает на понижающий высокочастотный силовой трансформатор Т. Со вторичной обмотки трансформатора ток через высокочастотный выпрямитель ВВ и сглаживающий дроссель Д, поступает непосредственно к месту сварки. Формирование внешних характеристик и регулирование сварочного режима осуществляется системой управления блока обратных связей БУ. Питание трансформатора напряжением высокой частоты позволяет существенно снизить его массу и размер. Например, расчетная масса трансформатора мощностью 20 кВ·А при питании напряжением частотой 50 Гц составляет более 100 кг, а при 50 кГц — не более 10 кг.

Инверторные источники обеспечивают легкое зажигание и эластичность дуги, управляемое плавление электрода с мелкокапель-

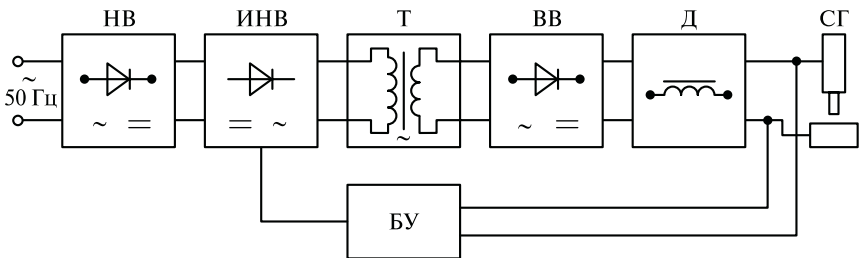


Рис. 10.13. Функциональная схема инверторного источника питания: НВ — низкочастотный выпрямитель; ИНВ — инвертор; Т — трансформатор; ВВ — высокочастотный выпрямитель; Д — дроссель; СГ — сварочная горелка; БУ — блок управления

Технические характеристики инверторных источников тока

Параметры	ВДУЧ-1371	ВДУЧ-315	Р-321И	ДС-400
Напряжение сети, В	1×220	3×380	220×380	3×380
Диапазон токов, А	5 ... 130	40 ... 315	40 ... 320	50...400
Диапазон напряжений, В	16 ... 24	16 ... 36	14 ... 26	16 ... 36
Потребляемая мощность, кВт·А	6	15	9,5	—
Продолжительность нагрузки, %	100	40 ... 100	60 ... 100	90
Масса, кг	8	45	30	45

ным и струйным переносом металла, понижение напряжения холостого хода, экономию электроэнергии на 30...40 %, плавную дистанционную регулировку параметров сварочного режима. Характеристики некоторых инверторных источников приведены в табл. 10.3.

Источники с инверторными преобразователями применяют для дуговой сварки на постоянном и переменном токе плавящимся и неплавящимся электродами в непрерывном и импульсном режимах, для ручной и механизированной сварки в защитных газах сталей и алюминиевых сплавов, в первую очередь для изделий малых и средних толщин. Однако можно предполагать, что в недалеком будущем на основе инверторов будут созданы и более мощные источники для электрошлаковой сварки и сварки под флюсом.

10.6. Многопостовые источники питания дуги

При необходимости размещения значительного числа сварочных постов на ограниченной производственной площади целесообразно применять более мощные источники питания. Такие источники обеспечивают работу нескольких постов одновременно через общий шинопровод, подключенный к выходным зажимам источника. Такие источники называют многопостовыми источниками питания.

Основное требование, предъявляемое к многопостовым источникам питания дуги, — обеспечение устойчивой работы каждого подключенного к нему поста как в установившемся, так и в переходных режимах независимо от воздействия других постов. Эта

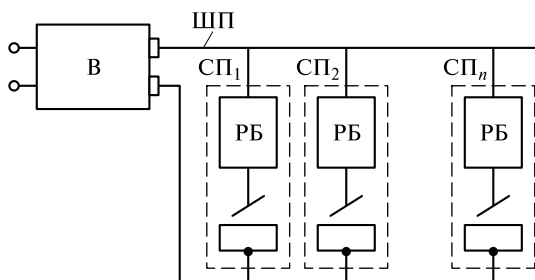


Рис. 10.14. Схема подключения сварочных постов к многопостовому источнику:

В — источник тока; СП₁—СП_n — сварочные посты; ШП — шинопровод; РБ — балластное сопротивление

независимость постов обеспечивается неизменностью напряжения холостого хода вдоль шинопровода для каждого поста. Многопостовое питание часто используют для ручной дуговой сварки покрытыми электродами, автоматической сварки под флюсом и механизированной сварки в среде углекислого газа. При многопостовом питании каждый сварочный пост подключается к шинопроводу через отдельное постовое (балластное) сопротивление.

Схема подключения показана на рис. 10.14. Многопостовой источник В обслуживает n сварочных постов (СП₁—СП_n) через общий шинопровод ШП. Каждый сварочный пост подключен к шинопроводу через балластное сопротивление РБ.

10.7. Вспомогательные устройства для источников питания

Многие специализированные источники питания дуги для сварки на переменном и постоянном токе комплектуют устройствами, облегчающими зажигание дуги.

Осцилляторы, представляющие собой маломощные (100... 300 Вт) высокочастотные генераторы, создающие токи высокого напряжения (2... 5 кВ) и высокой частоты (150... 250 кГц), получили наибольшее распространение.

Питание сварочной дуги токами высокой частоты и высокого напряжения параллельно с основным источником сварочного тока повышает устойчивость горения дуги и облегчает ее зажигание. Зажигание дуги обеспечивается даже без соприкосновения электрода с изделием, что особенно необходимо при сварке вольфрамовым электродом в защитном газе. При подаче импульсов тока от осциллятора на промежуток между изделием и электродом происходит пробой промежутка. В нем появляются свободные электроны, создавая условия для горения дуги, питаемой от основного

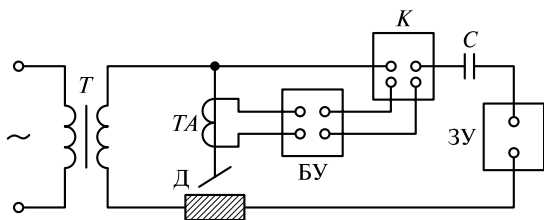


Рис. 10.15. Схема включения стабилизатора дуги СД-2:

T — сварочный трансформатор; TA — трансформатор тока; K — контактор; C — конденсатор; ZU — зарядное устройство; $БУ$ — блок управления; $Д$ — дуговой промежуток

источника тока. Ток высокой частоты и напряжения безопасен для человека. С источником питания постоянного тока осцилляторы применяют для первоначального возбуждения дуги, а переменного — как для первоначального возбуждения дуги, так и для его возобновления после смены полярности (после перехода синусоиды тока через ноль), т. е. для поддержания устойчивого горения дуги. Осцилляторы в основном используют при сварке дугой малой мощности, при аргонодуговой сварке, при сварке тонколистового металла, при пониженном напряжении холостого хода источника сварочного тока.

Стабилизаторы поддерживают устойчивое горение сварочной дуги при сварке на переменном токе плавящимся электродом путем подачи на дугу в начале каждого периода повышенного импульса напряжения, фактически повторно зажигая дугу в моменты перехода тока через нулевое значение.

Стабилизатор дуги СД-2, схема включения которого представлена на рис. 10.15, состоит из зарядного устройства ZU , конденсатора C , трансформатора тока TA , контактора K и блока управления $БУ$. Конденсатор заряжается от зарядного устройства и в момент перехода тока через нулевое значение разряжается на дуговой промежуток $Д$, стабилизируя дуговой разряд. Стабилизатор представляет собой отдельный блок и подключается к вторичной обмотке сварочного трансформатора T .

Для возбуждения и стабилизации горения дуги при ручной аргонодуговой сварке алюминия и его сплавов неплавящимся электродом на переменном токе применяют также возбудитель-стабилизатор ВСД-01. Он обеспечивает стабильное горение дуги при длине дугового промежутка до 6 мм и устойчивое возбуждение дуги при зазоре между электродом и изделием 2 мм. В источниках питания дуги широко используют регуляторы плавного снижения сварочного тока в конце сварки. Это необходимо для заварки кратера сварочного шва при его завершении.

Контрольные вопросы

1. Какие основные требования предъявляют к источникам питания сварочной дуги?
2. Как устроены сварочный трансформатор, выпрямитель, генератор, преобразователь?
3. Какова взаимосвязь характеристик и источника питания дуги при устойчивом процессе сварки?
4. Как выбрать оптимальный вид источника питания?
5. Каково назначение вспомогательных устройств источников питания сварочной дуги?
6. Почему для ручной дуговой сварки покрытыми электродами применяют источники питания дуги с крутопадающей внешней характеристикой?
7. Каким образом от источника питания дуги с жесткой внешней характеристикой получить падающую характеристику для сварки?
8. Каковы особенности инверторных источников питания?

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ДУГОВОЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СВАРКИ

11.1. Общие сведения и классификация автоматов для дуговой сварки

При автоматических и механизированных способах сварки помимо источников питания дуги необходимо иметь специальное оборудование, позволяющее исключить ручное ведение сварочного процесса. При этом требуется механизировать выполнение двух основных технологических движений: подачу электрода в зону сварки и перемещение дуги вдоль свариваемых кромок. Сварочные аппараты, обеспечивающие автоматическое выполнение основных технологических перемещений электрода и дуги с поддержанием заданных параметров сварочного режима (напряжения дуги, сварочного тока, скорости сварки) постоянными, называют *автоматами*.

Основной частью автоматов является сварочная головка, представляющая собой электромеханическое устройство, осуществляющее автоматическую подачу в зону дуги плавящегося электрода или присадочного металла. Сварочную головку, закрепленную неподвижно относительно изделия, называют *подвесной автоматической головкой*. В подвесных головках отсутствует механизм перемещения самой головки. В этом случае относительно дуги перемещают объект сварки с помощью вспомогательного устройства или сварочного приспособления. Если же в конструкции сварочного аппарата имеется механизм для перемещения головки, то ее называют *самоходной*.

Перемещение самоходной головки обычно производится по специальной направляющей. Такой аппарат называют *автоматом подвесного типа*. Если в конструкции автомата тележка с укрепленной на ней головкой может перемещаться непосредственно по свариваемому изделию, то такой автомат называют *сварочным трактором* (рис. 11.1).

В основе классификации автоматов используются различные признаки: тип электрода, способ перемещения, характер защиты и др.

По типу применяемого электрода автоматы подразделяют на автоматы с плавящимся электродом и автоматы с неплавящимся (вольфрамовым) электродом.

По способу перемещения тележки различают автоматы тракторного типа и кареточные.

По способу защиты сварочной ванны различают автоматы для сварки под флюсом, в среде защитных газов и универсальные.

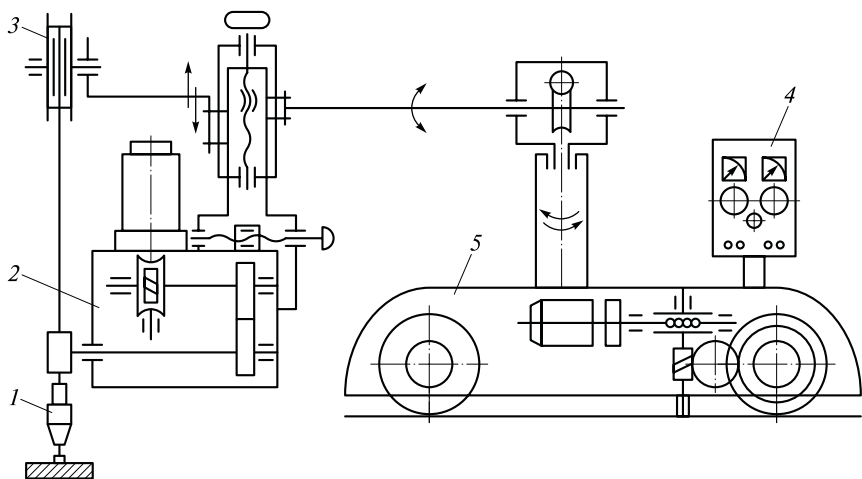


Рис. 11.1. Схема сварочного трактора для сварки плавящимся электродом:
 1 — горелка; 2 — подающий механизм; 3 — проволока; 4 — блок управления; 5 — тележка

По пространственному выполнению сварных соединений различают автоматы для сварки швов в нижнем, вертикальном и горизонтальном положениях, кольцевых поворотных и неповоротных стыков и кольцевых стыков в горизонтальной плоскости.

По способу поддержания постоянства параметров дуги выпускают автоматы с принудительным регулированием дуги и саморегулированием.

По числу горящих дуг различают автоматы для сварки одной дугой, двумя дугами и трехфазной дугой.

11.2. Комплектование и основные узлы сварочных автоматов

Сварочные автоматы комплектуются из следующих основных узлов: сварочная головка, тележка, пульт управления, аппаратный шкаф, кассета со сварочной проволокой.

Основными элементами сварочной головки являются механизм подачи проволоки, подающие ролики, токоподводящий мундштук и устройства для установочных перемещений головки.

Механизм подачи состоит из электродвигателя и редуктора. При использовании электродвигателей переменного тока применяют регулируемые редукторы. Электродвигатели постоянного тока могут работать в сочетании с нерегулируемыми редукторами. Подающие ролики расположены на выходных валах редуктора. Их на-

значение — стабильная подача сварочной проволоки без проскальзывания. Обычно это достигается при использовании двух пар подающих роликов. К корпусу редуктора крепится токоведущий мундштук для обеспечения электрического контакта и направления проволоки в сварочную ванну. Мундштук должен обеспечивать минимальное блуждание торца электрода относительно сварочной ванны. Для этого иногда на головку перед мундштуком устанавливают роликовый правильный механизм для правки проволоки. Кроме того, в мундштуке должен обеспечиваться надежный электрический контакт со сварочной проволокой. Конструкции мундштуков различны в зависимости от способа сварки, диаметра и жесткости проволоки (рис. 11.2). Для сварки электродной проволокой большого диаметра (3...5 мм) наибольшее распространение получили мундштуки с роликовым скользящим контактом (рис. 11.2, *а*). При использовании проволок меньшего диаметра (0,8...2,5 мм) применяют трубчатые мундштуки (рис. 11.2, *б*). Скользящий контакт поддерживается за счет сменных наконечников мундштука. Применяют также мундштуки колодочного типа (рис. 11.2, *в*), состоящие из двух подпружиненных колодок, и мундштуки сапожкового типа (рис. 11.2, *г*).

Конструкция подвески сварочной головки должна обеспечивать возможность ее установочных перемещений: вертикальное —

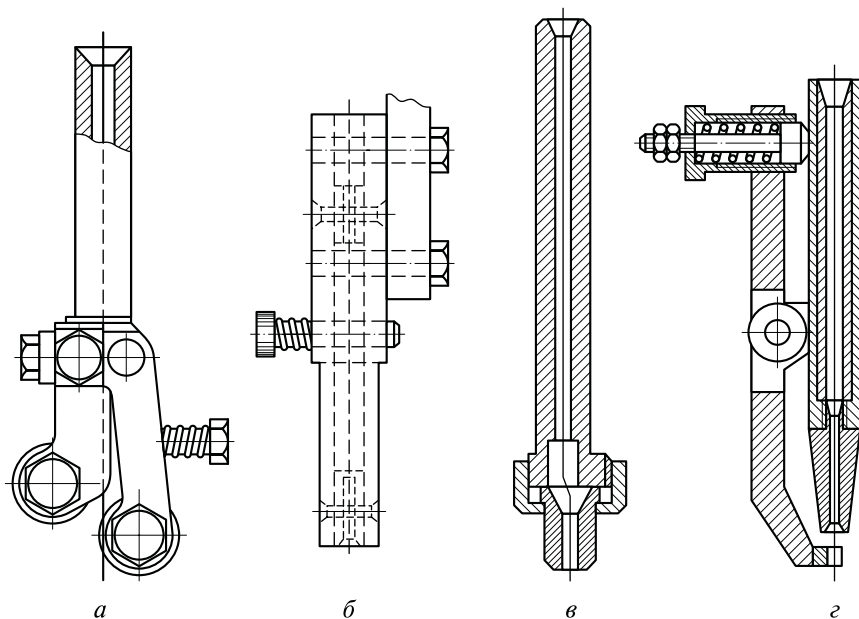


Рис. 11.2. Токоподводящие мундштуки для сварочных автоматов:

а — роликовый; *б* — трубчатый; *в* — колодочный; *г* — сапожковый

для установления необходимого вылета электрода или угла его наклона относительно свариваемого стыка; поперечное — для установки торца электрода по центру стыка в начале и корректировки его в процессе сварки.

Тележка предназначена для перемещения головки вдоль свариваемого стыка. В большинстве автоматов тележка выполняет роль базового элемента. На ее корпусе устанавливаются сварочная головка, катушку для проволоки и пульт управления автоматом. Тележка должна обеспечивать плавность хода в широком диапазоне скоростей сварки. Различают тележки тракторного и кареточного типов. Тележка тракторного типа перемещается с помощью бегунковых колес либо по направляющим рельсам, либо непосредственно по свариваемому изделию. Тележка кареточного типа перемещается только по направляющим станины или устройства крепления самого автомата. Тележки автоматов перемещаются с помощью электродвигателей через редуктор. В автоматах с электроприводом постоянного тока скорость перемещения тележки регулируется изменением частоты вращения двигателя. В приводах переменного тока настройки осуществляют сменными шестернями в редукторе.

В зависимости от способов сварки сварочные автоматы могут снабжаться дополнительными устройствами. Так, при сварке под флюсом сварочные автоматы имеют специальную флюсовую аппаратуру, предназначенную для подачи флюса в зону сварки, удержания его на поверхности шва во время сварки и удаления его по окончании процесса.

В автоматах для сварки в защитных газах вместо обычного токоподводящего мундштука используется специальная сварочная горелка, в которой помимо токоподвода имеются устройства для подачи защитного газа в зону сварки и принудительного охлаждения горелки от перегрева.

11.3. Принципы работы сварочных автоматов

Устойчивый процесс сварки и хорошее качество сварных швов обеспечиваются при оптимально выбранных параметрах режима сварки, к которым относят напряжение дуги, силу сварочного тока и скорость сварки. Эти параметры необходимо не только правильно установить, но и поддерживать их неизменно постоянными в процессе сварки. Наиболее часто подвержено изменениям напряжение дуги, находящееся в прямой зависимости от ее длины. При сварке плавящимся электродом постоянство длины дуги обеспечивается при равенстве скорости v_s подачи электродной проволоки в зону сварки и скорости v_n ее расплавления: $v_s = v_n$. Если $v_s > v_n$, то произойдет уменьшение длины дуги и может возник-

нуть короткое замыкание электрода с изделием. Если $v_3 < v_n$, то дуга удлиняется вплоть до обрыва и прекращения процесса.

В применяемых сварочных автоматах используют два принципа регулирования дуги по напряжению: саморегулирование дуги при постоянной скорости подачи электрода и принудительное регулирование, при котором скорость подачи электрода автоматически изменяется в зависимости от напряжения дуги.

Принцип саморегулирования дуги основан на изменении скорости плавления электрода в зависимости от изменения силы сварочного тока (рис. 11.3). При пересечении вольт-амперных характеристик источника и дуги процесс устойчивого горения происходит в точке A_1 . При возрастании длины дуги статическая характеристика дуги поднимается, и процесс горения перемещается в точку A_3 , при этом напряжение дуги растет, а сила сварочного тока уменьшается до значения I_3 . Так как скорость плавления электрода находится в прямой зависимости от силы тока, то она уменьшится. При постоянной скорости подачи электродной проволоки длина дуги, а следовательно, и ее напряжение будут уменьшаться до первоначально заданного значения, пока не восстановится равновесие $v_3 = v_n$. И наоборот, при уменьшении длины дуги ее статическая характеристика опустится ниже и процесс перейдет в точку A_2 , сила тока возрастет до значения I_2 . Электрод будет плавиться быстрее, длина дуги будет увеличиваться, и равновесие ($v_3 = v_n$) вновь восстановится.

На основе принципа саморегулирования дуги разработан ряд сварочных автоматов, работающих с постоянной, не зависящей от напряжения дуги скоростью подачи электродной проволоки. В автоматах, работающих по этому принципу, для питания дуги следует применять источники питания дуги с пологопадающей внешней характеристикой. Чем более пологая характеристика, тем больше изменяется сила сварочного тока при отклонениях длины дуги и тем более интенсивно происходит процесс саморегулирования. Автоматы с постоянной скоростью подачи проволоки отличаются более простым устройством и надежны при работе.

Принцип принудительного регулирования основан на изменении скорости подачи электродной проволоки в зависимости от

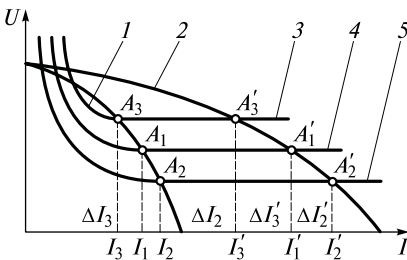


Рис. 11.3. Схема саморегулирования сварочной дуги:

1, 2 — вольт-амперные характеристики источника тока; 3, 4, 5 — вольт-амперные характеристики дуги; I_1 — $I_3, I_1' — I_3'$ — значения силы тока; $\Delta I_2, \Delta I_3, \Delta I_2', I_3'$ — отклонения силы тока

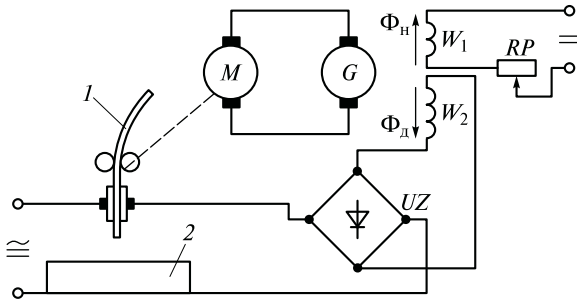


Рис. 11.4. Электрическая схема автоматического регулирования дуги сварочного автомата АДС-1000:

I — электрод; *2* — изделие; *M* — двигатель; *UZ* — выпрямитель; *RP* — потенциометр; *G* — генератор двигателя; W_1, W_2 — обмотки возбуждения; Φ_d, Φ_n — магнитные потоки, зависящий и не зависящий от напряжения дуги соответственно

напряжения на дуге. Если по какой-либо причине длина дуги возрастает, то возрастает и напряжение дуги. Двигатель привода подачи электродной проволоки начнет вращаться быстрее, увеличивая скорость подачи. Длина дуги, а следовательно, и ее напряжение восстановятся до первоначального значения. И наоборот, при уменьшении длины дуги скорость подачи замедляется и параметры дуги вновь восстанавливаются. Равенство скоростей $v_s = v_n$ обеспечивается изменением скорости подачи электродной проволоки. На рис. 11.4 показана упрощенная схема автоматического регулирования параметров дуги сварочного автомата АДС-1000. Двигатель *M* подающего механизма сварочной головки питается постоянным током от специального генератора *G*, имеющего две обмотки возбуждения, включенные встречно. Независимая обмотка W_1 питается от постороннего источника тока и создает постоянный, не зависящий от напряжения дуги магнитный поток Φ_n . Обмотка W_2 генератора через выпрямитель *UZ* подключена к дуге и создает переменный, зависящий от напряжения дуги магнитный поток Φ_d , который всегда больше магнитного потока Φ_n .

Генератор *G* подает на якорь двигателя *M* напряжение такой полярности и значения, что двигатель вращается в направлении подачи проволоки в зону сварки со скоростью, поддерживающей постоянную длину дуги и ее напряжение. Предварительно нужное напряжение дуги задается потенциометром *RP* в цепи независимой обмотки. Схема обеспечивает не только поддержание устойчивого горения дуги, но и автоматическое зажигание ее в начале процесса сварки.

В автоматах для сварки вольфрамовым электродом регулирующим воздействием служит принудительное восстановление ранее заданного (опорного) напряжения дуги. Это осуществляется изменением длины дугового промежутка путем перемещения электрода по высоте. При возрастании напряжения дуги электрод автоматически опускается, и наоборот, при уменьшении дугового напряжения электрод поднимается. С этой целью сварочные головки оснащаются специальной автоматической системой стабилизации дугового напряжения.

11.4. Автоматы для сварки под флюсом

Автомат АДФ-1002 относится к автоматам с постоянной скоростью подачи электродной проволоки при сварке и работает по принципу саморегулирования дуги. Он предназначен для сварки переменным током под флюсом нахлесточных соединений, стыковых соединений со скосом и без скоса кромок, а также для выполнения угловых швов вертикальным и наклонным электродом. Сварные швы могут быть прямолинейными и кольцевыми. Автомат в процессе сварки передвигается по изделию или уложенной на нем легкой направляющей линейке. Сварочный автомат состоит из двух основных узлов: сварочного трактора и трансформатора ТДФЖ-1002УЗ со встроенным блоком управления. Сварочный трактор (рис. 11.5) представляет собой самоходный механизм, состоящий из редукторов подающего механизма и ходовой тележки, которые приводятся в движение общим электродвигателем 12. Наличие одного электродвигателя является характерной особенностью автоматов данного типа. Скорости подачи электродной проволоки и сварки не зависят от напряжения сварочной дуги и регулируются ступенчато-сменными зубчатыми колесами. Электродная проволока подается в зону сварки механизмом подачи сварочной головки 3. Автомат передвигается вдоль шва с помощью бегунков 1 и колес 14. Оба механизма смонтированы с электродвигателем в один блок, являющийся несущим корпусом автомата. На корпусе укреплены мундштук 2 и кронштейн 6 с пультом управления 11. На кронштейне смонтированы правильный и корректировочный механизмы, кассета 7 для проволоки, бункер 5 для флюса, переднее шасси автомата с холостыми бегунками 1. Мундштук обеспечивает подвод тока к электродной проволоке и направление ее в зону сварки.

Корректировочный механизм 4 служит для смещения электродной проволоки поперек шва и поперечного наклона мундштука вместе с головкой, кронштейном и кассетой.

Механизм подачи электродной проволоки состоит из редуктора и двух роликов, подающих в зону горения дуги электрод-

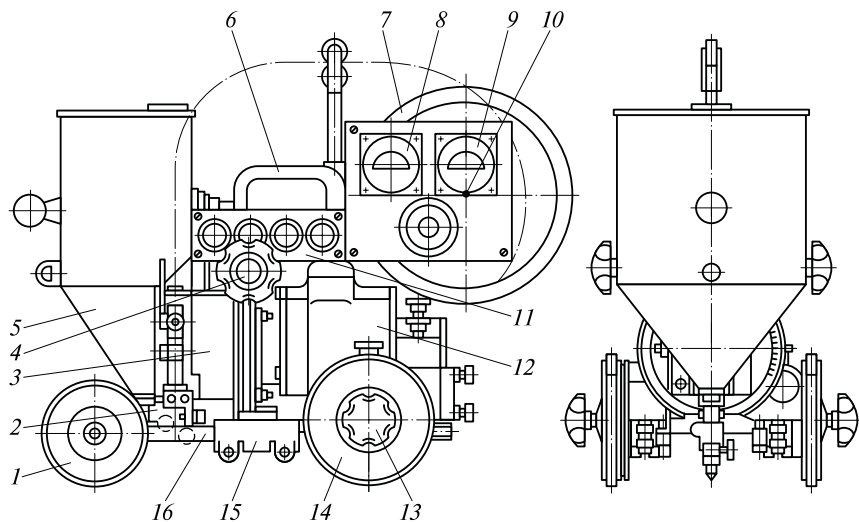


Рис. 11.5. Сварочный трактор АДФ-1002:

1 — бегунок; 2 — мундштук; 3 — сварочная головка; 4 — корректировочный механизм; 5 — бункер; 6 — кронштейн; 7 — кассета; 8 — амперметр; 9 — вольтметр; 10 — резистор; 11 — пульт управления; 12 — электродвигатель; 13 — муфта; 14 — колесо; 15 — траверса; 16 — штанга

ную проволоку. Для настройки на нужную скорость подачи проволоки имеется цилиндрическая пара сменных зубчатых колес. Механизм движения тележки также имеет съемную пару зубчатых колес для настройки скорости сварки. Оба механизма приводятся в действие одним асинхронным электродвигателем переменного тока.

Электрическая схема сварочного трактора (рис. 11.6) обеспечивает возможность подъема и опускания электродной проволоки при вспомогательных операциях: закорачивании электродной проволоки перед сваркой; подъеме проволоки из шлака после сварки; заправке проволоки в головку (кнопки *SB3* «Вверх», *SB4* «Вниз»); настроечном передвижении автомата (кнопки *SB1* «Пуск», *SB2* «Стоп»); включении сварочного тока и возбуждении дуги; подаче электродной проволоки в зону сварки и передвижении автомата по свариваемому изделию (*SB1*); заварке кратера и отключении сварочного тока в конце сварки (*SB2*). Достоинствами автоматов типа АДФ-1002 являются простота конструкции, компактность, небольшие масса и габариты, высокая надежность.

Автомат АДС-1000-2 является автоматом с зависящей от напряжения на дуге скоростью подачи электродной проволоки при сварке и работает по принципу автоматического регулирования

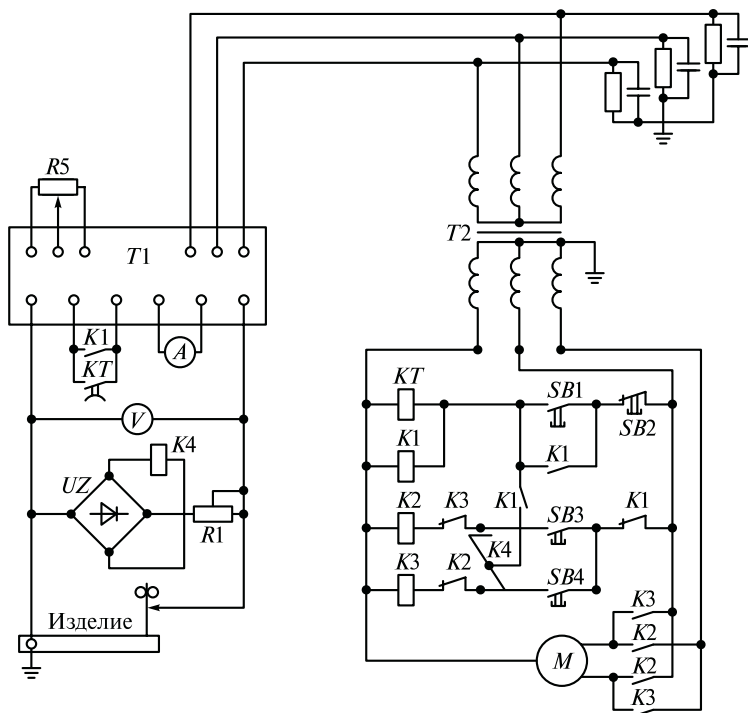


Рис. 11.6. Электрическая схема сварочного трактора АДФ-1002:

A — амперметр; *V* — вольтметр; *R1*, *R5* — резисторы; *T1* — управляющий трансформатор; *T2* — трансформатор; *K1*—*K3* — реле; *K4* — реле переключения; *KT* — реле времени; *UZ* — выпрямитель; *SB1*—*SB4* — кнопки; *M* — двигатель

дуги изменением скорости подачи электрода. Автомат является сварочным трактором. В этом автомате механизмы подачи электродной проволоки и перемещения тележки снабжены отдельными электродвигателями постоянного тока. Регулирование скорости подачи и скорости сварки производится плавно изменением частоты вращения двигателей. Наличие отдельного двигателя для подачи проволоки позволяет применить автоматическое регулирование дуги по напряжению. Конструктивно автомат АДС-1000-2 представляет собой четырехколесную тележку 1 (рис. 11.7), на которой укреплены сварочная головка 4 с подающим механизмом для подачи проволоки, кассета 2 для проволоки, бункер 5 для флюса и пульт управления 3. Движение тележки осуществляется по рельсовому пути или непосредственно по изделию. Верхняя часть сварочного трактора поворотная, что дает возможность настраивать аппарат на сварку швов, расположенных на разном рас-

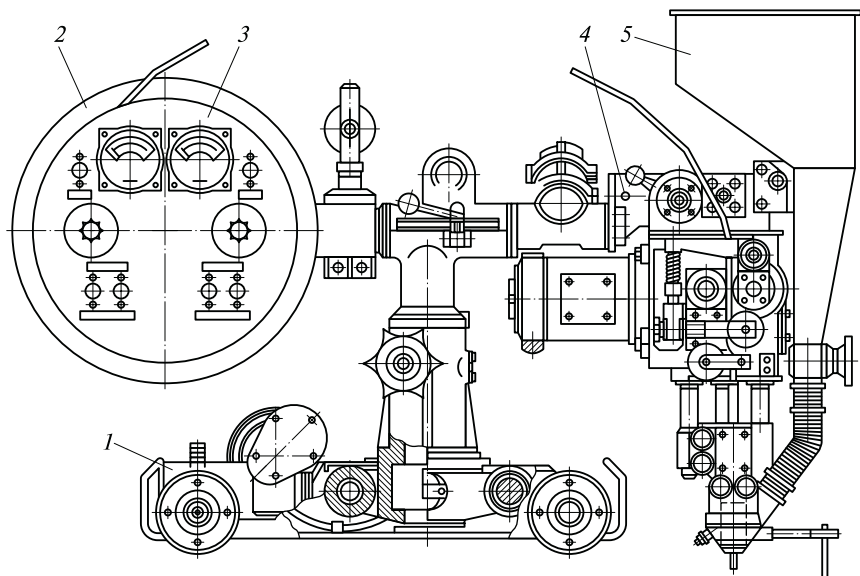


Рис. 11.7. Сварочный трактор АДС-1000-2:

1 — тележка; 2 — кассета; 3 — пульт управления; 4 — сварочная головка; 5 — бункер

стоянии от рельсового пути. Наличие отдельных электроприводов механизмов подачи проволоки и перемещения тележки несколько усложняет конструкцию, но зато увеличивается универсальность автомата.

Автомат ТС-80 тракторного типа предназначен для автоматической дуговой сварки и наплавки под флюсом стальной проволокой протяженных швов разных типов. Автомат позволяет вести процесс автоматической сварки как с независимой, так и с зависящей от напряжения на дуге скоростью подачи сварочной проволоки.

В конструкции трактора применены усовершенствованная система управления, более мощные электродвигатели и система приводов, токоподвод, обеспечивающий надежный контакт с электродной проволокой.

Увеличенные ходы настроечных перемещений по вертикали и горизонтали сварочной головки, ее разворот под разными углами позволяют вести сварку в разных пространственных положениях. На тракторе предусмотрена возможность установки копирующих устройств и элементов системы флюсоотсоса. Автомат рассчитан на номинальный ток 1 250 А при продолжительности включения 100 %, сварку проволокой диаметром 2... 5 мм при скорости подачи электрода 24... 360 м/ч и скорости сварки 6... 120 м/ч.

11.5. Автоматы для сварки в защитных газах

Автомат АДГ-502 (рис. 11.8) предназначен для выполнения сварки на постоянном токе в среде углекислого газа стыковых соединений с разделкой и без разделки кромок, угловых швов и нахлесточных соединений. Автомат комплектуется из двух частей: сварочного трактора 1 и источника питания дуги 2 — выпрямителя ВДУ-504.

Схема управления автоматом выполнена на полупроводниковых элементах. Работа автомата основана на принципе зависимости скорости подачи электродной проволоки от напряжения дуги. Схема позволяет устанавливать необходимые выдержки времени для продувки защитного газа, растяжения дуги, заварки кратера и обдува шва защитным газом по окончании сварки. Все управление автоматом осуществляется с пульта управления, размещенного на сварочном тракторе. На пульте установлены приборы для контроля режима, регуляторы напряжения дуги и скоростей сварки и подачи электродной проволоки, а также кнопки управления. На дополнительном пульте управления, укрепленном на сварочном выпрямителе, расположены элементы управления подачей защитного газа.

Сварочный трактор АДГ-502 устроен аналогично сварочному трактору типа АДФ для сварки под флюсом, но отличается конструкцией токоподвода, наличием охлаждающей воды и защитного газа, отсутствием бункера для флюса и светуказателя. Токоподвод в зоне сварки защищен водоохлаждаемым соплом, в которое поступает углекислый газ.

Сварочная головка АГВ-4 применяется для сварки в инертном защитном газе неплавящимся вольфрамовым электродом (рис. 11.9).

Головка состоит из токоподвода, электродержателя и механизма для автоматической подачи присадочной проволоки. Головка может устанавливаться на подвеске кареточного типа (АРК-3) или самоходной тележке тракторного типа. По такой схеме комплектуются тракторы типа АДСВ-5 или АДСВ-7 для автоматической аргодуговой сварки неплавящимся электродом. Автоматы пред-

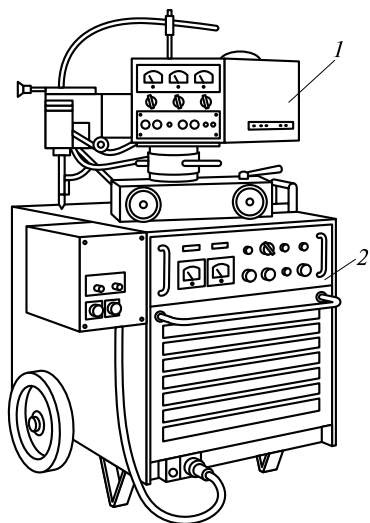


Рис. 11.8. Сварочный автомат АДГ-502:
1 — сварочный трактор; 2 — источник питания дуги

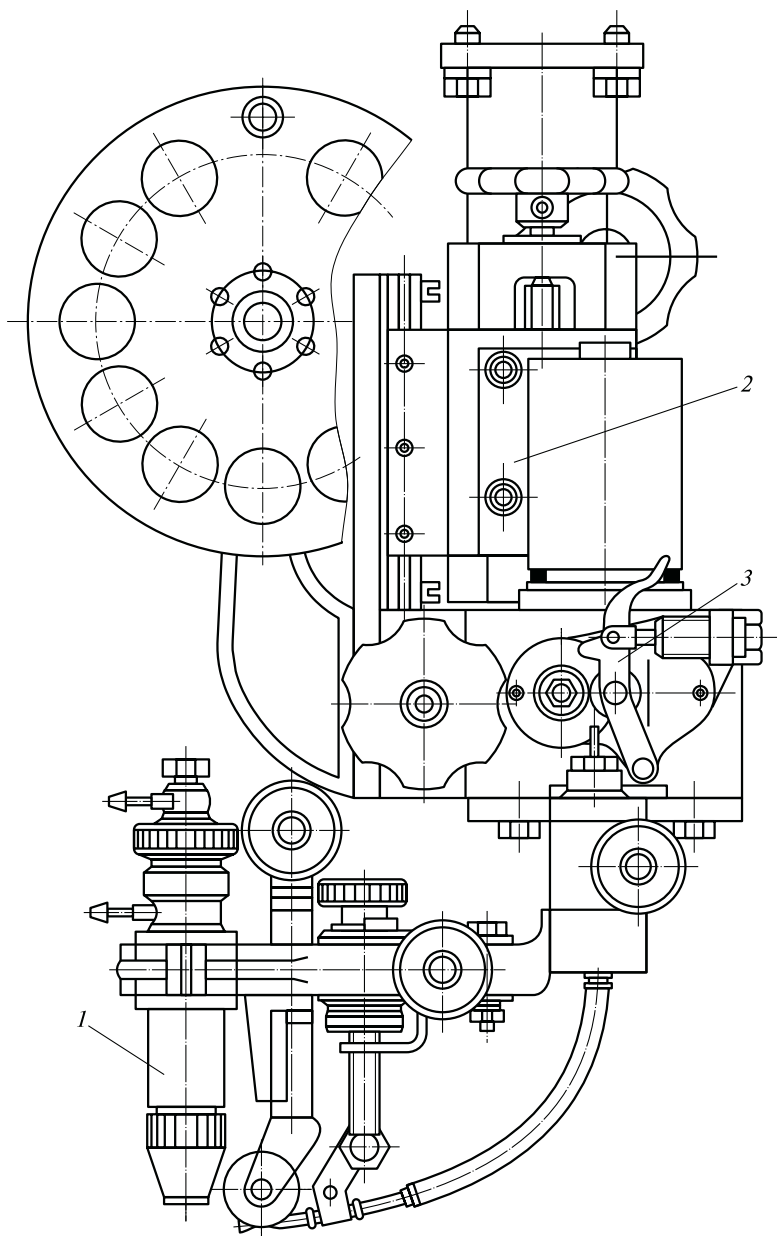


Рис. 11.9. Сварочная головка для сварки вольфрамовым электродом:
1 — сварочная горелка; 2 — корректор; 3 — механизм подачи проволоки

назначены для сварки в аргоне вольфрамовым электродом изделий из разных материалов. Сварка может вестись на постоянном, пульсирующем или переменном токе до 315 А в зависимости от источника питания, которым укомплектован автомат. Скорость сварки регулируется в пределах 5...80 м/ч. Сварочная горелка рассчитана на закрепление вольфрамовых электродов диаметром 1...5 мм, может подавать присадочную проволоку диаметром 0,8...2,0 мм со скоростью 8...120 м/ч. Автоматы комплектуются унифицированной головкой АГВ-4. Головка снабжена устройством автоматического регулирования напряжения дуги и слежения за линией стыка с помощью индукционного датчика положения стыка.

Для сварки плавящимся электродом применяют сварочные головки АГП-2, АГП-4. Ими комплектуют сварочные автоматы тракторного типа АДСП-2 с применением сварочной электродной проволоки диаметром 1,0...2,5 мм.

11.6. Газовая аппаратура, применяемая в автоматах для сварки в защитных газах

Для выполнения автоматической и механизированной сварки в защитных газах необходимо применение специальной газовой аппаратуры для управления подачей газа: баллонов для хранения газов, газовых редукторов, подогревателей и осушителей газа, расходомеров, смесителей газов, электромагнитных газовых клапанов.

Баллоны предназначены для хранения и транспортирования защитного газа под высоким давлением. Наибольшее применение нашли баллоны со следующими показателями:

Емкость баллона, л	100 и 150	150 и 200	200
Толщина стенки, мм	5,2	7	9,3
Длина корпуса, мм	1 340	1 390	1 460
Наружный диаметр, мм	219	219	219
Масса, кг	43	60	81

Все газы, кроме углекислого, находятся в баллонах в сжатом состоянии, а углекислый — в жидком.

Редукторы (рис. 11.10) предназначены для понижения давления газа, поступающего в них из баллона или распределительного трубопровода, и автоматического поддержания постоянным заданного рабочего давления. Давление газа в баллоне показывает манометр высокого давления 2.

Газ проходит через приоткрытый пружиной 8 клапан 11 и поступает в камеру низкого давления 10. При прохождении через клапан газ преодолевает значительное сопротивление, в результате чего давление за клапаном, т.е. в камере низкого давления,

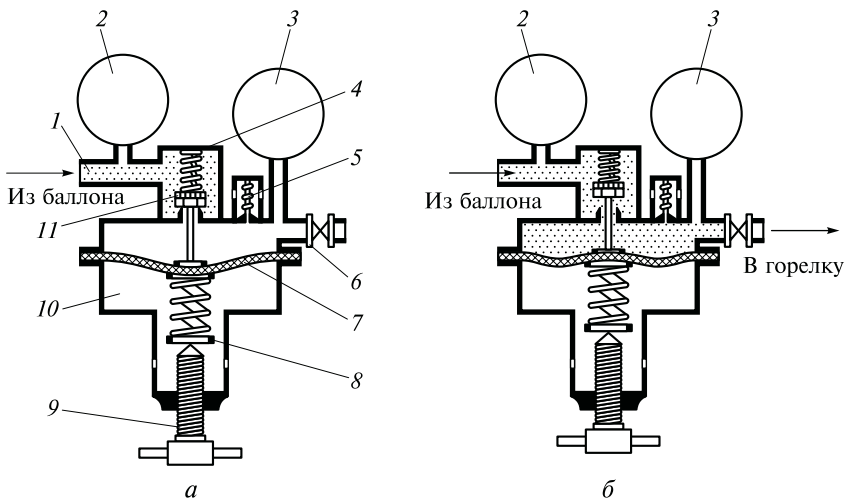


Рис. 11.10. Схема устройства и работы газового редуктора:

а — нерабочее положение (газ не проходит через редуктор); б — рабочее положение (газ проходит через редуктор); 1 — трубопровод; 2 — манометр высокого давления; 3 — манометр низкого давления; 4, 8 — пружины; 5, 11 — клапаны; 6 — муфта; 7 — мембрана; 9 — регулировочный винт; 10 — камера низкого давления

снижается. Это давление показывает манометр низкого давления 3. Из камеры низкого давления защитный газ через муфту 6 направляется в сварочную головку (держатель).

Регулирование рабочего давления защитного газа производится следующим образом. При ввертывании регулировочного винта 9 сжимаются пружины 4 и 8, открывается клапан 11 и давление в камере низкого давления повышается. Чем больше открыт клапан, тем большее количество газа будет проходить через него и тем выше будет рабочее давление газа. При вывертывании винта 9, наоборот, клапан 11 прикрывается и давление газа в камере 10 уменьшается. При сварке в аргоне применяют редукторы АР-10, АР-40 или АР-150. При сварке в углекислом газе или в его смесях используют редукторы обратного действия, одновременно являющиеся расходомерами (У-30 и ДЗД-1-59М). Возможно также применение обычных кислородных редукторов, например РК-53, РКД-8-61 и др.

Подогреватель (рис. 11.11) предназначен для подогрева углекислого газа, поступающего из баллона в редуктор, с целью предотвращения замерзания редуктора. При большом расходе углекислого газа (вследствие поглощения теплоты при испарении жидкого углекислого газа) температура газа понижается, что может привести к замерзанию имеющейся в нем влаги и закупорке каналов

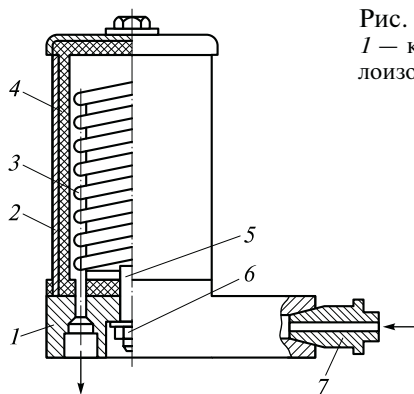


Рис. 11.11. Подогреватель углекислого газа: 1 — корпус; 2 — кожух; 3 — змеевик; 4 — теплоизоляция; 5 — нагревательный элемент; 6 — накидная гайка; 7 — зажим

редуктора. Подогреватель используют только при сварке в углекислом газе. Он состоит из корпуса 1, змеевика 3, по которому проходит углекислый газ, кожуха 2, теплоизоляции 4 и нагревательного элемента 5 из хромоникелевой проволоки, расположенного внутри змеевика. Подогреватель крепят к баллону накидной гайкой 6. Питание его осуществляется постоянным током напряжением 20 В или переменным током напряжением 36 В. Провода от шкафа управления присоединяют к зажимам 7.

Осушитель, применяемый при использовании влажного углекислого газа для поглощения из него влаги, может быть высокого и низкого давления. Осушитель высокого давления устанавливают перед понижающим редуктором. Он имеет малые размеры и требует частой замены влагопоглотителя, что неудобно в работе. Осушитель низкого давления (рис. 11.12), имеющий значительные размеры, устанавливают после понижающего редуктора.

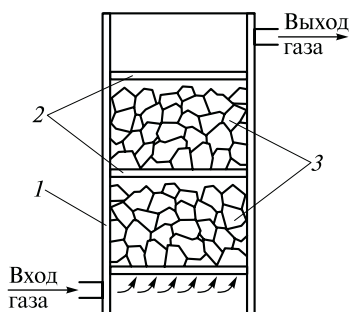


Рис. 11.12. Осушитель углекислого газа низкого давления:

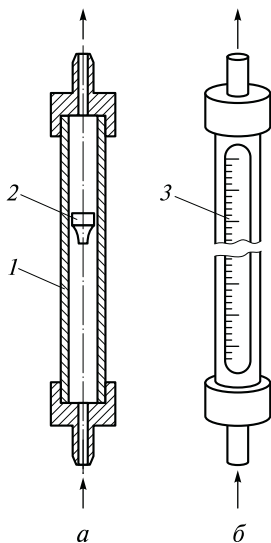
1 — камера; 2 — решетки; 3 — влагопоглотители

Он не требует частой замены влагопоглотителя. Осушители низкого давления целесообразно применять главным образом при централизованной газовой разводке. В качестве влагопоглотителя используют силикагель или алюмогликоль, реже — медный купорос и хлористый кальций. Силикагель и медный купорос, насыщенный влагой, поддаются восстановлению путем прокаливанию при 250... 300 °С.

Расходомеры предназначены для измерения расхода защитного газа. Они могут быть поплавкового и дроссельного типов. Расходо-

Рис. 11.13. Устройство (а) и общий вид (б) поплавкового ротаметра РС-3:

1 — стеклянная трубка; 2 — поплавок; 3 — шкала



мер поплавкового типа, например ротаметр РС-3 (рис. 11.13), состоит из стеклянной трубки 1 с коническим отверстием. Трубка располагается вертикально, широким концом отверстия вверх. Внутри трубки находится легкий поплавок 2, который может свободно в ней перемещаться. При прохождении снизу вверх газ будет поднимать поплавок до тех пор, пока зазор между ним и стеклянной трубкой не достигнет величины, при которой напор струи газа уравновешивает массу поплавка. Чем больше расход газа и его плотность, тем выше поднимается поплавок. Ротаметр снабжен шкалой 3, тарированной по расходу воздуха. Для пересчета на расход защитного газа пользуются графиками.

Расходомер дроссельного типа построен на принципе измерения перепада давления на участках до и после дросселирующей мембраны, которое зависит от расхода газа и определяется манометрами. О примерном расходе защитного газа можно судить также по показанию манометра низкого давления газового редуктора. Для этого на выходе редуктора устанавливают дроссельную шайбу (дюзу) с небольшим калиброванным отверстием. Скорость истечения газа через его отверстие, а следовательно, и расход газа будут пропорциональны давлению газа в рабочей камере. Этот принцип использован в редукторе У-30, где манометр показывает непосредственно расход газа, а не давление в рабочей камере. С этой целью редуктор снабжен двумя дюзами с калиброванными отверстиями разных диаметров. Поворотом корпуса клапана предельного давления против соответствующей дюзы устанавливают канал, каждому положению которого соответствует деление шкалы на манометре.

Смесители предназначены для получения смесей газов $\text{CO}_2 + \text{O}_2$ и $\text{CO}_2 + \text{Ar} + \text{O}_2$. Постовой смеситель УКП-1-71 для получения смеси газов $\text{CO}_2 + \text{O}_2$, отбираемых из баллонов, и автоматического поддержания постоянными заданного состава и расхода газовой смеси состоит из регулятора давления с редуктором ДКП-1-65 и узла смешения газов. Изменяют состав смеси заменой дюз. Рамповый смеситель УКР-1-72 позволяет получить смесь $\text{CO}_2 + \text{O}_2$ при отборе кислорода от рампы баллонов, а углекислого газа —

от изотермической емкости, предназначенной для сжиженного переохлажденного диоксида углерода. Смеситель обеспечивает питание газом 10 — 50 сварочных постов.

Газовый клапан, используемый для экономии защитного газа, следует устанавливать по возможности ближе к сварочной горелке, иногда его встраивают в ее ручку. Наибольшее распространение получили электромагнитные газовые клапаны. Газовый клапан следует включать так, чтобы была обеспечена предварительная (до зажигания дуги) подача газа, и выключать после обрыва дуги и полного затвердевания кратера шва.

Перепускную рампу применяют для подачи в сварочный цех защитного газа при значительном его расходе. Она состоит из двух групп поочередно подключаемых баллонов, коллектора с газовой аппаратурой и трубопровода, по которому защитный газ подается к сварочным постам. Трубопроводы для подачи углекислого газа и его смесей окрашивают в черный цвет.

Контрольные вопросы

1. Каковы требования и назначение автоматов для дуговой сварки?
2. Расскажите о классификации сварочных автоматов и их основных видах.
3. Каковы принципы работы сварочных автоматов и области их применения?
4. Назовите основные узлы сварочных автоматов и их конструктивные особенности.
5. Назовите существующие автоматы для сварки под слоем флюса и перечислите их.
6. Назовите сварочные автоматы для сварки в защитных газах и перечислите их.
7. Назовите газовую аппаратуру для автоматической сварки в защитных газах.
8. Какую вольт-амперную характеристику должен иметь источник питания для сварки в углекислом газе?
9. Назовите необходимый набор оборудования для организации поста автоматической сварки в углекислом газе, аргоне, под флюсом.

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ

12.1. Общие сведения и классификация сварочных полуавтоматов

При механизированной сварке используют специальные сварочные аппараты, обеспечивающие механизированную подачу сварочной проволоки, а перемещение дуги вдоль оси шва выполняется вручную. Такие аппараты получили название *полуавтоматов* для дуговой сварки. Полуавтоматы классифицируют по разным признакам:

- по способу защиты сварочной зоны — для сварки под флюсом, в среде защитных газов, открытой дугой;
- способу регулирования дуги (в основном применяют полуавтоматы с саморегулированием дуги);
- виду применяемой проволоки — сплошной, порошковой или комбинированной;
- способу подачи проволоки — толкающего, тянущего и комбинированного типа;
- конструктивному исполнению — со стационарным, передвижным и переносным подающим устройством.

Для сварки выпускают полуавтоматы, рассчитанные на номинальные токи 150... 600 А, для проволоки диаметром 0,8... 3,5 мм со скоростями подачи 1... 17 м/мин.

В комплект полуавтоматов обычно входят подающее устройство с кассетами для электродной проволоки, шкаф управления, сварочные горелки, провода для сварочной цепи и цепей управления, газовая аппаратура.

12.2. Устройство и основные узлы полуавтоматов

При механизированной сварке сварочная головка чаще всего разделена на две части — подающий механизм и держатель (при сварке в защитных газах — сварочная горелка), соединенные между собой гибким шлангом, поэтому такие аппараты иногда называют шланговыми. Полуавтоматы позволяют сочетать преимущества автоматической сварки с универсальностью и маневренностью ручной. Типовая схема полуавтомата показана на рис. 12.1. В его состав входят узлы: держатель 1, гибкий шланг 2, механизм подачи сварочной проволоки 3, кассета 4 со сварочной проволокой и аппаратный шкаф, или блок управления 5. Наиболее ответствен-

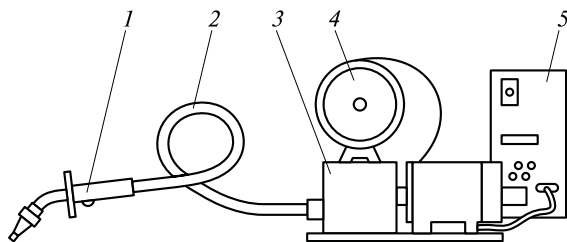


Рис. 12.1. Схема полуавтомата для дуговой сварки:

1 — держатель; 2 — шланг; 3 — подающий механизм; 4 — катушка; 5 — блок управления

ным элементом полуавтоматов является механизм подачи проволоки. Его назначение и компоновка примерно те же, что и у сварочных головок автоматов для дуговой сварки. Обычно он состоит из электродвигателя, редуктора и системы подающих и прижимных роликов. Механизм обеспечивает подачу электродной проволоки по гибкому шлангу в зону сварки.

В приводах могут использоваться двигатели переменного или постоянного тока. Скорости подачи в первом случае изменяют ступенчато-сменными шестернями, во втором — плавным регулированием за счет изменения частоты вращения двигателя.

Конструкция механизма подачи во многом зависит от назначения полуавтомата. В полуавтоматах для сварки проволокой большого диаметра механизм подачи размещен на передвижной тележке и располагается в отдельном корпусе. В полуавтоматах с проволокой малого диаметра он установлен в переносном футляре и расположен непосредственно на корпусе держателя.

Наибольшее распространение получили полуавтоматы толкающего типа. Подающий механизм подает проволоку путем проталкивания ее через гибкий шланг к горелке. Устойчивая подача в этом случае возможна при достаточной жесткости электродной проволоки.

В полуавтоматах тянущего типа механизм подачи или его подающие ролики размещены в горелке. В этом случае проволока протягивается через шланг. Такая система обеспечивает устойчивую подачу мягкой и тонкой проволоки. Имеются полуавтоматы с двумя синхронно работающими механизмами подачи, осуществляющими одновременно проталкивание и протягивание проволоки через шланг (тянуше-толкающий тип).

Гибкий шланг в полуавтоматах предназначен для подачи электродной проволоки, сварочного тока, защитного газа, а иногда и охлаждающей воды к горелке. С этой целью применяют шланговый провод специальной конструкции. Применяются и составные

шланги, состоящие из нескольких трубок и проводов для подачи тока, газа и воды, собранных в общий жгут.

Сварочные горелки предназначены для подвода к месту сварки электродной проволоки, сварочного тока и защитного газа или флюса, а также для ручного перемещения и манипулирования им в процессе сварки. При этом сварщик удерживает держатель в руке и перемещает его вдоль шва. Для полуавтоматической сварки плавящимся электродом в защитных газах применяются горелки типа ГДПГ, рассчитанные на токи 125...630 А. Причем для сварки в углекислом газе на токах до 500 А горелки выполняются с естественным воздушным охлаждением. Для тяжелых условий работы на токах 500 А, 600 А, а также для сварки в аргоне на токах больше 300 А применяют горелки с водяным охлаждением. Быстро изнашивающимися частями держателя (при сварке в защитных газах — горелок) являются токоподводящий наконечник и газовое сопло, изготавливаемые из меди. При сварке под флюсом на держателе устанавливается бункер для флюса.

12.3. Электрические схемы полуавтоматов

В электрических схемах полуавтоматов имеются некоторые отличия от схем, применяемых для сварочных автоматов. В зависимости от способа поддержания постоянства параметров дуги, типа электродвигателя и других факторов электрические схемы имеют особенности. Электрические схемы полуавтоматов с саморегулированием дуги отличаются типом электропривода в механизме подачи сварочной проволоки. В полуавтоматах с электроприводом постоянного тока (рис. 12.2, а) якорная обмотка и обмотка возбуждения электродвигателя механизма подачи (ОВ ДМП) питаются от понижающего трансформатора T через выпрямители $UZ1$ и $UZ2$. Напряжение на дуговой промежуток подается при включении контактора KM . Катушка этого контактора связана с промежуточным реле K . При включении кнопки «Пуск» катушка реле K попадает под напряжение выпрямителя $UZ2$. Срабатывают замыкающие контакты реле K и одновременно с включением KM происходит подача электродной проволоки. Для сохранения постоянства подачи проволоки трансформатор T питается от стабилизатора напряжения. Настройка скорости подачи проволоки осуществляется плавно путем изменения якорного тока в цепи двигателя механизма подачи (ДМП). Для этой цели предусмотрен регулятор напряжения (РН). Прекращается сварка размыканием кнопки «Стоп» $SB2$.

В полуавтоматах используют и другие схемы с электроприводом постоянного тока. Например, подключают ДМП непосредственно к зажимам источника питания дуги. Это оказывается воз-

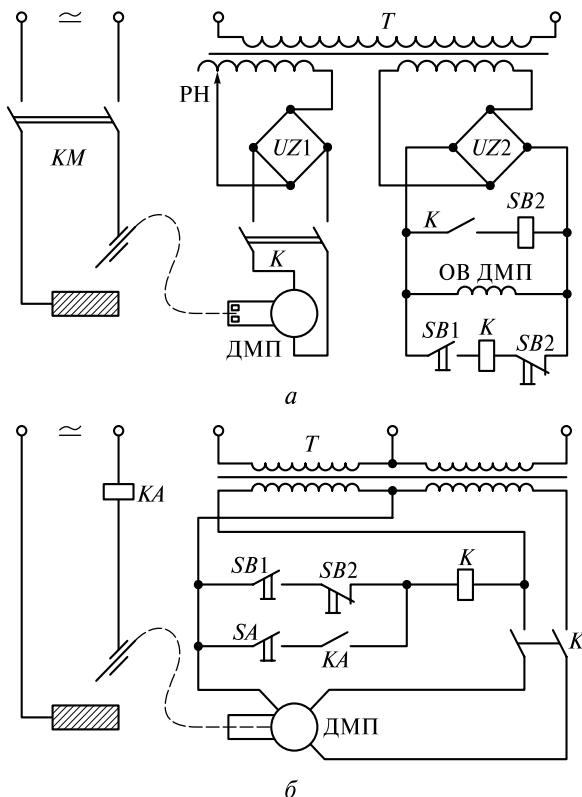


Рис. 12.2. Электропривод механизма подачи проволоки:

а — постоянного тока; *б* — переменного тока; ДМП — двигатель механизма подачи; ОВ ДМП — обмотка возбуждения двигателя механизма подачи; РН — регулятор напряжения; *T* — понижающий трансформатор; *KM* — контактор; *UZ1*, *UZ2* — выпрямители; *K* — промежуточное реле; *KA* — реле тока; *SB1* — кнопка «Пуск»; *SB2* — кнопка «Стоп»; *SA* — тумблер

можным при применении источников питания дуги постоянного тока с жесткими вольт-амперными характеристиками. Конструкция таких полуавтоматов существенно упрощается. Отпадает необходимость в применении выпрямителей для питания электропривода.

В полуавтоматах с электроприводом переменного тока (рис. 12.2, *б*) ДМП сварочной проволоки питается от трехфазного *T*. Включение ДМП может осуществляться двумя способами: замыканием пусковой кнопки *SB1* или замыканием электродной проволоки на свариваемое изделие. Для этой цели в цепь дуги включена катушка реле тока *KA*. Для перехода ко второму способу включения полуавтомата необходимо предварительно замкнуть тумблер *SA*. Рас-

смотренный тип полуавтоматов относится к бесконтакторным. Они не сложны в изготовлении, надежны в эксплуатации и удобны в работе. Настройку скорости подачи сварочной проволоки осуществляют ступенчато с помощью сменных шестерен в редукторе механизма подачи.

12.4. Типовые конструкции сварочных полуавтоматов

В настоящее время в промышленности используется различное сварочное оборудование. Технические данные некоторых широко применяемых полуавтоматов приведены в табл. 12.1.

Полуавтомат ПДГ-502 (рис. 12.3) предназначен для выполнения дуговой механизированной сварки плавящимся электродом в защитной среде углекислого газа стальных конструкций, швы которых расположены в различных пространственных положениях. В полуавтомат входят унифицированные блоки: электронный блок управления сварочным процессом БУСП-2, редукторный электропривод с плавным регулированием скорости подачи сварочной проволоки, тормозное устройство и кассета. В приводе механизма подачи применяют электродвигатель постоянного типа. Блок управления обеспечивает ручную установку скорости подачи проволоки и ее автоматическую стабилизацию, автоматическое включение и выключение исполнительных органов полуавтомата (электродвигатель, газовый клапан, контактор источника тока).

Полуавтомат А-765 предназначен для дуговой сварки и наплавки сплошной и порошковой проволоками, обеспечивает механизированную подачу проволоки в зону сварки, возможность сварки в труднодоступных местах и обслуживание значительной произ-

Таблица 12.1

Технические характеристики полуавтоматов для дуговой сварки в защитных газах

Полуавтомат	Номинальный ток при ПН 60 %, А	Электродная проволока		Источник сварочного тока
		Диаметр, мм	Скорость подачи, м/ч	
ПДГ-305УЗ	315	1,2 ... 1,6	120 ... 960	ВДГ-302
ПДГ-502УЗ	500	1,2 ... 2,0	120 ... 1 200	ВДУ-504
ПДГО-511	500	0,8 ... 1,6 1,2 ... 3,2*	60 ... 960	—
А-765	700	1,2 ... 2,6	—	—

* Для порошковой проволоки.

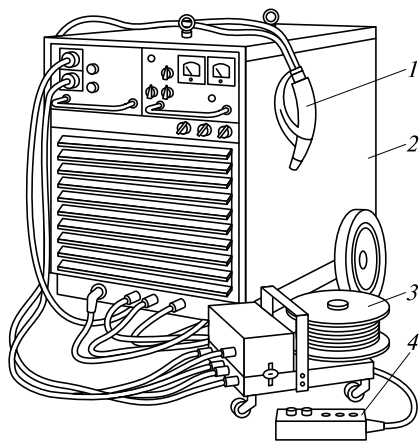


Рис. 12.3. Сварочный полуавтомат ПДГ-502:

1 — горелка; 2 — источник питания дуги с блоком управления; 3 — кассета; 4 — пульт управления

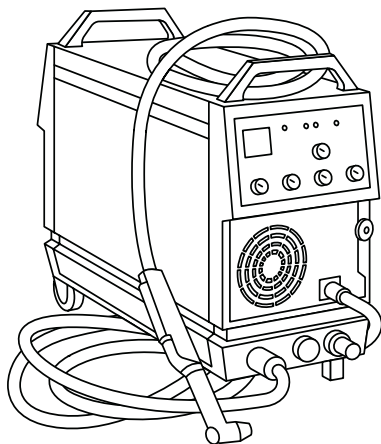
водственной площади при небольшом вспомогательном времени. В комплект полуавтомата входят подающий механизм, набор шлангов и горелок, шкаф управления, кассета с проволокой. Подающий меха-

низм приводится в действие асинхронным трехфазным электродвигателем напряжением 36 В. Скорость подачи устанавливается сменой шестерен и не зависит от напряжения дуги. Порошковая проволока обладает малой жесткостью и может деформироваться подающими роликами при сильном их сжатии, поэтому подачу электродной проволоки осуществляют двумя парами роликов, из которых все ведущие. Это позволяет обеспечить проталкивание проволоки при небольшом усилии их прижима, в результате чего предотвращается ее деформация. Полуавтомат комплектуется горелкой А-1197П для сварки порошковой проволокой и проволокой сплошного сечения. Проволока подается по направляющему каналу, а сварочный ток — по отдельному кабелю. Электрическая схема полуавтомата, смонтированная в шкафу управления, обеспечивает подъем и опускание электродной проволоки при наладочных операциях, а также подачу ее в зону горения дуги в процессе сварки.

Для сварки алюминия и его сплавов применяют полуавтоматы тянущего типа. В качестве примера может служить *полуавтомат ППП-10*. Этот полуавтомат имеет держатель со встроенным механизмом подачи, пустотелый шланг, через который протягивается проволока, и шкаф управления.

За последнее десятилетие все более широкое применение находят аппараты для полуавтоматической сварки с использованием инверторных источников тока. Такие аппараты имеют специальные устройства автоматической настройки и управления сварочным процессом. Перспективное направление механизированной сварки — использование оборудования с синергетическим управлением. Основными элементами такого оборудования являются высокочастотный инвертор и микропроцессор с цифровым управлением работой источника тока и исполнительных механиз-

Рис. 12.4. Сварочный полуавтомат ДС200АУ.3 с инверторным источником тока



мов, облегчающий подбор оптимальных режимов сварки по программам за счет заложенных в него алгоритмов. Такие алгоритмы обеспечивают настройку нужных вольт-амперных характеристик, установку необходимой импульсности режима, управление током на стадии образования капли и осуществление управляемого переноса во время сварки.

Технические характеристики некоторых полуавтоматов приведены в табл. 12.2. Например, инверторный аппарат ДС200АУ.3 (рис. 12.4) позволяет вести сварку неплавящимся электродом в защитном газе сталей и цветных металлов на постоянном и переменном токе с регулировкой амплитуды и длительности импуль-

Таблица 12.2

Технические характеристики сварочных полуавтоматов с инверторными источниками тока

Параметры	ДС200АУ.3	ПАРС Н-321И	ПАРС Н-511	S5 Lorch (Германия)
Номинальный сварочный ток, А	200	320	500	400
Диапазон токов, А	10... 200	40... 320	50... 500	25... 400
Время регулирования — импульс/пауза, с	4... 14 / —	0,5... 25/ 1... 50	—	—
Диаметр проволоки, мм:				
из стали	—	0,8... 1,6	0,8... 2,6	0,6... 2,2
из алюминия	—	1,0... 2,4	1,0... 2,4	0,8... 2,0
Потребляемая мощность, кВт	6,5	9,6	—	19,4
Масса, кг	30	17	—	91

сов прямой и обратной полярности, обеспечивая регулируемое время нарастания и время спада тока в импульсе. Полуавтомат ПАРС Н-321И предназначен для сварки и наплавки в активных и инертных газах конструкций из сталей, алюминия и других сплавов во всех положениях сварочной проволокой и покрытыми электродами. Полуавтомат ПАРС Н-321И комплектуется инверторным источником тока Р-321И и цифровым устройством управления, предназначенным для задания и хранения параметров режима и настроек полуавтомата, источника питания, корректировки режима во время сварки. Устройство имеет возможность технологического программирования и стабилизации параметров сварочного процесса, позволяя настраивать нужную вольт-амперную характеристику, программировать зажигание и гашение дуги, заварку кратера, отображать на алфавитно-цифровом жидкокристаллическом индикаторе в режиме реального времени информацию о настройках и параметрах процесса сварки. В электронной памяти цифрового устройства заложено 20 вариантов режимов сварки и настроек полуавтомата, а сварочный полуавтомат S5 фирмы Lorch (Германия) имеет в памяти до 100 программ сварки.

Контрольные вопросы

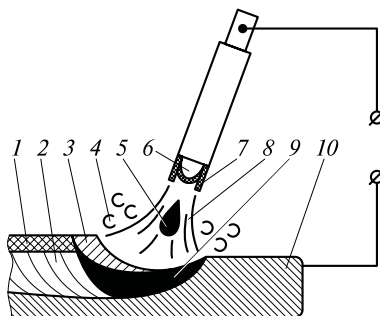
1. Что представляют собой сварочные полуавтоматы?
2. Каковы назначение и классификация сварочных полуавтоматов?
3. Опишите устройство и принцип работы полуавтомата для сварки в защитном газе и под флюсом.
4. В чем заключается принципиальное различие сварочных головок в автоматах и полуавтоматах?
5. Какой тип подающего устройства более подходит для механизированной дуговой сварки тонкой и мягкой сварочной проволокой?
6. Можно ли полуавтоматом выполнять сварку в автоматическом режиме и как?

13.1. Сущность способа и оборудование

С помощью ручной дуговой сварки выполняется большой объем сварочных работ при производстве сварных конструкций. Наибольшее применение находит ручная дуговая сварка покрытыми электродами. Схема процесса ручной дуговой сварки металлическим покрытым электродом показана на рис. 13.1. Дуга 8 горит между стержнем 6 и основным металлом детали 10. Под действием теплоты дуги электрод и основной металл расплавляются, образуя сварочную ванну 9. Капли жидкого металла 5 с электродного стержня переносятся в ванну через дуговой промежуток. Вместе с металлическим стержнем плавится и электродное покрытие 7, образуя газовую защиту 4 и жидкую шлаковую пленку 3 на поверхности расплавленного металла. В связи с тем что большая часть теплоты выделяется на торце металлического стержня электрода, на его конце образуется коническая втулка из покрытия, способствующая направленному движению газового потока. Это улучшает защиту сварочной ванны. По мере движения дуги сварочная ванна охлаждается и затвердевает, образуя сварной шов 2. Жидкий шлак также затвердевает и образует на поверхности шва твердый шлак 1, удаляемый после сварки. При этом способе осуществляется газшлаковая защита расплавленного металла от взаимодействия с воздухом. Кроме того, шлаки позволяют проводить необходимую металлургическую обработку металла в ванне. Для выполнения функции защиты и обработки расплавленного металла покрытия электродов при расплавлении должны образовывать шлаки и газы с определенными физико-химическими свой-

Рис. 13.1. Схема процесса ручной дуговой сварки покрытым электродом:

1 — твердый шлак; 2 — шов; 3 — жидкий шлак; 4 — газовая защита; 5 — капли жидкого металла; 6 — стержень; 7 — электродное покрытие; 8 — дуга; 9 — сварочная ванна; 10 — деталь



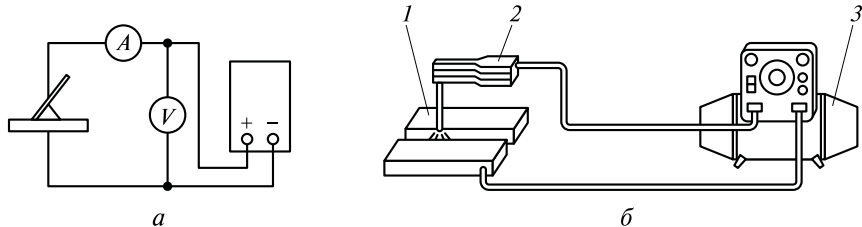


Рис. 13.2. Схема питания дуги при ручной дуговой сварке покрытым электродом:

a — электрическая цепь; *б* — схема поста сварки; 1 — деталь; 2 — электрододержатель; 3 — источник тока; *A* — амперметр; *V* — вольтметр

ствами, поэтому для обеспечения заданных состава и свойств шва при выполнении соединений на разных металлах для сварки применяют электроды с определенным типом покрытий, к которым предъявляют ряд специальных требований (см. гл. 9).

При сварке покрытыми электродами перемещение электрода вдоль линии сварки и подачу электрода в зону дуги по мере его плавления осуществляют вручную. При этом возникают частые изменения длины дуги, что отражается на постоянстве основных параметров режима сварки: напряжения дуги и силы сварочного тока. С целью поддержания более стабильного теплового режима в ванне при ручной дуговой сварке применяют источники питания с крутопадающими вольт-амперными характеристиками. Схема питания дуги при ручной дуговой сварке показана на рис. 13.2.

С помощью дуговой сварки покрытыми электродами изготовляют конструкции из металлов с толщиной соединяемых элемен-

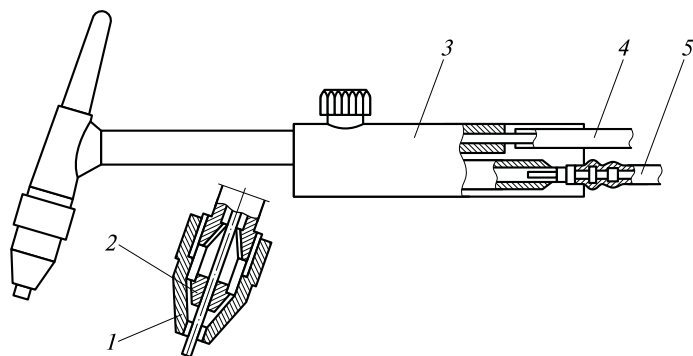


Рис. 13.3. Горелка для ручной дуговой сварки в защитном газе:

1 — сопло; 2 — наконечник; 3 — ручка; 4 — токоподвод; 5 — газоподвод

тов более 2 мм при небольшой протяженности швов, расположенных в труднодоступных местах и различных пространственных положениях.

Основными преимуществами способа являются универсальность и простота оборудования. Недостаток — невысокая производительность и применение ручного труда. Невысокая производительность обусловлена малыми допустимыми значениями плотности тока. Для увеличения производительности используют сварку погруженной дугой, пучком электродов или применяют электроды с железным порошком в покрытии.

При сварке неплавящимся (обычно вольфрамовым) электродом в защитном газе применяют сварочные горелки (рис. 13.3). В настоящее время выпускают три типа горелок: ГСН-1, ГСН-2, ГСН-3, рассчитанные на токи 450, 150, 70 А соответственно.

13.2. Подготовка деталей под сварку

Перед сваркой соединяемые детали необходимо подготовить. Основной металл, предназначенный для изготовления сварных конструкций, предварительно выпрямляют, размечают, разрезают на отдельные детали и выполняют необходимое профилирование кромок.

Основные типы, конструктивные элементы и размеры сварных соединений из сталей, а также сплавов на железоникелевой и никелевой основах, выполняемых ручной дуговой сваркой, установлены ГОСТ 5264—80, которым предусмотрено четыре типа соединений в зависимости от толщины свариваемых деталей. По форме подготовленных кромок соединения бывают с отбортовкой кромок, без скоса кромок и со скосом кромок (одной или двух).

Выполнять швы можно как с одной стороны соединений (односторонние), так и с двух сторон (двусторонние).

При расположении свариваемых деталей под углом основные типы, конструктивные элементы и размеры швов сварных соединений установлены ГОСТ 11534—75, которым предусмотрены формы подготовки кромок и размеры швов угловых и тавровых соединений.

От состояния поверхности свариваемых кромок в значительной мере зависит качество сварных швов. Подготовка кромок под сварку заключается в тщательной очистке их от ржавчины, окалины, грязи, масла и других инородных включений. Кромки очищают стальными вращающимися щетками, гидропескоструйным и дробеметным способами, шлифовальными кругами, пламенем сварочной горелки, травлением в растворах кислот и щелочей.

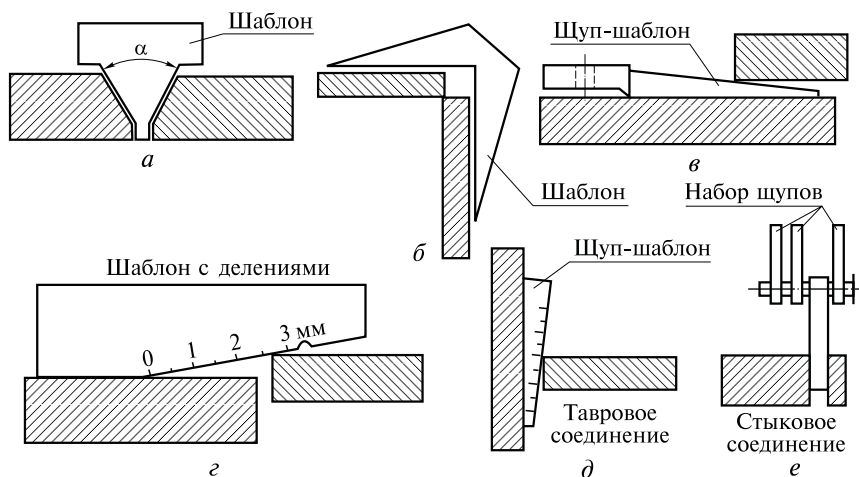


Рис. 13.4. Контроль качества сборки шаблонами (а — е):

α — угол разделки кромок

Подготовленные детали собирают под сварку. При сборке важно выдержать необходимые зазоры и совмещение кромок. Точность сборки проверяют шаблонами, измерительными линейками и различного рода щупами (рис. 13.4). Сборку выполняют в специальных приспособлениях или на выверенных стеллажах. Временное закрепление деталей производят струбцинами, скобами или прихваткой короткими швами.

13.3. Режимы ручной дуговой сварки покрытыми электродами

Под режимом сварки понимают совокупность контролируемых параметров, определяющих сварочные условия. Выбор режима сварки предусматривает определение значений параметров, при которых обеспечиваются устойчивое горение дуги и получение швов заданных размеров, формы и свойств. Параметры подразделяют на основные и дополнительные. К основным параметрам ручной дуговой сварки покрытыми электродами относят диаметр электрода, силу сварочного тока, его род и полярность, напряжение дуги, к дополнительным — состав и толщину покрытий, положение шва в пространстве, число проходов.

Диаметр электродов выбирают в зависимости от толщины металла, катета шва, положения шва в пространстве. Примерное соотношение между толщиной металла S и диаметром электрода d_e при сварке в нижнем положении составляет:

S , мм	1...2	3...5	4...10	12...24	30...60
d_3 , мм	2...3	3...4	4...5	5...6	Более 6

Выполнение вертикальных, горизонтальных и потолочных швов независимо от толщины свариваемого металла производится электродами небольшого диаметра (до 4 мм), так как при этом легче предупредить стекание жидкого металла и шлака из сварочной ванны. При сварке многослойных швов для лучшего провара корня шва первый шов сваривают электродом диаметром 3...4 мм, а последующие — электродами большего диаметра.

Сила сварочного тока обычно устанавливается в зависимости от выбранного диаметра электрода. При сварке швов в нижнем положении для электродов диаметром 3...6 мм сила тока I_{CB} может быть определена следующим образом:

$$I_{CB} = Kd_3$$

или

$$I_{CB} = (20 + 6d_3)d_3,$$

где K — коэффициент, зависящий от диаметра электрода; d_3 — диаметр электрода, мм. Значения коэффициента K принимают с учетом d_3 :

d_3 , мм	2	3	4	5	6
K	25...30	30...45	35...50	40...45	45...60

Из приведенной зависимости следует, что допустимая сила тока ограничена. При большой силе тока наблюдается перегрев стержня электрода. В результате ухудшаются защитные свойства покрытия, происходит его осыпание со стержня, нарушается стабильность плавления электрода.

При сварке на вертикальной плоскости силу тока уменьшают на 10...15 %, а в потолочном положении — на 15...20 % по сравнению со значением, выбранным для нижнего положения.

Род тока и полярность устанавливаются в зависимости от вида свариваемого металла и его толщины. При сварке постоянным током обратной полярности на электроде выделяется больше теплоты. Исходя из этого обратная полярность применяется при сварке тонких деталей с целью предотвращения прожога и при сварке легированных сталей во избежание их перегрева. При сварке углеродистых сталей применяют переменный ток исходя из учета экономичности процесса.

Напряжение дуги при ручной дуговой сварке изменяется от 20 до 36 В и при расчетах режима не регламентируется. Ручную сварку можно производить во всех пространственных положениях шва, но лучше всего в нижнем, так как оно более удобно и обеспечивает лучшие условия для достижения высокого качества сварного шва.

13.4. Технология выполнения ручной дуговой сварки

Общие сведения. Технология ручной дуговой сварки предусматривает выполнение следующих операций: возбуждение дуги, перемещение электрода в процессе сварки, порядок наложения швов в зависимости от особенности сварных соединений.

Возбуждение дуги осуществляется при кратковременном прикосновении концом электрода к изделию и отведении его на расстояние 3...5 мм. Технически этот процесс можно осуществлять двумя приемами: касанием электрода и отводом его вверх; скользящим движением конца электрода по поверхности металла (чирканьем) с быстрым отводом его на необходимое расстояние.

В процессе сварки необходимо поддерживать определенную длину дуги, которая зависит от марки и диаметра электрода. Ориентировочно нормальная длина дуги должна быть в пределах $L_d = (0,5 \dots 1,0)d_e$.

Длина дуги оказывает существенное влияние на качество сварного шва и его геометрическую форму. Длинная дуга способствует более интенсивному окислению и азотированию расплавляемого металла, увеличивает разбрызгивание, а при сварке покрытыми электродами основного типа приводит к пористости металла.

Для образования сварного шва электроду придается сложное движение в трех направлениях. Первое движение — это поступательное движение электрода по направлению его оси. Оно производится со скоростью плавления электрода и обеспечивает поддержание определенной длины дуги. Второе движение электрода направлено вдоль оси шва и производится со скоростью сварки. В результате этих двух движений образуется узкий, шириной не более 1,5 диаметра электрода, так называемый ниточный шов. Такой шов применяется при сварке тонкого металла, а также при выполнении корня шва при многослойной (многопроходной) сварке. Третье движение — это колебание конца электрода поперек оси шва, которое необходимо для образования валика определенной ширины, хорошего провара кромок и замедления остывания сварочной ванны. Колебательные движения электрода поперек оси шва могут быть различными и определяются формой, размером и положением шва в пространстве (рис. 13.5).

При горении дуги в жидком металле образуется кратер, являющийся местом скопления неметаллических включений, что может привести к возникновению трещин. Поэтому в случае обрыва дуги (а также при смене электрода) ее повторное зажигание следует произвести впереди кратера, а затем переместить электрод назад, переплавить застывший металл кратера и только после этого продолжить процесс сварки. Сварщик должен внимательно следить за расплавлением кромок деталей и торца электрода, про-

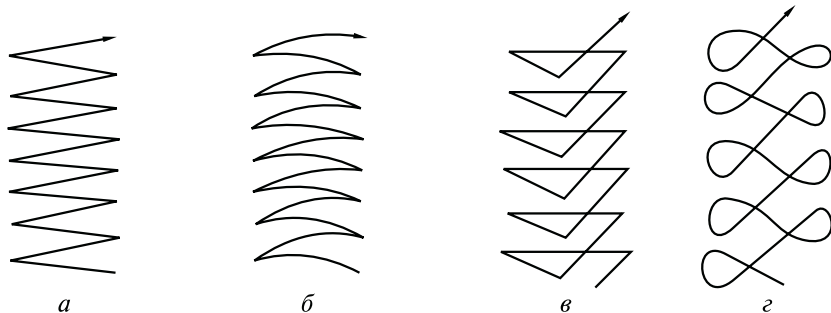


Рис. 13.5. Колебательные движения электрода при ручной сварке:
а, б — при обычной сварке; *в, г* — при сварке с усиленным прогревом кромок

плавлением корня шва и не допускать затекания жидкого металла впереди дуги.

Заканчивают сварку заваркой кратера. Для этого или держат неподвижно электрод до естественного обрыва дуги, или быстро укорачивают дугу вплоть до частых коротких замыканий, после чего ее резко обрывают.

Выполнение стыковых швов. Стыковые швы выполняют для получения стыковых соединений. Стыковые соединения со скосом одной или двух кромок могут выполняться однослойными или многослойными швами. При сварке однослойным швом дугу возбуждают на краю скоса кромки, а затем, переместив ее вниз, проваривают корень шва. На скосах кромок движение электрода замедляют, чтобы лучше проварить их. При переходе дуги с одной кромки на другую скорость движения электрода увеличивают во избежание прожога в месте зазора между кромками. При выполнении многослойного шва после заполнения каждого последующего слоя предыдущий слой тщательно зачищают от шлака, так как в противном случае между отдельными слоями могут образоваться шлаковые включения. Последними проходами создается небольшая выпуклость шва высотой 2...3 мм над поверхностью основного металла.

Сварку соединений ответственных конструкций большой толщины (свыше 25 мм), когда появляются объемные напряжения и возрастает опасность образования трещин, выполняют с применением специальных приемов заполнения швов блоками и каскадом (рис. 13.6). При сварке каскадом сначала в разделку кромок наплавляют первый слой небольшой длины 200...300 мм, затем второй слой, перекрывающий первый и имеющий примерно в два раза большую длину. Третий слой перекрывает второй и длиннее его на 200...300 мм. Так наплавляют слои до тех пор, пока на небольшом участке над первым слоем разделка не будет заполне-

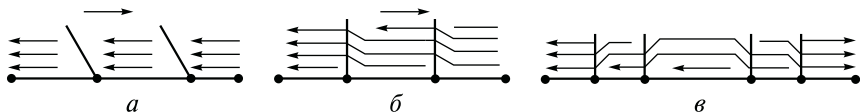


Рис. 13.6. Схемы заполнения разделки кромок:

а — блоками; *б* — односторонним каскадом; *в* — двусторонним каскадом

на. Затем от этого участка сварку ведут в разные стороны короткими швами тем же способом. Таким образом, зона сварки все время находится в горячем состоянии, что предупреждает появление трещин. При блочном методе выполняется обратноступенчатая сварка, при которой многослойный шов выполняют отдельными участками с полным заполнением каждого из них.

Выполнение угловых швов. Угловые швы применяют при сварке угловых, тавровых и нахлесточных соединений. Сварка угловым швом может производиться наклонным электродом и «в лодочку».

При сварке наклонным электродом возможно неполное проплавление корня шва или кромки горизонтальной детали. Во избежание непровара дугу возбуждают на горизонтальной полке, отступив от границы шва на 3...4 мм. Затем дугу перемещают к вершине шва, где ее несколько задерживают для лучшего провара его корня, и поднимают вверх, проваривая вертикальную полку. Такой же процесс после некоторого перемещения электрода вперед повторяют в обратном направлении. Угол наклона электрода в процессе сварки изменяется в зависимости от того, на какой полке в данный момент горит дуга. Начинать процесс сварки на вертикальной полке нельзя, так как в этом случае расплавленный металл с электрода будет натекает на еще холодный основной металл горизонтальной полки, в результате чего образуется непровар. На вертикальной же полке возможно образование подрезов. При многослойной сварке для лучшего провара корня шва первый слой выполняют узким или ниточным швом электродом диаметром 3...4 мм без колебательных движений.

При сварке угловым швом «в лодочку» наплавленный металл располагается в желобке, образуемом двумя полками. Это обеспечивает правильное формирование шва и хороший провар его корня.

Выполнение швов в нижнем положении. Это положение наиболее удобно для сварки, так как в этом положении капли электродного металла под действием собственной массы легко переходят в сварочную ванну и жидкий металл не вытекает из нее. Кроме того, легко наблюдать за процессом формирования шва. В процессе сварки электрод наклоняют по направлению сварки на угол 10...20°.

Выполнение швов в вертикальном положении. В этом случае расплавленный металл стремится стечь вниз, поэтому вертикальные швы выполняют очень короткой дугой, при которой расстояние между каплями на электроде и жидким металлом в сварочной ванне настолько малó, что между ними возникает взаимное притяжение. Благодаря этому капли электродного металла сливаются со сварочной ванной при малейшем касании их между собой. Вертикальные швы выполняют как снизу вверх, так и сверху вниз. В первом случае дуга возбуждается в самой нижней точке вертикально расположенных пластин, и после образования ванны жидкого металла электрод, установленный сначала горизонтально, отводится несколько вверх. При этом застывший металл шва образует подобие полки, на которой удерживаются последующие капли металла. Для предотвращения вытекания жидкого металла из ванны необходимо совершать колебательные движения электродом поперек оси шва с отводом его вверх и поочередно в обе стороны. Это обеспечивает быстрое затвердевание жидкого металла.

Сварку сверху вниз применяют при малой толщине металла или при наложении первого слоя шва в процессе многослойной сварки. В этом случае подтекающий под дугу жидкий металл уменьшает возможность образования сквозных прожогов. В начале сварки дуга возбуждается в самой верхней точке пластин при горизонтальном расположении электрода. После образования ванны жидкого металла электрод наклоняют на $15...20^\circ$ с таким расчетом, чтобы дуга была направлена на основной и наплавленный металл. Для улучшения условий формирования шва амплитуда колебательных движений электрода должна быть небольшой, а дуга — очень короткой, чтобы капли расплавленного металла удерживались от стекания вниз.

Выполнение швов в горизонтальном положении. Эти швы выполнять труднее, чем в вертикальном положении. Для предупреждения стекания жидкого металла скос кромок обычно делается на одной верхней детали. Дуга в этом случае возбуждается на нижней горизонтальной кромке и переносится на притупление деталей, а затем на верхнюю кромку, поднимая вверх стекающую каплю металла. Колебательные движения электродом совершают по спирали. Выполнять горизонтальными сварными швами нахлесточные соединения легче, чем стыковые, так как горизонтальная кромка листа способствует удержанию расплавленного металла от стекания вниз. При выполнении горизонтальных швов с двумя скосами кромок устанавливают порядок их заполнения, который в процессе проваривания верхней кромки позволяет избежать потолочного положения расплавленного металла.

Выполнение швов в потолочном положении. Выполнение швов в потолочном положении является наиболее трудным. Объясняется

это тем, что масса капли препятствует переносу металла с электрода в сварочную ванну, а расплавленный металл стремится вытечь из ванны вниз. Поэтому в процессе сварки нужно добиться, чтобы объем сварочной ванны был небольшим. Это достигается применением электродов малого диаметра (не более 3...4 мм) и сварочного тока пониженной силы. Основным условием получения качественного шва является поддержание самой короткой дуги путем периодических замыканий электрода с ванной жидкого металла. В момент замыкания капли металл под действием сил поверхностного натяжения втягивается в сварочную ванну. В момент удаления электрода дуга гаснет и металл шва затвердевает. Одновременно электроду сообщаются также и колебательные движения поперек шва. Наклон электрода к поверхности детали должен составлять 70...80° в направлении сварки.

Выполнение швов разной длины. Все сварные швы в зависимости от их длины условно разбивают на три группы: короткие — до 250 мм, средней длины — от 250 до 1 000 мм, длинные — от 1 000 мм и более.

Короткие швы выполняют напроход в одном направлении, т. е. при движении электрода от начала шва к концу (рис. 13.7, *а*). При выполнении швов средней длины и длинных возможно коробление изделий. Чтобы избежать этого, швы средней длины выполняют напроход от середины сварного соединения к концам (рис. 13.7, *б*) и обратноступенчатым способом (рис. 13.7, *в*), сущность которого состоит в том, чтобы каждый из них мог быть выполнен целым числом электродов (двумя, тремя и т.д.), при этом переход от участка к участку совмещается со сменой электрода. Каждый участок заваривается в направлении, обратном об-

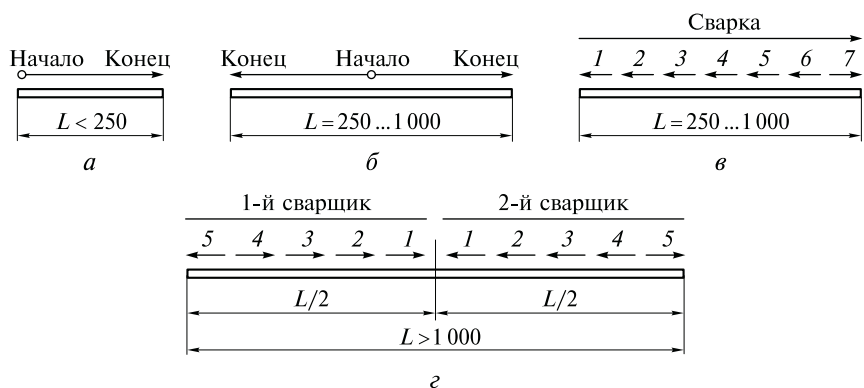


Рис. 13.7. Выполнение швов разной длины:

а — коротких; *б*, *в* — средней длины; *з* — длинных; 1–7 — порядок и направление сварки участков шва; *L* — длина шва

шему направлению сварки, а последний всегда заваривается «на выход». Длинные швы выполняют от середины к концам обратнo-ступенчатым способом (рис. 13.7, з). В данном случае возможно организовать работу одновременно двух сварщиков.

Контрольные вопросы

1. Какие требования предъявляют при подготовке деталей для сварки?
2. Назовите параметры режимов ручной дуговой сварки.
3. Как выбор оптимального режима ручной дуговой сварки влияет на формирование сварочной ванны?
4. Каковы особенности ручной дуговой сварки при разном положении в пространстве?
5. Каковы особенности и способы выполнения ручной дуговой сваркой швов различной длины?
6. При каких положениях электрода и детали при сварке будет получена большая глубина проплавления?
7. Как в процессе сварки формируют шов?

ТЕХНОЛОГИЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ ПОД ФЛЮСОМ

14.1. Особенности процесса сварки под флюсом

Особенностью процесса автоматической дуговой сварки под флюсом (рис. 14.1) является применение сварочной проволоки без электродного покрытия и гранулированного (зернистого) флюса. Сварку ведут закрытой дугой, горячей под слоем флюса в пространстве газового пузыря, образующегося в результате выделения паров и газов в зоне дуги. Сверху сварочная зона ограничена пленкой расплавленного шлака, снизу — сварочной ванной. Среда в сварочной зоне является наиболее благоприятной с точки зрения защиты металла от взаимодействия с воздухом. В процессе сварки давление газов и паров в пузыре возрастает. Наступает момент, когда пленка расплавленного шлака прорывается и избыток газа удаляется в окружающую атмосферу. Такой процесс удаления газов периодически повторяется.

Хороший контакт шлака и металла в сварочной ванне, наличие изолированного от внешней среды пространства обеспечивают благоприятные условия для защиты и металлургической обработки металла сварочной ванны и способствуют получению швов с высокими механическими свойствами. Кроме того, флюс препятствует разбрызгиванию жидкого металла и способствует созданию более благоприятных условий при охлаждении и кристаллизации металла шва.

Сварку под флюсом выполняют плавящимся электродом. Дуга горит вблизи переднего края ванны, несколько отклоняясь от вертикального положения в сторону, обратную направлению сварки. Под влиянием давления дуги жидкий металл также оттесняется в

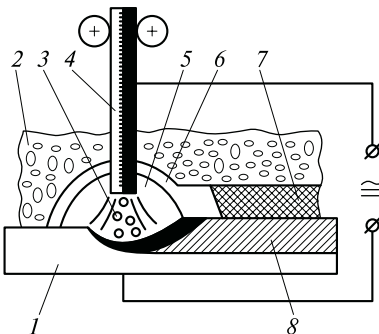


Рис. 14.1. Схема дуговой сварки под флюсом:

1 — деталь; 2 — флюс; 3 — дуга; 4 — электрод; 5 — парогазовый пузырь; 6 — жидкий шлак; 7 — твердый шлак; 8 — сварной шов

сторону, противоположную направлению сварки, образуя кратер сварочной ванны. Под дугой находится тонкая прослойка жидкого металла, от толщины которой во многом зависит глубина проплавления. Расплавленный флюс, попадающий в ванну, вследствие значительно меньшей плотности всплывает на поверхность расплавленного металла шва и покрывает его плотным слоем застывшего шлака.

Хорошая тепловая изоляция сварочной дуги, повышенное давление газовой среды над ванной и большая плотность тока (плотность энергии в пятне нагрева достигает 10^3 Вт/см²) способствуют более глубокому проплавлению свариваемого металла. Это, в свою очередь, позволяет уменьшить глубину разделки и сократить количество металла, необходимого для наплавки при образовании швов. Эти факторы являются решающими в повышении производительности процесса. Высокая производительность и качество получаемых швов, а также возможность автоматизации процесса — основные достоинства сварки под флюсом. К недостаткам процесса следует отнести трудности сварки деталей небольшой толщины и выполнение швов в положениях, отличных от нижнего. Затруднено визуальное наблюдение за процессом. Сваркой под флюсом соединяют стали, алюминий, титан, медь и их сплавы. Для выполнения сварки под флюсом обычно используют источники питания, имеющие пологопадающие вольт-амперные характеристики, сварочные автоматы подвесного или передвижного типов и шланговые сварочные полуавтоматы.

14.2. Подготовка деталей под сварку

Подготовка элементов к сварке заключается в резке и разделке кромок по определенной форме в зависимости от толщины металла. Основные типы, конструктивные элементы и размеры швов сварных соединений, выполняемых автоматической и механизированной сваркой под флюсом, регламентированы ГОСТ 8713—79. Для выполнения разделки кромок используют механизированную кислородную резку, механическую резку на гильотинных ножницах, а также обработку на токарных, карусельных и кромкострогальных станках. Ручная кислородная резка иногда требует дополнительной зачистки кромок пневматическим зубилом или абразивным инструментом для устранения неровностей и наплывов шлака. Подготовленные кромки перед сборкой должны быть очищены от ржавчины, масла, краски, влаги и других загрязнений, наличие которых может привести в процессе сварки к образованию пор, шлаковых включений и других дефектов. Тонкий слой окалины на поверхности кромок большого влияния на качество шва не оказывает. Очистке подвергаются торцовые кромки свариваемых элементов.

ваемых деталей, а также прилегающие к ним участки металла, шириной 25...30 мм.

Очистка может производиться как механическими способами (вращающимися щетками из стальной проволоки, абразивным инструментом и др.), так и газопламенной обработкой. В последнем случае используют обычные сварочные или специальные многопламенные горелки для газовой сварки. Такой процесс очистки основан на быстром нагреве поверхности детали, при котором окалина отслаивается, ржавчина обезжелезивается, краска сгорает, а влага испаряется. Остатки продуктов сгорания удаляют металлической щеткой. Детали после их сборки не очищают, так как при очистке в зазоры могут попасть различные загрязнения, вызывающие пористость шва. Собранные конструкции перед сваркой можно только продувать сжатым воздухом или прожигать газовой горелкой.

Сборку деталей под автоматическую сварку выполняют более тщательно, чем под ручную. Глубокий провар, жидкотекучесть расплавленного металла и постоянная скорость сварки приводят к необходимости выдерживать при сборке одинаковые зазоры, углы разделки и притупления кромок, так как в противном случае возможно образование непроваров или прожогов.

Особое внимание следует уделять равномерности зазора по всей протяженности шва, так как в местах с повышенным зазором швы получаются вогнутыми, а в местах с небольшими зазорами кроме уменьшения проплавления получается большая выпуклость шва. Величины зазоров и смещения кромок при сборке соединений для деталей различных толщин установлены ГОСТ 8713—79 и ГОСТ 11533—75.

Если свариваемые кромки имеют различную толщину, то должен быть сделан скос с одной или двух сторон листа большей толщины (рис. 14.2). Допустимые смещения (превышения) свариваемых кромок в зависимости от толщины листов следующие:

Толщина листов, мм	До 4	4...10	Более 10
Допустимые смещения кромок, мм	1	2	0,1S, но не более 3 мм

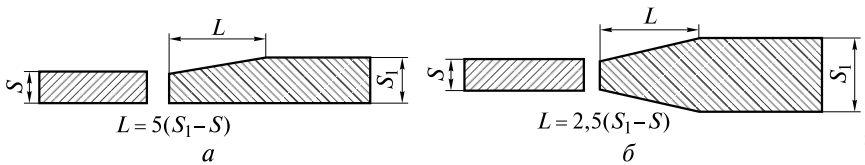


Рис. 14.2. Подготовка кромок разной толщины:

a — односторонний скос; *б* — двусторонний скос; *L* — длина скоса; *S* и *S*₁ — толщины кромок

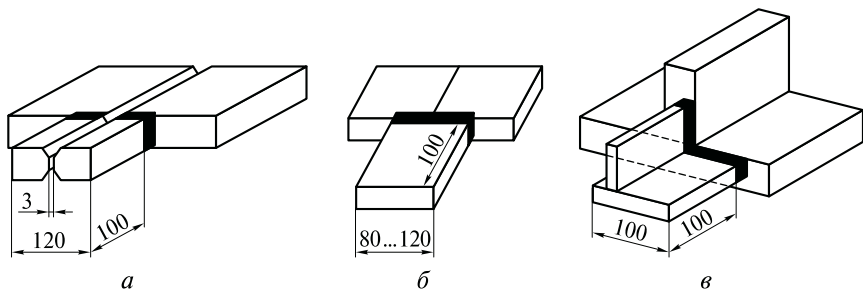


Рис. 14.3. Входные и выходные планки для сварных швов:

а — с разделкой кромки; *б* — без разделки кромки; *в* — для углового шва

При сборке детали временно закрепляют струбцинами, скобами, прихватками или другими способами. Прихватки выполняют длиной 50...80 мм покрытыми электродами, предназначенными для сварки данной марки стали. Перед сваркой все прихватки должны быть тщательно очищены от шлака и брызг расплавленного металла.

При сварке в начале шва, когда основной металл еще недостаточно прогрет, возможно образование непроваров. В конце шва в заплавленном кратере могут образовываться поры и трещины, поэтому сварку следует начинать на входных, а заканчивать на выходных технологических планках (рис. 14.3), которые после остывания шва удаляют. Разделка кромок входных и выходных технологических планок должна быть такая же, как и кромок основного соединения. Входные и выходные технологические планки являются также и скрепляющими элементами при сборке, поэтому их следует приваривать покрытыми электродами, предназначенными для сварки стали данной марки, обязательно с полным проваром. Если провар будет неполным, то в начале шва возможно образование продольных горячих трещин, которые могут распространяться и на основной шов.

14.3. Режимы сварки под флюсом

Режим автоматической сварки под флюсом включает в себя ряд параметров. Основные из них — сила сварочного тока, напряжение дуги, скорость сварки, диаметр электрода, род и полярность тока. Дополнительные параметры — вылет электрода, наклон электрода и др.

Параметры режима сварки выбирают исходя из толщины свариваемого металла и требуемой формы сварного шва, которая определяется глубиной проплавления и шириной шва. Режим сварки определяют по экспериментальным (справочным) таблицам

или приближенным расчетом с последующей проверкой на технологических пробах. Обычно режим сварки выбирают в следующем порядке: в зависимости от толщины свариваемого металла выбирают диаметр электродной проволоки, затем в зависимости от диаметра устанавливают силу сварочного тока, далее скорость подачи электрода и скорость сварки. Режимы автоматической сварки под флюсом следующие:

Толщина металла, мм	5	10
Диаметр электрода, мм	3	5
Сварочный ток, А	450...500	700...750
Напряжение дуги, В	32...34	34...36
Скорость сварки, м/ч	35	30

От силы сварочного тока зависит тепловая мощность дуги. При увеличении силы тока количество выделяющейся теплоты возрастает и увеличивается давление дуги на ванну. Это приводит к увеличению глубины проплавления основного металла и доли участия его в формировании швов. Ширина шва при этом изменяется мало (рис. 14.4, а).

При увеличении диаметра электродной проволоки и неизменном сварочном токе плотность тока на электроде уменьшается, одновременно усиливается блуждание дуги между концом электрода и поверхностью сварочной ванны, что приводит к возрастанию ширины шва и уменьшению глубины провара. И наоборот,

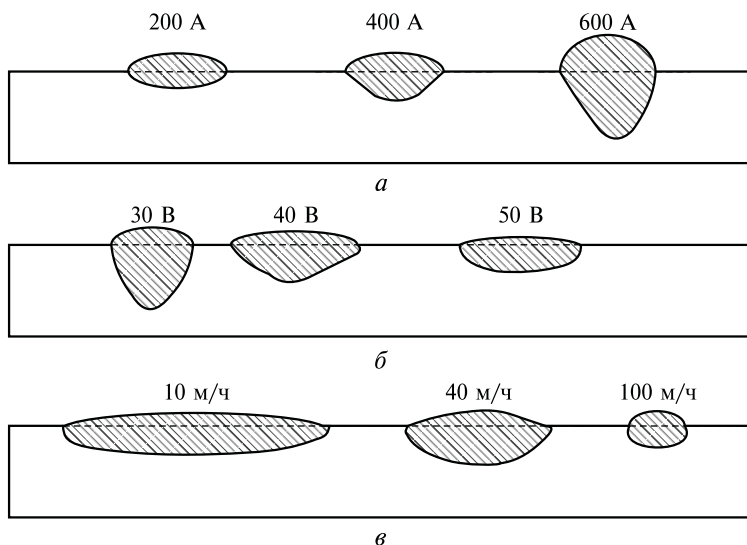


Рис. 14.4. Влияние параметров режима сварки на форму шва:

а — сварочного тока; б — напряжения дуги; в — скорости сварки

при уменьшении диаметра электродной проволоки плотность тока в ней увеличивается, уменьшается блуждание дуги, происходит концентрация теплоты на малой площади сварочной ванны и глубина провара возрастает, ширина шва при этом уменьшается. Это позволяет при сварке тонкой электродной проволокой на сравнительно небольших токах получать глубокий провар.

Напряжение дуги оказывает наибольшее влияние на ширину шва (рис. 14.4, б). С повышением напряжения дуги увеличиваются ее длина и подвижность, в результате чего возрастает доля теплоты, идущей на плавление поверхности основного металла и флюса. Это приводит к значительному увеличению ширины шва, причем глубина проплавления уменьшается, что особенно важно при сварке тонкого металла. Несколько уменьшается и высота выпуклости шва.

От *рода и полярности тока* с повышением напряжения дуги зависит увеличение ширины шва. При одних и тех же напряжениях дуги ширина шва при сварке на постоянном токе, а в особенности при обратной полярности, значительно больше ширины шва, выполненного на переменном токе.

Характер зависимости формы и размеров шва от основных параметров режимов сварки при переменном токе примерно такой же, как и при постоянном. Однако полярность постоянного тока оказывает различное влияние на глубину проплавления, что объясняется разным количеством теплоты, выделяемой на катоде и аноде. При дуговой сварке под флюсом постоянным током применяется, как правило, обратная полярность.

Скорость сварки (рис. 14.4, в) влияет на глубину проплавления и ширину шва. Сначала при увеличении скорости сварки столб дуги все больше вытесняет жидкий металл, толщина прослойки жидкого металла под дугой уменьшается и глубина проплавления возрастает. При дальнейшем увеличении скорости сварки (более 40...50 м/ч) заметно уменьшается погонная энергия и глубина проплавления начинает уменьшаться. Во всех случаях при увеличении скорости сварки ширина постоянно уменьшается. При скорости сварки более 70...80 м/ч основной металл не успевает достаточно прогреться, в результате чего по обеим сторонам шва возможны несплавления кромок или подрезы. При необходимости ведения сварки на больших скоростях применяют специальные методы (двухдуговая сварка, сварка трехфазной дугой и др.).

Скорость подачи электродной проволоки тесно связана с силой сварочного тока и напряжением дуги. Для устойчивого процесса сварки скорость подачи электродной проволоки должна быть равна скорости ее плавления. При недостаточной скорости подачи проволоки возможны периодические обрывы дуги, при слишком большой скорости происходят частые короткие замыкания элект-

рода на сварочную ванну. Все это ведет к появлению непроваров и неудовлетворительному формированию шва.

С увеличением *вылета электрода* возрастает интенсивность его предварительного подогрева проходящим сварочным током. Электрод плавится быстрее, а основной металл остается сравнительно холодным. Кроме того, увеличивается длина дуги, что приводит к уменьшению глубины проплавления и некоторому увеличению ширины шва. Обычно вылет составляет 40... 60 мм.

Наклон электрода вдоль шва и положение детали также влияют на форму шва. Обычно сварку выполняют вертикально расположенным электродом, но в отдельных случаях она может производиться с наклоном электрода углом вперед (рис. 14.5, *а*) или углом назад (рис. 14.5, *б*) по отношению к направлению сварки.

При сварке углом вперед жидкий металл подтекает под дугу, толщина его прослойки увеличивается, а глубина проплавления уменьшается. Уменьшается также высота выпуклости шва, но заметно возрастает ширина, что позволяет использовать этот метод при сварке металла небольшой толщины. Кроме того при сварке углом вперед лучше проплавляются свариваемые кромки, что дает возможность производить сварку на повышенных скоростях. При сварке углом назад жидкий металл давлением газов вытесняется из-под дуги, т. е. толщина его прослойки под дугой уменьшается, а глубина проплавления увеличивается. Увеличивается также высота выпуклости шва, но значительно уменьшается его ширина. Ввиду глубокого проплавления и недостаточного прогрева свариваемых кромок возможно несплавление основного металла с наплавленным и образование пористости шва. Учитывая это, данный метод применяют ограниченно, в основном при сварке металла большой толщины на больших скоростях, например при двухдуговой сварке или выполнении кольцевых швов небольшого диаметра.

Обычно автоматическая и механизированная сварка под флюсом производится в нижнем положении. Возможна сварка на подъем (рис. 14.6, *а*) или на спуск (рис. 14.6, *б*). При сварке на подъем жидкий металл под действием собственной массы вытекает из-под дуги, толщина его прослойки уменьшается, что приво-

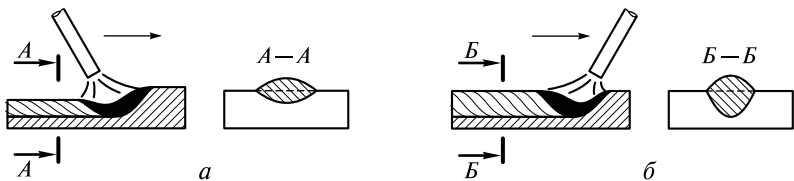


Рис. 14.5. Влияние наклона электрода при сварке на форму шва:

а — углом вперед; *б* — углом назад

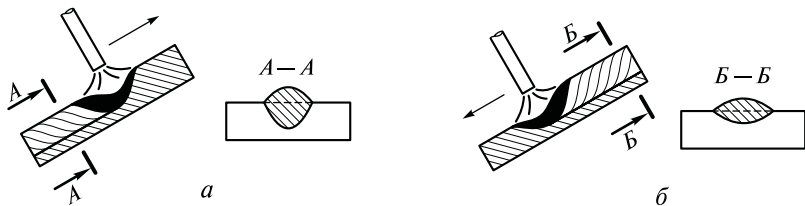


Рис. 14.6. Влияние наклона детали на форму шва при сварке на подъем (а) и на спуск (б)

дит к увеличению глубины проплавления и уменьшению ширины шва. При угле наклона $6...8^\circ$ по обе стороны шва могут образоваться подрезы, ухудшающие форму шва.

При сварке на спуск расплавленный металл подтекает под дугу, что приводит к увеличению толщины его прослойки. Глубина проплавления при этом уменьшается. Этот метод, позволяющий несколько увеличить скорость сварки при хорошем формировании шва и небольшой глубине проплавления, применяется при сварке тонкого металла. При угле наклона более $15...20^\circ$ происходит сильное растекание электродного металла, который только натекает на поверхность свариваемого изделия, но не сплавляется с ним, поэтому этот метод не применяется.

Влияние на форму шва и глубину проплавления оказывают марка флюса и его грануляция. Различные флюсы обладают разными стабилизирующими свойствами, с повышением которых увеличиваются длина дуги и ее напряжение, в результате чего возрастает ширина шва и уменьшается глубина проплавления. Чем крупнее флюс, тем меньше его объемная масса. Флюсы с малой объемной массой (крупнозернистые стекловидные и пемзовидные) оказывают меньшее давление на газовую полость зоны сварки, что способствует получению более широкого шва с меньшей глубиной проплавления. Применение мелкозернистого флюса с большей объемной массой приводит к увеличению глубины проплавления и уменьшению ширины шва.

14.4. Сварка под флюсом стыковых и угловых швов

Стыковые соединения являются наиболее технологичными в исполнении и работоспособными в эксплуатации. Они могут быть одно- и двусторонними. При сварке односторонних стыковых соединений существует опасность вытекания жидкого металла в зазор и образования прожогов. Для предотвращения этого применяют ряд технологических мер: сварку на флюсовой подушке, подкладке из меди, остающейся подкладке, сварку по ручной подварке корня шва и др. (рис. 14.7, 14.8).

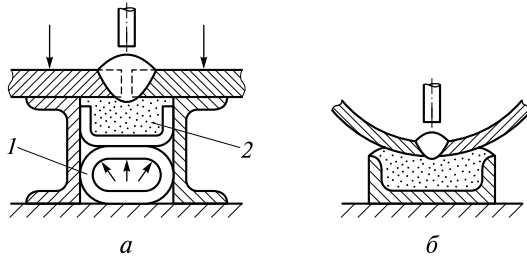


Рис. 14.7. Флюсовая подушка:

a — поджатие сжатым воздухом; *б* — поджатие за счет массы изделия; 1 — шланг; 2 — флюс

Сварка на флюсовой подушке. Флюсовой подушкой называют уплотненный слой мелкого флюса, который прижимают к обратной стороне сварного соединения в процессе его сварки. При подаче сжатого воздуха в эластичный шланг 1 (см. рис. 14.7, *a*) последний расширяется и прижимает слой флюса 2 к свариваемому стыку. В процессе сварки кромки полностью проплавляются, и образуется шов с выпуклостями с верхней и нижней стороны. При сварке изделий с достаточной массой прижатие к флюсовой подушке происходит за счет массы самого изделия (см. рис. 14.7, *б*). В процессе сварки слой флюса предохраняет металл сварочной ванны от протекания, защищает его от взаимодействия с воздухом и способствует формированию обратной стороны шва.

Сварка на медной подкладке. Съемные медные подкладки (см. рис. 14.8, *a*) применяют при сварке металла небольших толщин. Подкладки могут иметь специальные формирующие канавки для формирования валика с обратной стороны шва, каналы для пропускания охлаждающей воды, отверстия для подачи защитного

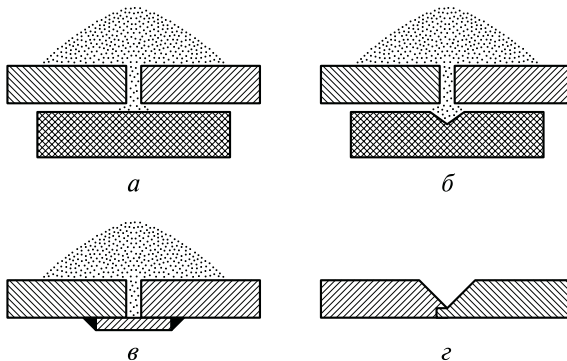


Рис. 14.8. Подкладки для сварки стыковых швов:

a — медные; *б* — флюсомедные; *в* — остающиеся; *г* — полка в листе

газа с обратной стороны шва. Одним из вариантов сварки является способ с использованием флюсомедной подкладки (см. рис. 14.8, б). В этом случае в медной подкладке делают широкую канавку (шириной 12...20 мм, глубиной 1,5...2,5 мм), в которую перед сваркой засыпают слой мелкого флюса. Слой флюса выполняет те же функции, что и при сварке на флюсовой подушке, и одновременно защищает медную подкладку от приваривания к стыку. После сварки использованный слой флюса снимают и засыпают свежий.

Сварка на остающейся подкладке. Остающейся подкладкой (см. рис. 14.8, в) считают узкую пластину из однотипного со свариваемым металлом, прикрепляемую с обратной стороны стыка для предотвращения протекания расплавленного металла сварочной ванны и образования прожогов и остающуюся после сварки. Остающаяся подкладка обычно применяется в зависимости от толщины свариваемого металла шириной 10...40 мм и толщиной 2...4 мм. Подкладка плотно подгоняется под нижнюю сторону стыка и закрепляется прихватками. При сварке подкладка приваривается к свариваемому соединению, что обеспечивает полный провар свариваемых кромок. Такой прием используют в тех случаях, когда невозможно применение съемной подкладки. Остающаяся подкладка не должна мешать в работе изделия при эксплуатации и требует дополнительного расхода металла, поэтому такой вариант применяется ограниченно.

Сварка по подварочному шву. Сварка по подварочному шву используется при невозможности обеспечения качественной сборки стыков и отсутствии специальных приспособлений, предотвращающих протекание жидкого металла.

При двусторонней сварке стыковое соединение собирают с одинаковым зазором по всей длине стыка. Сварку с одной стороны производят на весу с обеспечением проплавления на глубину 60...70 % от толщины листов, после чего сваривают шов с обратной стороны стыка. При неравномерном зазоре в стыке первый проход можно проводить на подкладке (флюсовой или флюсомедной). Сварку металла большой толщины производят многослойными швами с предварительной разделкой кромок. Двусторонняя сварка менее производительна, но и менее чувствительна к колебаниям режима и не требует специальных приспособлений для формирования обратной стороны шва.

Угловые швы могут выполняться вертикально или наклонно расположенным электродом. Сварку вертикальным электродом чаще всего применяют при выполнении шва «в лодочку». Сварка «в лодочку» обеспечивает хорошее формирование шва и может выполняться при симметричном или несимметричном расположении свариваемых листов. Кроме того, сварку вертикальным электродом применяют при изготовлении нахлесточного соединения с оплавлением верхней части кромки или с проплавлением верх-

него листа. Сварку наклонным электродом применяют тогда, когда изделие нельзя установить в положение «лодочки». При сварке наклонным электродом существует опасность образования подрезов на вертикальном листе и наплывов с непроварами — на горизонтальном, что особенно часто наблюдается при сварке швов с катетом более 8 мм, поэтому сварку швов больших сечений производят в несколько проходов.

14.5. Сварка под флюсом кольцевых швов

Кольцевые швы применяют при сварке стыков труб и обечаек, приварке днищ, фланцев, а также других деталей при сварке цилиндрических сосудов.

Для предотвращения протекания жидкого металла и шлака в зазор первый слой стыкового кольцевого шва труб большого диаметра выполняют на флюсоремной подушке (рис. 14.9), представляющей собой прорезиненный ремень, имеющий форму лотка, в который в процессе сварки непрерывно подается мелкозернистый флюс. Сварка первым слоем производится изнутри сосуда, а последующими — снаружи. При сварке кольцевыми швами диаметром до 800 мм часто применяют флюсомедные подкладки, которые могут быть неподвижными (рис. 14.10, а) или перекаты-

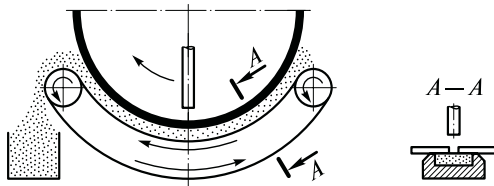


Рис. 14.9. Флюсоремная подушка для сварки кольцевых швов

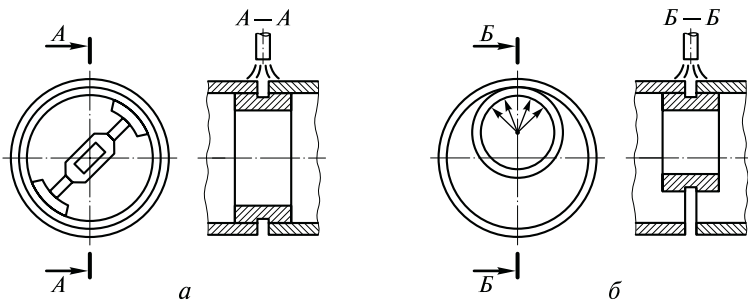


Рис. 14.10. Флюсомедные подкладки для сварки кольцевых швов:

а — неподвижные; б — перекатывающиеся

вающимися (рис. 14.10, б). Если флюсо-
 современные подушки или флюсомед-
 ные подкладки отсутствуют, то мес-
 та с повышенным зазором можно
 подваривать вручную. При сварке
 кольцевыми швами сосудов малого
 диаметра (100...200 мм) флюсовая
 подушка может быть образована за-
 полнением всей внутренней полости
 изделия мелкозернистым флюсом.
 Возможна также сварка на остающей-
 ся подкладке — кольце.

Для удержания нерасплавленного
 флюса на цилиндрической поверхно-
 сти небольшого диаметра применяют
 специальные флюсоудерживаю-
 щие устройства (рис. 14.11), укреп-
 ляемые на головке автомата. При
 сварке кольцевыми швами диаметром
 до 800 мм дополнительную трудность
 создает стекание жидкого металла и
 шлака с цилиндрической поверхности.
 Для предотвращения этого явления
 электродная проволока устанавлива-
 ется со смещением с зенита на
 15...75 мм в зависимости от толщины
 свариваемого металла в сторону,
 противоположную направлению вра-
 щения изделия. Величина смещения
 зависит от диаметра изделия, а так-
 же режима сварки. При слишком
 большом смещении жидкий металл
 и шлак могут стекать в обратную
 сторону.

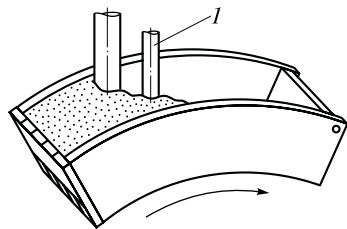


Рис. 14.11. Флюсоудерживаю-
 щее устройство для сварки
 кольцевых швов:

1 — электрод

Контрольные вопросы

1. Каковы особенности сварки под слоем флюса?
2. Какие применяются способы подготовки и сборки деталей для сварки под флюсом?
3. Назовите параметры, определяющие условия при сварке под флюсом.
4. Какова роль параметров режима сварки в формировании швов?
5. Каковы технология и особенности выполнения сваркой под флюсом сварных соединений со стыковыми, угловыми и кольцевыми швами?
6. Как предотвратить появление прожогов при сварке под флюсом?
7. Возможна ли сварка под флюсом потолочных швов?

ТЕХНОЛОГИЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ В ЗАЩИТНЫХ ГАЗАХ

15.1. Особенности сварки в защитных газах

Отличительной особенностью дуговой сварки в защитных газах является защита расплавленных и нагретых до высокой температуры основного и электродного металлов от вредного влияния воздуха защитными газами, обеспечивающими физическую изоляцию металла и зоны сварки от контакта с воздухом и заданную атмосферу в зоне сварки. Используют инертные и активные защитные газы (см. подразд. 9.4).

При дуговой сварке применяют два основных способа газовой защиты: местную и общую в камерах (сварка в контролируемой среде). Наиболее распространенной является струйная местная защита в потоке газа, истекающего из сопла сварочной горелки. Качество струйной защиты зависит от конструкции и размеров сопла 3 (рис. 15.1), расхода защитного газа и расстояния C от среза сопла до поверхности свариваемого материала. Различают две области газового потока: ядро струи 2 и периферийный участок 1. При истечении в окружающую воздушную среду в ядре струи 2 сохраняются скорость и состав газа, имеющиеся на срезе сопла. Периферийный же участок струи 3 представляет собой область, в которой защитный газ смешивается с окружающим воздухом,

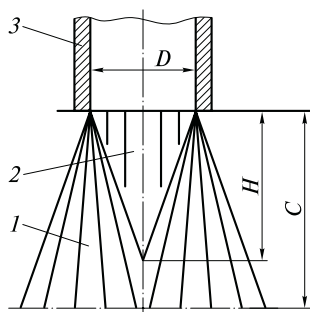


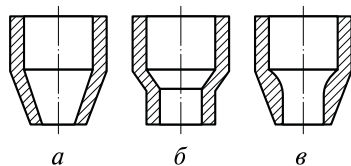
Рис. 15.1. Схема газового потока из сопла сварочной горелки:

1 — периферийный участок; 2 — ядро струи; 3 — сопло; H — длина ядра; C — расстояние от сопла до детали; D — диаметр сопла

скорость в любом сечении по длине потока изменяется от первоначальной (имеющейся на срезе сопла) до нулевой на внешней границе струи, поэтому надежная защита металла может осуществляться только в пределах ядра потока. Чем больше длина ядра H этого участка, тем выше его защитные свойства. Максимальная длина H наблюдается при ламинарном истечении газа из сопла. При турбулентном характере истечения газа такое строение потока нарушается, и защитные свойства его резко падают. Характер истечения зависит от конфигурации проточной части сопла, его размеров и расхо-

Рис. 15.2. Формы сопел сварочных горелок:

a — коническая; *б* — цилиндрическая; *в* — профилированная



да газа. На практике применяют три вида сопел: конические, цилиндрические и профилированные (рис. 15.2).

Расход защитного газа выбирают оптимальным для обеспечения истечения струи, близкого к ламинарному. Для улучшения местной струйной защиты на входе в сопло в горелке устанавливают мелкие сетки, пористые материалы и т.п., позволяющие дополнительно выравнивать поток газа на выходе из сопла. При сварке со струйной защитой возможен подсос воздуха в зону сварки. Для улучшения и увеличения области защиты, особенно при сварке активных материалов, к соплу горелки крепят дополнительные колпаки-приставки.

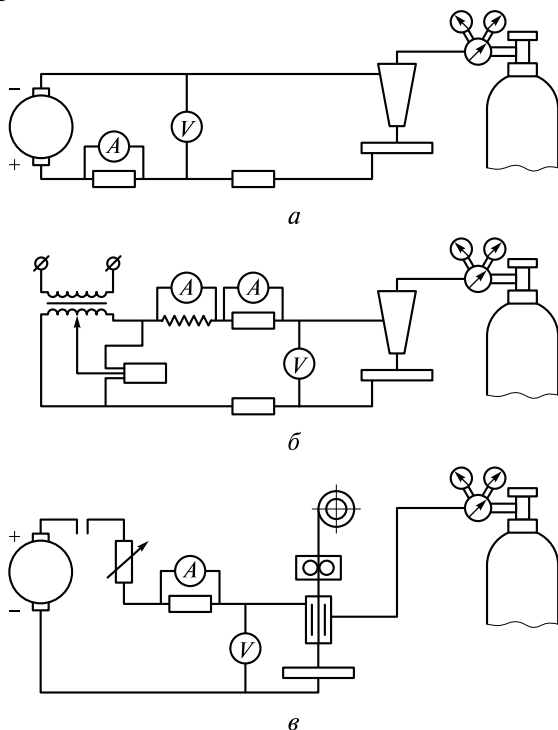


Рис. 15.3. Схемы постов для сварки в защитных газах:

a — неплавящимся электродом в инертном газе на прямой полярности; *б* — на переменном токе; *в* — на постоянном токе обратной полярности; *A* — амперметр; *V* — вольтметр

Наиболее эффективной является общая защита в камерах с контролируемой средой. Камеры заполняют инертным газом высокой чистоты под небольшим избыточным давлением (0,005... 0,010 МПа), в камере располагаются свариваемое изделие и сварочное оборудование (автомат). Сварку производят внутри камеры изолированно от воздушной среды. Такой способ защиты обычно используют при сварке изделий из химически активных металлов (титан, цирконий, тантал, молибден и др.).

Достоинства сварки в защитных газах — высокая производительность, высокое качество защиты, доступности наблюдения за процессом горения дуги, простота механизации и автоматизации, возможность сварки в различных пространственных положениях. Сварка в защитных газах может выполняться неплавящимся и плавящимся электродами. На рис. 15.3 приведены схемы постов для различных вариантов дуговой сварки в защитных газах.

15.2. Подготовка деталей и режимы сварки в защитных газах

Требования к подготовке деталей под сварку в защитных газах в основном аналогичны требованиям, предъявляемым при сварке под флюсом. Основные типы и конструктивные элементы выполняемых дуговой сваркой в защитных газах швов сварных соединений из сталей, а также сплавов на никелевой и железоникелевой основах регламентированы ГОСТ 14771—76, которым предусмотрено четыре типа соединений при сварке металла толщиной 0,5... 100 мм. В зависимости от формы подготовки кромок и толщины свариваемых деталей швы выполняются в соединениях с отбортовкой кромок, без скоса кромок, со скосом одной или двух кромок как с одной, так и с двух сторон. По характеру выполнения швов они могут быть одно- и двусторонними. Односторонние швы могут выполняться как на весу, так и на различного рода съемных и остающихся подкладках.

Стандартом установлены следующие обозначения способов сварки в защитных газах: ИН — в инертных газах неплавящимся электродом без присадочного материала, 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.

К основным параметрам режимов сварки в защитных газах относятся диаметр электрода или электродной проволоки, сварочный ток, напряжение дуги, скорость подачи электродной проволоки, скорость сварки, вылет электрода, расход защитного газа, наклон электрода вдоль оси шва, род тока и полярность.

Диаметр электродной проволоки выбирается в пределах 0,5... 3,0 мм в зависимости от толщины свариваемого металла и положения шва в пространстве. С уменьшением диаметра проволоки повышается устойчивость горения дуги, увеличиваются глубина проплавления и коэффициент наплавки, уменьшается разбрызгивание жидкого металла. С увеличением диаметра проволоки должна быть увеличена и сила тока.

Сварочный ток влияет на глубину проплавления. С увеличением сварочного тока глубина проплавления повышается. Это приводит к увеличению доли основного металла в шве. Ширина шва сначала несколько увеличивается, а затем уменьшается. Сварочный ток устанавливают в зависимости от диаметра электрода и толщины свариваемого металла.

С увеличением *напряжения дуги* глубина проплавления уменьшается, а ширина шва увеличивается. Чрезмерное увеличение напряжения дуги сопровождается повышенным разбрызгиванием жидкого металла, ухудшением газовой защиты и образованием пор в наплавленном металле. Напряжение дуги устанавливается в зависимости от выбранного сварочного тока.

Скорость подачи электродной проволоки связана со сварочным током. Ее устанавливают с таким расчетом, чтобы в процессе сварки не происходило коротких замыканий и обрывов дуги, а протекал устойчивый процесс плавления электрода.

Скорость сварки устанавливается в зависимости от толщины свариваемого металла и с учетом обеспечения хорошего формирования шва. С увеличением скорости сварки уменьшаются все геометрические размеры шва. Сварку металла большой толщины лучше выполнять более узкими валиками на большей скорости. При слишком большой скорости сварки конец электрода может выйти из зоны защиты и окислиться на воздухе. Медленная скорость сварки вызывает чрезмерное увеличение сварочной ванны и повышает вероятность образования пор в металле шва.

С увеличением *вылета электрода* ухудшаются устойчивость горения дуги и формирования шва, а также увеличивается разбрызгивание жидкого металла. Очень малый вылет затрудняет наблюдение за процессом сварки, вызывает частое подгорание газового сопла и токоподводящего контактного наконечника. Кроме вылета электрода необходимо выдерживать определенное расстояние от сопла горелки до поверхности свариваемого металла, так как с увеличением этого расстояния ухудшается газовая защита зоны сварки и возможно попадание кислорода и азота воздуха в расплавленный металл. Величину вылета электрода, а также расстояние от сопла горелки до поверхности металла устанавливают в зависимости от выбранного диаметра электродной проволоки. Некоторые значения параметров при сварке в углекислом газе приведены далее:

Диаметр электродной проволоки, мм	0,5...0,8	1,0...1,4	1,6...2,0	2,5...3,0
Вылет электрода, мм	7...10	8...15	15...25	18...30
Расстояние от сопла горелки до металла, мм.....	7...10	8...14	15...20	18...22
Расход углекислого газа, дм ³ /мин	5...8	8...16	15...20	20...30

Расход защитного газа определяют в основном в зависимости от выбранного диаметра электродной проволоки и тепловой мощности дуги, зависящей от силы тока. Но на него оказывают также влияние скорость сварки, конфигурация изделия и наличие в цехе движения воздуха, ветра и т.п. Для улучшения газовой защиты в этих случаях приходится увеличивать расход защитного газа, уменьшать скорость сварки, приближать сопло к поверхности металла или пользоваться защитными щитами и другими устройствами.

Наклон электрода вдоль шва оказывает влияние на глубину проплавления и качество шва. При сварке углом вперед труднее вести наблюдение за формированием шва, но лучше видны свариваемые кромки и легче управлять электродом. Ширина шва при этом возрастает, а глубина проплавления уменьшается. Сварку углом вперед рекомендуется применять при небольших толщинах металла, когда существует опасность появления сквозных прожогов. При сварке углом назад улучшается видимость зоны сварки, повышается глубина проплавления и наплавленный металл получается более плотным.

15.3. Сварка неплавящимся электродом

В качестве неплавящихся электродов при сварке в защитных газах могут применяться стержни вольфрама или графита. В основном сварку производят вольфрамовым электродом. Его высокая стойкость наблюдается при использовании защитных газов, не взаимодействующих с вольфрамом. В производстве чаще используются электроды с добавками тория, лантана, иттрия (см. подразд. 9.2). Основным защитным газом является аргон, а процесс называют аргонодуговой сваркой вольфрамовым электродом. Горение дуги в гелии происходит при более высоком напряжении (в 1,4—1,7 раза выше, чем в аргоне). Это требует применения для питания дуги специализированных источников с повышенным напряжением холостого хода. Поэтому, учитывая дефицитность гелия, этот процесс применяется гораздо реже. Чаще гелий используют как добавку к аргону. Применение аргоногелиевых смесей целесообразно в тех случаях, когда требуется повысить проплавляющую способность дуги без увеличения сварочного тока. Наряду с инертны-

ми газами для сварки вольфрамовым электродом используют и некоторые активные газы, например азот и водород или их смеси с аргоном.

Аргонодуговая сварка вольфрамовым электродом может выполняться с местной или общей защитой, без подачи или с подачей присадочной проволоки, на постоянном или переменном токе. Большинство металлов сваривают на постоянном токе прямой полярности. Сварку алюминия, магния и бериллия ведут на переменном токе.

При сварке на постоянном токе при прямой полярности обеспечиваются лучшие условия для термоэлектронной эмиссии с электрода, выше его стойкость и допустимый предел силы тока. Например, предельная сила тока для вольфрамового электрода диаметром 3 мм ориентировочно составляет при прямой полярности 240...280 А, а при обратной — лишь 20...42 А, при переменном токе — промежуточное значение 140...160 А. Дуга на прямой полярности легко возбуждается и горит при напряжении 10...15 В в широком диапазоне плотностей тока. При обратной полярности возрастает напряжение дуги, уменьшается устойчивость горения, резко снижается стойкость электрода, повышаются его нагрев и расход. Эти особенности дуги обратной полярности делают ее непригодной для непосредственного применения в сварочном процессе. Однако дуга обратной полярности обладает важным технологическим свойством: при ее воздействии на поверхность свариваемого металла происходит удаление поверхностных оксидов — происходит очистка поверхности металла. Это явление объясняется тем, что при обратной полярности поверхность металла бомбардируется тяжелыми положительными ионами аргона, которые, перемещаясь под действием электрического поля от анода (электрод) к катоду (изделие), разрушают оксидные пленки на поверхности металла, а выходящие с катода (поверхности изделия) электроны способствуют их удалению. Этот процесс удаления поверхностных оксидов получил название процесса катодного распыления (катодной очистки). Указанное свойство используют при сварке алюминия, магния, бериллия и их сплавов, имеющих на поверхности прочные оксидные пленки. Поскольку при постоянном токе обратной полярности стойкость вольфрамового электрода низка, то для этой цели используют переменный ток. При этом удаление пленки, т.е. катодная очистка, происходит в полупериод с обратной полярностью сварочного тока, когда свариваемое изделие является катодом. Таким образом, при сварке вольфрамовым электродом на переменном токе обеспечиваются устойчивость электрода и разрушение поверхностных оксидов на изделии.

Аргонодуговая сварка может выполняться вручную или автоматически. На рис. 15.4 показаны циклограммы процессов для

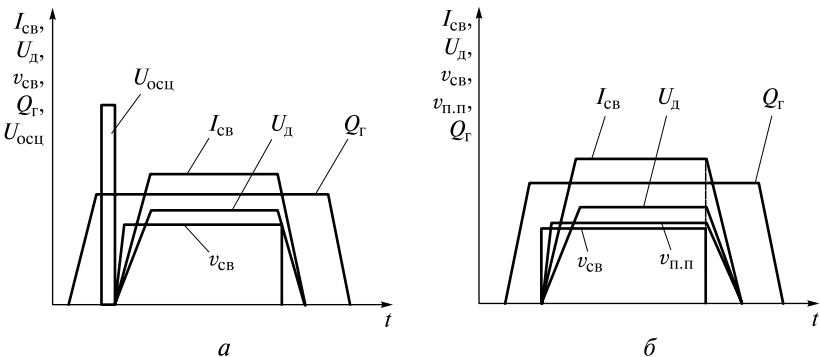


Рис. 15.4. Циклограммы процессов сварки в защитном газе:

a — вольфрамовым электродом; *б* — плавящимся электродом; *t* — время; $I_{св}$ — сварочный ток; $U_{д}$ — напряжение дуги; $v_{св}$ — скорость сварки; $Q_{г}$ — расход газа; $v_{п.п}$ — скорость подачи проволоки; $U_{осц}$ — напряжение осциллятора

различных вариантов сварки. Защитный газ подают за 10... 15 с до начала горения дуги. Дуга возбуждается кратковременным разрядом осциллятора или замыканием электрода и основного металла угольным стержнем. Ручную сварку производят наклонной горелкой углом вперед, угол наклона к поверхности изделия составляет 70... 80°. Присадочную проволоку подают с передней стороны сварочной ванны под углом 10... 15° к поверхности изделия. По окончании сварки дугу обрывают постепенно подъемом электрода для заварки кратера. Для защиты охлаждающегося металла подачу газа прекращают через 10... 15 с после выключения тока.

Параметры режима ручной аргонодуговой сварки вольфрамовым электродом стыкового соединения из высоколегированной стали толщиной 3 мм составляют: диаметр вольфрамового электрода — 3... 4 мм, диаметр присадочной проволоки — 1,6... 2,0 мм, сварочный ток — 120... 160 А, напряжение дуги — 12... 16 В, расход аргона — 6... 7 дм³/мин. Ручную аргонодуговую сварку вольфрамовым электродом применяют главным образом для соединения металла относительно небольшой толщины (до 3 мм) при небольшой протяженности швов, имеющих сложную форму или расположенных в труднодоступных местах. Конструкции, имеющие протяженные швы, изготавливают автоматической сваркой неплавящимся вольфрамовым электродом с подачей присадочной проволоки, выбранной в зависимости от мощности дуги или диаметра вольфрамового электрода: $d_{п} = (0,5 \dots 0,7)d_{э}$, где $d_{п}$ — диаметр проволоки; $d_{э}$ — диаметр электрода. При сварке вольфрамовым электродом используют источники питания с крутопадающими вольт-амперными характеристиками.

15.4. Разновидности аргонодуговой сварки вольфрамовым электродом

Основным недостатком способов сварки со свободногорящей дугой является их невысокая производительность. Разработано несколько разновидностей сварки вольфрамовым электродом, основанных на увеличении проплавляющей способности дуги за счет увеличения интенсивности теплового и силового воздействия дуги на свариваемый металл. К этим разновидностям относятся сварка погруженной дугой, с применением флюса, при повышенном давлении защитной среды, импульсно-дуговая, плазменная сварка.

При *сварке погруженной дугой* с увеличением диаметра электрода и силы тока увеличиваются давление дуги и количество вводимой в металл теплоты. Под давлением дуги происходит отеснение под электродом жидкого металла. Дуга при этом погружается в сварочную ванну, а поддержание заданного напряжения (длины дуги) достигается опусканием электрода ниже поверхности свариваемого металла, глубина проплавления достигает 10... 12 мм и выше, расход аргона составляет 15... 20 л/мин.

При *сварке с применением флюса* нанесение на поверхность свариваемых кромок слоя флюса небольшой толщины (0,2... 0,5 мм), состоящего из соединений фтора, хлора и некоторых оксидов, способствует повышению сосредоточенности теплового потока в пятне нагрева и увеличению проплавляющей способности дуги. При этом благодаря высокой концентрации тепловой энергии повышается эффективность проплавления и снижается погонная энергия при сварке.

При *сварке при повышенном давлении защитной среды* мощность дуги возрастает с увеличением давления окружающей зону сварки защитной атмосферы при неизменной силе тока и длине дуги. Дуга при этом сжимается, благодаря чему увеличивается ее проплавляющая способность примерно на 25... 60 %. Этот способ может использоваться при сварке в камерах с контролируемой средой и с применением общей защиты.

Импульсно-дуговая сварка вольфрамовым электродом заключается в применении в качестве источника теплоты импульсной дуги с целью концентрации во времени теплового и силового воздействия дуги на основной и электродный металл. При стесненном теплоотводе теплота дуги на расплавление основного металла используется полнее, чем при сварке постоянной дугой. Импульсно-дуговая сварка может быть ручной и механизированной и применяется для выполнения соединений из тонколистовых материалов (2... 3 мм) в различных пространственных положениях. Дуга пульсирует с заданным соотношением импульса подачи тока и паузы (рис. 15.5). Сплошной шов получается расплавлением от-

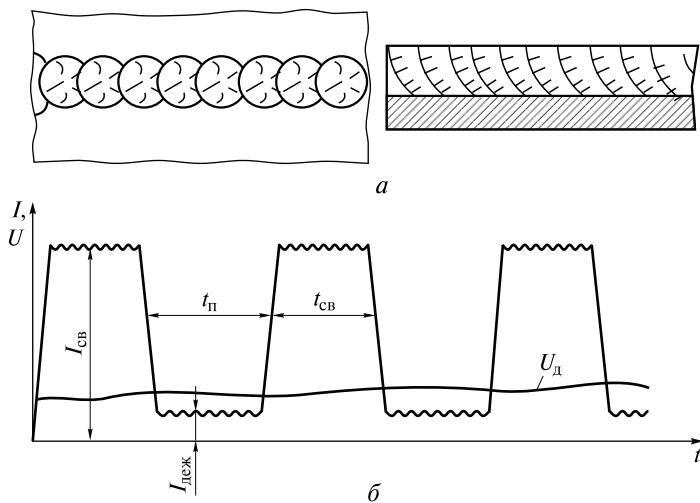


Рис. 15.5. Формирование шва (а) и изменение тока (б) при импульсной сварке:

$I_{св}$ — сварочный ток в импульсе; $I_{деж}$ — ток дежурной дуги; $t_{св}$ — время сварки; $t_{п}$ — время паузы; $U_{д}$ — напряжение дуги

дельных точек с определенным перекрытием (рис. 15.5, а). Повторные возбуждения и устойчивость дуги обеспечиваются благодаря горению маломощной дежурной дуги (10... 15 % от силы тока в импульсе). Основной сварочный ток подается в виде отдельных импульсов (рис. 15.5, б) большой силы. Наряду с силой тока, напряжением, скоростью сварки к основным параметрам импульсно-дуговой сварки относятся длительность импульса (время сварки) $t_{св}$ и паузы $t_{п}$, длительность цикла сварки $T = t_{св} + t_{п}$ и шаг точек $s = v_{св}(t_{св} + t_{п})$, где $v_{св}$ — скорость сварки.

Отношение $t_{п}/t_{св} = G$ называют жесткостью режима. Жесткость режима при заданной энергии импульса и длительности цикла характеризует проплавливающую способность дуги. Изменяя параметры режима импульсно-дуговой сварки, можно в широких пределах изменять кристаллизацию металла шва и таким образом влиять на свойства сварных соединений. Технологические преимущества сварки импульсной дугой вольфрамовым электродом заключаются в снижении деформации и прожогов тонколистовых деталей, уменьшении погонной энергии. Большие возможности импульсно-дуговой сварки открываются за счет применения модулированных и высокочастотных импульсов.

Для алюминиевых сплавов эффективно применение сварки неплавящимся электродом асимметричным переменным током или разнополярными импульсами. При этом токи прямой и обратной

полярности различаются по величине. Это позволяет обеспечить необходимую катодную обработку сварочной ванны в период действия тока обратной полярности, уменьшить перегрев и устойчивость электрода и увеличить проплавляющую способность дуги за счет воздействия более высоких значений импульсов тока прямой полярности. Сварочный ток в этом случае характеризуется коэффициентом асимметрии K_{ac} :

$$K_{ac} = I_{п.п} / (I_{п.п} + I_{о.п}),$$

где $I_{п.п}$ и $I_{о.п}$ — значения тока в импульсах прямой и обратной полярности. Сварка сжатой дугой отличается от обычной дуговой сварки вольфрамовым электродом сжатием дуги в канале сопла горелки потоком плазмообразующего газа. Основные преимущества сжатой дуги — более высокая стабильность ее горения и повышенная концентрация энергии в пятне нагрева ($10^4 \dots 10^5$ Вт/см²).

Сварка сжатой дугой осуществляется переменным или постоянным током прямой полярности. Возбуждают дугу с помощью осциллятора. Для облегчения возбуждения дуги прямого действия используют дежурную дугу, горящую между соплом горелки и электродом. Для питания плазмообразующей дуги требуются источники питания сварочного тока с рабочим напряжением до 120 В и более.

Сжатой дугой можно сваривать практически все металлы в нижнем и вертикальном положениях. В качестве плазмообразующего газа используют аргон и гелий, которые также могут быть и защитными, их расход составляет 0,2... 1,5 л/мин. Плазменная сварка обладает высокой производительностью, малой чувствительностью к колебаниям длины дуги. Без скоса кромок можно сваривать за один проход металл толщиной до 15 мм. Сжатой дугой сваривают стыковые и угловые швы. Стыковые соединения на металле толщиной до 2 мм можно сваривать с отбортовкой кромок, при толщине деталей свыше 10 мм рекомендуется делать скос кромок. При необходимости можно использовать присадочный металл.

15.5. Сварка в защитных газах плавящимся электродом

Основными разновидностями сварки плавящимся электродом в защитных газах являются аргонодуговая сварка и сварка в углекислом газе.

Сварка в защитных газах плавящимся электродом имеет ряд особенностей. Так, устойчивое горение дуги обеспечивается при высокой плотности тока в электроде (100 А/мм² и выше) при возрастающей вольт-амперной статической характеристике. Стабильность параметров сварного шва (глубина проплавления и

ширина) зависит от постоянства длины дуги, которая обеспечивается за счет процесса саморегулирования дуги при постоянной скорости подачи электродной проволоки, при этом соблюдается условие равенства скорости плавления электрода и его подачи. Так как процесс ведется на режимах с высокими плотностями сварочного тока, обычно применяют электродную проволоку небольшого диаметра ($d_{\text{п}} \approx 0,8 \dots 2,5$ мм) и с большими скоростями ее подачи. В этих условиях процесс саморегулирования не может обеспечиваться при использовании источников питания с падающими характеристиками, поэтому применяют источники питания с жесткой или возрастающей вольт-амперной характеристикой. Сварку обычно ведут на постоянном токе обратной полярности. При прямой полярности скорость расплавления в 1,4—1,6 раза выше, чем при обратной, однако дуга горит менее стабильно с интенсивным разбрызгиванием.

К основным параметрам сварочного режима относятся сила тока, напряжение дуги, скорость сварки, диаметр и скорость подачи электродной проволоки, расход защитных газов. Сварочный ток зависит от диаметра и состава электрода, его устанавливают в соответствии со скоростью подачи электродной проволоки. Скорость сварки обычно 15...80 м/ч, ее выбирают с учетом производительности и качества формирования шва. Выбор параметров режима обычно производят по экспериментальным табличным данным. Для улучшения формирования шва сварку проводят на медной подкладке с формирующей канавкой или на остающейся подкладке из основного металла. Для сварки тонколистового металла используют проволоку диаметром 0,5...1,2 мм. Металл толщиной до 4 мм сваривают без разделки кромок. При сварке с двух сторон можно сваривать без разделки кромок металл толщиной до 12 мм. При больших толщинах применяют разделку кромок.

Аргонодуговая сварка плавящимся электродом в основном применяется для сварки цветных металлов (алюминий, магний, медь, титан и их сплавы) и легированных сталей. Сварка проводится на режимах с мелкокапельным и струйным переносом электродного металла. При струйном переносе глубина проплавления увеличивается. Критическое значение сварочного тока, при котором капельный перенос сменяется струйным, для каждого металла различно и зависит от диаметра проволоки. Так, при сварке сталей это происходит при плотности тока 60...120 А на 1 мм² сечения электрода, при сварке алюминия — 70 А. Например, для электродной проволоки из стали марки Св-12Х18Н9Т для разных диаметров при горении дуги в среде аргона критический ток имеет следующие значения:

Диаметр электрода, мм	1	2	3
Критический ток, А	190	280	350

При сварке сталей в качестве защитного газа в основном используют аргон с добавками углекислого газа или кислорода (1...5 % от общего объема). Введение активных газов стабилизирует горение дуги, снижает разбрызгивание. Наряду с этим окислительная среда повышает стойкость швов против водородной пористости.

При импульсном питании дуги сварочным током появляется дополнительная возможность управления процессом плавления и переноса электродного металла. В этом случае используют тот же принцип питания дуги, что и при сварке вольфрамовым электродом при импульсно-дуговой сварке. От источника небольшой мощности питается дуга, формирующая каплю жидкого металла на электроде, которая сбрасывается в момент подачи импульса тока большого значения. За счет возникающих электродинамических сил капле придается строгая направленность перемещения в сварочную ванну, чем предотвращается разбрызгивание и обеспечивается возможность сварки швов в различных пространственных положениях.

При аргонодуговой сварке плавящимися электродами предъявляются более жесткие требования к качеству сборки деталей, чем при сварке вольфрамовым электродом. Перед сваркой необходима тщательная очистка кромок свариваемых деталей и электродной проволоки.

Сваркой плавящимся электродом в углекислом газе можно сваривать большинство сталей, удовлетворительно сваривающихся другими видами сварки. В первую очередь сваривают углеродистые и низколегированные стали толщиной более 3 мм проволокой диаметром 0,8...2,0 мм. Также этот способ находит применение при сварке конструкций из высоколегированных сталей.

Наряду с другими преимуществами, характерными для сварки в защитных газах, сварка в углекислом газе характеризуется высокой производительностью и низкой стоимостью. Процесс экономичен, защитный газ не дефицитен, обеспечивает достаточно высокое качество металла швов. Механизированная сварка в углекислом газе, как более производительный процесс, успешно конкурирует с ручной дуговой сваркой покрытыми электродами по своей универсальности. К недостаткам следует отнести повышенное разбрызгивание и более грубое формирование швов.

При сварке в углекислом газе происходят окисление металла и потеря легирующих элементов, поэтому необходимо применять электродные проволоки с повышенным содержанием элементов раскислителей (кремния, марганца), компенсирующих их выгорание в зоне сварки и предотвращающих окисление металла в ванне и образование пор. Для углеродистых сталей в основном используют сварочные проволоки сплошного сечения Св-10ГС, Св-08Г2С, а также порошковые проволоки, содержащие в наполнителе порошки ферросплавов кремния и марганца.

Автоматическая и механизированная сварка в углекислом газе ведется на постоянном токе обратной полярности. Устойчивый процесс обеспечивается при высоких плотностях тока, поэтому используют проволоки малых диаметров (0,8... 2,5 мм), а питание дуги производят от источников с жесткой внешней характеристикой. Напряжение дуги должно быть не больше 32... 34 В, так как с увеличением напряжения и длины дуги увеличивается разбрызгивание и окисление. Обычно напряжение дуги равно 20... 30 В, скорость сварки — 20... 80 м/ч, расход газа — 6... 25 л/мин. Например, при механизированной сварке низкоуглеродистой стали толщиной 8 мм сварку можно выполнять проволокой диаметром 2 мм на токе 260... 280 А при напряжении 28... 30 В, расходе газа 16... 20 л/мин за один проход без разделки кромок. Наряду с углекислым газом (CO_2) также используют защитные смеси газов $\text{CO}_2 + \text{Ar}$, $\text{CO}_2 + \text{O}_2$ и др. При этом улучшается капельный перенос, уменьшается разбрызгивание, улучшается формирование швов.

При сварке в углекислом газе даже при высоких плотностях сварочного тока не удается добиться мелкокапельного (струйного) переноса электродного металла, и процесс сварки сопровождается интенсивным разбрызгиванием. С целью управления характером капельного переноса разработан процесс сварки с применением модулированных импульсов сварочного тока (рис. 15.6). Рост капли происходит при постоянном токе, называемом «базовым». В момент касания ею поверхности жидкой ванны сварочный ток резко снижается до уровня 5 А. При этом площадь контакта капли с ванной увеличивается. Затем для обжатия шейки капли ток источника линейно увеличивается и по достижении определенной величины вновь сбрасывается до уровня 5 А. При этом капля без взрыва перемигивки плавно перетекает в сварочную ванну за счет силы поверхностного натяжения жидкого металла. После разрыва цепи для восстановления проводимости дугового промежутка источник питания вновь подает «пиковый» ток, который через определенное время по регулируемому закону снижается до базового, цикл переноса капли повторяется. Такое управление капель-

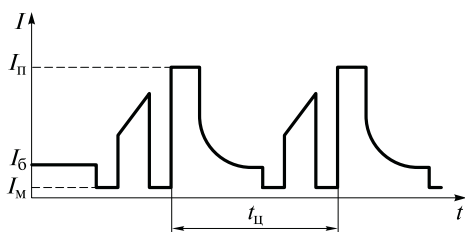


Рис. 15.6. Изменение тока при импульсной сварке в углекислом газе:

$I_{\text{п}}$ — «пиковый» ток; $I_{\text{б}}$ — «базовый» ток; $I_{\text{м}}$ — минимальный ток; $t_{\text{ц}}$ — цикл переноса

ным переносом по сравнению с обычным способом сварки обеспечивает ряд преимуществ: уменьшение разбрызгивания, снижение мощности, деформаций, возможность сварки в любых пространственных положениях, улучшение формирования и качества швов. Однако для реализации процесса с отслеживанием микросекундных выдержек времени требуется применение специального сварочного оборудования с инверторными источниками питания и микропроцессорным цифровым управлением.

Контрольные вопросы

1. Каковы особенности и способы защиты металла с использованием защитных газов?
2. Расскажите о подготовке деталей и выборе технологических параметров режима, определяющих условия сварки в защитных газах.
3. Охарактеризуйте особенности технологии сварки вольфрамовым электродом в защитных газах.
4. Какие существуют разновидности сварки вольфрамовым электродом в защитном газе?
5. Расскажите об особенностях процесса и технологии сварки плавящимся электродом в среде аргона.
6. Расскажите об особенностях процесса и технологии сварки плавящимся электродом в углекислом газе.
7. При аргонодуговой сварке на постоянном токе плавящимся электродом для тонких деталей какую полярность лучше использовать?

ТЕХНОЛОГИЯ ДУГОВОЙ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ СВАРКИ**16.1. Общие сведения о технологии механизированной дуговой сварки плавящимся электродом**

При механизированной сварке подача электродной проволоки в зону горения дуги осуществляется механизированным способом, а перемещение дуги вдоль свариваемых кромок производится вручную.

Механизированная сварка плавящимся электродом может выполняться под слоем флюса, в защитных газах и самозащитной порошковой проволокой. В настоящее время использование механизированной сварки под флюсом ограничено. Общие требования и технология выполнения в общем аналогичны, как и в случае автоматической дуговой сварки под слоем флюса. Более широкое применение нашли два последних варианта. Механизированной сваркой в защитных газах сваривают соединения, имеющие стыковые и угловые швы. Сварка выполняется шланговыми полуавтоматами с постоянной скоростью подачи электродной проволоки. Применяемые источники питания дуги имеют жесткую вольт-амперную характеристику.

Стыковые швы могут выполняться вертикальным электродом при движении горелки на себя, слева направо и справа налево. Изделие толщиной до 8 мм можно сваривать односторонним швом без разделки кромок, при больших толщинах — двусторонним швом с разделкой кромок и в многослойном варианте. При выполнении стыковых соединений однослойными швами, а также при наложении первого слоя многослойного шва горелку перемещают обратно-поступательно по оси шва без поперечных колебаний электрода (рис. 16.1). При наложении последующих сварных слоев горелку перемещают по вытянутой спирали. Последние сварные слои выполняют при зигзагообразном движении горелки «змейкой» или же по вытянутой спирали, но с большей амплитудой колебания. Во время сварки горелка не должна задерживаться на одном месте, так как в противном случае значительно увеличивается размер сварочной ванны, что вызывает перегрев металла. После заварки кратера и выключения сварочного тока для защиты металла ванны от окисления необходимо в течение 3...5 с поддержать горелку над кратером, не прекращая поступления защитного газа до полного затвердевания жидкого металла. Заканчивать процесс сварки растягиванием дуги и отводом горелки не рекомендуется.

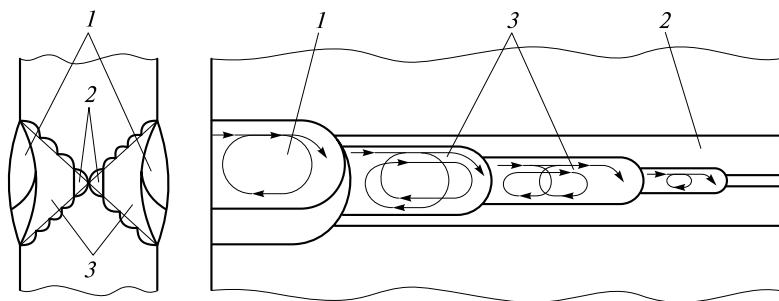


Рис. 16.1. Перемещение электрода при полуавтоматической сварке многослойных швов в углекислом газе:

1 — замыкающие слои; 2 — первый слой; 3 — заполняющие слои

Для выполнения стыковых соединений сварку можно вести также с наклоном электрода как углом вперед, так и назад. В первом случае при наклоне электрода на $10 \dots 30^\circ$ глубина проплавления несколько меньше, шов шире. Удобнее направлять дугу по разделке шва, при этом можно добиться существенного уменьшения разбрызгивания. Сварку с наклоном электрода углом вперед можно выполнять с большими скоростями, чем вертикальным электродом. При сварке углом назад рекомендуется наклонять горелку на $5 \dots 15^\circ$. В этом случае можно несколько увеличить глубину провара, но ширина шва уменьшается. Для расширения шва сварку выполняют поперечными к оси шва колебаниями электрода.

Угловые швы могут выполняться как наклонным, так и вертикальным электродом «в лодочку». При сварке наклонным электродом (рис. 16.2) горелка наклоняется поперек шва под углом $30 \dots 45^\circ$. Торец электрода направляют в угол соединения или сдвигают от него на расстояние до 1 мм от горизонтальной детали. В процессе сварки горелку перемещают возвратно-поступательно по оси шва без поперечных колебаний. Желательно вести сварку

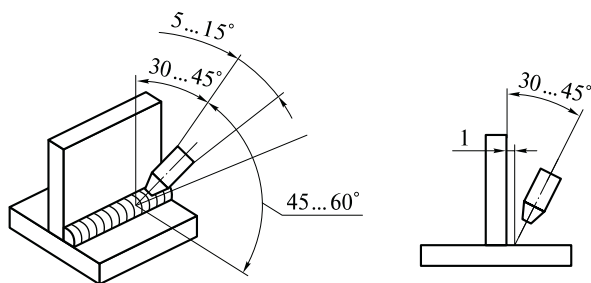


Рис. 16.2. Положение горелки при сварке угловых швов

на спуск с углом наклона изделия $6 \dots 10^\circ$. Это улучшает формирование шва, позволяет повышать скорость сварки и уменьшать разбрызгивание металла. Основной трудностью при выполнении угловых швов наклонным электродом является растекание жидкого металла по горизонтальной плоскости, что может привести к подрезам и непроварам. Во избежание этого за один проход обычно формируют угловые швы катетом не более 8 мм. При выполнении угловых швов «в лодочку» особых трудностей не возникает. Основные типы, конструктивные элементы и размеры швов сварных соединений при механизированной сварке в защитных газах те же, что и при автоматической (см. гл. 15).

Механизированная сварка в защитных газах может производиться во всех пространственных положениях шва, из которых наиболее удобным является нижнее. Колебательные движения поперек оси шва сообщают электроду в зависимости от требуемой ширины шва, толщины свариваемого металла и формы подготовленных кромок.

Вертикальные стыковые и угловые швы могут выполняться снизу вверх и сверху вниз. Сварку сверху вниз применяют при соединении тонколистовых деталей, а также при наложении первого слоя многослойного шва. В начале процесса сварки, чтобы обеспечить хороший провар начала шва, электрод располагают перпендикулярно основному металлу. После образования сварочной ванны его наклоняют на $10 \dots 15^\circ$ ниже горизонтали и направляют на переднюю часть ванны, предупреждая ее стекание, увеличивая проплавление корня шва и исключая несплавления и натеки по краям шва. При толщине металла более 6 мм сварку производят снизу вверх как углом вперед, так и углом назад. Второй способ применяют в случае сварки металла большой толщины. Для улучшения формирования шва электроду сообщают колебательные движения. При сварке снизу вверх получается глубокий провар корня шва и отсутствуют несплавления по его краям.

В горизонтальном положении при толщине деталей до 3 мм сварку ведут без скоса кромок, с небольшим зазором при сборке, что обеспечивает полный провар швов и небольшую выпуклость шва. Сварку ведут с наклоном электрода снизу вверх и углом назад без поперечных колебаний электрода. При толщине металла более 3 мм делают скос на кромке верхнего листа, электрод также направляют снизу вверх, что предупреждает стекание металла на нижнюю кромку.

В потолочном положении сварку выполняют углом назад при минимальных напряжениях и силе тока. Дугу и поток защитного газа направляют на ванну жидкого металла, что уменьшает ее стекание. Для этой цели рекомендуется увеличивать расход защитного газа. Стыковые швы в потолочном положении выпол-

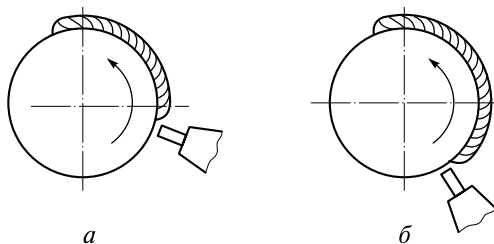


Рис. 16.3. Расположение горелки при сварке кольцевых швов:

а — сверху; *б* — полупотолочное

няют с разделкой кромок и с поперечными колебаниями электрода.

Технология выполнения поворотных кольцевых стыковых швов во многом подобна технологии выполнения продольных швов. Электрод при этом располагается сверху с небольшим смещением от верхней точки окружности в сторону, противоположную направлению вращения изделия. Сварку металла толщиной до 2,5 мм, а также наложение первого слоя на металл большей толщины рекомендуется вести в вертикальном положении (рис. 16.3). Дугу и поток защитного газа следует направлять на ванну жидкого металла. Это обеспечивает получение полного проплавления соединения с обратным формированием шва без прожогов даже при значительных переменных зазорах.

Подготовка кромок и сборка под механизированную сварку, а также выбор электродной проволоки производятся в основном так же, как и при автоматической сварке в защитных газах. Во всех случаях, где это возможно, рекомендуется собирать и сваривать соединения в приспособлениях без прихваток. При сборке на прихватках последние следует устанавливать с обратной стороны соединения. Прихватку можно выполнять сваркой неплавящимся электродом, тонкой проволокой в защитном газе и др. Во избежание протекания жидкого металла в зазоры стыковые соединения тонких деталей должны выполняться сваркой на медных или керамических подкладках.

Механизированная сварка в углекислом газе является наиболее распространенным способом механизированной сварки плавящимся электродом в защитных газах. В настоящее время этот способ, как более производительный, успешно конкурирует с ручной дуговой сваркой покрытыми электродами и по своей маневренности. Технологические условия и режимы механизированной сварки в углекислом газе примерно те же, что и при автоматической сварке (см. гл. 15). Во избежание появления прожогов механизированную сварку выполняют с меньшей силой тока, чем автоматическую, и, как следствие, с меньшей скоростью.

16.2. Механизированная сварка порошковой проволокой

Механизированная сварка порошковой проволокой позволяет выполнять стыковые, угловые, тавровые и нахлесточные соединения как с разделкой, так и без разделки кромок. Подготовка и сборка деталей под сварку производится так же, как и при сварке в защитных газах.

К режимам сварки порошковой проволокой относятся те же параметры, что и при сварке в углекислом газе. Диаметр порошковой проволоки и силу тока устанавливают в зависимости от толщины свариваемого металла, необходимого числа слоев шва и положения в пространстве. Скорость подачи проволоки зависит от силы тока, напряжения дуги, диаметра и марки порошковой проволоки. Вылет электрода находится в прямой зависимости от диаметра применяемой проволоки.

Технология механизированной сварки порошковой проволокой аналогична технологии механизированной сварки в углекислом газе сплошной электродной проволокой. Однако сварка порошковой проволокой различных марок требует определенного навыка. Сварка производится короткой дугой, так как при увеличении ее длины усиливается разбрызгивание жидкого металла, ухудшается его защита от воздуха, возрастает выгорание элементов, содержащихся в проволоке, что приводит к образованию пор в наплавленном металле. При слишком короткой дуге значительно падает ее напряжение, что ухудшает стабильность горения дуги и может привести к плохому формированию шва, а также появлению в нем шлаковых включений.

Особое внимание следует обращать на рекомендуемый вылет электрода. При уменьшении его мундштук горелки сильно забрызгивается, возможны приварка к нему проволоки и образование дефектов в шве. При увеличении вылета проволоки она перегревается, что приводит к преждевременному выгоранию ее газообразующих составляющих и образованию пористости шва. Колебательные движения электрода (рис. 16.4) зависят от толщины

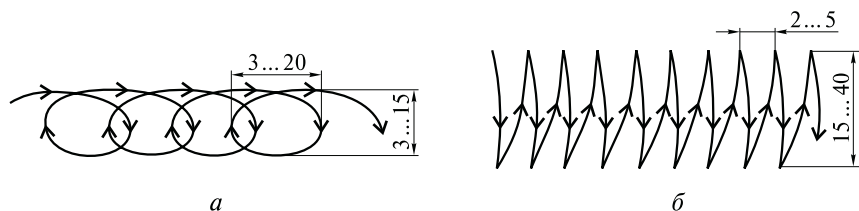


Рис. 16.4. Колебательные движения электрода при сварке порошковой проволокой:

а — по спирали; *б* — змейкой

свариваемого металла. Сварку, как правило, выполняют вертикальным электродом, однако допускается наклон его вперед или назад на $15 \dots 20^\circ$. При наложении угловых швов электрод располагают под углом $30 \dots 40^\circ$ к вертикали. Сварка в вертикальном положении обычно производится сверху вниз, что предотвращает возможные прожоги. При выполнении многослойных швов перед наложением каждого последующего слоя тщательно удаляется шлак с предыдущего.

Для улучшения защиты ванны и упрощения состава наполнителя проволоки применяют комбинированный процесс сварки порошковой проволокой с дополнительной защитой ванны углекислым газом.

16.3. Механизированная сварка открытой дугой самозащитной проволокой

Сварка самозащитной проволокой сплошного сечения без дополнительной защиты разработана для применения в монтажных, а также заводских условиях в тех случаях, когда неприемлема сварка в углекислом газе. Особенность этого способа заключается в том, что металл расплавляется теплотой дуги, горящей между голой электродной проволокой и изделием с последующей его кристаллизацией и образованием шва. При этом внутренняя защита такая же, как у порошковых проволок, а дополнительная защита флюсом или газом отсутствуют. При такой технологии сварки швы имеют высокие механические свойства, если в составе электродной проволоки присутствуют в достаточном количестве элементы-раскислители, связывающие кислород и азот в стойкие химические соединения, не снижающие пластичности металла шва.

Механизированная сварка такой проволокой вполне заменяет ручную сварку покрытыми электродами на открытых площадках при монтажных работах.

При сварке открытой дугой обычной проволокой происходят выгорание легирующих элементов и насыщение металла шва газами (кислородом, азотом и водородом). При сварке самозащитной проволокой потери элементов компенсируются за счет повышенного содержания в электродной проволоке элементов, обладающих большим сродством с кислородом, чем выгораемые. К таким элементам относятся алюминий, титан, церий, цирконий, лантан и др. Они связывают кислород и азот в стойкие включения, мало влияющие на пластичность и вязкость металла.

Для механизированной сварки открытой дугой применяют специальные легированные проволоки (ГОСТ 2246—70). Так, самозащитная сварочная проволока Св-20ГСТЮА позволяет сваривать углеродистую сталь толщиной от 2 мм и более в нижнем, верти-

кальном и горизонтальном положениях. Сварочная проволока Св-16ГСТЮЦА с добавкой церия и циркония служит для сварки углеродистых и марганцовистых сталей во всех пространственных положениях. Самозащитной проволокой можно сваривать металл, покрытый окалиной, небольшим налетом ржавчины и т.д. Металл шва, наплавленный этими проволоками, по механическим свойствам равноценен металлу шва, получаемому при сварке покрытыми электродами типа Э46 или Э50.

Контрольные вопросы

1. Опишите технологию выполнения механизированной сварки в углекислом газе.
2. Каковы особенности и технология механизированной сварки порошковой проволокой?
3. В чем заключаются достоинства механизированной сварки порошковой проволокой?
4. Каковы сущность и технология процесса механизированной сварки самозащитной проволокой сплошного сечения?
5. Чем отличается электродная проволока при автоматической и механизированной сварке в углекислом газе?
6. Можно ли на автомате для сварки в углекислом газе вести процесс порошковой и самозащитной проволокой?

ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ СВАРКИ

17.1. Особенности процесса электрошлаковой сварки

Стремление расширить область применения автоматической дуговой сварки под флюсом привело к идее создания способа сварки в вертикальном положении с принудительным формированием шва. После образования сварочной ванны определенного объема процесс сварки дугой может перейти в процесс со шлаковым нагревом. Это позволяет получить ряд преимуществ, среди которых одно из основных — более равномерное распределение теплоты по объему ванны. Это особенно важно при сварке деталей большой толщины. Способ электрошлаковой сварки основан на выделении теплоты при прохождении электрического тока через расплавленный электропроводный флюс (шлак). Схема электрошлаковой сварки показана на рис. 17.1. Электрод 1 и основной металл детали 2 связаны электрически через расплавленный шлак 3. За счет теплоты в шлаковой ванне при прохождении электрического тока металл электрода и кромки основного металла оплавляются и стекают на дно сварочной ванны 4. В начале процесса сварки возбуждают электрическую дугу, после расплавления флюса и образования шлаковой ванны жидкий флюс заливает и гасит дугу и дуговой процесс переходит в бездуговой (электрошлаковый). Свариваемые детали собирают вертикально без скоса кромок, с зазором 20...40 мм. Для формирования шва и удержания жидкого металла и шлака от вытекания применяют остающиеся пластины или специальные формирующие устройства — подвижные или неподвижные медные ползуны (кристаллизаторы) 5, имеющие подвод охлаждающей воды. Кристаллизирующиеся в нижней час-

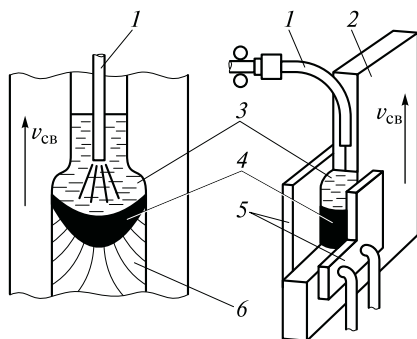


Рис. 17.1. Схема процесса электрошлаковой сварки:

1 — электрод; 2 — деталь; 3 — жидкий шлак; 4 — сварочная ванна; 5 — кристаллизатор; 6 — шов; $v_{св}$ — скорость сварки

ти металлической ванны наплавленный металл образует шов 6. Процесс ведется автоматически.

Процесс электрошлаковой сварки характеризуется следующими особенностями:

- отсутствие дугового разряда, что исключает разбрызгивание жидкого металла и шлака при сварке на больших плотностях тока;
- подготовка кромок проста, не требует их скоса, что сокращает расход металла и упрощает сборку под сварку;
- за один проход могут быть сварены детали любой толщины;
- сварочная ванна длительное время находится в жидком состоянии, поэтому образующиеся газы успевают выйти на ее поверхность, что исключает образование пор;
- свариваемые детали прогреваются равномерно по всей толщине, в результате чего не происходит угловых деформаций сварных соединений;
- производительность сварки в 5—15 раз (в зависимости от толщины металла) выше, чем при многослойной автоматической сварке под флюсом.

Электрошлаковой сваркой пользуются при изготовлении барабанов котлов высокого давления, станин мощных прессов, валов гидротурбин, валов судов, тяжелых сварно-литых и сварно-кованых конструкций и др. Ее также применяют для наплавки рабочих поверхностей металлами и сплавами.

В зависимости от типа применяемого электрода различают несколько способов электрошлаковой сварки — электродной проволокой, электродной пластиной, плавящимся мундштуком. Выбор способа электрошлаковой сварки определяется формой и размерами сечения соединяемых элементов и их протяженностью. В зависимости от толщины свариваемых деталей процесс ведут одним или несколькими электродами. Наибольшее распространение получила сварка *электродной проволокой* диаметром 2,5...3,5 мм. В зависимости от толщины (до 500 мм) применяется одно- или многоэлектродная сварка (чаще три электрода). Сварку *электродной пластиной* используют для швов небольшой длины (до 1,5 м) с развитым прямоугольным сечением (шириной до 2 м). Сварка *плавящимся мундштуком* как бы объединяет способы сварки проволочным и пластинчатым электродами. При этом в пластинчатом электроде, выполненном по форме сечения свариваемого элемента, делают пазы или приваривают к нему трубки для подачи электродных проволок. При сварке происходит одновременное расплавление и непрерывно подаваемых проволок, и неподвижной пластины — мундштука. Этим способом можно сваривать швы сложного криволинейного профиля. Конструктивные параметры их и размеры определяются ГОСТ 15164—78, который предусматривает три основных типа соединений: стыковые, угловые и тавровые (рис. 17.2). Стыковые и угловые соединения применяют при

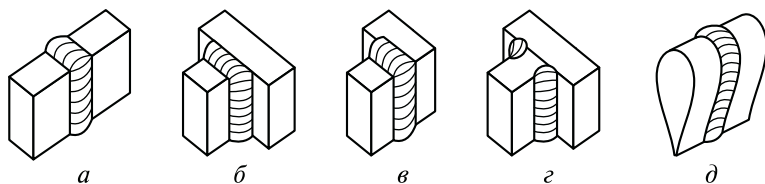


Рис. 17.2. Соединения для электрошлаковой сварки:

а — стыковое; *б* — тавровое; *в* — угловое; *г* — с угловыми швами; *д* — переменной толщины

толщине деталей 16... 800 мм, а тавровые — 16... 450 мм. Допускается сварка и больших сечений. Электрошлаковую сварку применяют для сталей, алюминия, титана и их сплавов толщиной свыше 25 мм.

Стандартом приняты следующие обозначения способов электрошлаковой сварки: ШЭ — проволочным электродом, ШМ — плавящимся мундштуком, ШП — электродом, сечение которого соответствует поперечному сечению свариваемых элементов.

17.2. Технология выполнения электрошлаковой сварки

Подготовка кромок под электрошлаковую сварку значительно проще, чем под дуговую. В большинстве случаев она заключается в обрезке торцов детали под углом 90° к ее поверхности. Для подготовки кромок обычно применяют машинную кислородную или плазменно-дуговую резку.

При сборке под электрошлаковую сварку нельзя применять прихватки, перекрывающие зазор между свариваемыми кромками, который должен оставаться свободным для прохода мундштуков сварочного автомата. Обычно сборку производят с помощью закрепляющих П-образных скоб, временно привариваемых к тыльной стороне стыка. Вырезы в таких скобах необходимы для свободного прохода медных охлаждаемых ползунов или холостых тележек. Иногда, в особенности при выполнении кольцевых швов, вместо скоб приваривают гребенки в виде пластин, которые по мере приближения к ним сварочного аппарата удаляются. При сборке под сварку необходимо выдерживать определенные зазоры между кромками деталей, которые в зависимости от толщины свариваемого металла, а также размеров токоподводящих мундштуков, вводимых в зазор, находятся в пределах 1... 26 мм. Сравнительно большие зазоры приводят к значительной усадке металла шва, что может вызвать изменение размеров сварных конструкций. Исходя из этого различают расчетный и сборочный зазоры. Расчетный зазор меньше сборочного примерно на величину усад-

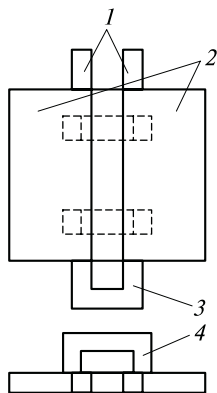


Рис. 17.3. Сборка стыковых соединений под электрошлаковую сварку:

1, 3 — соответственно выходные и заходные планки; 2 — детали; 4 — П-образная скоба

ки наплавленного металла. По нему определяют размеры готовой конструкции. Сборочный зазор — это зазор, с которым детали собирают под сварку. Величину сборочного зазора определяют на основе опыта сварки аналогичных конструкций или по данным сварки контрольных образцов.

Основные параметры режима электрошлаковой сварки — сварочный ток, напряжение на электродах и скорость сварки.

Изменение *сварочного тока* наибольшее влияние оказывает на глубину металлической ванны. С его увеличением глубина ванны возрастает и имеет зависимость, близкую к линейной. На ширину ванны изменение силы тока влияет незначительно.

Напряжение на электродах большое влияние оказывает на ширину металлической ванны. С увеличением напряжения возрастает и глубина ванны.

Изменение *скорости сварки* для сохранения стабильности процесса требует изменения других параметров процесса, особенно сварочного тока. При увеличении скорости сварки наблюдается возрастание глубины ванны. К дополнительным параметрам режима электрошлаковой сварки относят зазор, скорость подачи электрода, их число, глубину шлаковой ванны, состав флюса и др. Их влияние на размеры сварочной ванны и шва проявляется слабее. Большое влияние на стабильность процесса оказывает глубина шлаковой ванны. При недостаточной глубине возрастает вероятность образования дугового разряда либо внутри ванны, либо на ее поверхности. Глубину шлаковой ванны поддерживают в пределах 30...90 мм. Почти все низкоуглеродистые стали сваривают электродными проволоками марки Св-08ГА или Св-10Г2. При сварке пластинчатыми электродами используют пластины из марганцовистой стали 09Г2. Сварка ведется под флюсом АН-8 или ФЦ-7. При сварке легированных сталей и сплавов сварочные материалы выбирают в соответствии с составом основного материала. Режим сварки обычно устанавливают по справочным материалам или опытным путем на технологических пробах. Возбуждение дуги и перевод электродугового процесса в электрошлаковый в начале шва и вывод усадочной раковины в конце шва производят на технологические пластины (выходные и заходные планки), привариваемые к соединяемым элементам (рис. 17.3).

17.3. Оборудование для электрошлаковой сварки

При электрошлаковой сварке должно соблюдаться равенство мощности, выделяемой в шлаковой ванне, и мощности, необходимой для поддержания сварочной ванны заданных размеров. Стабильность процесса обеспечивается при применении источников питания переменного тока с жесткими вольт-амперными характеристиками. Сварочные аппараты при электрошлаковой сварке выполняют следующие действия:

- подачу электродной проволоки или расходούμεго электрода в зону сварки со скоростью их плавления;
- перемещение сварочного аппарата вверх вдоль шва со скоростью сварки по мере заполнения зазора электродным металлом;
- принудительное формирование наружных поверхностей сварных швов с помощью водоохлаждаемых кристаллизаторов-ползунов;
- осуществление возвратно-поступательного движения электродов между торцами свариваемых кромок;
- автоматическое регулирование уровня сварочной ванны.

Для выполнения этих операций электрошлаковые аппараты в отличие от автоматов для дуговой сварки снабжаются устройствами для удержания шлаковой и металлической ванн и принудительного формирования шва, а также для автоматического регулирования уровня металлической ванны, механизмами для подачи электродных проволок, вертикального перемещения аппарата и др. По конструкции в зависимости от способа удержания и передвижения аппараты могут быть рельсового, безрельсового и подвесного типов.

Аппараты рельсового типа перемещаются вдоль шва по вертикально установленному рельсу или направляющим, укрепленным на свариваемом изделии параллельно шву. Рельсы или специальные направляющие снабжаются зубчатой рейкой, по которой перекатывается зубчатое колесо ходового механизма. Аппарат при этом перемещается снизу вверх. Рельсовый путь может быть жестким (для сварки прямолинейных швов) или гибким (для сварки криволинейных швов). Максимальная длина сварных швов, выполняемых аппаратами рельсового типа, сравнительно небольшая и ограничивается длиной рельса и зубчатой рейки. К аппаратам такого типа относятся аппараты А-372Р, А-433Р и др.

В процессе сварки скорость перемещения аппарата регулируется автоматически в зависимости от уровня металлической ванны относительно медных ползунов. С этой целью в один из ползунов вмонтирован щуп для контроля уровня ванны, электрически связанный с устройством для автоматического регулирования скорости сварки. При автоматической работе система обеспечивает поддержание уровня металлической ванны в пределах ± 2 мм относительно заданной величины.

Аппараты безрельсового типа применяют при сварке деталей сравнительно небольшой толщины (до 100 мм). В этой группе различают два вида аппаратов: с механическим прижимом и магнитошагающие.

К аппаратам с механическим прижимом относятся А-306М, А-340М и др. Они перемещаются непосредственно по изделию, принудительно сцепляются с ним механическим путем и копируют его поверхность при сварке. Отсутствие ряда сложных механизмов, имеющих в аппаратах рельсового типа, делает их более простыми. Сцепление аппарата с изделием осуществляется за счет сил трения между ходовым механизмом и кромками изделия. В качестве ходового механизма используют две тележки, расположенные по обе стороны свариваемого стыка и связанные между собой плоскими тягами, которые пропущены через зазор собранных деталей и стянуты пружинами.

Особую группу аппаратов безрельсового типа составляют магнитошагающие (легкие подвесные) аппараты, в которых электродная проволока подается по гибкому шлангу с помощью отдельного механизма подачи. Они предназначены для получения соединений деталей толщиной до 100 мм. Сварка может производиться одним или двумя электродами. Магнитошагающие аппараты удерживаются и перемещаются по вертикальной плоскости с помощью двух или нескольких постоянно включенных электромагнитов, связанных между собой кривошипным или эксцентриковым валом. При вращении вала электромагниты поочередно отрываются от изделия и переступают (шагают) вперед по направлению сварки. Аппараты безрельсового типа, как с механическим прижимом, так и магнитошагающие, применяют при большой длине шва, когда рельс становится тяжелым и громоздким, что затрудняет крепление его на изделии с необходимой точностью.

В *аппаратах подвесного типа*, как правило, отсутствует механизм для сварочного движения, что делает их достаточно простыми и портативными. Обычно в состав таких аппаратов входят механизм подачи электродов и устройство для подвода сварочного тока к мундштуку. Аппараты подвесного типа можно разделить на три основных группы. В аппаратах для сварки пластинчатыми и стержневыми электродами вместо проволочных электродов используют пластины размером 20 × 250 мм или стержни диаметром до 30 мм и более, а также стержни квадратного сечения. Одним из недостатков таких аппаратов является то, что максимальная высота сварного шва зависит от предельно возможной длины электродов. К этой группе относят аппараты А-480, А-500 и др.

В аппаратах для сварки плавящимся мундштуком сварочный ток подводится к шлаковой ванне по телу мундштука, внутри которого проходит присадочная проволока. В процессе сварки плавятся как мундштук, так и проволока, которые и образуют наплавленный

металл. Эти аппараты применяют для сварки изделий сложного профиля, изделий с труднодоступными швами, при ремонтных работах. В эту группу входят аппараты А-645, А-741 и др.

В аппаратах для выполнения кольцевых швов проволочными электродами механизм подачи проволоки устанавливается неподвижно, а по мере заполнения зазора с помощью обычных роликовых стенов вращается свариваемое изделие. К таким аппаратам относятся аппараты А-356, А-401 и др.

В качестве источников питания при электрошлаковой сварке используют старочные трансформаторы с жесткой вольт-амперной характеристикой и пониженным напряжением холостого хода. Наибольшее распространение получили однофазные и трехфазные сварочные трансформаторы с нормальным магнитным рассеянием. Особенностью трансформаторов является широкий диапазон регулирования вторичного напряжения (чаще ступенчатое). Для применения рекомендуются трансформаторы однофазные (ТШС-1000-1, ТШС-3000-1) и трехфазные (ТШС-600-3, ТШС-1000-3, ТШС-3000-3 и др.).

Контрольные вопросы

1. Каковы особенности процесса и технология выполнения соединений электрошлаковой сваркой?
2. Назовите способы электрошлаковой сварки и области их применения.
3. Каковы особенности и разновидности аппаратов для выполнения электрошлаковой сварки?
4. Каковы основные параметры, определяющие режимы электрошлаковой сварки, и как они влияют на формирование шва?
5. Как будет различаться подготовка деталей и технология выполнения соединений металла толщиной 50 мм при использовании электрошлаковой и автоматической дуговой сварки под флюсом?
6. Чем принципиально различаются электрошлаковая и автоматическая дуговая сварка под флюсом?
7. Почему электрошлаковая сварка не входит в группу дуговых сварочных процессов?

18.1. Общие сведения о наплавке

Наплавка предусматривает нанесение расплавленного металла на оплавленную металлическую поверхность с последующей его кристаллизацией для создания слоя с заданными свойствами и геометрическими параметрами. Наплавку применяют для восстановления изношенных деталей, а также при изготовлении новых деталей с целью получения поверхностных слоев, обладающих повышенной твердостью, износостойкостью, жаропрочностью, кислотостойкостью и другими свойствами. Они позволяют значительно увеличить срок службы деталей и намного сократить расход дефицитных материалов при их изготовлении. При использовании большинства методов наплавки, так же как и при сварке, образуется подвижная сварочная ванна. В головной части ванны основной металл расплавляется и перемешивается с электродным металлом, а в хвостовой части происходят кристаллизация расплава и образование металла шва. Наплавлять можно слои металла как одинаковые по составу, структуре и свойствам с металлом детали, так и значительно отличающиеся от него. Наплавляемый металл выбирают с учетом эксплуатационных требований и свариваемости.

Наплавка может производиться на плоские, цилиндрические, конические, сферические и другие формы поверхности в один или несколько слоев. Толщина слоя наплавки может изменяться в широких пределах — от долей миллиметра до сантиметров. При наплавке поверхностных слоев с заданными свойствами, как правило, химический состав наплавленного металла существенно отличается от химического состава основного металла, поэтому при наплавке должен выполняться ряд технологических требований. В первую очередь таким требованием является минимальное разбавление наплавленного слоя основным металлом, расплавляемым при наложении валиков, поэтому в процессе наплавки необходимо получение наплавленного слоя с минимальным проплавлением основного металла, так как в противном случае возрастает доля основного металла в формировании наплавленного слоя. Это приводит к ненужному разбавлению наплавленного металла расплавляемым основным. Далее при наплавке необходимо обеспечение минимальной зоны термического влияния и минимальных напряжений и деформаций, которые достигаются за счет

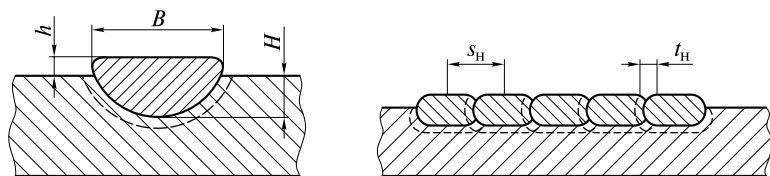


Рис. 18.1. Схема наплавки слоев:

B — ширина валика; h — высота наплавки; H — глубина проплавления; s_n — шаг наплавки; t_n — перекрытие валиков

уменьшения глубины проплавления регулированием параметров режима, погонной энергии, увеличением вылета электрода, применением широкой электродной ленты и другими технологическими приемами.

Технология наплавки различных поверхностей предусматривает ряд приемов нанесения наплавленного слоя: ниточными валиками с перекрытием один другого на 0,3—0,4 их ширины, широкими валиками, полученными за счет поперечных к направлению оси валика колебаний электрода, электродными лентами и др. Расположение валиков с учетом их взаимного перекрытия характеризуется шагом наплавки (рис. 18.1).

Наплавку криволинейных поверхностей тел вращения выполняют тремя способами (рис. 18.2): наплавкой валиков по образующей тела вращения, по окружностям и по винтовой линии. Наплавку по образующей выполняют отдельными валиками так же, как при наплавке плоских поверхностей. Наплавка по окружностям также выполняется отдельными валиками до полного замыкания их начального и конечного участков со смещением на определенный шаг вдоль образующей. При наплавке по винтовой

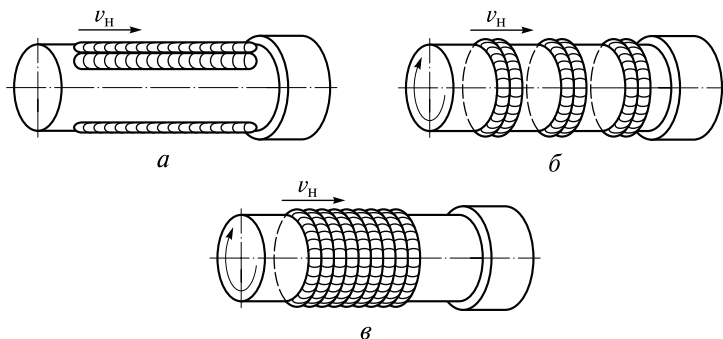


Рис. 18.2. Наплавка тел вращения:

a — по образующей; b — по окружности; v — по винтовой линии; v_n — скорость наплавки

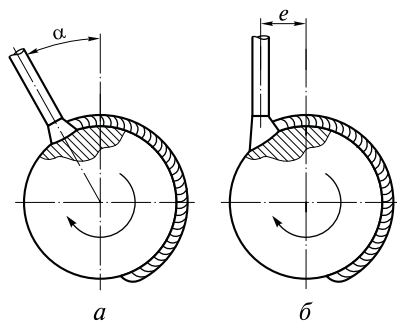


Рис. 18.3. Смещение электрода при наплавке тел вращения:

a — наклонным электродом; *б* — вертикальным электродом; α — угол наклона; *e* — смещение электрода

линии деталь вращается непрерывно, при этом источник нагрева перемещается вдоль оси тела со скоростью, при которой одному обороту детали соответствует смещение источника нагрева, равное шагу наплавки. При наплавке тел вращения необходимо учитывать возможность стекания расплавленного металла в направлении вращения детали. В этом случае целесообразно источник нагрева смещать в сторону, противоположную направлению вращения, учитывая при этом длину сварочной ванны и диаметр изделия (рис. 18.3).

Выбор технологических условий наплавки осуществляют исходя из особенностей материала наплавляемой детали. Наплавку деталей из низкоуглеродистых и низколегированных сталей обычно производят в условиях без нагрева изделий. Наплавка средне- и высокоуглеродистых, легированных и высоколегированных сталей часто выполняется с предварительным нагревом, а также с проведением последующей термообработки с целью снятия внутренних напряжений. Нередко термообработку (отжиг) выполняют после наплавки для снижения твердости перед последующей механической обработкой слоя. Для выполнения наплавки в основном применяют способы дуговой и электрошлаковой сварки. При выборе наиболее рационального способа и технологии наплавки следует учитывать условия эксплуатации наплавленного слоя и экономическую эффективность процесса.

18.2. Способы и технология наплавки

Дуговая наплавка под флюсом. Нагрев и расплавление металла, так же как и при сварке, осуществляются теплотой дуги, горячей между плавящимся электродом и основным металлом под слоем флюса. Наплавка под флюсом является одним из основных видов механизированной наплавки. Основными преимуществами являются непрерывность и высокая производительность процесса, незначительные потери электродного металла, отсутствие открытого излучения дуги. Отличительной особенностью наплавки под

флюсом является хороший внешний вид наплавленного слоя (гладкая поверхность и плавный переход от одного наплавленного валика к другому). В процессе наплавки возможны четыре основных способа легирования наплавленного металла (рис. 18.4).

1. Применение легированной проволоки или ленты и обычных плавящихся флюсов. Для наплавки используют легированные сварочные проволоки, специальные наплавочные проволоки и легированные ленты, в том числе спеченные. Наплавка производится под флюсами АН-20, АН-26 и др., которые выбирают в зависимости от состава электродного металла.

2. Применение порошковой проволоки или порошковой ленты и обычных плавящихся флюсов. Порошковая проволока (или лента) расплавляется в дуге и образует однородный жидкий расплав. Этот способ позволяет получить наплавленный металл с общим содержанием легирующих примесей до 50%. Марка порошковой проволоки или ленты выбирается в зависимости от необходимого типа наплавленного металла и его требуемой твердости.

3. Применение обычной низкоуглеродистой проволоки или ленты и легирующих неплавящихся флюсов (керамических). Этот способ позволяет ввести в наплавленный металл до 35% легирующих примесей. При наплавке наибольшее применение получили керамические флюсы АНК-18 и АНК-19, обеспечивающие хорошее формирование наплавленного металла, легкую отделимость шлаковой корки, высокую стойкость наплавленного металла против образования пор и трещин.

4. Применение обычной низкоуглеродистой проволоки или ленты и обычных плавящихся флюсов с предварительной укладкой легирующих материалов на поверхность наплавляемого изделия. Здесь возможна предварительная засыпка или дозированная по-

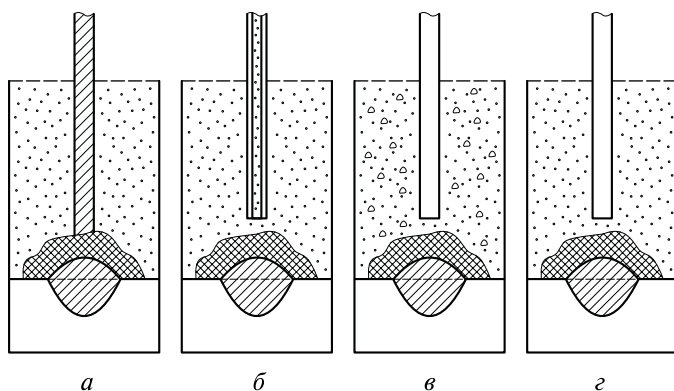


Рис. 18.4. Способы легирования наплавленного металла с применением: *а* — проволоки; *б* — порошковой проволоки; *в* — флюса; *г* — присадки

дача легирующих порошков, а также предварительная укладка прутков или полосок легированной стали, нанесение специальных паст на место наплавки и др.

Во всех случаях нанесенный легирующий материал расплавляется дугой и переходит в наплавленный металл. В связи с тем что в технологии выполнения между наплавкой и сваркой много общего, для наплавки применяется то же оборудование, что и при сварке соответствующими способами.

Наплавку углеродистых и низколегированных сталей выполняют плавленными флюсами ОСЦ-45, АН-348-А. Флюс АН-60 пригоден для одно- и многоэлектродной наплавки низкоуглеродистых и низколегированных сталей на нормальных и повышенных скоростях, а также для наплавки электродными лентами.

Наплавку легированных сталей производят под низкокремнистыми плавленными флюсами АН-22, АН-26 и др., а высоколегированные хромоникелевые стали и стали других типов с легкоокисляющимися элементами (титан, алюминий) — под фторидными флюсами АНФ-1 и АНФ-5. Для предупреждения образования шлаковых включений и непроваров в наплавленном слое при многослойной наплавке необходимо тщательно удалять шлаковую корку с предыдущих слоев.

Дуговая наплавка в защитных газах. Наплавку в защитных газах применяют в тех случаях, когда невозможны или затруднены подача флюса и удаление шлаковой корки. Преимуществами данного вида наплавки являются визуальное наблюдение за процессом и возможность его широкой механизации и автоматизации с использованием серийного сварочного оборудования. Ее применяют при наплавке деталей в различных пространственных положениях, внутренних поверхностей, глубоких отверстий, мелких деталей и сложных форм и т.п. Технология выполнения наплавки в защитных газах во многом сходна с технологией наплавки под флюсом, отличие лишь в том, что вместо флюсовой применяют газовую защиту зоны сварки. Помимо перечисленных преимуществ это освобождает сварщика от необходимости засыпки флюса и удаления шлака. С целью уменьшения разбрызгивания металла наплавка в защитном газе производится самой короткой дугой. Наплавку плоских поверхностей во избежание коробления деталей производят отдельными участками «вразброс». Цилиндрические детали можно наплавлять по винтовой линии как непрерывным валиком, так и с поперечными колебаниями электрода. Короткие участки могут наплавляться продольными валиками вдоль оси цилиндрической детали, но здесь возможно возникновение деформаций, которые в процессе наплавки следует уравнивать. Для этого наплавка каждого последующего валика должна производиться с противоположной стороны по отношению к уже наплавленному. При наплавке внутренних цилиндрических и ко-

нических поверхностей применяют специальные удлиненные мундштуки.

Наплавка может производиться в углекислом газе, аргоне, гелии и азоте. Высоколегированные стали, а также сплавы на алюминиевой и магниевой основе наплавляются в аргоне или гелии. Наплавка меди и некоторых ее сплавов может производиться в азоте, который ведет себя по отношению к ней нейтрально. При наплавке углеродистых и легированных сталей используют более дешевый углекислый газ. Наплавка может производиться как плавящимся, так и неплавящимся электродами. Неплавящийся вольфрамовый электрод обычно применяют при наплавке в аргоне и гелии. Наибольшее распространение получила наплавка в углекислом газе плавящимся электродом на постоянном токе обратной полярности. Учитывая, что углекислый газ окисляет расплавленный металл, в наплавочную проволоку обязательно вводят раскислители (марганец, кремний и др.). При наплавке применяют как проволоку сплошного сечения, так и порошковую. Для наплавки деталей из углеродистых и низколегированных сталей с целью восстановления их размеров применяют сварочные проволоки сплошного сечения Св-08ГС, Св-08Г2С, Св-12ГС, а также наплавочные Нп-40, Нп-50, Нп-30ХГСА и др. При необходимости получения наплавленного слоя с особыми свойствами применяют порошковые проволоки.

Недостатком способа является то, что в процессе наплавки в углекислом газе наблюдается сильное разбрызгивание жидкого металла, приводящее к налипанию брызг на мундштук и засорению сопла горелки. Кроме того, возможность сдувания газовой струи ветром затрудняет наплавку на открытом воздухе.

Дуговая наплавка порошковыми проволоками. Наплавка порошковой проволокой с внутренней защитой основана на введении в сердечник проволоки кроме легирующих компонентов также шлакообразующих и газообразующих материалов. Применение флюсовой и газовой защиты при наплавке такой проволокой не требуется. Легирующие элементы порошковой проволокой переходят в шов, а газо- и шлакообразующие материалы создают защиту металла от азота и кислорода воздуха. В дуге тонкая пленка расплавленного шлака покрывает капли жидкого металла и изолирует их от воздуха. Разложение газообразующих материалов создает поток защитного газа. После затвердевания на поверхности наплавленного валика образуется тонкая шлаковая корка, которая может не удаляться при наложении последующих слоев. При наплавке используют различные самозащитные порошковые проволоки. Для наплавки низкоуглеродистых слоев используют сварочные проволоки типа ПП-АНЗ и др. Для получения слоев с особыми свойствами применяют специальные проволоки. Так, для наплавки деталей, работающих при больших давлениях и повышенных

температурах, применяют порошковую проволоку ПП-3ХВЗФ-О. Наплавку деталей, подвергающихся интенсивному абразивному износу, производят самозащитной порошковой проволокой ПП-У15Х12М-О (буква О в обозначении марки порошковой проволоки указывает, что данная порошковая проволока предназначена для наплавки открытой дугой).

Технология выполнения наплавки самозащитной порошковой проволокой в основном ничем не отличается от технологии наплавки в углекислом газе. Открытая дуга дает возможность точно направлять электрод, наблюдать за процессом формирования наплавляемого слоя, что имеет большое значение при наплавке деталей сложной формы. Основными преимуществами этого способа являются применение менее сложной аппаратуры по сравнению с аппаратурой, применяемой при наплавке под флюсом и в защитных газах, а также возможность выполнять наплавочные работы на открытом воздухе; увеличивается производительность по сравнению с наплавкой под флюсом и в защитных газах, снижается себестоимость наплавляемого металла.

Плазменная наплавка и напыление. Сущность этого метода заключается в том, что нагрев присадочного и основного металла осуществляется сжатой дугой или газовой плазмой, выделенной или совпадающей со столбом дуги. Механизм образования наплавленного слоя такой же, как и при других способах дуговой наплавки. Из наплавочных материалов при плазменной наплавке используют проволоку, прутки и порошки. Схема плазменной наплавки с вдуванием порошка в дугу показана на рис. 18.5. Между вольфрамовым электродом 4 и внутренним соплом 3 возбуждают дугу. Плазмообразующий газ, проходя через нее, создает плазменную струю 1 косвенного действия, которая обеспечивает расплавление присадочного порошка. Дуга 2 прямого действия, горящая между электродом 4 и основным металлом детали 5, совпадает с плазменной струей прямого действия. Последняя создает необходимый нагрев поверхности, обеспечивая сплавление порошка и основного металла. Изменяя значение силы тока сжатой дуги прямого действия, можно достичь минимальной величины проплавления основного металла. Толщину наплавленного слоя можно изменять в пределах 0,3... 10 мм с разбавлением основным металлом от 3 до 30 %. При плазменной наплавке с присадочной проволокой косвенная дуга горит между вольфрамовым электродом и соплом, а дуга прямого действия — между вольфрамовым электродом и присадочной проволокой. От этих дуг получает теплоту и основной металл. Изменяя силу тока, регулируют долю основного металла и производительность наплавки. Наплавляемое изделие в этом случае в сварочную цепь не включено.

Из защитных газов при плазменной наплавке применяют аргон, азот, углекислый газ, смеси аргона с гелием или азотом и др.

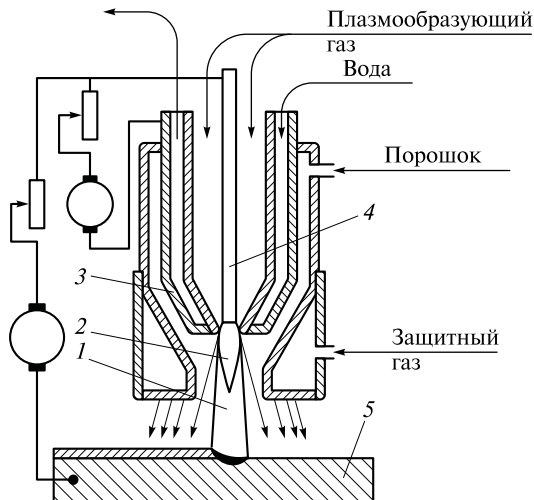


Рис. 18.5. Схема плазменной наплавки с вдуванием порошка в дугу:

1 — плазма; 2 — дуга; 3 — сопло; 4 — электрод; 5 — деталь

Выбор защитного газа связан со степенью его воздействия на наплавляемый и основной металлы. В качестве плазмообразующего могут применяться аргон, гелий, углекислый газ, воздух и др. Для обеспечения стабильного протекания процесса наплавки необходимо применять неплавящиеся электроды из такого материала, который способен без разрушения выдерживать нагревание до высоких температур. Таким требованием лучше всего отвечают электроды из чистого вольфрама или с присадками диоксида тория, оксидов лантана и иттрия. Преимущества этого вида наплавки — малая глубина проплавления основного металла, возможность наплавки тонких слоев, высокое качество и гладкая поверхность наплавленного металла.

Помимо наплавки плазменный нагрев может использоваться также для напыления поверхностных слоев. Процесс напыления отличается от наплавки рядом особенностей. Напыление — это процесс нанесения металлических слоев из частиц напыляемого материала, нагретых до температуры плавления или близких к оплавлению, на неоплавленную поверхность обрабатываемой детали. При напылении присадочный металл используется в виде проволоки или порошков, подаваемых в сжатую дугу, где он нагревается струей газового потока и с большой скоростью подается на поверхность изделия. Толщина напыленного слоя может изменяться от сотых до десятых долей миллиметра. Напыление слоев большей толщины обычно не производится в связи с тем, что они склонны к отслоению от поверхности детали (откалывание).

Напыление можно производить как металлами и сплавами, так и различного вида соединениями — оксидами, карбидами, нитридами и т. п.

Технологически в отличие от наплавки напыление выполняется по способу косвенного нагрева выделенной дуговой плазмой. Если при наплавке расстояние от сопла горелки до изделия составляет 6...25 мм, то при напылении — 50...120 мм и более. Напыленные слои обладают меньшей плотностью и большей пористостью по сравнению с наплавленными и более склонны к откалыванию от поверхности детали при нарушении технологии. Однако в них практически отсутствует разбавление основным металлом.

Электрошлаковая наплавка. При электрошлаковой наплавке для оплавления основного и присадочного металла служит шлаковая ванна, разогреваемая проходящим через нее электрическим током. Этот способ наплавки, как правило, сочетается с принудительным формированием наплавляемого слоя. Сущность процесса электрошлаковой наплавки (рис. 18.6) состоит в том, что в пространстве, образованном поверхностью наплавляемой детали 5 и формирующим кристаллизатором 2, охлаждаемым водой, создается ванна расплавленного шлака 3, в которую подается электрод 1. Ток, проходя между электродом и изделием, нагревает шлаковую ванну до температуры более 2 000 °С, в результате чего электродный и основной металлы оплавляются, образуя металлическую ванну, при затвердевании которой формируется наплавленный слой 4.

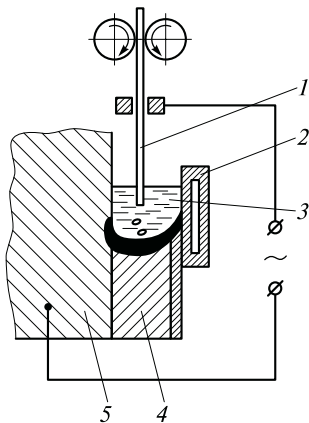


Рис. 18.6. Схема электрошлаковой наплавки:

- 1 — электрод; 2 — кристаллизатор;
3 — жидкий шлак; 4 — наплавленный слой; 5 — деталь

Для осуществления процесса электрошлаковой наплавки различных поверхностей необходима достаточно глубокая шлаковая ванна, получение которой проще всего при вертикальном или наклонном расположении деталей. По сравнению с дуговой наплавкой это менее универсальный способ, но он весьма эффективен в тех случаях, когда на деталь необходимо наплавить слой металла большой толщины (более 16 мм). Благодаря применению большой силы тока и электродов большого сечения можно достичь высокой производительности — до 150 кг наплавленного металла в час.

В качестве присадочного металла применяют наплавочные проволоки (одну или несколько), кото-

рые могут возвратно-поступательно перемещаться поперек сварочной ванны, а также электродные ленты, пластины или стержни большого сечения, а иногда и трубы, которые используют для наплавки цилиндрических поверхностей. При наплавке обычно применяют флюсы АН-8, АН-22 и др.

18.3. Дуговая резка металлов

Интенсивный нагрев металла электрической дугой успешно используют в производстве не только для сварки и наплавки, но и для резки металлов. По характеру образуемых срезов и в зависимости от назначения различают две основные разновидности резки металлов: разделительную, образующую сквозные разрезы (вырезка заготовок из листа, разрезка полуфабрикатов на части, скос кромок под сварку и др.), и поверхностную, предназначенную для снятия слоя металла с поверхности обрабатываемых деталей или заготовок (строжка поверхности, выплавка канавок, удаление дефектных мест и др.).

Дуговая резка основана на том, что металл детали по линии реза плавится теплотой дуги и удаляется в результате стекания под действием силы тяжести, направленного движения газов и других сил.

Разделительная резка выполняется либо последовательным выплавлением металла, либо сквозным его проплавлением. Первый способ применяется чаще и заключается в том, что дугу зажигают на верхней кромке листа, а затем вводят электрод в полость среза и периодически перемещают его от верхней к нижней кромке.

Целесообразно применять покрытые электроды, в покрытии которых есть компоненты с сильными окислительными свойствами или выделяющие много теплоты. Лучшие результаты получают при резке угольными или графитовыми электродами на постоянном токе. В качестве источников тока используют сварочные трансформаторы и преобразователи с крутопадающими внешними характеристиками. Дуговая резка применяется и для поверхностной обработки деталей. В этом случае целесообразно устанавливать деталь вертикально или в наклонном положении, чтобы выплавленный металл мог свободно стекать с поверхности реза. Возможна поверхностная резка (строжка) и при горизонтальном расположении обрабатываемой детали. В этом случае электрод удерживается под углом $10...20^\circ$ к детали в плоскости, совпадающей с линией реза. Глубину канавки регулируют путем изменения скорости перемещения электрода. Канавки большой глубины выплавляют за несколько проходов. Дуговая резка выполняется на силе тока, в 1,3—1,5 раза большей, чем рекомендуется для сварки. Например, низкоуглеродистую сталь толщиной 6...50 мм раз-

резают покрытым электродом диаметром 4 мм на токе 300 А, а электродом диаметром 5 мм — на токе 400 А.

Газодуговая резка заключается в том, что выплавление металла по линии реза осуществляется теплотой, которая выделяется при горении дуги, а удаление расплавленного металла выполняется с применением сжатого воздуха или кислорода. Если применяется кислород, он кроме механического удаления расплава обеспечивает и сгорание стали по линии реза.

Газодуговую резку целесообразно производить угольными или графитовыми электродами с питанием дуги постоянным током обратной полярности при давлении воздуха $0,5...0,7 \text{ МН/м}^2$ ($5...7 \text{ кг/см}^2$) и расходе $5,5 \cdot 10^{-3}...11 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$ ($20...40 \text{ м}^3/\text{ч}$).

18.4. Плазменная резка металлов

Методы дуговой и газодуговой резки в применении к цветным металлам и высоколегированным сталям не обеспечивают высокой чистоты реза, малопроизводительны и дорогостоящи, поэтому в последние годы для выполнения качественной резки сплавов алюминия, легированных и даже низкоуглеродистых сталей все большее применение получила плазменная резка. Сущность ее заключается в том, что обрабатываемый металл в зоне реза расплавляется и частично испаряется с помощью струи плазмы, получаемой в дуге. Этой же струей расплавленный металл удаляется из полости реза. Температура плазмы достигает $30\,000 \text{ }^\circ\text{C}$, а скорость ее истечения из сопла плазменной горелки — $2\,000 \text{ м/с}$. Плаз-

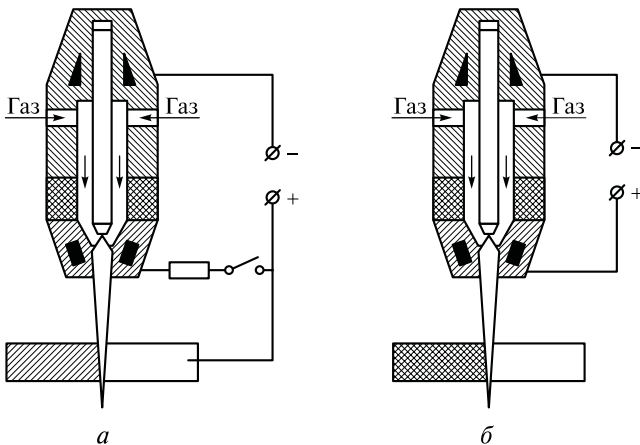


Рис. 18.7. Схема плазменных горелок для резки:
а — с прямой дугой; б — с косвенной плазменной струей

менная резка может применяться для металла толщиной от долей до десятков миллиметров. Для резки листов из алюминия и его сплавов, нержавеющей сталей и других сталей и сплавов большой толщины целесообразно применять процесс со сжатой дугой прямого действия, т.е. дугой, горящей между электродом плазменной горелки и разрезаемым листом (рис. 18.7, а). Для резки тонких материалов используют схему с плазменной струей косвенного действия — с плазмой, выделенной из столба дуги (рис. 18.7, б). Для резки применяют аргон, смеси аргона с водородом, водовоздушные смеси и воздух.

Мощными плазменными горелками, работающими при напряжении дуги до 200 В, можно разрезать листы толщиной до 150 мм и более со скоростью до 1 м/мин, а листы толщиной до 66 мм — со скоростью до 5 м/мин и более. Плазменная резка алюминиевых сплавов и других цветных металлов и легированных сталей позволяет получить резы с высоким качеством (по чистоте и точности) и отличается наибольшей экономичностью по сравнению со всеми другими методами резки. Для низкоуглеродистых сталей плазменная резка особенно эффективна при обработке листов толщиной до 30 мм.

Контрольные вопросы

1. Какова сущность наплавки металлов?
2. Чем наплавка металлов отличается от сварки?
3. Назовите и опишите способы механизированной дуговой наплавки.
4. Опишите технологию наплавки под флюсом и ее особенности.
5. Расскажите о наплавке в защитных газах и ее разновидностях.
6. Каковы особенности электрошлаковой наплавки?
7. В чем принципиальное отличие наплавки от напыления?
8. Каковы сущность и способы выполнения процесса резки металлов?

ЧАСТЬ III

ОСОБЕННОСТИ СВАРКИ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И ПРОИЗВОДСТВО СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Глава 19

ТЕХНОЛОГИЯ СВАРКИ СТАЛЕЙ И ЧУГУНА

19.1. Общие свойства и классификация сталей

В современных машиностроительных конструкциях, изготовляемых с помощью сварки, используются разнообразные материалы, отличающиеся по своим механическим и физическим свойствам, технологическим характеристикам. Выбор материала определяется соответствием его свойств требованиям, обусловленным назначением и условиями работы конструкции. Общепринятыми характеристиками материала являются предел прочности σ_b , предел текучести σ_t , относительное удлинение δ , относительное поперечное сужение ψ , ударная вязкость a . Однако непосредственное использование их для оценки поведения материала в конструкции в большинстве случаев является недостаточным. Например, приведенные характеристики не позволяют судить о поведении материала при вибрационных нагрузках, тем более ничего нельзя сказать о сопротивлении металла статическим нагрузкам при низких или при высоких температурах, поэтому необходимы дополнительные данные о сопротивлении металла усталости, ударным воздействиям, хрупким разрушениям (особенно при низких температурах) о чувствительности к надрезу и концентраторам напряжений и др.

С целью снижения металлоемкости и уменьшения массы конструкций необходимо учитывать не только абсолютные показатели прочностных свойств, но и отношение их к плотности металла — так называемые удельные прочностные показатели материала. Исходя из этого конструкции из стали с пределом прочности $\sigma_b = 1\ 570$ МПа могут выдерживать меньшую нагрузку, чем аналогичные и одинаковые по массе конструкции, выполненные из титанового сплава с $\sigma_b = 600$ МПа.

Важная характеристика свойств конструкционных материалов — отношение предела текучести к пределу прочности при растяжении. Для различных материалов, используемых в сварных конструкциях, это отношение находится в пределах 0,5...0,9. Для

большинства сталей это отношение 0,75...0,80, для аустенитно-мартенситной стали при комнатной температуре — 0,9, при 500 °С — 0,8.

В зависимости от температуры материал может находиться в вязком или хрупком состоянии, что резко влияет на его поведение под нагрузкой. В вязком состоянии его разрушение происходит после значительных пластических деформаций. В хрупком состоянии способность пластически деформироваться сильно снижена. Во время эксплуатации такого материала может произойти мгновенное разрушение при случайных перегрузках из-за малой его энергоемкости. Хрупкость не является постоянным свойством материала, и переход из пластического состояния в хрупкое зависит от многих факторов — химического состава и структуры, температуры, скорости нагружения, вида напряженного состояния.

Для оценки хрупкости материала служит ударная вязкость. Этот показатель является одной из существенных характеристик сопротивляемости металла разрушению.

Во многих случаях главным при выборе металлов является их способность работать при повышенной температуре в агрессивных средах. Также необходимо учитывать их поведение при сварке. В сварных конструкциях основной металл в процессе сварки подвергается термическим, механическим и химическим воздействиям. Это приводит к изменениям его химического состава, структуры, механических свойств, напряженного состояния, поэтому при выборе металла для сварных конструкций необходимо считаться не только с его исходными свойствами, но и с теми, которые он приобретает под воздействием сварочного процесса. Это характеризуется свариваемостью материала. Таким образом, технологическая свариваемость является важнейшей комплексной характеристикой материала.

Для сварных изделий в машиностроении в качестве конструкционных материалов широко используют конструкционные стали, легкие сплавы на основе алюминия и магния, титановые сплавы, медь и ее сплавы и др.

Стаями называют сплавы железа с углеродом, содержащие менее 2 % углерода. По химическому составу различают стали *углеродистые* и *легированные*. Содержание углерода в конструкционных углеродистых сталях составляет 0,06...0,90 %. Углерод является основным легирующим элементом сталей этой группы и определяет их механические свойства и свариваемость. В зависимости от содержания углерода конструкционные углеродистые стали могут быть низкоуглеродистыми (менее 0,25 % углерода) и среднеуглеродистыми (0,46...0,76 % углерода). По качественному признаку различают углеродистые стали обыкновенного качества и качественные. Качественные стали имеют пониженное содержание вредных примесей (серы, фосфора). Примером низкоуглеро-

дистой стали обыкновенного качества, широко используемой в сварных конструкциях, является сталь ВСтЗ, содержащая 0,14...0,22 % углерода, 0,40...0,65 % марганца, 0,12...0,30 % кремния, с пределом прочности $\sigma_B = 380...490$ МПа и относительным удлинением $\delta = 23...26$ %. В качестве примера углеродистой качественной стали можно назвать сталь 20, содержащую 0,17...0,24 % углерода, 0,35...0,65 % марганца, 0,17...0,37 % кремния, с пределом прочности $\sigma_B = 420$ МПа и относительным удлинением $\delta = 26$ %.

Легированными называют стали, содержащие специально введенные элементы для придания им определенных свойств и структуры. В зависимости от содержания легирующих элементов легированные конструкционные стали подразделяют на следующие группы:

- низколегированные, в которых содержание одного легирующего элемента не превышает 2 %, а суммарное содержание легирующих элементов менее 2,5...4,0 %;
- легированные, в которых содержание одного легирующего элемента составляет 2...5 % при суммарном содержании 2,5...10,0 %;
- высоколегированные, в которых содержание легирующих элементов составляет более 10 %.

По назначению различают стали конструкционные повышенной прочности, жаропрочные, жаростойкие, коррозионно-стойкие легированные. В зависимости от вводимых в сталь легирующих элементов различают стали марганцовистые, кремний-марганцовистые, хромистые, хромоникелевые и т. п. По содержанию углерода легированные стали, как и углеродистые, могут быть низко-, средне- и высокоуглеродистыми. В зависимости от структуры различают стали перлитного, ферритного, аустенитного, мартенситного и промежуточных классов. Класс стали определяют структурой в ней, образующейся после операции термической обработки — нагрева до температуры точки A_{c3} и последующего охлаждения на воздухе.

19.2. Сварка низкоуглеродистых и низколегированных сталей

Стали этих групп относятся к хорошо сваривающимся практически всеми видами сварки сталям. Основные требования при их сварке — обеспечение равнопрочности сварного соединения основному металлу, отсутствие дефектов, требуемая форма сварного шва, производительность и экономичность. При сварке плавлением эти требования выполняются за счет выбора и применения типовых сварочных материалов, режимов и технологии выполнения сварки.

Химический состав и механические свойства низкоуглеродистых сталей

Марка стали	Содержание элементов, %				σ_b , МПа	σ_T , МПа	δ , %
	С	Mn	Si	Прочие			
ВСт2кп	0,09 ... 0,15	0,25 ... 0,50	0,07	Менее 1,0	330... 420	210	32
ВСт2сп	0,09 ... 0,15	0,25 ... 0,50	0,12 ... 0,30	Менее 1,0	340... 440	220	31
ВСт3сп	0,14 ... 0,22	0,40 ... 0,65	0,12 ... 0,30	Менее 1,0	380... 490	240	25
15Г	0,12 ... 0,19	0,7 ... 1,0	0,17 ... 0,37	Менее 1,0	420	250	26
20Г	0,17 ... 0,24	0,7 ... 1,0	0,17 ... 0,37	Менее 1,0	460	280	24

Для изготовления сварных конструкций из этой группы сталей применяют низкоуглеродистые стали с содержанием углерода до 0,25 %. Низкоуглеродистые стали обыкновенного качества в зависимости от назначения подразделяют на три группы: А, Б, В. Для ответственных сварных конструкций в основном используют стали группы В с гарантируемыми химическим составом и механическими свойствами. Выпускаются низкоуглеродистые качественные стали с нормальным (10, 15, 20 и др.) и повышенным (15Г, 20Г) содержанием марганца. Химический состав и механические свойства низкоуглеродистых сталей приведены в табл. 19.1. Эти стали хорошо свариваются всеми способами дуговой сварки. Однако они обладают невысокими механическими характеристиками и их применение связано с увеличением металлоемкости и массы конструкций.

Уменьшить удельный расход стали можно, повышая прочностные характеристики. С этой целью в сталь вводят легирующие элементы, которые, образуя твердые растворы и химические соединения, повышают ее свойства. Это позволяет снизить массу изготавливаемых конструкций. Сейчас все шире применяют низкоуглеродистые низколегированные стали с содержанием легирующих элементов до 2,5 %. Основными легирующими элементами являются марганец, кремний, хром и никель. Для повышения коррозионной стойкости стали вводят медь (0,3...0,4 %). Такие стали обладают хорошей свариваемостью. Предусмотрен выпуск 28 марок низколегированных сталей, применяемых для сварных конструкций. Химический состав и механические свойства наиболее часто используемых низколегированных сталей приведены в табл. 19.2.

К группе низколегированных сталей относятся теплоустойчивые стали перлитного класса, используемые в энергетическом машиностроении (12МХ, 12Х1МФ, 20ХМФЛ и др.), в которых содержание легирующих компонентов составляет до 4 %.

Для повышения жаропрочности при температурах 450...585 °С стали легируют молибденом и вольфрамом. Однако низколегированные стали более чувствительны к тепловому воздействию, чем низкоуглеродистые, особенно при сварке на форсированных режимах металла большой толщины. В зоне термического влияния более заметны явления перегрева, рост зерна и возможно образование закалочных структур, что может являться причиной образования холодных трещин, поэтому при сварке низколегированных сталей к параметрам режима сварки предъявляются более жесткие требования, чем при сварке нелегированных низкоуглеродистых сталей. Сварка ограничивается узкими пределами изменения параметров режима, чтобы одновременно обеспечить минимальное возникновение закалочных структур и уменьшить перегрев.

Ручную дуговую сварку покрытыми электродами низкоуглеродистых сталей выполняют электродами типа Э38, Э42, Э46 со

Химический состав и механические свойства низколегированных сталей

Марка стали	Содержание элементов, %				$\sigma_{в}$, МПа	$\sigma_{т}$, МПа	δ , %
	С	Mn	Si	Прочие			
09Г2	0,12	1,4 ... 1,8	0,17 ... 0,37	—	450	310	21
14Г2	0,12 ... 0,18	1,2 ... 1,6	0,16 ... 0,37	0,3 Cr	470	340	21
10Г2С1	0,12	1,30 ... 1,65	0,8 ... 1,1	—	520	360	21
14ХГС	0,11 ... 0,16	0,9 ... 1,3	0,4 ... 0,7	0,5 ... 0,8 Cr	500	400	22
10ХСНД	0,12	0,5 ... 0,8	0,8 ... 1,1	0,6 ... 0,9 Cr 0,5 ... 0,8 Ni 0,4 ... 0,7 Cu	540	450	19
15Г2АФ	0,12 ... 0,18	1,5	0,17	0,1 ... 0,15 V	600	450	20
12МХ	0,09 ... 0,16	0,4 ... 0,7	0,17 ... 0,37	0,4 ... 0,8 Cr 0,25 Ni 0,4 ... 0,6 Mo	450	280	31
12Х1МФ	0,08 ... 0,15	0,4 ... 0,7	0,17 ... 0,37	0,9 ... 1,2 Cr 0,25 Ni 0,25 ... 0,35 Mo 0,15 ... 0,30 V	540	370	31

всеми типами покрытий (кислыми, рутиловыми, целлюлозными и основными) марок МР-3, СМ-5, АНО-2, ОЗС-3, УОНИ-13/45 и др. Низколегированные низкоуглеродистые стали сваривают электродами типа Э42, Э50 с основным покрытием марок УОНИ-13/45, СМ-11, УОНИ-13/55 и др. Для сварки под флюсом в основном применяют марганцевые высококремнистые флюсы (ОСЦ-45, АН-348) и низкоуглеродистые сварочные проволоки Св-08, Св-08А, Св-08ГА (для низкоуглеродистых) и Св-08ГА, Св-10Г2, Св-08ХН, Св-08ХМФА и др. (для низколегированных сталей). При сварке в защитных газах используют углекислый газ, а также смеси углекислого газа с аргоном и кислородом. В качестве сварочных проволок Св-08ГС, Св-08Г2С для повышения коррозионной стойкости используют проволоку марки Св-08ХГ2С. Теплоустойчивые стали чувствительны к термическому циклу при сварке, следствием которого являются появление холодных трещин, процессы старения, разупрочнения, охрупчивания и опасность образования трещин при эксплуатации. Основными мерами борьбы с этими процессами являются применение основного металла с минимальным содержанием примесей и пониженным содержанием углерода, сварка с предварительным подогревом для сталей 12ХМ, 15ХМ (200...250 °С), для сталей 20ХМФ, 15Х1М1Ф (350...450 °С), выбор оптимального режима сварки, термообработка после сварки. Применяют ручную дуговую сварку покрытыми электродами с фтористо-кальциевым покрытием типа Э-МХ, Э-ХМФ на постоянном токе обратной полярности, а также сварку в углекислом газе и под флюсом с использованием сварочных проволок, легированных элементами, входящими в состав свариваемых сталей.

19.3. Сварка легированных и углеродистых закаливающихся сталей

К легированным и углеродистым закаливающимся сталям относятся стали с суммарным содержанием легирующих элементов до 10 %. Они обладают высокими прочностными и пластическими характеристиками, повышенной стойкостью против хрупкого разрушения и некоторыми специальными свойствами. Прочность таких сталей составляет 800...2000 МПа, поэтому их используют в ответственных конструкциях, воспринимающих значительные нагрузки, например в авиационной технике, химическом и энергетическом машиностроении и др. Химический состав и механические характеристики некоторых сталей этой группы приведены в табл. 19.3. Для них характерно многокомпонентное комплексное легирование. Почти все стали этой группы относятся к перлитному классу. Однако некоторые из них с содержанием легирующих

Химический состав и механические свойства высокопрочных легированных сталей для сварных конструкций

Марка стали	Содержание элементов, %						σ_b , МПа	δ , %
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Прочие		
30ХГСА	0,30	1,1	1,2	1,1	0,4	—	1 100	10
30ХГСНА	0,31	1,2	1,2	1,1	1,6	—	1 600	—
38Х2МЮА	0,38	0,5	0,4	1,6	0,4	0,09 Al	—	—
40ХН2МА	0,4	0,65	0,27	0,75	1,45	0,2 Мо	—	—
25Х2СНВФА	0,27	0,65	1,1	1,2	1,1	0,1 V 0,8 W	1 400	10
ВЛ1Д	0,3	1,1	1,8	1,7	1,2	0,45 Мо 1,1 W	1 600	6

элементов более 5 % и более могут относиться к мартенситному или переходным классам (30Х2ГСНВМ, 28Х3СНМВФА и др.).

Высокие механические свойства легированных сталей достигаются при соответствующем легировании и надлежащей термической обработке, после которой проявляется положительное влияние легирования, поэтому такие конструкционные стали характеризуются как химическим составом, так и видом термической обработки. Стали этой группы, как правило, подвергают улучшению (закалке с последующим высоким отпуском) или закалке и низкому отпуску. В качестве легирующих компонентов для этих сталей применяют хром, марганец, кремний, никель, титан и др. При изготовлении ряда конструкций от материала требуется также сохранение прочностных характеристик при высоких температурах и длительном воздействии постоянных нагрузок. Для повышения жаропрочности сталей в их состав дополнительно вводятся такие легирующие элементы, как молибден, вольфрам, ванадий, повышающие температуру разупрочнения стали при нагреве. Например, в отожженном состоянии предел прочности стали 25ХНВФА, в состав которой входят вольфрам и ванадий, составляет 850 МПа при $\delta = 15\%$. Закалкой при 910 °С, охлаждением в масле и последующим отпуском при 350 °С получают $\sigma_b = 1\,400$ МПа, $\delta = 10\%$. При высокой прочности сталь обладает достаточной пластичностью и хорошо сохраняет свои прочностные характеристики во время нагрева. При 300 °С прочность составляет 90 %, а при 500 °С — 50 % от исходной.

К этой же группе закаливающихся сталей по своему отношению к сварке относят и нелегированные средне- и высокоуглеро-

дистые стали с содержанием углерода 0,3...0,6% — стали 30, 35, 40, 45, 50, 60, 25Г, 35Г, 45Г. Высокоуглеродистые стали в сварных конструкциях, как правило, не используются. Необходимость их сварки возникает при наплавке и ремонте. Для изготовления сварных узлов из легированных высокопрочных сталей используется большинство известных способов сварки плавлением. Однако этот технологический процесс более сложен по сравнению с процессом изготовления конструкций из сталей предыдущей группы. Эти материалы относятся к закаливающимся сталям, поэтому в сварных соединениях могут образовываться хрупкие и малопластичные зоны, чувствительные к возникновению трещин. Характерными общими трудностями при сварке этих сталей являются:

- образование закалочных структур при охлаждении после сварки и склонность к холодным трещинам;
- опасность образования горячих трещин;
- разупрочнение металла сварного соединения по сравнению с основным металлом. Это необходимо учитывать при разработке технологии и предусматривать специальные мероприятия для предотвращения от подкалки и выравнивания свойств (подогрев перед сваркой, последующую термическую обработку и т.п.).

Для ответственных конструкций широко используют легированные стали перлитного класса средней прочности с $\sigma_B = 900 \dots 1300$ МПа. Это стали 25ХГСА, 30ХГСА и другие с меньшим или большим содержанием углерода и сложнoleгированные стали с низким содержанием углерода, например 12Х2НВФА, 23Х2НВФА. Они отличаются лучшей свариваемостью по сравнению с высокопрочными легированными сталями типа 30ХГСН2А, 28Х3СНВФА, 30Х2ГСНВМ с $\sigma_B = 1500 \dots 2000$ МПа. В зависимости от степени легирования и содержания углерода стали этой группы относятся к удовлетворительно, ограничено или плохо свариваемым сталям. Главная трудность при сварке сталей этой группы — образование закалочных структур и холодных трещин, поэтому основные металлургические и технологические меры по обеспечению качества сварных соединений основываются на устранении этой трудности и являются общими для большинства рассматриваемых сталей.

Получение надежных сварных соединений осложняется также повышенной чувствительностью к концентраторам напряжений при статических и особенно при динамических нагрузках. Такая опасность тем больше, чем выше легирование стали, особенно углеродом, поэтому необходимо очень тщательно разрабатывать технологические процессы, а также повышать культуру проектирования и производства.

Необходимые меры по обеспечению получения качественных сварных соединений проводятся на разных этапах создания конструкций.

При составлении технологии сварки главное внимание должно быть уделено рациональному выбору сварочных материалов: основного и присадочного металла, защитных средств. Основной металл с пониженным содержанием углерода и примесей (серы, фосфора) обладает более высокой стойкостью против холодных и горячих трещин.

Для повышения пластичности сварного шва и увеличения сопротивляемости трещинам содержание углерода в присадочном металле должно быть не более 0,15 %; целесообразно предусмотреть широкую разделку кромок, чтобы обеспечить формирование шва в основном за счет более пластичного присадочного металла. Высокая технологическая прочность сварного шва достигается при ограничении содержания легирующих элементов в присадочной проволоке до следующих пределов, %: 0,15 C; 0,5 Si; 1,5 Mn; 1,5 Cr; 2,5 Ni; 0,5 V; 1,0 Mg; 0,5 Nb. В качестве защитных средств необходимо использовать покрытия и флюс основного типа, а также инертные газы (для легированных сталей). Для уменьшения сварочных напряжений, являющихся одной из причин образования трещин, необходимо при конструировании избегать жестких узлов, скоплений швов, пересекающихся и близко расположенных швов.

Во время сварки предусматриваются следующие технологические меры:

- тщательная подготовка и сборка под сварку, минимальное смещение кромок (менее 10...15 % толщины), минимальный зазор, качественные прихватки и зачистка кромок;

- регулирование термического цикла сварки для обеспечения требуемой скорости охлаждения шва и зоны термического влияния. Скорость охлаждения регулируют изменением режимов сварки (сила тока, скорость сварки, погонная энергия), применением специальных технологических приемов (сварка короткими и длинными участками, наложение отжигающего валика, сварка блоками, каскадом и др.) и применением подогрева, который может быть предварительным, сопутствующим и последующим. Подогрев является наиболее действенным способом регулирования скорости охлаждения, и его используют, когда регулированием режимов сварки и специальными технологическими приемами не удастся обеспечить требуемую скорость охлаждения и структуру сварного соединения. Чем выше содержание углерода и легирующих элементов, тем выше температура подогрева;

- уменьшение содержания водорода в сварном шве, так как водород является одной из главных причин образования холодных трещин. Это достигается применением покрытых электродов с фтористо-кальциевыми покрытиями и основных флюсов, защитных газов с пониженной влажностью; сваркой на постоянном токе обратной полярности; тщательной подготовкой под сварку

свариваемого и присадочного металла (защитка, обезвоживание) и защитных материалов (сушка, проковка);

- рациональная последовательность выполнения швов с целью уменьшения остаточных напряжений и деформаций.

После сварки для предотвращения холодных трещин производят незамедлительно высокий отпуск для снятия остаточных напряжений и стабилизации структуры. Для обеспечения равнопрочности сварного соединения после сварки производят полную термообработку изделия, которая заключается в закалке с последующим высоким отпуском или в нормализации. Если габариты изделия и имеющееся оборудование допускают полную термообработку, то химический состав металла шва должен быть близок к химическому составу основного металла.

Если полная термообработка невозможна, то проблема равнопрочности (обычно для сталей $\sigma_b = 700 \dots 750$ МПа) решается подбором режимов сварки и легированием через присадочную проволоку. При сварке закаливающихся сталей применяют в основном следующие способы сварки: ручную дуговую, под флюсом, в защитных газах, электрошлаковую с использованием сварочных материалов, обеспечивающих заданную прочность и химический состав сварного шва.

19.4. Сварка высоколегированных сталей и сплавов

Высоколегированными считаются стали с суммарным содержанием легирующих элементов свыше 10 % при содержании в них железа более 45 %. Если содержание железа меньше 45 %, то материалы считаются специальными сплавами. К этой группе относятся стали и сплавы, обладающие специфическими свойствами: высокой коррозионной стойкостью при комнатной и повышенной температурах, сопротивлением ползучести при нагреве и др. Материалы этой группы в зависимости от температурных условий эксплуатации изделий разделяют на жаропрочные и жаростойкие.

Жаростойкость (окалиностойкость) — свойство металлов и сплавов хорошо противостоять при высоких температурах химическому воздействию, в частности окислению на воздухе или в другой газовой среде. Жаропрочность — способность материалов при высоких температурах выдерживать без разрушения механические нагрузки.

Подобным требованиям соответствуют материалы с высокой степенью легирования — высоколегированные стали и специальные сплавы. В качестве легирующих элементов используют хром, никель, марганец, кремний, кобальт, вольфрам, ванадий, молибден, титан, бор и др. Высоколегированные стали и сплавы являются важнейшими конструкционными материалами, применя-

емыми в производстве оборудования для химической промышленности, в авиации, энергетике и реактивной технике.

В первую очередь необходимо отметить высокохромистые стали, используемые в энергетическом и химическом машиностроении. В зависимости от степени легирования хромом они могут относиться к мартенситному, мартенситно-ферритному и ферритному классам. Высокохромистые стали используются в качестве коррозионно-стойких, жаростойких и жаропрочных. В табл. 19.4 приведены химический состав и назначение наиболее распространенных высокохромистых сталей. Коррозионно-стойкими обычно являются стали с содержанием хрома более 13 %. Одновременно эти стали обладают жаростойкостью до 600 °С и жаропрочностью до 480 °С. Повышение жаропрочности, допускающей длительную работу при значительных напряжениях и температуре до 650 °С, достигается дополнительным легированием молибденом, ванадием, ниобием, бором и другими элементами.

Хромистые стали весьма чувствительны к термическому воздействию при сварке, что необходимо учитывать при разработке технологических процессов. Жаростойкими и жаропрочными материалами являются высоколегированные аустенитные стали и сплавы. Их классифицируют по системе легирования, структурному классу, свойствам и служебному назначению. Основные легирующие элементы — хром и никель. Материалы с суммарным содержанием железа и никеля более 65 % при соотношении нике-

Таблица 19.4

Химический состав и назначение высокохромистых сталей, применяемых для сварных конструкций

Марка стали	Содержание элементов, %					Назначение
	С	Мn	Si	Cr	Прочие	
08X13	≤0,08	≤0,8	≤0,8	13	—	Коррозионно-стойкая
12X17	≤0,12	≤0,8	≤0,8	17	—	—
15X18СЮ	≤0,15	≤0,8	1,3	18	0,9 Al	Жаростойкая до 1 000 °С
15X25Т	≤0,15	≤0,8	1,0	25	0,7 Ti	Жаростойкая до 1 100 °С
15X11МФ	≤0,19	≤0,7	≤0,5	11	0,7 Мо	Жаропрочная до 550 °С
15X12ВНМФ	≤0,18	0,7	0,4	12	0,9 W 0,6 Мо	Жаропрочная до 600 °С
					0,3 V 0,6 Ni	Жаростойкая до 800 °С

ля и железа 1 : 1,5 являются железоникелевыми сплавами, а с содержанием никеля более 55 % — никелевыми сплавами. Аустенитные стали и сплавы являются важнейшей группой материалов, широко используемой в различных отраслях машиностроения для конструкций, работающих в широком диапазоне температур. В табл. 19.5 приведен химический состав некоторых распространенных аустенитных сталей и сплавов. К группе аустенитных сталей относятся коррозионно-стойкие хромоникелевые стали, например 08X18H10T. Они обладают высокой пластичностью и хорошо штампуются в холодном состоянии. Главной опасностью при сварке этих сталей является склонность к трещинам и межкристаллитной коррозии сварных соединений.

Склонность к образованию горячих трещин связана с образованием крупнозернистой столбчатой структуры металла шва, высокой литейной усадкой кристаллизующегося металла и значительных деформаций при затвердевании. Основными мерами борьбы с горячими трещинами при сварке этих сталей являются получение сварных швов с двухфазной структурой (аустенит плюс небольшое количество феррита, карбидов или боридов) для улучшения структуры и измельчения зерна; ограничение вредных примесей в металле; применение неокислительных основных электродных покрытий и фторидных флюсов; уменьшение объема сварочной ванны и отношения ширины шва к глубине проплавления

Таблица 19.5

Химический состав аустенитных сталей и сплавов для сварных конструкций, %

Марка стали	C	Mn	Si	Cr	Ni	Прочие
08X18H9T	≤0,08	≤1,5	≤1,0	18	10	—
12X18H9T	<0,12	<2,0	<0,8	19	10	—
CH3	<0,1	0,7	0,7	17	5	—
XH78T	<0,12	0,7	0,8	20	≥75	0,25 Ti
XH38BT	<0,12	0,7	0,8	22	37	0,9 Ti <0,5 Al 3,2 W
ВЖ100	<0,1	1,0	0,8	21	28	3,2 Mo 5,4 W
XH75МБТЮ	<0,1	0,4	0,8	21	72	0,5 Ti 0,6 Al 0,2 Mo
XH77ТЮ	≤0,06	0,4	0,6	20	73	2,5 Ti 0,8 Al

для уменьшения усадочных деформаций при сварке (сварка на пониженных погонных энергиях, рациональная разделка кромок, неточные швы).

К межкристаллитной коррозии склонны высоколегированные стали всех классов, имеющие высокое содержание хрома вследствие выпадения под действием нагрева карбидов хрома по границам зерен, обеднения границ зерен хромом и вследствие этого пониженной стойкости границ против коррозии. Опасность межкристаллитной коррозии возникает при нагреве хромоникелевых сталей аустенитного и аустенитно-ферритного классов до температур 500... 850 °С, при нагреве высокохромистых сталей мартенситного, мартенситно-ферритного и ферритного классов до температур выше 950 °С.

Исходя из причин межкристаллитной коррозии основные меры предохранения направлены на предотвращение образования карбидов хрома и выпадения их по границам зерен. С этой целью применяют ограничение содержания углерода в основном и присадочном металле (при содержании углерода менее 0,02... 0,05 % межкристаллитная коррозия исключается); легирование сталей титаном, ниобием, танталом, цирконием, ванадием, которые более активно взаимодействуют с углеродом в стали и препятствуют образованию карбидов хрома; получение двухфазной структуры в хромоникелевых сталях (содержание феррита до 20... 25 %) дополнительным легированием основного металла и проволоки хромом, кремнием, алюминием, молибденом, бором; стабилизирующую термообработку, закалку после сварки с целью выравнивания содержания хрома на границах и в теле зерна; технологические меры — сварку при минимальном тепловложении, применение дополнительного охлаждения, уменьшение разбрызгивания, предотвращение ударов, забоин и т.д. С целью экономии никеля вместо этих сталей используют новые с аналогичными технологическими характеристиками (X13M4U, X17Г19АН4 и др.). Из этих материалов изготовляют конструкции, работающие при температуре до 500 °С. Все шире используют стали переходного аустенитно-мартенситного класса (08X15H5Д2Т, 08X15H9Ю, 08X17H5Ю и др.). Эти стали стареющего типа, в них дополнительно вводят алюминий и молибден. Изменяя режим термообработки, можно изменять механические свойства этих сталей в широких пределах (σ_B — от 900 до 1 700 МПа и σ_T — от 360 до 1 500 МПа). Стали переходного типа в упрочненном состоянии по удельной прочности и пластичности (σ_B/γ и σ_T/γ) при повышенных температурах в 1,5 раза и более превосходят другие стали.

В свою очередь, жаропрочные материалы в зависимости от назначения сварных узлов и условий эксплуатации можно разделить на две подгруппы. К первой подгруппе относятся материалы для изготовления узлов, работающих при высокой температуре без

больших силовых нагрузок. Чаще всего это листовые конструкции, для изготовления которых используются стали ХН78Т, ВЖ100, ХН75МБТЮ, ХН38ВТ и др. Эти материалы при 900 °С в течение длительного времени (100 ч) сохраняют $\sigma_b = 15...75$ МПа. Конструкции из них хорошо работают в газовых средах при 900...1150 °С. Эти материалы хорошо штампуются и свариваются и зачастую не требуют термической обработки после сварки. Они отличаются высокой жаростойкостью, хорошо выдерживают теплосмены.

Материалы второй подгруппы используют для изделий, работающих при высоких температурах и испытывающих значительные нагрузки. В основном это материалы на никелевой и никелево-кобальтовой основе типа ХН77ТЮР, ЖС6. Основные требования к ним — жаропрочность, жаростойкость, стойкость к теплосменам, технологичность при обработке. Невысокая пластичность большинства этих материалов допускает формообразование их только с нагревом. Для получения качественных сварных соединений требуется сложная технология сварки. Жаропрочность сварных соединений этих сплавов составляет 80...90 % от жаропрочности основного металла.

При сварке высоколегированных сталей и сплавов трудно обеспечить стойкость металла шва и металла в зоне термического влияния к образованию трещин, коррозионную стойкость сварного соединения, сохранение свойств металла шва и сварного соединения во времени под действием напряжений и при высоких температурах, получение плотных швов.

Технологические особенности сварки высоколегированных сталей обусловлены их физическими свойствами. Пониженная теплопроводность и большое электрическое сопротивление (примерно в 5 раз больше, чем у углеродистых сталей) способствуют большей скорости плавления металла, большей глубине проплавления и коэффициенту наплавки. Пониженная теплопроводность и большой коэффициент линейного расширения обуславливают усиленное коробление конструкций при сварке, поэтому при дуговых процессах сварку производят на режимах с меньшими значениями силы тока и погонной энергии, при меньших вылетах электрода и большей скорости его подачи по сравнению со сваркой углеродистых сталей.

Одной из основных задач технологии дуговой сварки высоколегированных сталей и сплавов является обеспечение равномерности химического состава по длине шва и его сечению, что достигается при строгом сохранении постоянства условий сварки. При механизированных способах легче обеспечить постоянство сварочного режима и стабильность состава, структуры и свойств металла шва, поэтому при изготовлении конструкций из высоколегированных сталей и сплавов необходимо стремиться к максимальной механизации сварочных процессов.

Для предотвращения угара легирующих элементов и защиты от взаимодействия с воздухом предъявляются дополнительные требования — сварка в инертной среде, применение безокислительных покрытий и флюсов, сварка короткими дугами. Лучшие результаты обеспечивает автоматическая сварка. Для сварки высоколегированных сталей и сплавов используют ручную дуговую сварку покрытыми электродами, ручную, механизированную и автоматическую сварку в защитных газах, сварку под флюсом и электрошлаковую.

Сварку покрытыми электродами выполняют на пониженных по сравнению со сваркой углеродистых сталей токах $I_{св} = (15 \dots 35)d_p$, на постоянном токе обратной полярности, ниточными швами без поперечных колебаний, короткой дугой. Используют электроды с основным покрытием со стержнем из проволоки, соответствующей марке свариваемой стали с учетом показателя свариваемости и эксплуатационных требований. Например, при сварке хромоникелевой стали 12Х18Н10Т для предотвращения образования горячих трещин и межкристаллитной коррозии используют электроды типа Э-04Х20Н9 (марка ЦЛ-11) или Э-02Х19Н9Б (ОЗЛ-7), обеспечивающие в шве аустенитно-ферритную структуру (2,5...7,0 % феррита).

Сварку под флюсом используют для соединения стали толщиной 3...50 мм. По сравнению со сваркой углеродистых сталей для высоколегированных сталей в 1,5—2 раза уменьшается вылет электрода, применяют электроды диаметром 2...3 мм, сварка многослойная, на постоянном токе обратной полярности с использованием безокислительных флюсов (АНФ-14, АН-26 и т.д.). Серьезным преимуществом сварки под флюсом по сравнению с ручной наряду с повышением производительности и качества соединений является снижение затрат, связанных с разделкой кромок.

Сварку в защитных газах проводят в инертных газах неплавящимся и плавящимся электродами непрерывно горящей и импульсной дугами. Аргонодуговую сварку вольфрамовым электродом используют для деталей толщиной менее 7 мм и для сварки корневого шва. Сварку плавящимся электродом выполняют в аргоне, а также в смесях аргона с гелием, применяют и смеси аргона с кислородом и углекислым газом. Сварку плавящимся электродом выполняют на силе тока, обеспечивающей струйный перенос металла электрода.

19.5. Сварка чугуна

Чугунами называют сплавы железа с углеродом при содержании углерода более 2%. Углерод в чугуне находится или в виде

выделений графита, или в виде химического соединения Fe_3C — цементита. Существует два типа чугуна: белый и серый. В белом чугуне углерод в основном содержится в виде цементита, отличающегося высокой твердостью и повышающего хрупкость сплава, поэтому в конструкциях белый чугун не используют. В сером чугуне углерод в основном содержится в виде пластинчатого графита. Кроме того, широкое распространение имеют высокопрочный чугун, в котором графит имеет шарообразную форму, и ковкий чугун, содержащий хлопьевидные включения графита. Несмотря на то что графитные включения разобщают металлическую основу сплава и приводят к концентрации напряжений, серые, высокопрочные и ковкие чугуны отличаются от белых более высокой пластичностью. В сером чугуне помимо углерода (3,2...3,8 %) обычно присутствует кремний (1...5 %) и марганец (0,5...0,8 %). В маркировке серого чугуна указывается его прочность при растяжении и изгибе. Например, СЧ 18-36 означает: серый чугун с прочностью на растяжение 180 МПа и прочностью на изгиб 360 МПа.

В высокопрочных чугунах графит имеет шаровидную форму за счет модифицирования (измельчения структуры) магнием. Вследствие этого повышаются пластические свойства чугуна. В маркировке высокопрочного чугуна указываются прочность и относительное удлинение при растяжении. Например, ВЧ 40-10 означает: высокопрочный чугун, имеющий предел прочности при растяжении 400 МПа и относительное удлинение 10 %.

В ковких чугунах углерод находится в свободном состоянии, но имеет хлопьевидную форму за счет длительного отжига (томления) при высокой температуре (20...25 ч при 950...1 000 °С). Маркируют ковкий чугун как высокопрочный. Например, КЧ 30-6 означает: ковкий чугун с пределом прочности при растяжении 300 МПа и относительным удлинением 6 %.

Свариваемость и свойства сварных соединений зависят от структуры чугуна. Структура определяется составом чугуна и технологическими факторами, главным из которых является скорость охлаждения с высоких температур. Главный процесс, формирующий структуру, — это процесс графитизации, т.е. процесс выделения углерода в чугуне. Процесс графитизации при сварке является благоприятным, так как выделение углерода в свободном состоянии уменьшает хрупкость чугуна. Все элементы, содержащиеся в чугуне, делятся на две группы: способствующие графитизации (графитизаторы) — С, Si, Al, Ni, Co, Cu; задерживающие графитизацию (отбеливающие), т.е. способствующие выделению углерода в виде цементита и охрупчиванию чугуна, — S, V, Cr, Sn, Mo, Mn. Основными трудностями при сварке чугуна являются охрупчивание сварного шва и зоны термического влияния в связи с отбеливанием при охлаждении после сварки; склон-

ность к образованию холодных трещин в связи с образованием хрупких структур и наличием высоких сварочных напряжений; пористость в связи с интенсивным газовыделением при сварке; повышенная жидкотекучесть чугуна, что затрудняет удержание сварочной ванны от вытекания. Главными трудностями являются охрупчивание металла при сварке и холодные трещины, поэтому технология сварки чугуна в первую очередь должна учитывать эти факторы. Для борьбы с охрупчиванием и трещинами применяют подогрев металла, используют присадочные материалы, обеспечивающие структуру серого чугуна за счет легирования графитизаторами, а также используют специальные электроды с медью и никелем.

В зависимости от температуры подогрева сварку чугуна осуществляют с подогревом (горячая), без подогрева (холодная). Горячая сварка может быть с низким подогревом до 300...400 °С и с высоким подогревом до 600...700 °С, холодная — без предварительного подогрева. Наилучшие результаты (отсутствие хрупких структур и трещин, хорошие свойства соединений) получают при горячей сварке. Технология горячей сварки включает в себя следующие операции: подготовку под сварку, предварительный подогрев, сварку, последующее медленное охлаждение изделия.

При *горячей сварке* чугуна используют следующие виды сварки: газовую, ручную дуговую, механизированную дуговую и порошковой проволокой. Ручную дуговую сварку выполняют плавящимися покрытыми и угольными электродами. Для сварки плавящимся электродом используют чугунные электроды (ОМЧ-1, ВЧ-3, ЭП-4 и др.), которые состоят из чугунного стержня марок А и Б и содержат 3,0...3,5 % С, 3...4 % Si, 0,5...0,8 % Mn и стабилизирующее покрытие с добавкой графитизаторов. Сварку ведут на повышенных токах $I_{св} = (60...100)d_e$ с использованием специальных электрододержателей. Используют электроды диаметром до 12 мм. Сварку угольным электродом проводят стержнями диаметром 8...20 мм с использованием присадочных чугунных прутков марок А и Б и флюса на основе буры. Наряду с ручной применяют механизированную горячую сварку чугуна порошковой проволокой типа ППЧ-3, содержащей 4,5...5,0 % С, 5,3...4,0 % Si, 0,1...0,3 % Al, 0,1...0,3 % Ti. Недостатками горячей сварки чугуна являются усложнение технологии, связанной с подогревом, и тяжелые условия работы сварщика.

При *холодной сварке* чугуна требуются специальные меры, чтобы получить соединение без трещин и хрупких зон. К этим мерам относят применение электродов, обеспечивающих получение в металле шва пластичной структуры из цветных металлов и сплавов; применение электродов с повышенным содержанием графитизаторов (С, Si), а также модификаторов, чтобы получить в шве структуру серого чугуна. Легирующие элементы вводят в металл шва че-

рез электродный стержень, покрытие (при использовании стальных стержней) или наполнитель порошковой проволоки.

Для этой цели используют сплавы на основе меди и никеля (электроды МНЧ-1), которые не образуют соединения с углеродом, уменьшают его растворимость, способствуют графитизации, уменьшают отбеливание в металле шва. Используют железомедные, железоникелевые и медно-никелевые электроды. Такие электроды делаются составными — стержень изготавливают из цветного металла, а железо вводят в виде оплетки, дополнительного стержня или порошка в покрытие. Содержание железа в металле шва обычно не должно превышать 10... 15 %, а сварку ведут на минимальном тепловложении, для того чтобы уменьшить зону нагрева с образованием остаточных напряжений и структурных изменений. Для этого применяют электроды малых диаметров 3... 4 мм, малую силу тока $I_{св} = (20... 30)d_{э}$, сварку короткими участками 15... 25 мм, проковку шва после сварки. Применяют также другие специальные меры, например сварку со стальными шпильками для получения прочного соединения. В кромки детали предварительно ввертывают шпильки, которые затем заваривают. Применяют низкотемпературную газовую пайку-сварку. Холодную сварку применяют при ремонте и восстановлении деталей простой формы, малой толщины.

Контрольные вопросы

1. Какие общие свойства учитываются при выборе конструкционных материалов для изготовления сварных конструкций?
2. Назовите основные факторы для классификации конструкционных сталей.
3. Назовите особенности поведения низкоуглеродистых и низколегированных сталей в условиях сварки и технологические особенности ее выполнения.
4. Опишите особенности поведения легированных и углеродистых сталей в условиях сварки.
5. Каковы требования к выбору технологии выполнения сварных соединений из легированных и углеродистых сталей?
6. Что представляют собой высоколегированные стали и сплавы?
7. Назовите технологические особенности сварки высоколегированных сталей и сплавов.
8. Опишите технологию сварки чугуна и перечислите основные трудности, возникающие при ней.
9. Почему в высоколегированных сталях не допускается высокое содержание углерода?
10. Как предотвратить образование трещин при дуговой сварке легированных высокопрочных сталей типа 30ХГСНА?

20.1. Общие сведения

По своим физико-химическим свойствам цветные металлы и сплавы резко отличаются от сталей, что необходимо учитывать при выборе вида сварки и технологии.

По химической активности, температурам кипения и плавления, теплопроводности, плотности, механическим характеристикам, от которых зависит свариваемость, цветные металлы условно можно разделить на группы: легкие (алюминий, магний, бериллий); активные и тугоплавкие (титан, цирконий, ниобий, молибден, тантал, хром); тяжелые (медь, никель); драгоценные (золото, серебро, платина).

Специфика физико-химических свойств цветных металлов определяет особенности их поведения в условиях разных видов обработки, в первую очередь при сварке.

Одной из характерных особенностей большинства цветных металлов является их высокая химическая активность при взаимодействии с газами воздуха. Это приводит к окислению металлов, насыщению их азотом и водородом. В результате наблюдается резкое ухудшение свойств сварных соединений, появление пор и трещин. Это предопределяет необходимость применять более качественные виды защиты (инертными газами, специальными флюсами и покрытиями) по сравнению со сваркой черных металлов и более качественную подготовку перед сваркой. Второй характерной особенностью цветных металлов является их высокая чувствительность к сварочному нагреву, которая проявляется в образовании крупнокристаллической структуры металла шва, росте зерна в зоне термического влияния, а для термически упрочняемых сплавов — в неблагоприятных структурных изменениях с образованием охрупчивающих выделений и последующем старении металла, возможно выпадение эвтектических составляющих, вызывающих местные оплавления границ зерен, что приводит к существенному изменению свойств по сравнению с исходным материалом. Поэтому для цветных металлов необходимо более тщательно выбирать условия сварки и соблюдать стабильность рекомендуемых режимов.

Для некоторых цветных металлов и их сплавов характерна высокая склонность к горячим трещинам в связи с большой линейной усадкой кристаллизующегося металла, образованием гру-

бокристаллической структуры и наличием примесей (алюминиевые, магниевые, никелевые сплавы).

При взаимодействии металлов с водородом могут образовываться хрупкие гидриды (титан и его сплавы), выделяющиеся в металле с увеличением объема, что приводит к развитию внутренних напряжений и способствует образованию холодных трещин. Последние могут развиваться даже при вылеживании конструкций после сварки. Одним из характерных дефектов является также пористость, связанная преимущественно с насыщением сварного соединения газами, в первую очередь водородом. Вследствие различной растворимости газов в твердом и жидком состояниях, перемещения их из основного металла в зону сварки, протекания химических реакций с выделением газообразных продуктов создаются благоприятные условия для зарождения и развития пористости. Отмеченные особенности требуют высокой культуры производства при сварке цветных металлов и сплавов.

20.2. Сварка алюминия и его сплавов

В связи с малой массой, сравнительно высокой прочностью, хорошей обрабатываемостью алюминиевые сплавы широко применяются во всех отраслях народного хозяйства. Высокая коррозионная стойкость, теплопроводность и электропроводность во многих случаях делают их труднозаменимыми конструкционными материалами. В сварных конструкциях получили распространение деформируемые алюминиевые сплавы, не упрочняемые термической обработкой (АД, АД1, Амц, Амгб и др.), и сплавы, упрочняемые термической обработкой (АД31, АД33, 1201, 1420 и др.). Состав некоторых из них приведен в табл. 20.1.

Алюминий обладает способностью активно взаимодействовать с кислородом. Образующийся оксид алюминия Al_2O_3 покрывает поверхность металла прочной плотной пленкой. Окисление алюминия при нормальной температуре после достижения предельной толщины пленки практически прекращается, поэтому пленка обладает защитными свойствами. Важнейшей характеристикой пленки оксида алюминия является ее способность адсорбировать газы, в особенности водяные пары. Коэффициент теплового расширения пленки почти в 3 раза меньше, чем у алюминия, поэтому при нагреве в ней образуются трещины. При наличии в сплаве легирующих добавок состав пленки может меняться и приобретать более сложный состав, включая оксиды этих добавок. Подобные сложные пленки могут быть более рыхлыми, гигроскопичными и не обладать защитными свойствами. Наличие оксидной пленки на поверхности алюминия и его сплавов затрудняет процесс сварки. Обладая высокой температурой плавления ($2050^\circ C$),

Алюминиевые сплавы, применяемые в сварных конструкциях

Система	Марка сплава	Химический состав, %	Присадочная проволока	$\sigma_{\text{в}}$, МПа
<i>Термически не упрочняемые</i>				
Al	АД1	99,9 Al	Св-А97	80
Al—Mn	АМц	1,3 Mn	Св-АМц	120
Al—Mg	АМг3	3,6 Mg, 0,6 Si, 0,5 Mn	Св-АМг3	220
	АМг6	6,3 Mg, 0,6 Mn, 0,06 Ti	Св-АМг6	340
Al—Mg—Sc	01545	4,5 Mg, 0,15 Sc	01571	380
	01570	6,0 Mg, 0,25 Sc	01571	390
<i>Термически упрочняемые</i>				
Al—Cu	Д20	6,5 Cu, 0,6 Mn, 0,15 Ti	Д20	400
Al—Cu—Mn	1201	6,3 Cu, 0,3 Mn, 0,15 Zr	1201	440
Al—Cu—Mg	ВАД1	4,1 Cu, 2,5 Mg, 0,06 Ti	ВАД1	430
Al—Cu—Zn	В95	1,7 Cu, 2,3 Mn, 6,0 Zn	В95	500
Al—Mg—Li	1420	5,7 Mg, 2,1 Li, 0,15 Zr	01545	380*

* Данный сплав имеет ударную вязкость 26 Дж/см².

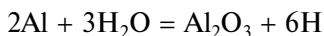
оксидная пленка не расплавляется в процессе сварки и, покрывая металл прочной оболочкой, затрудняет образование общей сварочной ванны. При сварке должны быть приняты меры для разрушения пленки и защиты металла от повторного окисления. Для удаления оксидной пленки при сварке используют применение флюсов и процесс катодного распыления. Роль флюсов в удалении пленки заключается в их смывающем действии.

Катодное распыление обусловлено бомбардировкой поверхности катода положительно заряженными ионами. Алюминий и сплавы склонны к образованию в швах газовых пор и оксидных включений, поэтому перед сваркой требуется тщательная подготовка поверхности — удаление старой оксидной пленки.

Присутствие на поверхности металла прочной оксидной пленки сказывается на характере капельного переноса электродного металла при сварке. При наличии окислительной среды размер капель с электрода достигает большой величины, и горение дуги протекает неустойчиво. Начиная с определенной плотности тока крупнокапельный перенос металла электрода сменяется мелкокапельным струйным. Дуга приобретает высокую устойчивость и способность к саморегулированию. Это объясняется тем, что начиная с определенного значения сварочного тока силы, отрыва-

ющие каплю от электрода, превалируют над силами, удерживающими ее. В связи с этим капля отрывается от электрода раньше, чем успевает вырасти до своих конечных размеров. Для устранения оксидных включений в металле швов рекомендуются различные технологические приемы для перемешивания металла сварочной ванны и дробления оксидных пленок. Алюминий активно реагирует со всеми газами. Однако при наличии в атмосфере кислорода в первую очередь образуется пленка оксидов, препятствующая дальнейшему обмену с окружающей средой.

Водород в отличие от других газов обладает способностью растворяться в алюминии и при определенных условиях образовывать поры в металле шва. Основным источником водорода, растворяющегося в сварочной ванне, служит реакция взаимодействия влаги с металлом:



При охлаждении растворенный в жидком металле водород в связи с понижением растворимости стремится выделиться из него. Пузырьки выделяющегося водорода, не успевая всплыть из ванны, остаются в металле шва, образуя поры. Основной мерой борьбы с пористостью при сварке алюминия является снижение концентрации растворенного в нем водорода до предела 0,69... 0,70 см³/100 г металла. Количество его определяется состоянием поверхности металла и зависит от обработки его перед сваркой. Для снижения концентрации водорода в металле швов при сварке алюминия до пределов, исключающих возможность появления в нем пор, рекомендуются следующие меры: применение обработки поверхности деталей и проволоки перед сваркой, сокращение удельной поверхности проволоки, участвующей в образовании металла шва, путем увеличения диаметра присадочной проволоки и уменьшения доли участия присадочного металла в образовании шва.

Кристаллическая структура металла шва в большой степени определяет его механические свойства. Чистый алюминий обладает способностью при кристаллизации образовывать в шве крупнокристаллическую структуру, в связи с чем при сварке алюминия высокой чистоты в металле шва часто образуются трещины. Улучшение кристаллической структуры металла швов при сварке алюминия и некоторых его сплавов может быть достигнуто модифицированием металла при сварке введением в него 0,20... 0,25 % титана. Применяемые сварочные проволоки для сварки различных сплавов алюминия установлены ГОСТ 7871—75.

При сварке алюминия и сплавов, не упрочняемых термообработкой, в зоне теплового воздействия наблюдается рост зерна и возможное разупрочнение, вызванное снятием нагартовки для холоднокатаного металла. Интенсивность укрупнения структуры

и разупрочнения при сварке может изменяться в зависимости от метода сварки, режимов и величины предшествовавшей нагартовки. Практика показывает, что сварные соединения, выполненные из этих сплавов, по прочности не уступают прочности основного металла в отожженном состоянии. Из термически не упрочняемых сплавов широко распространено применение сплавов системы Al—Mg. В последние годы разработаны сплавы, легированные скандием (1545, 1570 и др.), превосходящие по свойствам сплавы обычного типа AlMg, особенно по пределу текучести. Это позволяет при их применении добиться заметного снижения массы конструкций. При сварке сплавов, упрочняемых термообработкой, в зонах около шва происходят изменения, существенно снижающие свойства свариваемого металла. Самое опасное изменение, вызывающее в большинстве случаев резкое снижение свойств металла и образование трещин, — оплавление границ зерен, что связано с наличием в металле примесей и характером распределения включений эвтектики. В соединениях также образуется и газовая пористость. Особенно это наблюдается при сварке сплавов с содержанием лития (например, сплав 1420), поэтому для сплавов этой группы рекомендуется применение преимущественно автоматической однопроходной сварки, исключение прихваток и подварок, специальной подготовки поверхности и защиты проплава при сварке. Повысить прочностные свойства сварных соединений можно термической обработкой — закалкой с искусственным старением.

При сварке плавлением конструкций из алюминиевых сплавов возможны различные типы сварных соединений. Наибольшее распространение получили стыковые соединения. Нахлесточные, тавровые и угловые соединения желательно выполнять аргонодуговой сваркой, для которой не требуется флюсов. При наличии флюсов возникает опасность последующей коррозии, вызванной остатками флюса, не удаленными при сварке угловых швов.

При аргонодуговой сварке вольфрамовым электродом стыковых соединений без скоса кромок для исключения оксидных включений в металле швов необходимо применять подкладки рациональной формы. При сварке на подкладке с канавкой сложного профиля торцовые поверхности кромок при расплавлении листов полностью выводятся в проплав, и вероятность образования включений оксидных пленок снижается. При сварке стыковых соединений в зависимости от толщины свариваемого металла и принятого способа сварки используют различные виды подготовки кромок. Помимо механической обработки кромок свариваемых деталей для придания им необходимой формы, облегчающей выполнение соединений, подготовка деталей к сварке включает в себя очистку их поверхностей от загрязнений и оксидов. Загрязнения

должны удаляться или со всей поверхности свариваемых деталей, или же только с их кромок на определенной ширине (20...30 мм) вдоль стыка. Для частичного или местного обезжиривания кромки протирают бензином, ацетоном, четыреххлористым углеродом, хорошо растворяющими жировые загрязнения, или обрабатывают в щелочных ваннах. Для удаления поверхностной оксидной пленки применяют механическую обработку — очистку поверхности деталей шлифовальной бумагой, шабером или проволочной щеткой, а также химическое травление деталей в специальных растворах щелочей или кислот.

Обезжиривание и травление проволоки проводят по технологии, принятой для обработки основного металла. Наиболее целесообразны для подготовки проволоки два варианта: обезжиривание и травление в щелочных ваннах по технологии, принятой для основного металла, а также обезжиривание и травление по той же технологии с последующим химическим или электрохимическим полированием полученной поверхности.

Ручная дуговая сварка алюминиевых сплавов может быть выполнена электродами ОЗА-1, ОЗА-2 с покрытиями на основе хлористых и фтористых солей. Наилучшие результаты получают при применении постоянного тока обратной полярности. При сварке на прямой полярности наблюдается очень быстрое плавление электрода. Обычно сварку покрытыми электродами применяют для металла толщиной более 3...4 мм. Концентрированный нагрев дугой способствует глубокому проплавлению основного металла. В связи с этим при сварке металла толщиной до 6 мм не требуется разделка кромок. При двусторонней сварке без скоса кромок можно сваривать металл толщиной 10...12 мм, а при применении предварительного подогрева — до 18...20 мм. При односторонней сварке листов толщиной более 6 мм без подогрева рекомендуется подготовка кромок с углом разделки 60...70° и притуплением не менее $\frac{1}{4}$ толщины свариваемых листов. Разработан процесс сварки под флюсом алюминия толщиной 10 мм и выше с применением керамического флюса ЖА-64, имеющего небольшую электропроводность и относительно невысокую гигроскопичность.

Электрошлаковую сварку выполняют со специально разработанными флюсами на основе фтористых и хлористых солей (АН-А301 и др.) пластинчатым электродом. Технология электрошлаковой сварки принципиально не отличается от известных приемов сварки других металлов. При электрошлаковой сварке сплавов АД1, АМц, АМг6 обеспечиваются высокие свойства сварных соединений. Прочность металла шва составляет 0,8—0,9 прочности основного металла.

При сварке в среде аргона алюминиевых сплавов отпадает необходимость применения флюсов. Это значительно упрощает процесс и делает возможным сварку соединений различных типов.

Для защиты при сварке алюминиевых сплавов применяют аргон высшего сорта или смеси аргона с гелием. При сварке на переменном токе удается сохранить высокую стойкость вольфрамового электрода и добиться удаления оксидной пленки на детали.

При сварке вольфрамовым электродом и питании дуги переменным током условия горения дуги в полупериоды разной полярности отличаются. В полупериоды, когда вольфрам является катодом, благодаря мощной термоэлектронной эмиссии проводимость дугового промежутка возрастает, увеличивается сила тока и снижается напряжение дуги. В полупериод, когда катодом становится деталь (холодный катод), проводимость дугового промежутка снижается, уменьшаются силы тока дуги и возрастает напряжение. В результате этого синусоида силы тока дуги оказывается несимметричной, что равносильно действию в цепи дуги некоторой постоянной составляющей тока (см. рис. 3.5).

Наличие постоянной составляющей силы тока нежелательно в цепи дуги из-за ухудшения формирования швов, поэтому в большинстве случаев величину постоянной составляющей силы тока при сварке вольфрамовым электродом стремятся ограничить. Основное преимущество сварки вольфрамовым электродом в среде аргона — высокая устойчивость горения дуги. Благодаря этому процесс успешно используют при сварке металла толщиной 0,8...3,0 мм. Применение импульсной дуги для сварки алюминиевых сплавов расширяет возможность сварки неплавящимся электродом. При сварке импульсной дугой на переменном токе удается сваривать сплав толщиной 0,2 мм и выше. Стыковые соединения металла толщиной 0,2...1,0 мм сваривают с применением присадочной проволоки диаметром 0,6...0,9 мм на стальных подкладках с формирующими канавками. Для питания дуги необходимы специализированные импульсные источники тока. При сварке импульсной дугой алюминиевых сплавов толщиной 0,2...12 мм коробление кромок снижается на 40...60 %.

Для сварки вольфрамовым электродом металла большей толщины необходимо повысить стойкость электродов, для чего используют электроды марки ВИ с добавками иттрия. Допустимый сварочный ток для электродов этой марки диаметром 10 мм достигает 800...1000 А. Это определяет возможность сваривать за один проход высокоамперной дугой металл толщиной до 20 мм.

Для сварки металла толщиной менее 0,8 мм разработан процесс микроплазменной сварки на переменном токе, обеспечивающий нормальное катодное распыление и очистку сварочной ванны в полупериоды обратной полярности и достаточную стойкость вольфрамового электрода. Этот способ позволяет сваривать алюминиевые сплавы толщиной 0,2...2,0 мм при силе тока 10...100 А. В качестве плазмообразующего газа при микроплазменной сварке используют аргон, а защитного газа — гелий.

Покрытые электроды применяют при ручной дуговой сварке алюминиевых сплавов толщиной более 3 мм. Для более тонкого металла не удастся добиться устойчивого горения дуги и мелкокапельного струйного переноса металла электрода. В связи с недостаточно высокой жесткостью алюминиевой проволоки сварка проволокой диаметром менее 1,2... 1,5 мм затруднена. Устойчивое горение дуги с применением проволоки этих диаметров и обеспечением струйного переноса металла оказывается возможным при силе тока свыше 130 А, позволяющей сваривать металл толщиной более 4... 5 мм. Для питания дуги при сварке плавящимся электродом необходимы источники постоянного тока с жесткой или пологопадающей внешней вольт-амперной характеристикой. При сварке на обратной полярности обеспечивается надежное разрушение оксидной пленки на кромках за счет катодного распыления и нормальное формирование швов.

Преимущества процесса сварки плавящимся электродом — хорошее перемешивание сварочной ванны, меньшая вероятность получения в металле швов крупных оксидных включений, а также высокая производительность, особенно сварки металла большой толщины. Разработан процесс сварки плавящимся электродом с импульсным режимом питания дуги. Под действием импульса сварочного тока происходит ускоренное плавление металла электрода, и образовавшаяся на его торце жидкая капля сбрасывается в сварочную ванну. При таком процессе можно регулировать плавление электрода, задавать определенный размер капель, контролировать время пребывания их в дуге и в конечном итоге задавать ход металлургических реакций при сварке с целью получения требуемого состава и свойств шва. Импульсное изменение силы тока оказывает воздействие на сварочную ванну, способствуя получению более мелкой структуры металла шва, плавных очертаний валиков швов с мелкочешуйчатым строением. Пульсация дуги и перенос присадочного металла в виде отдельных капель дают возможность сварки в различных пространственных положениях. Разработана технология сварки алюминиевых сплавов сжатой дугой переменного тока. Преимуществами этого способа являются значительное сокращение зоны теплового влияния, высокая стабильность процесса и пространственная устойчивость дуги.

Применение трехфазной дуги при той же стойкости вольфрамовых электродов позволяет повысить мощность теплового потока в 1,5—2 раза. При трехфазной сварке удастся сваривать металл толщиной до 30 мм при сохранении высоких значений механических характеристик. Для сварки трехфазной дугой требуются специализированные источники и сварочные горелки. Горелки должны быть рассчитаны на длительную работу при силе тока 100... 700 А, иметь водяное охлаждение и плавную регулировку электродов по высоте.

Для сварки алюминиевых сплавов деталей больших толщин используется процесс сварки вольфрамовым электродом на прямой полярности в среде гелия. При скорости сварки 5...7 м/ч и силе тока 1 000...1 200 А без скоса кромок удается сваривать металл толщиной более 30 мм. Недостатком процесса является большой расход гелия. Этот недостаток можно уменьшить при использовании процесса с применением кольцевого газозащитного потока аргона с дополнительной подачей в зону дуги гелия. Расход защитных газов при этом можно резко уменьшить.

20.3. Сварка магниевых сплавов

Магний и его сплавы являются наиболее легкими конструкционными материалами. Плотность магния $1,7 \text{ г/см}^3$, т.е. почти в 1,5 раза меньше плотности алюминия и в 4,5 раза меньше плотности железа, поэтому удельные показатели механических характеристик многих сплавов на основе магния превосходят аналогичные показатели других материалов. Наиболее распространенными легирующими элементами в магниевых сплавах являются алюминий и цинк.

Отличительной чертой магния и его сплавов является повышенная чувствительность к коррозии во многих средах. Это объясняется тем, что оксидная пленка на поверхности металла рыхлая и не обладает высокими защитными свойствами, как, например, оксидная пленка на алюминии. Состав магниевых сплавов приведен в табл. 20.2.

Магний — один из наиболее активных по отношению к кислороду металлов. В результате его окисления образуется оксид MgO , покрывающий поверхность металла пленкой.

Температура плавления оксида магния составляет $2\,800^\circ\text{C}$, плотность — $3,65 \text{ г/см}^3$. В связи с высокой температурой плавления оксидная пленка на магниевых сплавах, так же как и при сварке алюминия, затрудняет образование общей сварочной ван-

Таблица 20.2

Химический состав магниевых сплавов, применяемых в сварных конструкциях, %

Марка сплава	Mn	Al	Ce	Ca	Zn
МА1	1,3 ... 2,5	—	—	—	—
МА8	1,5 ... 2,5	—	0,15 ... 0,35	—	—
МА9	1,4	—	—	0,1 ... 0,3	—
МА2-1	0,6	4,5	—	—	1,1

ны и должна быть разрушена или удалена в процессе сварки. Оксидная пленка на магниевых сплавах отличается рыхлостью и способна удерживать большое количество влаги. Водород обладает способностью растворяться в магнии в гораздо больших количествах, чем в алюминии. При температуре плавления металла в нем растворяется до 50 см^3 водорода на 100 г металла. При кристаллизации количество растворяющегося водорода резко снижается.

В связи с понижением растворимости водорода в жидком металле при охлаждении имеется возможность выделения его в виде пузырьков и образования газовых пор. Мерами снижения пористости при сварке магниевых сплавов являются уменьшение поверхности основного и присадочного металлов, участвующих в образовании швов, и применение тщательной обработки поверхности проволоки и свариваемых кромок перед сваркой. При кристаллизации магния в металле шва образуется крупнокристаллическая структура. Появление эвтектики по границам зерен в виде сплошных прослоек приводит к образованию горячих трещин. Повышение сопротивляемости сплавов образованию горячих трещин достигается введением в их состав модификаторов.

При сварке магниевых сплавов, упрочняемых термообработкой, наряду с укрупнением зерна в зоне термического влияния возможен распад твердого раствора и оплавление границ зерен. Это приводит к разупрочнению металла околошовной зоны (до $0,7—0,9$ прочности основного металла) и иногда к образованию трещин. В связи с высоким коэффициентом теплового расширения магниевых сплавов в сварных соединениях возникают остаточные напряжения при сварке, вызывающие коробления конструкций. Деформации могут способствовать возникновению трещин. Для предупреждения трещин и уменьшения деформаций, особенно для толстых деталей, в некоторых случаях рекомендуется сварка с подогревом, а иногда и последующая термообработка для снятия напряжений.

Из всех способов сварки основное значение в настоящее время имеют способы дуговой сварки магниевых сплавов в среде аргона вольфрамовыми и плавящимися электродами. При сварке этими способами исключается опасность коррозии, вызванной остатками флюсов. Основное и наиболее желательное использование соединений — стыковое. Сварка их производится на подкладках с достаточно глубокими канавками, обеспечивающими удаление оксидных включений в проплав. В связи с недостаточной пластичностью магниевых сплавов отбортовка кромок даже для металла малых толщин практически не применяется. Встык без скоса кромок рекомендуется сваривать соединения только за один проход при односторонней сварке на подкладках. Двусторонняя сварка стыковых соединений без разделки кромок не рекомендуется из-за

опасности появления в швах большого количества оксидных включений.

При сварке соединений из металла толщиной более 6...10 мм применяют разделку с односторонним скосом кромок и для металла толщиной более 20 мм при наличии двустороннего подхода — разделку с двусторонним скосом кромок. В последнем случае перед выполнением шва с обратной стороны необходима предварительная разделка корня первого шва.

Непосредственно перед сваркой поверхность кромок свариваемых деталей подвергают специальной обработке для удаления оксидной или защитной пленок и имеющихся загрязнений. Для этой цели поверхность зачищают шабером или стальными щетками или обрабатывают в химических ваннах специального состава.

Для сварки конструкций из магниевых сплавов применяют ручную и автоматическую аргонодуговую сварку вольфрамовым электродом и автоматическую сварку вольфрамовыми электродами трехфазной дугой в среде аргона первого состава. Сварку выполняют на стальных подкладках с канавками для формирования проплава. С целью разрушения оксидной пленки используют переменный ток.

Ручной и автоматической сваркой вольфрамовым электродом встык без разделки кромок за один проход могут быть сварены листы толщиной 2...6 мм. Для металла толщиной более 5 мм может быть использована дуговая сварка плавящимся электродом со струйным переносом электродного металла. Процесс ведется на постоянном токе обратной полярности. Сварка плавящимся электродом особенно эффективна для соединения металла большой толщины. При сварке встык без скоса кромок за один проход плавящимся электродом могут быть сварены листы толщиной 5...10 мм.

20.4. Сварка титана и его сплавов

Титановые сплавы являются сравнительно новыми конструкционными материалами. Они обладают рядом ценных свойств, обуславливающих их широкое применение в авиационной промышленности, ракетостроении, судостроении, химическом машиностроении и других отраслях производства.

Главное достоинство этих материалов — сочетание высоких механических характеристик и коррозионной стойкости с малой плотностью (4,5 г/см³). Для ряда отраслей большое значение имеют и некоторые специфические свойства титановых сплавов: возможность получения высоких механических свойств при повышенных температурах, пригодность для работы при очень низких температурах, вплоть до температуры жидкого азота, сравнитель-

но хорошая свариваемость, малый коэффициент линейного расширения, ненамагничиваемость.

Эти материалы по своим свойствам относятся к теплостойким. Использование сплавов на основе титана особенно эффективно по сравнению с коррозионно-стойкими сталями до температуры 300...350 °С, а с алюминиевыми сплавами — начиная с 200 °С. Общеизвестный температурный предел применения большинства современных титановых сплавов в технике — 500 °С, а при кратковременных воздействиях высоких температур этот предел может быть еще выше.

Для сварных конструкций используют или технический титан ВТ1, имеющий $\sigma_{\text{в}} = 700$ МПа, или специальные сплавы, имеющие в своем составе в качестве легирующих добавок (алюминий, олово, цирконий, марганец, молибден, хром, железо и др.). Титан имеет две структурные модификации: высокотемпературную и низкотемпературную (β -Тi и α -Тi соответственно) с температурой полиморфного превращения 883 °С. В зависимости от влияния на полиморфное превращение все легирующие элементы разделяют на α -стабилизаторы (алюминий), β -стабилизаторы (ванадий, молибден, железо, хром, марганец и др.) и нейтральные упрочнители (цирконий, олово). В зависимости от системы легирования и структуры в нормализованном состоянии получаемые сплавы подразделяются на три класса: α -сплавы со структурой стабильной α -фазы; ($\alpha + \beta$)-сплавы, структура которых содержит α - и β -фазы; β -сплавы со структурой стабильной β -фазы. Легированием получают сплавы, обладающие высокой прочностью при достаточной пластичности и вязкости. По гарантированной прочности титановые сплавы подразделяют на высокопластичные с прочностью $\sigma_{\text{в}} = 700$ МПа, средней прочности с $\sigma_{\text{в}} = 750...1\,000$ МПа, высокопрочные с $\sigma_{\text{в}} \geq 1\,000$ МПа.

В табл. 20.3 приведены химический состав и свойства некоторых применяемых в отечественной промышленности свариваемых титановых сплавов. Большинство указанных сплавов обладают высокими технологическими характеристиками: достаточно пластичны, поддаются обработке давлением без нагрева, удовлетворительно свариваются. Основным обстоятельством, затрудняющим сварку этих материалов, является высокая химическая активность титана при высоких температурах по отношению к активным газам (азоту, кислороду, водороду). Механические свойства титановых сплавов сильно зависят от таких примесей (их содержание должно строго ограничиваться): $O_2 < 2\%$, $N_2 < 0,05\%$, $H_2 < 0,01\%$.

В связи с этим необходимым условием получения качественных соединений, особенно при сварке плавлением, является обеспечение надежной защиты от газов не только сварочной ванны, но и остывающих участков металла шва и околошовной зоны,

**Химический состав и механические свойства сплавов титана,
применяемых в сварных конструкциях**

Марка сплава	Класс	Содержание элементов, %					σ_b , МПа	δ , %
		Mo	Cr	Al	V	Прочие		
BT1	α	—	—	—	—	—	450	30
BT5-1	α	—	—	5,0	—	2,5 Sn	850	12
OT4	α	—	—	3,0	—	1,5 Mn	800	15
BT6C	$\alpha + \beta$	—	—	5,0	4,0	—	1 000	10
BT14	$\alpha + \beta$	3,0	1,5	4,5	1,0	—	1 100	8
BT22	$\alpha + \beta$	5,0	1,0	5,0	5,0	1,0 Fe	1 300	8
BT15	β	7,0	11,0	3,0	—	—	1 400	4
ТС6	β	5,0	11,0	3,0	6,0	—	1 500	4

нагретых до температуры свыше 350 °С. Дополнительные затруднения при сварке создают большая склонность титана к росту зерна при нагреве до высоких температур и сложный характер фазовых и структурных превращений. Результатом этого является снижение пластичности и возникновение большой неоднородности свойств сварного соединения.

Сварку сплавов различных классов необходимо вести на режимах, обеспечивающих наиболее оптимальный интервал скоростей охлаждения, при которых степень снижения пластических свойств оказывается наименьшей. Исходя из этого α -сплавы целесообразно сваривать на режимах с минимальной погонной энергией, для $(\alpha + \beta)$ -сплавов рекомендуются мягкие режимы с малыми скоростями охлаждения и для β -сплавов — режимы, обеспечивающие высокую скорость охлаждения.

Титан и его сплавы не склонны к образованию горячих трещин. Это обусловлено благоприятным сочетанием физико-химических свойств титана и его сплавов, а именно малой величиной литейной усадки в сочетании с повышенной прочностью и пластичностью в области высоких температур. При сварке в большинстве случаев используют электродную проволоку, по составу аналогичную основному металлу.

Одним из основных дефектов металла шва при сварке титана и его сплавов является пористость. Часто встречается также образование холодных трещин, возникающих при пониженной пластичности вследствие насыщения металла газами, в первую очередь водородом, причем холодные трещины в таких соединениях мо-

гут образовываться при хранении сварных конструкций. С целью предупреждения пор при сварке титанов и его сплавов используют различные способы:

- уменьшение количества адсорбированной влаги на кромках свариваемых деталей и поверхности сварочной проволоки, а также создание условий для удаления влаги из зоны сварки до формирования сварочной ванны;
- использование режимов сварки, обеспечивающих наиболее полное удаление из сварочной ванны водорода;
- связывание и интенсификация выделения водорода из сварочной ванны с использованием флюсов.

Снижение количества адсорбированной влаги достигается за счет повышения чистоты обработки, а также регламентации условий и срока хранения подготовленных к сварке деталей. Другим направлением снижения пористости из-за адсорбированной влаги может быть предотвращение формирования замкнутых полостей в зоне стыка. Это достигается при сварке с гарантированным зазором. Наиболее эффективно применение флюсов на основе галогенов. При аргонодуговой сварке флюсом покрывают торцовые поверхности свариваемых кромок тончайшим слоем в виде пасты, замешанной на спирте.

Для соединения деталей из титановых сплавов применяют основные способы сварки плавлением (дуговую с местной или общей защитой в инертных газах, под флюсом, электрошлаковую и др.).

При сварке в атмосфере инертных газов неплавящимися и плавящимися электродами используют аргон высшего сорта или гелий. При сварке с местной защитой используют различные насадки, обеспечивающие защиту основного металла, нагретого выше температуры 400 °С. Защита создается не только с лицевой стороны детали, но и с обратной стороны соединения. Для этого используют подкладки из пористого материала или специальных конструкций, обеспечивающих подвод газа с нижней стороны шва. Наиболее стабильной защитой является общая. О качестве защиты зоны сварки можно судить по внешнему виду сварных соединений. При хорошей защите поверхность металла в зоне сварки имеет серебристый цвет. При недостаточной защите появляются цвета побежалости, а при плохой — серые и бурые налеты.

Сварку неплавящимся электродом выполняют на постоянном токе прямой полярности. Для повышения стабильности процесса используют лантанированные вольфрамовые электроды. Для уменьшения перегрева металла в зоне термического влияния и улучшения формирования шва используют импульсное питание дуги.

Сварку плавящимся электродом выполняют на постоянном токе обратной полярности на режимах, обеспечивающих мелкокапельный перенос металла. При сварке наблюдается заметное разбрыз-

гивание. Более благоприятное импульсное питание дуги, обеспечивающее хорошее формирование швов, снижающее разбрызгивание и улучшающее защиту. При сварке плавящимся электродом из-за относительно большого электросопротивления титана устанавливаются малый вылет электрода. В некоторых случаях для предупреждения образования пор сварку в атмосфере инертных газов осуществляют с применением галогенидных флюсов, наносимых на торцовые поверхности свариваемых кромок.

Для сварки под флюсом применяют бескислородные фторидные флюсы серии АНТ. Марку флюса выбирают в зависимости от толщины свариваемого металла. Сварку осуществляют на постоянном токе обратной полярности на медной, флюсомедной подкладке или флюсовой подушке. Флюс перед сваркой прокалывают при температуре 200... 300 °С. При электрошлаковой сварке титана и его сплавов для швов небольшой протяженности используют пластинчатые электроды толщиной 8... 12 мм и шириной, равной толщине свариваемого металла. Пластинчатый электрод выполняют из металла, по химическому составу аналогичному составу свариваемого металла. Сварные соединения, выполненные электрошлаковой сваркой, имеют крупнокристаллическую структуру. Однако в большинстве случаев их прочностные свойства близки к основному металлу при хорошей пластичности.

20.5. Сварка меди и ее сплавов

Медь относят к тяжелым цветным металлам, ее плотность составляет 8,9 г/см³, что выше, чем у железа. Благодаря высокой электропроводности, теплопроводности и коррозионной стойкости медь заняла прочное место в электропромышленности, приборной технике и химическом машиностроении. Медь и многие ее сплавы применяют для изготовления разнообразной аппаратуры, криогенной техники. Промышленность выпускает медь марок М0 (не менее 99,95 % Cu), М1 (не менее 99,90 % Cu) и др. Чистая медь хорошо обрабатывается давлением в холодном и горячем состоянии, малочувствительна к изменениям низких температур. При повышении температуры прочностные свойства меди изменяются в широких пределах.

В машиностроении получили распространение сплавы на основе меди — латуни и бронзы, которые имеют лучшие прочностные и технологические характеристики. *Латуни* — сплавы меди с цинком. Их подразделяют на две группы: простые (однофазные) и многокомпонентные (специальные). Однофазные латуни (не более 39 % Zn) имеют α -структуру и называются α -латунями. Они пластичны, хорошо деформируются в холодном и горячем состоянии. Латуни с содержанием более 39 % Zn имеют ($\alpha + \beta$)-структуру-

ры, более твердые и прочные, в сварных конструкциях применяются редко.

Бронзы — сплавы меди с оловом, алюминием, марганцем, железом и другими элементами. Бронзы, у которых основным легирующим элементом является олово, называют оловянными бронзами (БрОФ6,5-0,4; БрОФ4-0,25 и др.). Остальные бронзы в зависимости от основного легирующего компонента называют алюминиевыми, кадмиевыми и т.д.

В отдельную группу выделяются сплавы меди с никелем — *мельхиоры*, в качестве легирующего компонента содержащие никель, например МН20 (20 % Ni), и *нейзильберы* — сплавы с никелем и цинком, например МНц19-20 (19 % Ni и 20 % Zn). В них могут вводиться и другие элементы, такие сплавы получили название *специальных мельхиоров* и *нейзильберов*. Сплавы этой группы обладают повышенной коррозионной устойчивостью и применяются в судовой и химической аппаратуре.

Медь и ее сплавы свариваются многими способами. При оценке свариваемости необходимо учитывать, что медь и ее сплавы отличаются от большинства других конструкционных материалов более высокой теплопроводностью (в 6 раз выше, чем у железа), коэффициентом теплового расширения (в 1,5 раза больше, чем у стали) и величиной усадки при затвердевании (в 2 раза больше, чем у стали). Медь и ее сплавы склонны к пористости и возникновению кристаллизационных трещин, активно поглощают газы, особенно кислород и водород, которые оказывают вредное влияние на прочностные и технологические характеристики.

Кислород растворим в твердой меди. При повышении температуры медь активно окисляется, образуя оксид меди Cu_2O , который при затвердевании образует с медью эвтектику $\text{Cu}-\text{Cu}_2\text{O}$. Располагаясь по границам зерен, эвтектика снижает коррозионную стойкость и пластичность меди. При содержании в меди кислорода более 0,1 % затрудняются процессы горячей деформации, сварки и других видов горячей обработки. Водород хорошо растворяется в жидкой меди. В затвердевшем металле растворимость водорода незначительна. С повышением температуры растворимость водорода возрастает, особенно при переходе в жидкое состояние. Азот имеет малое сродство к меди и нерастворим в ней. Насыщение металла шва газами может быть предпосылкой к образованию пористости. Пористость в швах могут вызывать водяные пары, появившиеся в металле в результате реакции с кислородом оксида меди Cu_2O . Водяные пары, накапливаясь в микродефектах металла, создают в них давление, разрушающее металл с образованием микротрещин. Это явление носит название водородной болезни меди. Возникновение пор и микротрещин может быть связано и с усадочными явлениями, протекающими в процессе кристаллизации сварного шва. Низкая стойкость меди и ее сплавов

против возникновения пор в швах в основном обусловлена активным взаимодействием меди с водородом и протеканием при этом сопутствующих процессов (образование водяных паров, выделение газообразного водорода).

Медь и ее сплавы при сварке подвержены образованию горячих трещин. Это обусловлено высоким значением коэффициента теплового расширения, большой величиной литейной усадки при затвердевании и высокой теплопроводностью в сочетании с наличием в меди и ее сплавах вредных примесей (кислорода, сурьмы, висмута, серы, свинца), которые образуют с медью легкоплавкие эвтектики. При затвердевании металла шва эвтектики сосредотачиваются по границам кристаллитов, снижая межкристаллитную прочность. Для обеспечения высоких свойств металла концентрацию примесей в меди ограничивают. Например, в меди допускается не более 0,005 % сурьмы, 0,005 % висмута, 0,004 % серы.

При сварке меди и ее сплавов в швах формируется крупнокристаллическая структура. Это связано с тем, что высокая теплопроводность меди и ее сплавов при сварке способствует интенсивному распространению теплоты от центра сварного шва в основной металл. При этом создаются благоприятные условия для направленной кристаллизации от зоны сплавления в глубь сварочной ванны. В шве кристаллиты вытягиваются в направлении теплового потока, образуя крупнозернистую столбчатую структуру. Интенсивное распространение теплоты в основной металл при сварке способствует также росту зерна в зоне термического влияния.

Основными трудностями при сварке меди являются легкая окисляемость в расплавленном состоянии, что способствует образованию горячих трещин; влияние вредных примесей, усугубляющих склонность к трещинообразованию и охрупчиванию металла швов; высокая чувствительность к вредному влиянию водорода; склонность к росту зерна и связанному с этим охрупчиванию под влиянием сварочного нагрева в зоне термического влияния.

Дополнительными технологическими трудностями при сварке меди являются высокая теплопроводность, высокий коэффициент теплового расширения, жидкотекучесть.

Способы и технологию сварки выбирают с учетом рассмотренных особенностей. Одна из главных задач заключается в том, чтобы не допустить образования оксида Cu_2O и нейтрализовать его вредное влияние. С этой целью для защиты используют инертный газ, флюсы и покрытия, содержащие борные соединения (бура, борный ангидрид, борная кислота), и сварочные проволоки с активными раскислителями, например проволоку БрКМц3-1, содержащую кремний и марганец.

В связи с высокой теплопроводностью меди и ее сплавов для осуществления местного расплавления при сварке необходимо применять источники нагрева с высокой тепловой мощностью и кон-

центрацией энергии в пятне нагрева. Из-за быстрого отвода теплоты ухудшается формирование шва, возрастает склонность к появлению в нем дефектов (наплывов, подрезов и др.). В связи с этим сварку деталей толщиной свыше 10... 15 мм обычно выполняют с предварительным и сопутствующим нагревом. Изделия из меди подогревают до 250... 300 °С, латуней — до 300... 350 °С, бронзы — до 500... 600 °С.

Тонколистовые конструкции с толщиной стенки 1,5... 2,0 мм сваривают встык без скоса кромок или с отбортовкой кромок. Листы толщиной до 5 мм можно сваривать также без скоса кромок, но с зазором до 1,5 мм. Детали большой толщины сваривают со скосом кромок.

Основными способами сварки меди являются ручная дуговая покрытыми электродами, автоматическая под флюсом, в защитных газах плавящимся и неплавящимся электродами. Сварку проводят в нижнем положении на подкладках из меди, графита, флюсовой подушке. Соединения больших толщин с угловыми швами рекомендуется сваривать «в лодочку». В качестве присадочного металла применяют прессованные прутки или проволоку диаметром 3... 10 мм. Химический состав присадки выбирают в зависимости от требований к сварным швам и способов сварки.

Конструкции из меди сваривают с присадочной проволокой аналогичного состава или легированной фосфором и кремнием до 0,2... 0,3 %. При введении в сварочную ванну раскислителей происходит восстановление Cu_2O , и металл шва очищается от кислорода. Для повышения прочности шва используют присадку, легированную другими элементами.

Все латуни хорошо свариваются аргонодуговой сваркой неплавящимся вольфрамовым электродом. При сварке простых латуней присадкой рекомендуется сварочная проволока из алюминиевой и кремниевой бронзы. При сварке сложных латуней и бронз присадочную проволоку используют того же состава, что и свариваемый материал.

Дуговую сварку покрытыми электродами выполняют на постоянном токе обратной полярности, стремясь поддерживать короткую дугу без колебаний конца электрода. Силу тока выбирают в зависимости от диаметра электрода из расчета $I_{\text{св}} = (50 \dots 60)d_3$. Физические и механические свойства швов обеспечивают подбором химического состава электродного стержня и покрытия.

Автоматическую сварку под флюсом выполняют на постоянном токе обратной полярности. В сочетании с электродной проволокой М1 используют флюсы АН-348, ОСЦ-45, АН-26 и др.

Дуговая сварка в защитных газах (ручная или автоматическая) может быть выполнена в среде аргона, гелия и их смесей вольфрамовым электродом или плавящейся электродной проволокой. Защитным газом для меди может служить и азот, но требуется его

предварительная тщательная очистка от паров влаги. При сварке в качестве присадочного материала используют сварочную проволоку БрХ0,7, БрКМц3-1 или медь марки М1 с добавкой фосфора и кремния до 0,1...0,2%. Фосфор и кремний хорошо раскисляют сварочную ванну, снижают пористость и обеспечивают высокие физико-механические свойства сварных швов.

При сварке латуней марок Л59, Л63, Л68 и других рекомендуется применять присадочный металл, легированный кремнием и железом (ЛК80-3, ЛМц59-0,2, ЛЖМц59-1-1, БрКМц3-1). Для сварки сложных латуней и бронз присадочный металл выбирают аналогичным основному.

Специфической особенностью при сварке латуней является интенсивное испарение цинка в процессе сварки, так как температура испарения цинка (907 °С) близка к температуре плавления латуни (910 °С). При этом снижается содержание цинка в металле шва и ухудшаются механические свойства соединения. Кроме того, пары цинка опасны для работающего. Для уменьшения выгорания цинка целесообразны сварка на пониженной мощности, применение присадочного металла, содержащего кремний, который создает на поверхности ванны защитную оксидную пленку SiO_2 , препятствующую испарению цинка, использование защитных флюсов.

Специфической трудностью при сварке бронз является их повышенная жидкотекучесть. При сварке бронз, содержащих алюминий, возникают трудности, вызванные образованием оксида алюминия Al_2O_3 , поэтому способы и технологию выполнения сварки выбирают такие же, как и при сварке алюминия, а режимы — характерные для медных сплавов.

Контрольные вопросы

1. Назовите отличия свойств цветных металлов от сталей.
2. Как цветные металлы ведут себя в условиях сварки?
3. Какие трудности возникают при сварке алюминия и сплавов на его основе?
4. Чем отличаются магниевые сплавы от алюминиевых по отношению к условиям сварки?
5. Каковы особенности свойств титана и его сплавов?
6. В чем заключаются основные трудности сварки плавлением титана и его сплавов?
7. В чем состоит отличие свойств меди и ее сплавов от свойств других конструкционных материалов?
8. Какие трудности возникают при сварке меди и ее сплавов?
9. Каким образом происходит удаление оксидов с поверхности сварочной ванны при аргонодуговой сварке алюминиевых сплавов вольфрамовым электродом?
10. Почему не применяют дуговую сварку покрытыми электродами для титановых сплавов?

ДЕФЕКТЫ И КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

21.1. Общие сведения и организация контроля

По ГОСТ 15467—79 качество продукции — это совокупность свойств продукции, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением. Качество сварных изделий зависит от соответствия материала техническим условиям, состояния оборудования и оснастки, правильности и уровня отработки технологической документации, соблюдения технологической дисциплины, а также квалификации работающих.

Обеспечить высокие технические и эксплуатационные свойства изделий можно только при условии точного выполнения технологических процессов и их стабильности. Особую роль здесь играют различные способы объективного контроля как производственных процессов, так и готовых изделий. При правильной организации технологического процесса контроль должен быть его неотъемлемой частью. Обнаружение дефектов служит сигналом не только к отбраковке продукции, но и оперативной корректировке технологии.

Сварные конструкции контролируют на всех этапах их изготовления. Кроме того, систематически проверяют приспособления и оборудование. При предварительном контроле подвергаются проверке основные и вспомогательные материалы, устанавливается их соответствие чертежу и техническим условиям.

После заготовительных работ детали подвергают чаще всего наружному осмотру, т.е. проверяют внешний вид детали, качество поверхности, наличие заусенцев, трещин, забоин и т.п., а также измеряют универсальными и специальными инструментами, шаблонами, с помощью контрольных приспособлений. Особенно тщательно контролируют участки, подвергающиеся сварке. Профиль кромок, подготовленных под сварку плавлением, проверяют специальными шаблонами, а качество подготовки поверхности — с помощью оптических приборов или специальными микрометрами.

Во время сборки и прихватки проверяют расположение деталей друг относительно друга, величину зазоров, расположение и размер прихваток, отсутствие трещин, прожогов и других дефектов в местах прихваток и т.д. Качество сборки и прихватки определяют главным образом наружным осмотром и обмером.

Наиболее ответственным моментом является текущий контроль выполнения сварки. Организация контроля сварочных работ может производиться в двух направлениях: контролируют сами процессы сварки либо полученные изделия.

Контроль процессов позволяет предотвратить появление систематических дефектов и особенно эффективен при автоматизированной сварке (автоматическая и механизированная дуговая, электрошлаковая и др.). Существуют следующие способы контроля сварочных процессов: по образцам технологических проб, с использованием обобщающих параметров, контроль параметров режима сварки.

При *контроле по образцам технологических проб* периодически изготавливают образцы соединений из металла той же марки и толщины, что и свариваемое изделие, и подвергают их всесторонней проверке: внешнему осмотру, испытаниям на прочность соединений, просвечиванию рентгеновскими лучами, металлографическому исследованию и т.д. К недостаткам такого способа контроля следует отнести некоторое различие между образцом и изделием, а также возможность изменения сварочных условий с момента изготовления одного образца до момента изготовления следующего.

Применяют также *контроль с использованием обобщающих параметров*, имеющих прямую связь с качеством сварки, например использование дилатометрического эффекта в условиях точечной контактной сварки. Однако в большинстве случаев сварки плавлением не всегда удастся выявить наличие обобщающего параметра, позволяющего достаточно надежно контролировать качество соединений.

Контроль параметров режима сварки, непосредственно определяющих режим сварки, широко применяют, так как в большинстве случаев нет определенных обобщающих параметров для процессов сварки плавлением. При дуговой сварке такими параметрами в первую очередь являются сила тока, дуговое напряжение, скорость сварки, скорость подачи проволоки и др. Недостаток такого подхода заключается в необходимости контролирования многих параметров, каждый из которых в отдельности не может характеризовать непосредственно уровень качества получаемых соединений.

Контроль изделий производят пооперационно или после окончания изготовления. Последним способом обычно контролируют несложные изделия. Качество выполнения сварки на изделии оценивают по наличию наружных или внутренних дефектов. Развитие физики открыло большие возможности для создания высокоэффективных методов дефектоскопии с высокой разрешающей способностью, позволяющих проверить без разрушения качество сварных соединений в ответственных конструкциях.

В зависимости от того, нарушается или не нарушается целостность сварного соединения при контроле, различают неразрушающие и разрушающие методы контроля.

21.2. Дефекты сварных соединений и причины их возникновения

В процессе образования сварных соединений в металле шва и зоне термического влияния могут возникать различные отклонения от установленных норм и технических требований, приводящие к ухудшению работоспособности сварных конструкций, снижению их эксплуатационной надежности, ухудшению внешнего вида изделия. Такие отклонения называют дефектами. Дефекты сварных соединений различают по причинам возникновения и месту их расположения (наружные и внутренние). В зависимости от причин возникновения их можно разделить на две группы. К первой группе относят дефекты, связанные с металлургическими и тепловыми явлениями, происходящими в процессе образования, формирования и кристаллизации сварочной ванны и остывания сварного соединения (горячие и холодные трещины в металле шва и околошовной зоне, поры, шлаковые включения, неблагоприятные изменения свойств металла шва и зоны термического влияния). Ко второй группе дефектов, которые называют дефектами формирования швов, относят дефекты, происхождение которых связано в основном с нарушением режима сварки, неправильной подготовкой и сборкой элементов конструкции под сварку, неисправностью оборудования, недостаточной квалификацией сварщика и другими нарушениями технологического процесса. К дефектам этой группы относятся несоответствие швов расчетным размерам, непровары, подрезы, прожоги, наплывы, незаваренные кратеры и др. Виды дефектов приведены на рис. 21.1. Дефектами формы и размеров сварных швов являются их неполномерность, неравномерные ширина и высота, бугристость, седловины, перетяжки и т. п. Эти дефекты снижают прочность и ухудшают внешний вид шва. Причины их возникновения при механизированных способах сварки — колебания напряжения в сети, проскальзывание проволоки в подающих роликах, неравномерная скорость сварки из-за люфтов в механизме перемещения сварочного автомата, неправильный угол наклона электрода, протекание жидкого металла в зазоры, их неравномерность по длине стыка и т. д. Дефекты формы и размеров швов косвенно указывают на возможность образования внутренних дефектов в шве.

Наплывы образуются в результате натекания жидкого металла на поверхность холодного основного металла без сплавления с ним. Они могут быть местными — в виде отдельных застывших

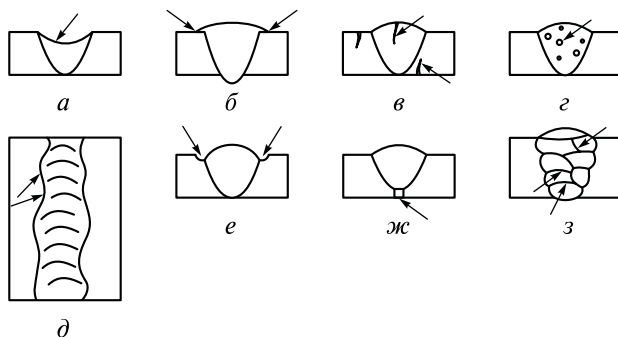


Рис. 21.1. Виды дефектов сварных швов:

а — ослабление шва; *б* — наплыв; *в* — трещины; *г* — поры; *д* — неравномерность ширины; *е* — подрез; *ж* — непровар; *з* — шлаковые включения

капель, а также иметь значительную протяженность вдоль шва. Чаще всего наплывы образуются при выполнении горизонтальных сварных швов на вертикальной плоскости. Причины образования наплывов — большой сварочный ток, слишком длинная дуга, неправильный наклон электрода, большой угол наклона изделия при сварке на спуск. При выполнении кольцевых швов наплывы образуются при недостаточном или излишнем смещении электрода с зенита. В местах наплывов часто могут выявляться непровары, трещины и др.

Подрезы представляют собой продолговатые углубления (канавки), образовавшиеся в основном металле вдоль края шва. Они возникают в результате большого сварочного тока и длинной дуги. Основной причиной подрезов при выполнении угловых швов является смещение электрода в сторону вертикальной стенки. Это вызывает значительный разогрев металла вертикальной стенки и его стекание при оплавлении на горизонтальную стенку. Подрезы приводят к ослаблению сечения сварного соединения и концентрации в нем напряжений, что может явиться причиной разрушения.

Прожоги — это сквозные отверстия в шве, образованные в результате вытекания части металла ванны. Причинами их образования могут быть большой зазор между свариваемыми кромками, недостаточное притупление кромок, чрезмерный сварочный ток, недостаточная скорость сварки. Наиболее часто прожоги образуются при сварке тонкого металла и выполнении первого прохода многослойного шва. Прожоги могут также образовываться в результате недостаточно плотного поджатия сварочной подкладки или флюсовой подушки.

Непроваром называют местное несплавление кромок основного металла или несплавление между собой отдельных валиков при многослойной сварке. Непровары уменьшают сечение шва и вы-

зывают концентрацию напряжений в соединении, что может резко снизить прочность конструкции. Причины образования непроваров — плохая зачистка металла от окалины, ржавчины и загрязнений, малый зазор при сборке, большое притупление, малый угол скоса кромок, недостаточный сварочный ток, большая скорость сварки, смещение электрода от центра стыка. Непровары выше допустимой величины подлежат удалению и последующей заварке.

Трещины, так же как и непровары, являются наиболее опасными дефектами сварных швов. Они могут возникать как в самом шве, так и в околошовной зоне и располагаться вдоль и поперек шва. По своим размерам трещины могут быть макро- и микроскопическими. На образование трещин влияет повышенное содержание углерода, а также примеси серы и фосфора.

Шлаковые включения, представляющие собой вкрапления шлака в шве, образуются в результате плохой зачистки кромок деталей и поверхности сварочной проволоки от оксидов и загрязнений. Они возникают при сварке длинной дугой, недостаточном сварочном токе и чрезмерно большой скорости сварки, а в случае многослойной сварки — при недостаточной зачистке шлаков с предыдущих слоев. Шлаковые включения ослабляют сечение шва и его прочность.

Газовые поры появляются в сварных швах при недостаточной полноте удаления газов при кристаллизации металла шва. Причины пор — повышенное содержание углерода при сварке сталей, загрязнения на кромках, использование влажных флюсов, защитных газов, высокая скорость сварки, неправильный выбор присадочной проволоки. Поры могут располагаться в шве отдельными группами, в виде цепочек или единичных пустот. Иногда они выходят на поверхность шва в виде воронкообразных углублений, образуя так называемые свищи. Поры также ослабляют сечение шва и его прочность, сквозные поры приводят к нарушению герметичности соединений.

Микроструктура шва и зоны термического влияния в значительной степени определяют свойства сварных соединений и характеризует их качество.

К дефектам микроструктуры относят следующие: повышенное содержание оксидов и различных неметаллических включений, микропоры и микротрещины, крупнозернистость, перегрев, пережог металла и др. Перегрев характеризуется чрезмерным укрупнением зерна и огрублением структуры металла. Более опасен пережог — наличие в структуре зерен с окисленными границами. Такой металл имеет повышенную хрупкость и не поддается исправлению. Причиной пережога является плохая защита сварочной ванны при сварке, а также сварка на чрезмерно большой силе тока.

21.3. Методы неразрушающего контроля сварных соединений

К неразрушающим методам контроля качества сварных соединений относят внешний осмотр, контроль на непроницаемость (или герметичность) конструкций, контроль для обнаружения дефектов, выходящих на поверхность, контроль скрытых и внутренних дефектов.

Внешний осмотр и измерение сварных швов — наиболее простые и широко распространенные способы контроля их качества. Они являются первыми контрольными операциями по приемке готового сварного узла или изделия. Этим видам контроля подвергают все сварные швы независимо от того, как они будут испытаны в дальнейшем.

Внешним осмотром сварных швов выявляют наружные дефекты: непровары, наплывы, подрезы, наружные трещины и поры, смещение свариваемых кромок деталей и т. п. Визуальный осмотр производят как невооруженным глазом, так и с применением лупы с 10-кратным увеличением.

Обмеры сварных швов позволяют судить о качестве сварного соединения: недостаточное сечение шва уменьшает его прочность, слишком большое — увеличивает внутренние напряжения и деформации. Размеры сечения готового шва проверяют по его параметрам в зависимости от типа соединения. У стыкового шва проверяют его ширину, высоту, размер выпуклости со стороны корня шва, в угловом — измеряют катет. Замеренные параметры должны соответствовать техническим условиям или стандартам. Размеры сварных швов контролируют измерительными инструментами или специальными шаблонами.

Внешний осмотр и обмеры сварных швов не дают возможности окончательно судить о качестве сварки. Они устанавливают только внешние дефекты шва и позволяют определить их сомнительные участки, которые могут быть проверены более точными способами.

Сварные швы и соединения ряда изделий и сооружений должны отвечать требованиям непроницаемости (герметичности) для различных жидкостей и газов. Учитывая это, во многих сварных конструкциях (емкости, трубопроводы, химическая аппаратура и т. д.) сварные швы подвергают *контролю на герметичность*. Этот вид контроля производится после окончания монтажа или изготовления конструкции. Дефекты, выявленные внешним осмотром, устраняются до начала испытаний. Непроницаемость сварных швов контролируют следующими методами: капиллярным (керосином), химическим (аммиаком), пузырьковым (воздушным или гидравлическим давлением), вакуумированием или газоэлектрическими теческательями.

Контроль керосином основан на физическом явлении капиллярности, которое заключается в способности керосина подниматься по капиллярным ходам — сквозным порам и трещинам. В процессе испытания сварные швы покрываются водным раствором мела с той стороны, которая более доступна для осмотра и выявления дефектов. После высушивания окрашенной поверхности с обратной стороны шов обильно смачивают керосином. Неплотности швов выявляют по наличию на меловом покрытии следов проникшего керосина. Появление отдельных пятен указывает на поры и свищи, полос — сквозных трещин и непроваров в шве. Благодаря высокой проникающей способности керосина обнаруживаются дефекты с поперечным размером 0,1 мм и менее.

Контроль аммиаком основан на изменении окраски некоторых индикаторов (раствор фенолфталеина, азотнокислой ртути) под воздействием щелочей. В качестве контролирующего реагента применяется газ (аммиак). При испытании на одну сторону шва укладывают бумажную ленту, смоченную 5 %-ным раствором индикатора, а с другой стороны шов обрабатывают смесью аммиака с воздухом. Аммиак, проникая через неплотности сварного шва, окрашивает индикатор в местах залегания дефектов.

Контроль воздушным давлением (сжатым воздухом или другими газами) подвергают сосуды и трубопроводы, работающие под давлением, а также резервуары, цистерны и т. п. Это испытание проводят с целью проверки общей герметичности сварного изделия. Малогабаритные изделия полностью погружают в ванну с водой, после чего в него подают сжатый воздух под давлением, на 10...20 % превышающим рабочее. Крупногабаритные конструкции после подачи внутреннего давления по сварным швам покрывают пенным индикатором (обычно раствор мыла). О наличии неплотностей в швах судят по появлению пузырьков воздуха. При испытании сжатым воздухом (газами) следует соблюдать правила безопасности.

Контроль гидравлическим давлением применяют при проверке прочности и плотности различных сосудов, котлов, паро-, водо- и газопроводов и других сварных конструкций, работающих под избыточным давлением. Перед испытанием сварное изделие полностью герметизируют водонепроницаемыми заглушками. Затем изделие заполняют водой под избыточным давлением, в 1,5—2 раза превышающим рабочее, и выдерживают в течение заданного времени. Дефектные места определяют по проявлению течи, капель или увлажнению поверхности шва.

Вакуумному контролю подвергают сварные швы, которые невозможно испытать керосином, воздухом или водой и доступ к которым возможен только с одной стороны. Его широко применяют при проверке сварных швов днищ резервуаров, газгольдеров и других листовых конструкций. Сущность метода заключается

в создании вакуума на одной стороне контролируемого участка сварного шва и регистрации на этой же стороне шва проникновения воздуха через имеющиеся неплотности. Контроль ведется с помощью переносной вакуум-камеры, которую устанавливают на наиболее доступной стороне сварного соединения, предварительно смоченной мыльным раствором (рис. 21.2). В зависимости от формы контролируемого изделия и типа соединения могут применяться плоские, угловые и сферические вакуум-камеры. Для создания вакуума в них применяют специальные вакуум-насосы.

Люминесцентный контроль, называемый также капиллярной дефектоскопией, проводят с помощью специальных жидкостей, которые наносят на контролируемую поверхность изделия. Эти жидкости, обладающие большой смачивающей способностью, проникают в мельчайшие поверхностные дефекты — трещины, поры, непровары. Люминесцентный контроль основан на свойстве некоторых веществ светиться под действием ультрафиолетового облучения. Перед контролем поверхности шва и околошовной зоны очищают от шлака и загрязнений, на них наносят слой проникающей жидкости, которая затем удаляется, а изделие просушивается. Для обнаружения дефектов поверхность облучают ультрафиолетовым излучением — в местах дефектов следы жидкости обнаруживаются по свечению.

Контроль методом красок заключается в том, что на очищенную поверхность сварного соединения наносится смачивающая жидкость, которая под действием капиллярных сил проникает в полость дефектов. После ее удаления на поверхность шва наносится белая краска. Выступающие следы жидкости обозначают места расположения дефектов.

Контроль газоэлектрическими течеискателями применяют для испытания ответственных сварных конструкций, так как такие течеискатели достаточно сложны и дорогостоящи. В качестве газа-

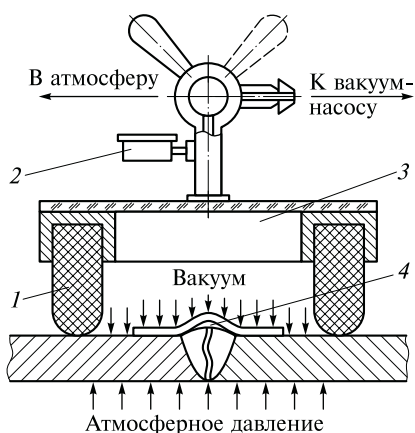


Рис. 21.2. Вакуумный контроль шва:

1 — уплотнение; 2 — вакуумметр; 3 — камера; 4 — мыльный раствор

индикатора в них используется гелий. Обладая высокой проникающей способностью, он может проходить через мельчайшие несплошности в металле и регистрируется течеискателем. В процессе контроля сварной шов обдувают или внутренний объем изделия заполняют смесью газа-индикатора с воздухом. Проникающий через неплотности газ улавливается щупом и анализируется в течеискателе.

Для обнаружения скрытых внутренних дефектов применяют магнитный, радиационный и ультразвуковой методы контроля.

Магнитные методы контроля основаны на обнаружении полей магнитного рассеяния, образующихся в местах дефектов при намагничивании контролируемых изделий. Изделие намагничивают, замыкая им сердечник электромагнита или помещая внутрь соленоида. Требуемый магнитный поток можно создать и пропусканием тока по виткам (3—6 витков) сварочного провода, наматываемого на контролируемую деталь. В зависимости от способа обнаружения потоков рассеяния различают следующие методы магнитного контроля: метод магнитного порошка, индукционный и магнитографический. При методе магнитного порошка на поверхность намагниченного соединения наносят магнитный порошок (окалина, железные опилки) в сухом виде — сухой способ или суспензию магнитного порошка в жидкости (керосин, мыльный раствор, вода) — мокрый способ. Над местом расположения дефекта создаются скопления порошка в виде правильно ориентированного магнитного спектра. Для облегчения подвижности порошка изделие слегка обстукивают. С помощью магнитного порошка выявляют трещины, невидимые невооруженным глазом, внутренние трещины на глубине не более 15 мм, расслоение металла, а также крупные поры, раковины и шлаковые включения на глубине не более 3...5 мм.

При индукционном методе магнитный поток в изделии наводят электромагнитом переменного тока. Дефекты обнаруживают с помощью искателя, в катушке которого под воздействием поля рассеяния индуцируется ЭДС, вызывающая оптический или звуковой сигнал на индикаторе.

При магнитографическом методе поле рассеяния фиксируется на эластичной магнитной ленте, плотно прижатой к поверхности соединения. Запись воспроизводится на магнитографическом дефектоскопе. В результате сравнения контролируемого соединения с эталоном делается вывод о качестве соединения (рис. 21.3).

Радиационные методы контроля являются надежными и широко распространенными методами контроля, основанными на способности рентгеновского и гамма-излучения проникать через металл. Выявление дефектов при радиационных методах основано на разном поглощении рентгеновского или гамма-излучения участками металла с дефектами и без них (рис. 21.4). Сварные соедине-

ния просвечивают специальными аппаратами. С одной стороны шва на некотором расстоянии от него помещают источник излучения, с противоположной стороны плотно прижимают кассету с чувствительной фотопленкой. При просвечивании лучи проходят через сварное соединение и облучают пленку. В местах, где имеются поры, шлаковые включения, непровары, крупные трещины, на пленке образуются темные пятна. Вид и размеры дефектов определяют сравнением пленки с эталонными снимками. Источниками рентгеновского излучения служат специальные аппараты (РУП-150-1, РУП-120-5-1 и др.). Рентгенопросвечиванием целесообразно выявлять дефекты в деталях толщиной до 60 мм. Наряду с рентгенографированием (экспозицией на пленку) применяют и рентгеноскопию, т.е. получение сигнала о дефектах при просвечивании металла на экран с флуоресцирующим покрытием. Имеющиеся дефекты в этом случае рассматривают на экране. Такой способ можно сочетать с телевизионными устройствами и контроль вести на расстоянии. При просвечивании сварных соединений гамма-излучением источником излучения служат радиоактивные изотопы: кобальт-60, тулий-170, иридий-192 и др. Ампула с радиоактивным изотопом помещается в свинцовый контейнер. Технологи-

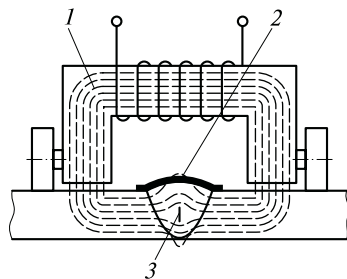


Рис. 21.3. Магнитная запись дефектов на ленту:

1 — электромагнит; 2 — магнитная лента; 3 — дефект шва

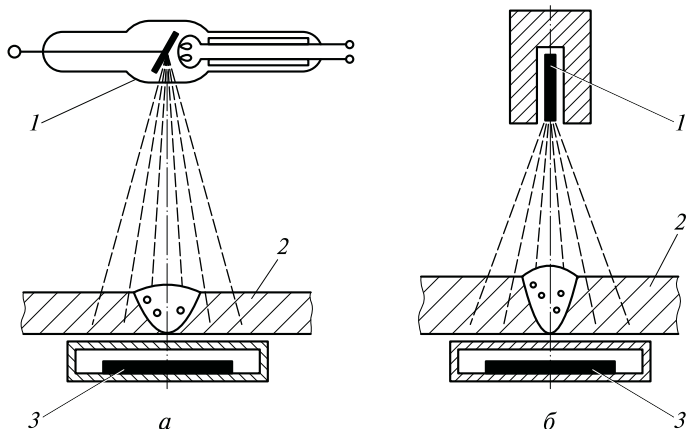


Рис. 21.4. Схема радиационного просвечивания швов:

а — рентгеновское; б — гамма-излучением; 1 — излучатель; 2 — изделие; 3 — пленка

гия выполнения просвечивания подобна рентгеновскому просвечиванию. Гамма-излучение отличается от рентгеновского большей жесткостью и меньшей длиной волны, поэтому оно может проникать в металл на большую глубину. Оно позволяет просвечивать металл толщиной до 300 мм. Недостатками просвечивания гамма-излучением по сравнению с рентгеновским являются меньшая чувствительность при просвечивании тонкого металла (менее 50 мм), невозможность регулирования интенсивности излучения, большая опасность гамма-излучения при неосторожном обращении с гамма-аппаратами.

Ультразвуковой контроль основан на способности ультразвуковых волн проникать в металл на большую глубину и отражаться от находящихся в нем дефектных участков. В процессе контроля пучок ультразвуковых колебаний от вибрирующей пластинки-шупа (пьезокристалла) вводится в контролируемый шов. При встрече с дефектным участком ультразвуковая волна отражается от него и улавливается другой пластинкой-шупом, которая преобразует ультразвуковые колебания в электрический сигнал. Эти колебания после их усиления подаются на экран электронно-лучевой трубки дефектоскопа, которые свидетельствуют о наличии дефектов. По характеру импульсов судят о протяженности дефектов и глубине их залегания. Ультразвуковой контроль можно проводить при одностороннем доступе к сварному шву без снятия усиления и предварительной обработки поверхности шва.

Ультразвуковой контроль имеет следующие преимущества: высокая чувствительность, позволяющая обнаруживать, измерять и определять местонахождение дефектов площадью 1...2 мм²; большая проникающая способность ультразвуковых волн, позволяющая контролировать детали большой толщины; возможность контроля сварных соединений с односторонним подходом; высокая производительность и отсутствие громоздкого оборудования. Существенным недостатком ультразвукового контроля является сложность установления вида дефекта. Этот метод применяют и как основной вид контроля, и как предварительный с последующим просвечиванием сварных соединений рентгеновским или гамма-излучением.

21.4. Методы контроля с разрушением сварных соединений

К этим методам контроля качества сварных соединений относятся механические испытания, металлографические исследования, специальные испытания с целью получения характеристик сварных соединений. Эти испытания проводят на сварных образцах, вырезаемых из изделия или из специально сваренных конт-

рольных соединений — технологических проб, выполненных в соответствии с требованиями и технологией на сварку изделия в условиях, соответствующих сварке изделия.

Целью испытаний является оценка прочности и надежности сварных соединений и конструкций, оценка качества основного и присадочного металла, оценка правильности выбранной технологии, оценка квалификации сварщиков. Свойства сварного соединения сопоставляют со свойствами основного металла. Результаты считаются неудовлетворительными, если они не соответствуют заданному уровню.

Механические испытания проводятся по ГОСТ 6996—66, предусматривающему следующие виды испытаний сварных соединений и металла шва: испытание сварного соединения в целом и металла разных его участков (наплавленного металла, зоны термического влияния, основного металла) на статическое растяжение, статический изгиб, ударный изгиб, стойкость против старения, измерение твердости.

Контрольные образцы для механических испытаний выполняют определенных размеров и формы.

Испытаниями на статическое растяжение определяют прочность сварных соединений. Испытаниями на статический изгиб определяют пластичность соединения по величине угла изгиба до образования первой трещины в растянутой зоне. Испытания на статический изгиб проводят на образцах с продольными и поперечными швами со снятым усилением шва заподлицо с основным металлом. Испытаниями на ударный изгиб, а также разрыв определяют ударную вязкость сварного соединения. По результатам определения твердости судят о структурных изменениях и степени подкалки металла при охлаждении после сварки.

Основной задачей металлографических исследований являются установление структуры металла и качества сварного соединения, выявление наличия и характера дефектов. Металлографические исследования включают в себя макро- и микроструктурный методы анализа металлов.

При макроструктурном методе изучают макрошлифы и изломы металла невооруженным глазом или с помощью лупы. Макроисследование позволяет определить характер и расположение видимых дефектов в разных зонах сварных соединений.

При микроструктурном анализе исследуется структура металла при увеличении в 50—2000 раз с помощью оптических микроскопов. Микроисследование позволяет установить качество металла, в том числе обнаружить пережог металла, наличие оксидов, засоренность металла шва неметаллическими включениями, величину зерен металла, изменение его состава, микроскопические трещины, поры и некоторые другие дефекты структуры. Методика изготовления шлифов для металлографических исследований за-

ключается в вырезке образцов из сварных соединений, шлифовке, полировке и травлении поверхности металла специальными травителями. Металлографические исследования дополняются измерением твердости и при необходимости химическим анализом металла сварных соединений.

Специальные испытания проводят с целью получения характеристик сварных соединений, учитывая условия эксплуатации сварных конструкций: определение коррозионной стойкости для конструкций, работающих в различных агрессивных средах; усталостной прочности при циклических нагрузениях; ползучести при эксплуатации в условиях повышенных температур и др.

Применяют также и методы контроля с разрушением изделия. В ходе таких испытаний устанавливают способность конструкций выдерживать заданные расчетные нагрузки и определяют разрушающие нагрузки, т.е. фактический запас прочности. При испытаниях изделий с разрушением их схема нагружения должна соответствовать условиям работы изделия при эксплуатации. Число изделий, подвергающихся испытаниям с разрушением, устанавливается техническими условиями и зависит от степени их ответственности, системы организации производства и технологической отработанности конструкции.

Контрольные вопросы

1. Что понимается под качеством изделий?
2. Каковы назначение и организация контроля в производстве сварных конструкций?
3. Назовите виды дефектов в сварных соединениях и причины их образования.
4. Какие существуют методы неразрушающего контроля сварных соединений и каково их назначение?
5. Какие существуют методы контроля с разрушением сварных соединений и каково их назначение?
6. Каким образом можно проверить герметичность сварной тонколистовой емкости?
7. За счет какого физического эффекта происходит выявление дефекта при радиографических методах контроля?

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

22.1. Понятие о сварочном производстве и его особенности

Ведущая роль в развитии экономики принадлежит машиностроению — обеспечению всех отраслей необходимыми машинами, аппаратами, приборами. Развитие научно-технического прогресса требует непрерывного совершенствования выпускаемых изделий с целью повышения их технико-эксплуатационных характеристик. В свою очередь, это связано с усложнением конструкций, причем темпы усложнения настолько велики, что часто намного превышают темпы развития технологии производства. Это сопровождается повышением металлоемкости и массы конструкций. Как правило, увеличивается продолжительность производственных циклов, растут трудоемкость изготовления и себестоимость, поэтому перед машиностроителями стоит задача повышать технический уровень производства на базе достижений науки и техники с целью увеличения технико-экономических показателей изделий и снижения производственных затрат.

Решить поставленные задачи можно лишь применяя более совершенные методы проектирования конструкций, а в производстве — разрабатывая и используя наиболее прогрессивные технологии и оборудование, внедряя передовые формы организации труда. Развитие техники вызывает необходимость предъявления повышенных требований к материалам. Все это создает предпосылки качественных изменений всего современного машиностроительного производства.

Современное машиностроение, в том числе сварочное производство, характеризуется рядом особенностей, одновременно являющихся и направлениями его развития.

Первой характерной особенностью является существенное изменение номенклатуры используемых конструкционных материалов. Нужно отметить, что развитие современной техники, возможность совершенствования конструкций, повышения их технических характеристик в значительной степени определяются прогрессивностью применяемых материалов. Одновременно это является одним из важнейших путей снижения металлоемкости конструкций. Для большинства отраслей машиностроения по-прежнему основным конструкционным материалом остается сталь. Однако вместо традиционных низкоуглеродистых сталей в номенклатуре применяемых материалов все более широкое использова-

ние находят низко- и среднелегированные конструкционные стали с пределом текучести 500... 800 МПа, а также высокопрочные стали с пределом текучести 900... 2 000 МПа. Их применение позволяет резко повысить работоспособность изделий, их эксплуатационную надежность и одновременно уменьшить массу. Также непрерывно растут объем и номенклатура используемых легких сплавов на основе алюминия, титана, магния. Особенно большие изменения в номенклатуре применяемых материалов наблюдаются в таких сложных отраслях, как авиастроение, судостроение, химическое машиностроение и др.

Второй характерной особенностью современного машиностроения является изменение содержания самого производства. Использование новых материалов потребовало значительных изменений в технологии изготовления конструкций. При соединении деталей и узлов из новых материалов резко повысилась роль сварки. Использование сварочных процессов создает условия для проектирования более эффективных конструкций машин и значительной экономии, увеличивает их надежность и долговечность.

Сварные конструкции обладают рядом производственно-технологических достоинств, обеспечивающих их высокие технико-эксплуатационные показатели, что обеспечивает им, в свою очередь, широкое распространение в промышленности. Органическая связь отдельных элементов (деталей, узлов, агрегатов) друг с другом с помощью сварных соединений обеспечивает монолитность конструкции. Это позволяет совмещать преимущества составной конструкции в производстве с достоинствами монолитных в эксплуатации. Упрощение конструкции соединений, возможность получения разнообразных конструктивных форм при использовании простых элементов, полученных с помощью разных технологических процессов, наиболее соответствующих их назначению и экономичности, дают возможность выбора более рациональных конструктивных решений и создания высококачественных и надежных изделий. Высокие физико-механические свойства сварных соединений, возможность применения в конструкциях разнородных материалов, наиболее соответствующих условиям работы различных элементов, позволяют полноценно использовать свойства материалов, уменьшать массу и металлоемкость конструкций. Высокая технологичность сварных конструкций и упрощение технологии их изготовления являются основой снижения производственных затрат. Это выражается в сокращении сроков освоения производства, снижении трудоемкости и себестоимости выпускаемых изделий.

Использование сварных соединений расширяет технические возможности создания более совершенных конструкций, позволяет обеспечить высокие производственные показатели при их изготовлении и улучшить условия труда работающих.

Однако необходимо отметить, что сварка является лишь определенным технологическим способом получения неразъемных соединений, а поэтому сама по себе не может являться самостоятельным производством или служить самоцелью какого-либо производственного процесса. Она должна рассматриваться как средство для достижения иной цели — получения сварных конструкций определенного назначения. Изготовление же сварных конструкций сложно, имеет свои особенности и включает в себя ряд работ, без которых сварка не может производиться и которые с ней тесно связаны и во многом определяют получение конструкций с заданными свойствами (получения заготовок и деталей, отвечающих необходимым требованиям с позиции сварки, подготовку их под сварку, сборку, транспортировку, дополнительную доработку, контроль и т.п.). При этом трудоемкость чисто сварочных работ, как правило, составляет относительно небольшой удельный объем в общей трудоемкости технологического процесса (20...35%). Отмеченный комплекс работ в целом рассматривается как сварочное производство, организуемое обязательно с учетом особенностей той или иной отрасли машиностроения. Такое широкое комплексное рассмотрение сварочного производства необходимо в вопросах совершенствования как самих сварных конструкций, так и методов их изготовления.

Третьей особенностью развития современного производства является его широкая механизация и автоматизация. Правильное использование средств механизации и автоматизации позволяет сократить производственный цикл, уменьшить трудоемкость изготовления и себестоимость выпускаемой продукции, более эффективно использовать производственные площади и обслуживающий персонал, обеспечить равномерный выпуск продукции высокого и стабильного качества. Поэтому дальнейший прогресс возможен только при условии комплексной механизации и автоматизации всего производственного процесса, включая заготовительные, сборочные, отделочные, контрольные и вспомогательные операции.

Четвертой особенностью современного производства является комплексная нормализация и специализация элементов производственной системы. Решение этих вопросов наиболее эффективно может происходить на базе классификации сварных конструкций по общности их конструктивно-технологических признаков.

22.2. Классификация сварных конструкций

Многообразие сварных конструкций характеризуется их конструктивными и технологическими особенностями: габариты, форма, вид и толщина материала, характер заготовок, применяемые

процессы обработки и т. п. С этим связаны определенные затруднения в их классификации.

В настоящее время целесообразным признано классифицировать сварные конструкции в зависимости от их конструктивной формы, характера эксплуатационных нагрузжений и общности технологических операций. При этом выделяются конструктивные группы: плоскостные, решетчатые, оболочковые конструкции, балки и рамы, узлы машин и приборов. Однако такой подход является пригодным для проведения анализа общего состояния сварочного производства. Более детально вопросы классификации решаются на отраслевом уровне и уровне конкретных предприятий, исходя из имеющейся номенклатуры выпускаемых изделий, с разработкой специальных классификаторов. В результате сварные узлы объединяют в группы по признаку их конструктивной и технологической общности. Это обеспечивает возможность разработки типовых технологических процессов для классификационных групп узлов с использованием однотипной оснастки из унифицированных элементов, легко переналаживаемого оборудования и автоматизированных методов производства. К тому же, открывающаяся при этом возможность концентрации однотипных конструкций и их производства обеспечивает повышение уровня специализации производственных подразделений, что способствует снижению трудозатрат, стоимости изготовления и повышению качества изделий.

22.3. Роль, содержание и принципы технологической подготовки сварочного производства

Современное производство представляет собой сочетание различных процессов, средств производства, служб и подразделений со сложными технико-экономическими и организационными связями, поэтому началу любого производства всегда предшествует большая и трудоемкая подготовительная работа. Техническая подготовка любого производства, в том числе и сварочного, представляется комплексом мероприятий по проектированию и освоению изготовления новых и совершенствованию выпускаемых конструкций с использованием наиболее прогрессивных способов и средств производства. В рамках технической подготовки можно выделить несколько разных направлений, основными из которых являются конструкторское и технологическое, тесно взаимосвязанные между собой. Свойства и назначение объекта производства, особенности его изготовления в основном определяют организационную структуру предприятия и характер его производственного цикла, поэтому в подготовительный период для производства особенно большое значение приобретают правильная орга-

низация и проведение технологической подготовки, которая по удельному весу в общем объеме подготовки по трудоемкости и стоимости составляет в среднем 20...25 % для единичного и мелкосерийного производства, 40...45 % для серийного, 60...70 % для крупносерийного и массового. И эти затраты непрерывно увеличиваются с усложнением новых конструкций.

В целом технологическая подготовка представляет собой совокупность взаимосвязанных процессов, обеспечивающих технологическую готовность предприятий к выпуску изделий заданного качества при установленных сроках, объеме выпуска и затратах. Основной задачей технологической подготовки производства, определяющей главное ее направление, является разработка прогрессивного технологического процесса и обеспечение его необходимым технологическим оснащением, технически и экономически наиболее соответствующим данным производственным условиям.

Технологическая подготовка серийного производства включает в себя разнообразные по характеру, сложные и трудоемкие работы. Например, проектирование новых технологических процессов связано с необходимостью предварительного проведения экспериментальных исследований, сложных расчетов при создании специального оборудования и приспособлений. Велик объем и выпускаемой технологической документации. В то же время на технологическую подготовку производства, несмотря на ее сложность, большую трудоемкость и ответственность, устанавливают весьма сжатые сроки, а качество всех работ оказывает решающее влияние на технико-экономические показатели серийного производства. Каждое частное решение затем многократно реализуется в серийном производстве, следовательно, каждое неудачное решение, допущенное при подготовке, неизбежно приведет к появлению многократно повторяющихся усложнений или неудовлетворительных результатов. Например, неправильно выбранный способ или режим сварки или неверно спроектированная и изготовленная технологическая оснастка являются распространенными причинами усложнений, возникающих при выполнении технологических операций, или появления брака. Выбор недостаточно точного метода контроля сопровождается переносом необнаруженного брака на последующие этапы технологического процесса и в эксплуатацию.

Правильные и прогрессивные решения этих вопросов в значительной степени определяются качеством принятых конструкторских разработок в проектируемом изделии, поэтому технологическая подготовка производства включает в себя:

- технологическую отработку самой конструкции изделия;
- проектирование, разработку и освоение наиболее прогрессивных технологических процессов изготовления элементов и изделия в целом, разработку необходимой технологической документации;

- проектирование, изготовление и отладку специализированных и специальных видов технологической оснастки и оборудования, средств механизации и автоматизации.

Высококачественное и своевременное выполнение огромного комплекса работ по технологической подготовке производства основано на использовании ряда технико-организационных принципов. Основными из них являются:

- наиболее высокая технологическая отработка как самой конструкции, так и способов ее изготовления, проводимая в период проектирования, в основе чего лежит принцип максимальной технологичности;

- принцип технологической переналадки (гибкости) производства с максимальным использованием технологии и оснастки, применявшихся при изготовлении ранее выпускавшихся изделий (технологическая преемственность); применение этого принципа основано на типизации технологических процессов и элементов оснащения;

- принцип комплексной механизации и автоматизации производства в условиях малой серийности и частой смены изготавливаемых объектов, основанный на широком использовании унификации и стандартизации элементов технологической оснастки и специального оборудования;

- совмещение во времени работ, выполняемых в плане технологической подготовки производства.

Все работы выполняют в определенной последовательности и в сроки, определяемые общим графиком подготовки производства. Календарное время выполнения всех работ по подготовке составляет цикл подготовки производства.

В свою очередь, конкретное содержание и общий объем работ по технологической подготовке зависят от степени сложности конструкции и качества технологической отработки изделия в процессе его проектирования и изготовления опытных образцов. При этом большое значение приобретает учет особенностей того или иного конкретного производства.

В целом технологическая подготовка призвана обеспечить общий технический прогресс производства, высокие технико-экономические показатели работы предприятий в соответствии с принятыми планами по выпуску изделий.

22.4. Технологичность сварных конструкций и ее отработка

Технические преимущества сварных конструкций по сравнению с конструкциями, изготовленными с использованием других методов получения неразъемных соединений, обеспечили им широкое распространение в различных отраслях машиностроения.

Однако они обладают и недостатками, которые необходимо учитывать как при проектировании, так и при производстве. Необходимо отметить влияние технологии обработки (сварки) на исходные свойства материала, наличие в них напряженного состояния и деформаций, связанных со сваркой, неоднородность свойств материала в зоне сварных соединений и др. Эти особенности определяют характер распределения напряжений в сварных конструкциях в зависимости от прикладываемых нагрузжений и сопротивляемость их эксплуатационным воздействиям, в конечном счете влияя на надежность и долговечность изделий.

В настоящее время при конструировании изделий все больше внимания уделяют вопросам технологичности. Начиная со стадии эскизного проектирования и изготовления опытных образцов, изделия подвергаются тщательной технологической обработке. При решении вопроса о серийном изготовлении новой конструкции учитывается заключение о ее технологичности, т. е. насколько она позволяет применять наиболее прогрессивные способы производства. В оценке технологичности существуют два подхода: качественный анализ конструкции на основе инженерного опыта специалистов и количественная оценка по критериям, установленным ГОСТ 14201—83. Технологическая обработка конструкций в процессе их проектирования дает возможность не только своевременно решить вопросы повышения технологичности, она позволяет также заблаговременно определить требования, предъявляемые к серийному производству.

Прогрессивность сварных конструкций характеризуется возможностью уменьшения их металлоемкости при обеспечении требуемых эксплуатационных качеств, более полным использованием свойств материалов. В связи с этим в теории и практике отечественного проектирования сварных металлоконструкций логически объединяются два направления: поиск путей проектирования конструкций с минимальной массой и меньшей металлоемкостью, внедрение и использование наиболее прогрессивных технологических процессов. Эти направления во многом определяют развитие сварочного производства. Создание наиболее экономичных сварных конструкций требует комплексного конструктивно-технологического проектирования, при котором вопросы конструкторского плана решаются одновременно с вопросами технологии и трудоемкости, а обеспечение высокой работоспособности конструкций достигается конструктивными и технологическими мерами. Проектирование невозможно без учета особенностей технологии, а в современной практике проектно-конструкторских работ одним из важнейших моментов становится соблюдение принципов технологичности конструкций. Нельзя эффективно использовать передовую технологию, когда конструкция разработана без учета технологичности.

Технологичной считается конструкция, обеспечивающая наиболее простое, быстрое и экономичное изготовление при обязательном соблюдении необходимых условий прочности, устойчивости, выносливости и других эксплуатационных качеств, т.е. в которой соблюдается соответствие прогрессивных конструктивных решений передовым технологическим возможностям производства. Отсюда понятие «технологичность конструкции» представляется как довольно сложная характеристика (свойство), определяемая комплексом прогрессивных конструктивных и технологических решений, позволяющих при обеспечении всех необходимых эксплуатационных качеств изделия добиться в процессе изготовления высоких производственных показателей — снижения металлоемкости, быстрого освоения в производстве, минимальной трудоемкости и себестоимости.

Отработка технологичности конструкций является непрерывным процессом, начинающимся с эскизного проекта изделия и продолжающимся на всех стадиях проектирования и изготовления как его опытных образцов, так и серийной продукции. Содержание работ по отработке технологичности конструкций зависит от стадии разработки технической документации. Основные принципиальные положения, определяющие направленность отработки технологичности конструкций, закладываются уже в период разработки эскизного и технического проектов изделия. Установлено, что на этом этапе достигается до 70 % и более общего уровня технологичности конструкций. Отработка при этом идет за счет выбора наиболее оптимальных конструктивных решений, разъединения конструкции на основные сборочные единицы, разработки оптимальных схем сборки и сварки, обоснованного назначения точности изготовления и технологических мер ее достижения, выбора материала и важнейших методов обработки и т.п. Таким образом, принципиальные вопросы изготовления сварной конструкции решаются уже на первом этапе ее проектирования. Второй этап технологической отработки совпадает с разработкой рабочего проекта и изготовлением опытных образцов. При этом отрабатывается до 20...25 % всего эффекта технологичности. На этапе рабочего проектирования производится детальная технологическая проработка принятого ранее варианта конструкции. Производится выбор рациональных заготовок и способов их получения, определяются меры по обеспечению требований технологичности при обработке различными способами, выбираются конструктивные и технологические базы, обеспечивается удобство подходов к местам соединений, нормализация материалов, полуфабрикатов, параметров соединений и т.д. Детально прорабатывается конструктивное оформление всех сварных соединений с указанием характера обработки кромок, допусков на размеры и припусков на обработку пос-

ле сварки. Для достижения точности и сохранения размеров конструкций после сварки предусматривают технологические мероприятия по предотвращению и устранению сварочных напряжений и деформаций. Эти вопросы также прорабатываются на стадии рабочего проектирования как с целью обоснования выбора величин допусков на размеры заготовок, припусков на последующую механическую обработку сварного изделия, так и с целью определения рациональности применения операций термообработки. По окончании рабочего проектирования и изготовления опытных образцов должна завершаться и отработка технологичности конструкций. На дальнейших этапах создания и освоения выпуска изделий отработка технологичности, как правило, не превышает 5...10 % от общего уровня.

При создании конструкций и отработке их технологичности необходимо учитывать ряд общих условий.

1. Технологичность конструкций в значительной степени зависит от масштаба выпуска и вида производства. Конструкция, технологичная для одного масштаба выпуска, может оказаться нетехнологичной для другого.

2. Технологичность отдельных элементов конструкции должна рассматриваться и увязываться с технологичностью изделия в целом. Повышение технологичности отдельных элементов может вызвать изменения, которые в итоге ухудшают обработку всей конструкции или приведут к снижению ее характеристик.

3. Отработку технологичности конструкций необходимо рассматривать как комплексную задачу, учитывающую требования ко всем стадиям производственного процесса, начиная от изготовления деталей и заканчивая сборкой, сваркой и испытанием готовых изделий.

4. При отработке технологичности конструкций необходимо исходить в первую очередь из учета передового опыта и наиболее высокого технического уровня, достигнутого в данной отрасли производства. При этом необходимо учитывать и специфику данного предприятия-изготовителя, его технико-организационные особенности, оснащенность, освоенность различных процессов и оборудования и т. п.

Технологическая отработка сварных конструкций предусматривает выполнение требований технологичности, предъявляемых к выбору и назначению конструктивных форм изделия и металла для его изготовления, способов сварки и характеристик сварных соединений, точности изготовления и способов устранения или уменьшения деформаций и сварочных напряжений. В связи с этим можно наметить ряд вопросов, требующих в первую очередь решения при создании технологичных сварных конструкций.

1. Выбор и применение наиболее современных методик расчета и проектирования сварных конструкций, в наибольшей мере учи-

тывающих их особенности и воздействие технологических факторов — принцип конструктивно-технологического проектирования.

2. Выбор оптимальных вариантов разъединения конструкций на сборочные единицы и схем их сборки, от которых во многом зависят упрощение технологического процесса, расширение фронта работ и эффективное использование средств механизации и автоматизации.

3. Правильный выбор материала — один из важнейших вопросов проектирования и технологической обработки, поскольку оказывает непосредственное влияние на технические характеристики, массу и экономичность конструкций. При этом необходимо учитывать, что в сочетании с требованиями, предъявляемыми условиями эксплуатации, требование высокой свариваемости определяет практическую пригодность материала для сварных конструкций. Свойства материала должны удовлетворять требованиям эксплуатации, обеспечивать необходимую свариваемость, технологическую обрабатываемость и экономическую целесообразность.

4. Важной задачей является правильный выбор способа получения соединений в соответствии с назначением, формой и размерами конструкций. Назначение способа сварки в значительной степени определяется свариваемостью, конструктивным оформлением изготавливаемых узлов, степенью их ответственности и производительностью процесса. К тому же необходимо учитывать определенный тип соединений, присадочный материал, приемы и обеспечение удобства выполнения сборочно-сварочных операций. Эти условия предопределяют механические свойства соединений и значения допускаемых напряжений, необходимых для прочностных расчетов конструкций, поэтому назначение способа сварки определяется уже на первой стадии разработки изделия.

5. Правильное назначение типа и параметров сварных соединений в зависимости от особенностей конструкции и характера испытываемых нагрузжений — один из важных вопросов технологичности. Качество сварных соединений и трудоемкость их выполнения в значительной степени зависят от проектных решений, определяющих тип присадочного материала, сечение швов и расчетный объем наплавленного металла, положение сварных швов в пространстве при выполнении сварочных работ, доступность и удобство выполнения сварки и т. п. Поэтому при выборе типа конструкции сварных соединений намечаемые конструктивные решения необходимо оценивать не только с позиций прочности, но и с позиций технологичности. При определении назначения сварных соединений нужно учитывать возможность их выполнения с максимальным использованием автоматизированных способов сварки, число и размеры сварных швов должны быть минимальными и строго соответствовать расчетам и техническим условиям. В конструкциях необходимо использовать наиболее работоспособ-

ные и удобно выполнимые типы соединений, стремиться к сокращению их числа и уменьшению сечений. Расположение соединений в конструкциях должно уменьшать или предотвращать появление сварочных деформаций, а параметры соединений должны быть максимально унифицированы, форма швов простая, хорошо поддающаяся описанию и выполнению автоматической сваркой. Исключительно важным требованием является сокращение объема расплавляемого, а особенно наплавляемого металла. На этапе проектирования завышение таких объемов может быть вызвано несовершенством используемых методов и норм расчета, стандартов и других материалов, регламентирующих параметры сварных соединений и швов; несоблюдением в проектировании принципа минимизации наплавленного металла в конструкции; недостаточным использованием прогрессивных конструктивных решений, требующих минимальных протяженности швов и объема наплавленного металла; ограниченностью применения в конструкциях материалов с улучшенными свойствами; недостаточным использованием сварочных процессов, обеспечивающих более высокие механические свойства соединений.

При изготовлении сварных конструкций перерасходу наплавленного металла способствуют отклонения от строгого соблюдения предписаний технической документации и инструкций в отношении точности и качества выполнения заготовительных, сборочных и сварочных работ, несовершенство принятых в технологическом процессе методов и оборудования обработки, недостаточная точность заготовок, обуславливающая необходимость назначения излишних припусков и проведения ручных работ по подгонке элементов.

Комплексное решение вопросов прочности, точности, технологичности и экономичности позволяет создавать наиболее рациональные сварные конструкции с наименьшими затратами материалов, времени и труда на их изготовление.

22.5. Разработка технологических процессов

Общие сведения. Под технологическим процессом в машиностроении понимают последовательные действия по изменению формы или состояния материала в целях получения изделия определенного вида или качества.

Основная цель проектирования технологического процесса — разработка такого способа изготовления заданного изделия, который бы являлся наиболее рациональным не только технически, но и экономически при правильном и полном использовании всех технических возможностей оборудования и оснастки на наиболее выгодных режимах при минимальных затратах времени, рабочей

силы, вспомогательных материалов. Исходными данными для проектирования технологического процесса изготовления сварной конструкции являются рабочий проект (чертежи) изделия, технические условия и планируемая программа выпуска. При этом руководствуются положениями Единой системы технологической документации (ЕСТД), представляющей собой комплекс стандартов, устанавливающих правила разработки и оформления технологических документов.

В разработке технологического процесса можно выделить два этапа. Первый этап целесообразно отнести к стадии проектирования самой конструкции. В ходе технологической отработки конструкции разрабатывают основные принципиальные решения по ее изготовлению, которые в дальнейшем определяют основные направления в разработке рабочих технологических процессов и включаются в специальные технологические документы — директивно-технологические материалы (ДТМ) или директивную технологию (Приложение 2).

По таким материалам нельзя изготовить изделие, поскольку в них приводятся лишь основные принципиальные решения по технологии. Однако разработка таких материалов позволяет обеспечить наиболее высокий технический уровень производства. В процессе разработки ДТМ решают вопросы выбора наиболее технологичных с позиции сварки конструктивных решений, схемы технологического расчленения конструкции и ее собираемости, определяют характер соединений по технологическим разъемам и методы их выполнения, разрабатывают технические условия и задания на проектирование специального оборудования и технологической оснастки, выбирают методы и средства наиболее объективного контроля и т. д. Разрабатываются ДТМ на базе наиболее прогрессивных технологических способов обработки и оборудования.

С другой стороны, ДТМ дают возможность серийным предприятиям значительно сократить и упростить работы по подготовке производства и освоению изделия, заранее определить трудоемкость всех этапов производственного процесса, технологическую оснащенность, необходимость и объем реконструкции предприятия.

По окончании проектирования изделия на основе рабочего проекта и ДТМ проводится второй этап — разрабатывается рабочий технологический процесс и создается необходимое специальное оборудование, технологическая и контрольная оснастка.

Разработка рабочей технологии ведется в строгом соответствии с рабочим проектом конструкции. Это накладывает на работу технологов определенные ограничения в связи с принятыми в проекте конструктивными решениями. В этих условиях ДТМ приобретает исключительно большое значение. Разработка рабочей технологии, в свою очередь, выполняется в две стадии. На первой ста-



Рис. 22.1. Схема технологического процесса изготовления сварных конструкций

дии устанавливают полный перечень всех необходимых операций и их рациональную последовательность (маршрут), выбирают способы обработки по операциям, технологическое оборудование, режимы обработки и технологическую оснастку и определяют их трудоемкость. Полученные данные согласно ГОСТ 3.1118—82 представляются в виде технического документа — маршрутной технологической карты (Приложение 2).

На второй стадии осуществляется детализация ранее выполненных разработок, степень и полнота которой зависят от типа производства. В большей степени детализируют технологический процесс в серийном и массовом видах производства. Операции разбивают на более мелкие действия-переходы с указанием рядов работающих, фондов времени, мер техники безопасности и т.п. Каждая из операций маршрутной технологии по ГОСТ 3.1407—86 оформляется в виде отдельного технического документа — операционной технологической карты (Приложение 2). В единичном и мелкосерийном видах производства такие карты обычно не оформляют, а детализируют непосредственно маршрутную технологию.

Технологическая карта является основным производственным документом, в котором приводятся все данные по технологии изготовления изделия. Выполнение положений, зафиксированных в утвержденной технологической карте, строго обязательно.

При разработке серийной технологии изготовления большое значение имеет использование типовых технологических процессов, обобщенных для групп элементов с общностью конструктивных и технологических признаков. На рис. 22.1 приведена обобщенная схема технологического процесса изготовления сварных конструкций с указанием его основных этапов.

Заготовительные работы. Заготовительные работы являются важным этапом технологического процесса изготовления сварных конструкций. Для таких изделий в основном используют детали, образованные из заготовок листового полуфабриката, профилей, а также механически обработанных отливок, поковок и т.п.

Заготовительные работы, в свою очередь, можно разделить на два основных этапа: раскрой — разрезание полуфабриката (полу-

чение заготовок); формообразование деталей из полученных заготовок. При необходимости иногда вводится предварительная очистка и правка полуфабриката. Раскрой полуфабриката составляет по трудоемкости порядка 10 % всего объема заготовительных работ, а формообразование — 90 %, при этом более половины этого объема связано с формированием деталей из листа. Качество и способы выполнения заготовительных работ оказывают большое влияние на трудоемкость и качество выполнения последующих операций сборки и сварки, в значительной степени определяют возможность использования специализированной оснастки и средств автоматизации, а следовательно, определяют возможность сокращения производственного цикла и достижения заданных требований к изделию.

При *раскройных работах* важным фактором снижения себестоимости деталей является рациональное использование материала. Нужно стремиться к максимальному снижению технологических отходов.

Обычно раскрой выполняется по разметке или шаблонам. Методы разделения полуфабрикатов на заготовки назначают в зависимости от поставленных требований, особенностей производства и вида полуфабриката. Для листовых полуфабрикатов обычно применяют процессы механической резки с помощью ножниц или штампов различного типа. Для выполнения прямолинейных резов применяют гильотинные ножницы, для криволинейных — дисковые и вибрационные ножницы, вырубные штампы. Для листовых заготовок со сложным контуром применяют фрезерование на станках. Для получения заготовок из профилей и труб используют пресс-ножницы или различного типа пилы: дисковые, ленточные, абразивные и т. п.

Для толстолиствого полуфабриката (толщиной 5... 100 мм) при заготовительных работах широко используют термические способы резки: газопламенная, газоплюсовая, плазменно-дуговая. Выпускаемое оборудование позволяет вести процесс в автоматическом режиме с использованием следящих и копирующих систем. Одновременно можно вести разделительную резку и выполнять профилирование кромок под сварку.

Формообразование деталей чаще всего производят способами холодного деформирования (гибка, обтяжка, вытяжка, выдавливание и т. д.). Высокая производительность, низкая технологическая себестоимость и высокий коэффициент использования материала с сохранением его высоких прочностных характеристик способствуют широкому применению процессов холодного деформирования в различных отраслях промышленности. Так, более 80 % деталей сварных узлов для современных самолетов, автомобилей, вагонов изготавливают холодным деформированием, при этом получают детали весьма сложных конструктивных форм и разнообраз-

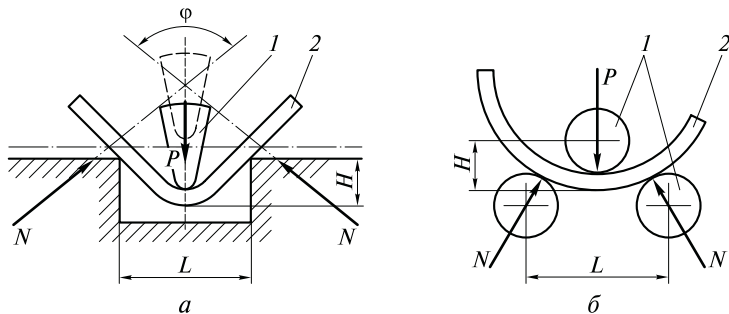


Рис. 22.2. Технологические схемы гибки заготовок:

a — свободная гибка; *б* — гибка-прокатка; 1 — инструмент; 2 — заготовка; *N* — сила реакции; *P* — усилие гибки; *L* — расстояние между опорами инструмента; *H* — глубина деформации; φ — угол между силами

разных габаритов. При проектировании конструктивных элементов и назначении способов формообразования необходимо учитывать особенности таких процессов и их технологические возможности.

Гибка является одним из наиболее широко применяемых способов холодного деформирования. К гибке относятся все процессы формообразования деталей одинарной кривизны (с кривизной в одной плоскости), основанные на упругопластическом изгибе внешними нагрузками на листовых, профильных или трубчатых заготовках. Гибка производится на универсально-гибочных штампах (свободная гибка) или прокаткой на валковых или роликовых станках типа ПГ-3; ПГ-4 (рис. 22.2). Для изготовления деталей переменной кривизны из прессованных и гнутых профилей симметричного и несимметричного сечений применяется гибка обтягиванием по оправке на профилегибочных станках ПГР-6, ПГР-8 (рис. 22.3). Длина используемых заготовок 1 000...9 000 мм, угол загиба $\leq 220^\circ$. Формообразование деталей из труб производят механизированной гибкой на трубогибочных станках типа ТГС-2М по оправке или проталкиванием через спе-

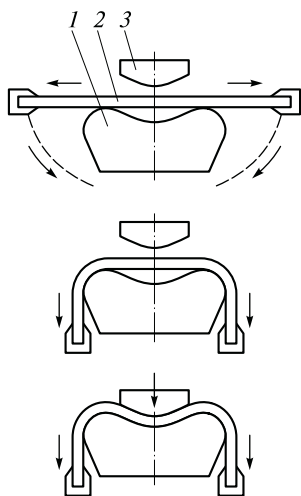


Рис. 22.3. Схема гибки профилей обтягиванием по оправке:

1 — оправка; 2 — заготовка; 3 — вспомогательный пуансон

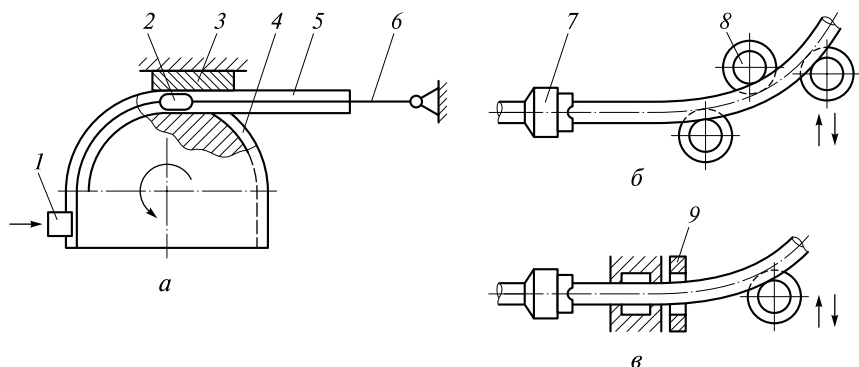


Рис. 22.4. Схема механизированной гибки труб:

а — по оправке; *б* — через роликовую головку; *в* — через фильеру с нагревом; 1, 3 — прижимы; 2 — дорн; 4 — оправка; 5 — труба (заготовка); 6 — тяга; 7 — фильера; 8 — формирующий ролик; 9 — индуктор

циальные роликовые и фильерные головки, при этом обеспечиваются высокая чистота поверхности и минимальное искажение профиля трубы (рис. 22.4).

Для получения из листовых заготовок деталей двойной кривизны, т.е. с кривизной в двух взаимно-перпендикулярных плоскостях, применяют различные способы холодного деформирования (обтяжку, штамповку, выдавливание и др.) с использованием специального инструмента (оправок, штампов, копиров и т. п.).

Формообразование крупногабаритных деталей из листовых заготовок, отличных от тел вращения, наиболее часто производят обтяжкой по профилированной оправке — пуансону (рис. 22.5, *а, б*). Процесс широко применяют для крупногабаритных деталей двойной кривизны с большим отношением радиуса кривизны к толщине материала. Процесс обработки сопровождается сложным изгибом, поэтому применением плоских заготовок удастся получать детали с неглубокими полостями. Возможности процесса значительно расширяются при использовании предварительно изогнутых заготовок. Еще большие возможности обеспечивает применение заготовок цилиндрической или конической формы (рис. 22.5, *в*). В зависимости от схемы приложения сил и формы заготовки различают обтяжку простую на обтяжных прессах типа ОП-3 и растяжно-обтяжную РО-1М и кольцевую по разжимному пуансону на прессах ПКД.

Вытяжка заключается в преобразовании незакрепленной по кромкам плоской заготовки в полу деталь замкнутого контура с помощью инструментальных штампов. Однако сложность этого процесса, высокие трудоемкость и стоимость инструментальных штампов делают его применение в условиях производства с ма-

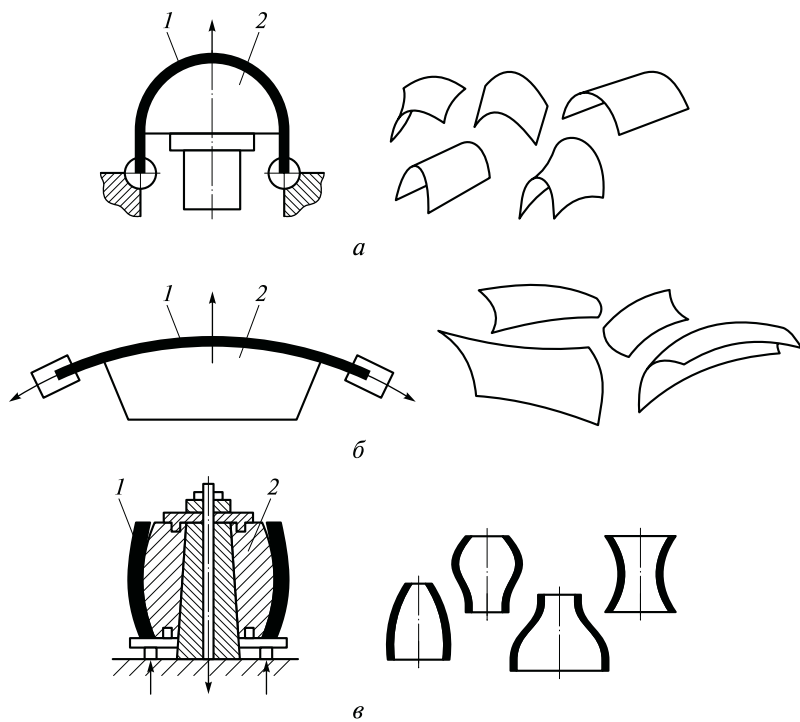


Рис. 22.5. Схема формообразования деталей из листа обтяжкой:
а — детали большой кривизны; *б* — детали малой кривизны; *в* — тела вращения;
1 — заготовка; *2* — пуансон

лой программой выпуска экономически дорогостоящим. В этом случае практический интерес представляют схемы процесса вытяжки, основанные на замене одного из элементов штампа универсальным, например эластичной резиновой матрицей в сочетании с жестким пуансоном — так называемая штамповка резиной на гидравлических прессах.

Выдавливание используется для формообразования деталей типа тел вращения из листового полуфабриката. Процесс заключается в разглаживании вращающейся заготовки по поверхности вращающейся оправки с помощью роликового инструмента (рис. 22.6). Под действием инструмента заготовка принимает форму оправки, точность деталей высокая. Выдавливание без утончения стенок детали применяют в условиях единичного и мелкосерийного производства.

Выдавливание с утончением заготовки относится к процессам объемного деформирования. Из заготовки большей толщины и меньшей длины получают деталь с меньшей толщиной и увеличе-

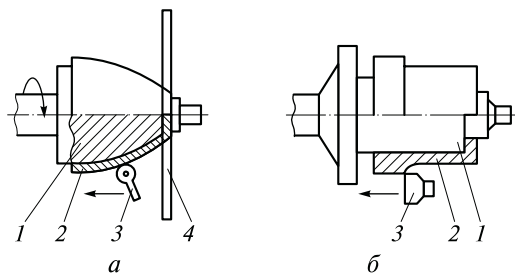


Рис. 22.6. Схема формообразования выдавливанием:

а — без утончения; *б* — с утончением; 1 — оправка; 2 — деталь; 3 — инструмент; 4 — заготовка

нием длины путем разглаживания ее по жесткой оправке формирующим роликом.

Для получения оболочек конической, овальной и цилиндрической формы диаметром до 1 200 мм и длиной 1 000...3 000 мм используют горизонтально-давилные станки СДГ-20, СРГ-1. Процесс позволяет изготавливать детали с высокой точностью и чистой поверхности, малой трудоемкости и с высоким коэффициентом использования материала.

Изготовление крупногабаритных деталей сложной формы, сферических днищ, различных оболочек больших размеров из листовых заготовок сопряжено с необходимостью использования уникального оборудования большой мощности. Изготовление деталей из некоторых высокопрочных и жаропрочных материалов известными способами является затруднительным, а иногда и невозможным. В связи с этим для формообразования деталей все шире применяются методы с использованием энергетических импульсов: энергии взрыва, высоковольтного разряда тока, импульсного электромагнитного поля и др. (рис. 22.7). Возникающие при боль-

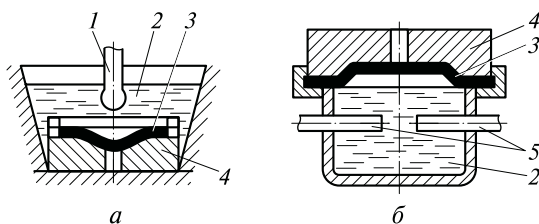


Рис. 22.7. Схема формообразования деталей с использованием энергетических импульсов:

а — энергии взрыва; *б* — электрогидравлическая; 1 — взрывчатый заряд; 2 — вода; 3 — заготовка; 4 — матрица; 5 — электроды

ших скоростях деформирования инерционные силы существенно изменяют напряженно-деформационное состояние заготовки, что позволяет получать не только детали больших размеров, но также детали из высокопрочных и малопластичных материалов. Применяемые установки для формообразования энергетическими импульсами отличаются универсальностью, недороги и несложны, что при частой смене объектов производства имеет важное значение.

Подготовка деталей перед сборкой и сваркой. Поверхности деталей, полученных после заготовительных операций, особенно после формообразования, имеют на себе следы различных загрязнений: масла, краски, окалины, оксидных пленок. Подобные загрязнения соединяемых деталей влекут за собой загрязнение и снижение качества металла швов, их неудовлетворительное формирование, появление несплавлений и прожогов при сварке, поэтому для получения качественного сварного соединения необходимо провести перед сваркой специальную подготовку поверхности деталей или мест их соединения. Такая подготовка заключается в очистке деталей от загрязнений, удалении окалины и поверхностных окислов.

Для удаления поверхностных жиров и масел детали обрабатывают в специальных ваннах с растворами щелочей, под действием которых происходит омыление жиров и переход их в раствор. Минеральные масла с щелочами образуют легко отделяемые от поверхности металла эмульсии. Неомыляемые жировые пленки удаляются с помощью органических растворителей: бензин, четыреххлористый углерод, трихлорэтилен и др.

Оксидные пленки удаляют механическим путем (металлическими щетками, обдувом песком, дробью и т. п.) или химическим путем — травлением. Способ удаления оксидов выбирается в зависимости от типа производства, конструкции соединяемых деталей и свариваемого материала. При большом объеме выпуска изделий следует предпочитать травление и пескоструйную обработку. В массовом и крупносерийном производстве травление является наиболее производительным процессом. Этот метод основан на способности кислот и щелочей растворять оксиды некоторых металлов. Обычно применяют водные растворы серной, азотной, ортофосфорной, плавиковой кислот и их смеси, водные растворы щелочей. Для травления требуется отдельное помещение, оборудованное ваннами, загрузочными устройствами, сушильными шкафами, вентиляцией, стоками жидкостей. Применяются два способа химической очистки: ванный (окунанием) и струйный (струйная обдувка). При струйном способе обработка идет интенсивнее, чем в ваннах.

Пескоструйная очистка деталей от окалины и поверхностных оксидов является универсальным и производительным способом,

но не отвечает современным требованиям промышленной санитарии и техники безопасности в связи с большим выделением кварцевой пыли. Сейчас все более широкое применение находит очистка деталей обдувом металлическим песком, получаемым из чуженой дробы, воздух при этом не загрязняется.

Сборка и сварка. После формирования и подготовки поверхностей детали поступают на сборку и сварку — наиболее ответственные операции в изготовлении сварных конструкций. Эти операции при разработке технологии чаще всего рассматривают совместно.

В общем виде сборка представляет собой совокупность операций по установлению деталей в положение, предусмотренное чертежом, для проведения последующей сварки. Основная цель разработки технологического процесса сборки заключается в определении наиболее выгодной последовательности и способа сварки отдельных деталей, обеспечивающих выполнение поставленных технических требований на изготовление данного изделия при минимальных затратах рабочей силы, времени и вспомогательных материалов. При разработке этого процесса следует стремиться к максимальной механизации сборочных работ путем широкого использования различного рода механизированного инструмента, рабочих и контрольных приспособлений. Необходимо стремиться исключать операции подгонки, опиловки, сверления по месту и т. п.

В зависимости от типа изделия устанавливают определенные технические требования на сборку. С позиций сварки требованием, входящим в технические условия, является соблюдение определенных конструктивных параметров сварных соединений. Так, специфической особенностью при сборке деталей, соединяемых встык сваркой плавлением, является соблюдение определенных зазоров между свариваемыми кромками. Величина зазоров зависит от толщины соединяемых элементов и устанавливается существующими нормативами.

Технологический процесс сборки характеризуется определенной трудоемкостью, а также определенным временем, называемым сборочным (сборочно-сварочным) циклом, в течение которого этот процесс выполняется. Трудоемкость зависит от степени совершенства конструкции, отработки технологического процесса, степени взаимозаменяемости собираемых элементов и их точности, энерговооруженности оснащения и оборудования. Цикл сборочных работ Π можно рассчитать по формуле

$$\Pi = T/n_0,$$

где T — трудоемкость процесса, ч; n_0 — число одновременно занятых рабочих в процессе.

На величину цикла существенное влияние оказывает выбор схемы сборочного процесса. Схема сборочного процесса — при-

нятая последовательность сборки сборочных единиц и соединения их в изделие.

В производстве сварных конструкций находят применение следующие схемы сборки и сварки (рис. 22.8):

- последовательная сборка и сварка элементов;
- полная сборка всей конструкции с последующей ее сваркой;
- параллельно-последовательная сборка и сварка.

Последовательная схема целесообразна для нерасчлененных на сборочные узлы конструкций, когда сварка полностью собранной конструкции невозможна, а другими схемами нельзя обеспечить необходимую точность из-за особенностей конструкции (например, из-за недостаточной ее жесткости). Ее выполняют последовательным наращиванием отдельных элементов. Требуемая точность может быть достигнута применением промежуточных опе-

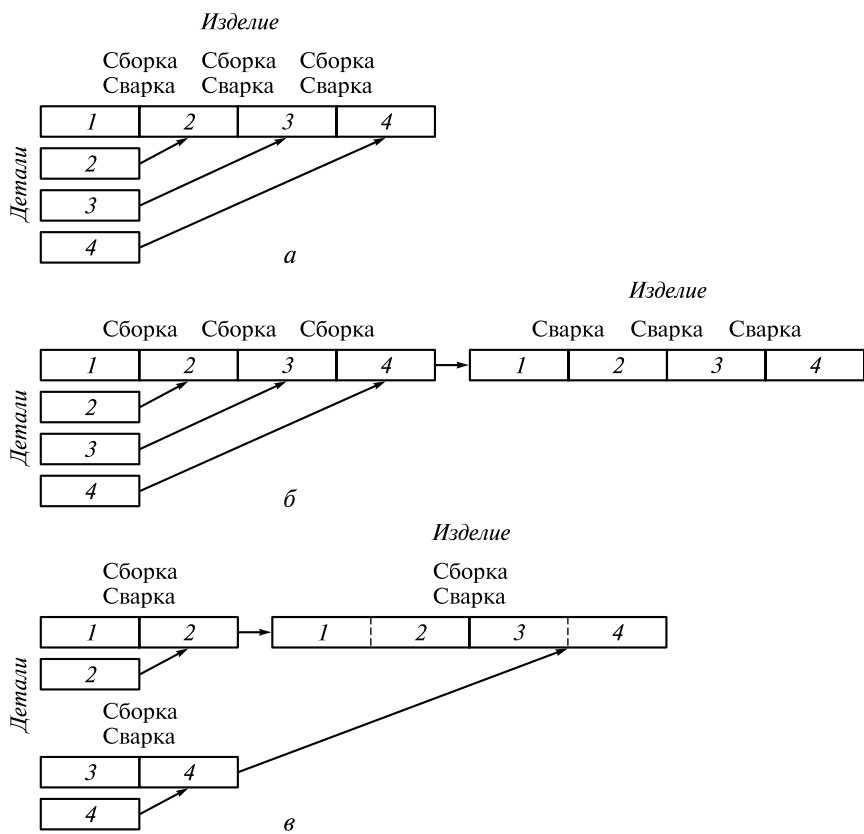


Рис. 22.8. Схемы сборки и сварки сварных конструкций:

а — последовательная; б — полная; в — параллельно-последовательная

раций правки. Сборка и сварка при такой организации процесса менее производительны, так как при их последовательном выполнении ограничивается фронт работ и уменьшается число работающих, цикл сборочных работ Σ увеличивается.

Схему полной сборки конструкции с последующей ее сваркой обычно используют для сравнительно простых изделий или изделий, состоящих из небольшого числа деталей с легко доступными для выполнения соединениями. Конструкции вначале полностью собирают, закрепляя элементы съемными фиксаторами, прихватками и т. п., после чего ее передают на сварочный участок для сварки всех соединений. Фронт работ при этом расширяется, цикл сборочных работ Σ уменьшается. Схема используется при различных типах производства. Технологический процесс сборки и сварки в зависимости от программы выпуска, массы и конструкции изделий может быть механизирован и автоматизирован.

Параллельно-последовательную схему используют при изготовлении сложных конструкций, расчлененных на крупные сборочные единицы — узлы. Сначала на параллельных линиях собирают и сваривают укрупненные сборочные единицы. Затем из готовых узлов собирают и сваривают конструкцию в целом. При такой схеме фронт работ и число занятых рабочих значительно увеличиваются, поэтому цикл сборочных работ Σ минимален, появляется возможность широко применять механизацию и автоматизацию технологических операций. Кроме того, удается избежать сварочных деформаций и легче осуществлять правку деформированных узлов, чем полностью сваренной конструкции. Это, в свою очередь, способствует повышению качества и точности изделий.

Содержание технологических операций сборочных процессов определяется применяемыми методами и способами базирования и сборки, от которых зависят точность и взаимозаменяемость собираемых конструкций, содержание сборочных работ, состав сборочной оснастки и оборудования и т. п.

В зависимости от типа производства, особенностей конструкции и технических условий сборку можно выполнять различными способами: по разметке, по шаблонам или первому изделию, по сборочным отверстиям, в приспособлениях (универсальных, специализированных и специальных).

Сборку по разметке ведут без приспособлений. Расположение деталей определяется разметкой по чертежу с последующим закреплением. Производительность способа низкая, его применяют в единичном или опытном производстве при изготовлении несложных изделий. Достижение заданной точности сборки возможно при большой затрате высококвалифицированного труда работающих.

Использование шаблонов или первого изделия для сборки позволяет упростить сборку и повысить производительность труда.

Сборка по сборочным отверстиям является прогрессивным способом и позволяет обеспечить высокую экономичность сборочных работ и достаточную точность. Препятствием для его широкого использования является конструктивное оформление изделий, часто затрудняющее или совсем не позволяющее применить сборку по отверстиям. В таких изделиях в качестве сборочных баз могут использоваться уже имеющиеся конструктивные отверстия. Иногда они могут быть запроектированы специально, как технологические, с последующим устранением, заваркой, заклепыванием и т.п. Такой способ упрощает сам процесс сборки и сборочную оснастку.

Наибольшую точность сборки при минимальной трудоемкости обеспечивает применение специальной сборочной оснастки, используемой обычно в условиях крупносерийного и массового производства. В условиях производства с малой программой выпуска находят применение универсальные и специализированные приспособления средней сложности.

Кроме сборочной оснастки на трудоемкость сборочных работ оказывает влияние качество деталей. При отсутствии достаточной точности и взаимозаменяемости их сборка усложняется необходимостью выполнения подгоночных операций и доработки деталей по месту. Элемент конструкции является взаимозаменяемым, если его геометрические и физические параметры находятся в пределах допусков, согласованных с допусками других собираемых элементов. При таком согласовании исключается необходимость подбора или доработки элементов при сборке и обеспечивается сборка конструкции в соответствии с установленными техническими условиями. С другой стороны, повышение точности деталей требует более дорогостоящего оборудования и проведения заготовительных работ.

При выполнении сборочных работ различают методы полной и неполной взаимозаменяемости, а также сборку с подгонкой деталей. По первому методу сборка осуществляется путем соединения деталей без какого-либо подбора, подгонки и других дополнительных работ с полным соблюдением технических требований к изделию. Необходимая точность изделия достигается за счет высокой точности изготовления деталей. Метод применяется при серийном и массовом производствах изделий, элементы которых подвергаются предварительной механической обработке.

Сборка по методу неполной взаимозаменяемости имеет место при доработке одной из соединяемых деталей размерной цепи или введении в нее специальных компенсаторов, чем достигается устранение отклонений от номинальных размеров и обеспечивается заданная точность на сборку. Это позволяет снизить требование к точности собираемых деталей, повысить точность изделия, не

прибегая к большому объему трудоемких подгоночных работ. Метод широко используется в авиационной промышленности, автомобилестроении и других отраслях.

Сборка по методу подгонки осуществляется путем индивидуальной доработки и доводки каждой из соединяемых деталей. Такой метод находит применение в единичном, мелкосерийном производстве, когда экономически не выгодно иметь сложную оснастку и оборудование для изготовления деталей с высокой точностью. Сборка выполняется в два этапа: предварительная и окончательная. Первый этап вводится с целью подгонки деталей с последующей обработкой их поверхности. Подогнанные и подготовленные детали поступают на окончательную сборку и сварку — второй этап.

В большинстве случаев после сборки осуществляют прихватку деталей для создания необходимой жесткости конструкции, сохранения ее неразъемности и взаиморасположения деталей при сварке. При этом очень важно соблюдать заданные технические условия, поэтому в каждом конкретном случае необходимо тщательно анализировать поведение конструкции при выполнении сварочных операций, в связи с чем выбирают способ выполнения прихваток, последовательность их постановки, интервал между ними и места расположения, что обязательно должно отмечаться в технологической документации.

Сварка является основной операцией технологического процесса производства сварных конструкций. Качество ее выполнения во многом определяет работоспособность и прочность изделий, поэтому разработка технологии выполнения сварочных операций является основным моментом проектирования всего технологического процесса.

Выбор способа сварки определяется установленными техническими требованиями на изготовление изделия, его конструктивными особенностями, типом выполняемых соединений, типом и толщиной материала, видом производства, производительностью и экономичностью сварочного процесса. Сведения о последовательности сборки и сварки, применяемых способах, режимах, сварочных материалах, сварочном оборудовании и технологической оснастке, квалификации работающих, нормы времени на выполнение каждого перехода, а также нормативы по расходу сварочных материалов и энергии должны быть отражены в технологических картах.

В зависимости от особенностей конструкции для различных групп изделий можно отметить преимущественное применение разных процессов сварки.

Так, для группы решетчатых конструкций (фермы, мачты и т. п.), состоящих из деталей профильного полуфабриката и имеющих короткие швы, различным образом ориентированные в про-

странстве, обычно широко используется ручная дуговая сварка покрытыми электродами, а также полуавтоматическая плавящимся электродом в углекислом газе.

Для изделий типа сварных балок и рам, имеющих швы большой протяженности, используется автоматическая сварка под флюсом и в среде углекислого газа.

При изготовлении изделий типа корпусов тяжелого оборудования из толстолистовых элементов, поковок и отливок применяют электрошлаковую сварку и многослойную автоматическую под флюсом.

Для листовых конструкций из различных материалов в машиностроении широкое применение находит автоматическая сварка в защитных газах вольфрамовым электродом с присадкой или плавящимся электродом с использованием автоматических сварочных станков и поточных линий.

При изготовлении сварных узлов в машиностроительных конструкциях производство часто отличается сложностью и многообразием цеховых маршрутов. Это связано с наличием большого числа различных технологических методов обработки, применяемых при изготовлении деталей того или иного изделия. Последнее вытекает из высоких требований, предъявляемых к качеству выпускаемой продукции, часто весьма сложной конструкции, а также многообразия марок применяемых материалов. В связи с этим технологическая отработка изделий и процесса их изготовления имеет большое значение при подготовке производства и сказывается на качестве и себестоимости продукции, поэтому вопросам разработки технологических процессов необходимо уделять серьезное внимание в период подготовки объекта к запуску в производство.

Контрольные вопросы

1. Каковы роль и особенности сварочного производства?
2. Охарактеризуйте направления развития современного машиностроения.
3. Перечислите основные производственно-технологические достоинства сварных конструкций.
4. Каковы взаимосвязь и различие в понятиях сварка и сварочное производство?
5. В чем заключается технологическая подготовка сварочного производства?
6. В чем заключается технологическая отработка сварных конструкций?
7. Что понимается под технологическим процессом?
8. Перечислите основные этапы технологического процесса изготовления сварных конструкций.

МЕХАНИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

23.1. Технологическое оснащение производства

Технологический процесс производства сварных конструкций должен обеспечивать возможность сокращения сроков его освоения и снижение производственных затрат при одновременном достижении высокой производительности, качества и надежности выпускаемых изделий.

Успешное решение данной проблемы в значительной степени определяется оснащенностью сварочного производства, причем выбор варианта оснащения в каждом конкретном случае должен учитывать не только техническую возможность выполнения запроктированных операций с соблюдением предъявляемых требований, но и технико-экономическую оптимальность.

Средства технического оснащения технологических процессов обычно разделяют на две группы. К первой группе относятся технические средства, обеспечивающие общую возможность выполнения технологических операций запроктированными методами обработки (штамповка, сварка, механообработка и т. п.). Эта группа технических средств получила название *основного технологического оборудования*. К ней относятся дуговые сварочные автоматы, источники питания дуги, сварочные машины и т. п. Ко второй группе относятся технические средства оснащения, призванные облегчить изготовление или создать благоприятные условия для выполнения технологических операций с использованием основного технологического оборудования применительно к конкретным особенностям обрабатываемых изделий. Подобные средства оснащения называют *технологической оснасткой*.

Сварочное оборудование выпускается специализированными предприятиями. В большинстве случаев оно обладает большой степенью универсальности и предназначено для осуществления непосредственно самого сварочного процесса без конкретизации относительно того или иного обрабатываемого изделия. Однако, исходя из конструктивно-технологических особенностей изготавливаемых конструкций, для выполнения соединений той или иной формы требуется закрепление изделия в определенных положениях, перемещение или поворачивание их в процессе сварки. Осуществляется это за счет применения технологической оснастки, представляющей собой приспособления для закрепления и перемещения свариваемых конструкций. Такие приспособления позво-

ляют не только облегчить выполнение соединений, но и уменьшить возникающие деформации, повысить производительность, обеспечить безопасные условия работы. Наконец, как правило, сварка неразрывно связана с проведением сборки соединяемых деталей, поэтому необходимы приспособления для сборочных работ, обеспечивающие выполнение заданных технических условий, предъявляемых с целью повышения качества изготовления сварных соединений и достижения проектных параметров конструкции. Весь отмеченный комплекс технических устройств рассматривается как сборочно-сварочная оснастка или приспособления. Применение сборочно-сварочной оснастки во многом обуславливает не только получение высококачественных изделий, но и достижение высоких производственных показателей, поэтому правильность выбора и разработка сборочно-сварочной оснастки являются важными элементами технологической подготовки сварочного производства в целом.

В общем балансе средств производства специальная технологическая оснастка занимает важнейшее место и располагается вслед за технологическим оборудованием. Но если парк оборудования с изменением конструкции изделия при технологической подготовке изменяется незначительно, то технологическая оснастка обычно подвергается радикальным изменениям, даже полной замене, поэтому затраты на ее создание составляют важнейшую часть расходов по технологической подготовке. Так, в авиационной промышленности трудоемкость проектирования и изготовления технологического оснащения достигает 60...80 % от общей трудоемкости технологической подготовки серийного производства, а по времени изготовления — до 90 % всего цикла подготовки. Поэтому снижение трудоемкости и сроков создания оснастки является одним из основных способов сокращения затрат на подготовку производства. Значительный эффект дает нормализация оснастки, основанная на использовании унифицированных и стандартизированных деталей и узлов.

23.2. Классификация сборочно-сварочной оснастки

Сборочно-сварочная оснастка в общем оснащении технологических процессов современного сварочного производства, как правило, занимает ведущее место. Ее характер определяется многими факторами, в первую очередь конструктивно-технологическими особенностями изготавливаемых конструкций. С другой стороны, степень оснащенности технологических процессов в значительной степени зависит от вида производства. Наиболее оснащены технологические процессы при массовом и крупносерийном производстве и менее — при единичном и мелкосерийном. Это

объясняется в основном экономическими соображениями. Номенклатура применяемой сборочно-сварочной оснастки исключительно широка и многообразна, однако по ряду признаков она может быть классифицирована по группам, различающимся по своим конструктивным особенностям и технологическим возможностям.

По функциональному назначению и задачам, выполняемым в технологическом процессе, сборочно-сварочная оснастка разделяется на сборочные, сварочные и сборочно-сварочные приспособления.

Сборочные приспособления предназначены для осуществления сборки изготавливаемых конструкций из отдельных деталей или узлов с обеспечением требуемых технических условий с закреплением их с помощью прихватки или съемных фиксаторов.

Сварочные приспособления обеспечивают выполнение непосредственно сварочных операций при получении сварных соединений того или иного вида. В такие приспособления конструкции устанавливаются в собранном, предварительно закрепленном состоянии. В этом случае в технологическом процессе необходимо применение сборочных и сварочных приспособлений.

В *сборочно-сварочных* приспособлениях может производиться сборка и сварка конструкции с одной установки. При этом в большинстве случаев удается исключить необходимость применения прихватки.

В зависимости от вида производства, степени и широты применения приспособления подразделяют на универсальные, специализированные и специальные. *Универсальные* приспособления могут быть использованы для выполнения операций, соответствующих их функциональному назначению, применительно к широкому кругу обрабатываемых конструкций, различающихся по своим конструктивно-технологическим характеристикам. С повышением степени специализации приспособлений широта применяемости их резко уменьшается. Так, *специализированные* приспособления используются для обработки лишь определенной группы однотипных изделий, обладающих общностью конструктивно-технологических признаков и различающихся по типоразмерам. Еще в большей степени ограничивается область использования *специальных* приспособлений, предназначенных для обработки лишь определенного вида изделий. Однако с увеличением специализации приспособлений, как правило, возрастают их точность и производительность, поэтому такие приспособления обычно используются при оснащении крупнопрограммных видов производства.

В зависимости от характера работы и способа приведения в действие приспособления разделяют на ручные, механизированные и автоматизированные (или автоматические). *Ручные* приспособления для работы требуют затрат ручного труда и приводятся в действие за счет усилий работающего. *Механизированные* приспособ-

собления приводятся в действие за счет использования какого-либо вида энергии (сжатого воздуха, жидкости, электрической энергии). *Автоматическими* считаются приспособления, в которых не только приведение в действие, но и управление производится за счет какого-либо вида энергии помимо усилий работающего. В этом случае затраты труда человека необходимы лишь на настройку и запуск в работу.

Приспособления также могут быть быстродействующими с минимальными затратами вспомогательного времени, одно- и многопозиционными. В зависимости от габаритов и веса изделий приспособления могут быть переносными или стационарными, а также неподвижными, перемещающимися или поворотными в процессе работы.

23.3. Назначение и особенности сборочно-сварочной оснастки

Использование сборочно-сварочной оснастки в технологическом процессе изготовления сварных конструкций предусматривает решение целого ряда задач. Основные из них — обеспечение условий качественного выполнения сварных соединений и изготовления конструкций с заданными техническими параметрами и взаимозаменяемостью, упрощение технологии сборки и сварки, снижение трудоемкости и повышение производительности сборочно-сварочных работ, предотвращение или уменьшение сварочных деформаций.

Использование сборочно-сварочной оснастки позволяет расширять технологические возможности сварочного оборудования, обеспечивать условия стабилизации качества выполняемых работ и является необходимым условием повышения общего уровня механизации и автоматизации сварочного производства. Сборочно-сварочные приспособления могут входить в состав сварочных установок, встраиваться в поточные механизированные и автоматизированные линии, причем за счет технологической оснастки открывается возможность механизировать и автоматизировать как основные, так и вспомогательные операции технологических процессов. С другой стороны, использование сборочно-сварочной оснастки предусматривает решение вопросов социального характера в сварочном производстве. Применение совершенных приспособлений позволяет исключить или резко уменьшить необходимость использования тяжелого или малопродуктивного труда, в большей степени обеспечить условия безопасности для работающих. Таким образом, широкое применение сборочно-сварочной оснастки является важным фактором научно-технического прогресса сварочного производства, позволяющего комплекс-

но решать не только сложные технико-экономические вопросы, но и вопросы социально-общественного значения. Анализируя характер сборочно-сварочной оснастки, необходимо отметить, что она обладает рядом особенностей, отличающих ее от оснастки, обычно применяемой при других технологических процессах, связанных с обработкой и изготовлением конструкций в машиностроении. Так, в приспособлениях для механической обработки обычно закрепляют отдельные обрабатываемые детали или узлы из нескольких деталей, предварительно соединенных друг с другом, изделие же под сварку собирают обычно из значительного числа различных деталей, установка которых в приспособлениях ведется последовательно, а фиксирование и закрепление их чаще всего осуществляется независимо друг от друга.

В приспособлениях для механической обработки крепление изделий должно обеспечивать их полную неподвижность в процессе обработки. В сварочном приспособлении свободное перемещение отдельных свариваемых деталей за счет изменения их размеров в процессе нагрева и остывания при сварке часто является необходимым. В связи с этим в них часто применяют комбинированную сборку деталей, предусматривающую жесткое фиксирование одних деталей в сочетании со свободной установкой других, обеспечивающих возможность изменения их размера при нагреве и охлаждении.

Сварочные приспособления в отличие от приспособлений для механической обработки, как правило, не испытывают в работе каких-либо значительных воздействий от процесса обработки (сварки) помимо действия массы самого установленного изделия. С другой стороны, они часто подвержены воздействию высоких температур при прихватке или сварке. В связи с этим в таких приспособлениях необходимо предусматривать меры для уменьшения деформирования конструкций, развивающегося вследствие температурных воздействий, поэтому в каждом конкретном случае необходимо тщательно анализировать условия выполнения сборочно-сварочных операций, выявлять особенности их взаимосвязи с приспособлениями и обязательно учитывать при выборе сборочно-сварочной оснастки.

23.4. Механизация и автоматизация сварочного производства

Общие сведения. Под механизацией производственного процесса понимают оснащение его техническими средствами, обеспечивающими замену в нем ручного труда работой машин и механизмов. При механизированном исполнении технологических операций человек выполняет лишь некоторые вспомогательные действия и

управляет средствами механизации. Высшей степенью механизации является автоматизация производственного процесса. Автоматизация предусматривает освобождение человека от ручного выполнения любых действий в технологическом процессе и непосредственного его управления автоматическими средствами оснащения. В этом случае обслуживающий персонал осуществляет наладку и наблюдение за правильностью работы технических средств оснащения.

Механизация и автоматизация существенно различаются по своему содержанию, но в то же время имеют тесную взаимосвязь. Автоматизировать можно только высокомеханизованный процесс, поэтому автоматизация рассматривается как высшая степень механизации.

Механизация и автоматизация могут быть частичными и комплексными. Частичная механизация и автоматизация охватывают часть производственного процесса. В этом случае речь идет об отдельных операциях. При комплексном решении весь производственный процесс выполняется с помощью машин и механизмов, установленных в порядке последовательности выполнения операций в соответствии с технологическим маршрутом. В сварочном производстве механизация и автоматизация достигаются за счет применения различных приспособлений, специальных сварочных установок, использования робототехники, создания поточных механизированных и автоматизированных линий, на которых механизированными способами осуществляются работы по заготовке, сборке, сварке и транспортировке сварных изделий, а в ряде случаев — и их отделке.

При решении вопросов механизации и автоматизации в сварочном производстве в первую очередь внимание уделяется сборочно-сварочным работам, которые во многом определяют качество и изготовление изделий.

Механизация и автоматизация сборочных работ. Сборка включает в себя технологические действия, обеспечивающие подлежащим сварке деталям необходимое взаиморасположение, заданное чертежом, с закреплением их специальными устройствами или прихватками. Для выполнения этих работ используют сборочные приспособления, представляющие собой комбинацию различных конструктивных элементов, закрепленных на общем основании и работающих в соответствии со схемой собираемости изделия, поэтому такие приспособления рассматривают как комбинированные. По функциональному назначению в них выделяют следующие группы элементов: установочные и закрепляющие элементы, стягивающие и распорные устройства, специальные устройства.

Установочные элементы, или фиксаторы (рис. 23.1), обеспечивают правильность установки деталей в приспособлении и точность сборки. Их различают по назначению (для разных поверхно-

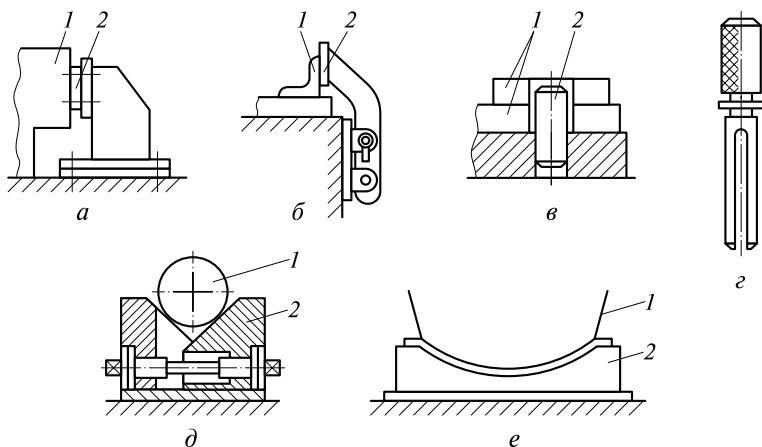


Рис. 23.1. Установочные элементы в сборочных приспособлениях:

a — постоянный упор; *б* — откидной упор; *в* — палец; *г* — съемный палец; *д* — призма; *e* — ложемент; 1 — деталь; 2 — фиксатор

стей собираемых деталей) и по конструктивному исполнению. Среди них выделяют: упоры — для установки деталей по базовым (чаще всего плоским) поверхностям; установочные пальцы и оправки — для фиксации деталей по отверстиям; призмы и ложементы — для фиксации цилиндрических и конических деталей или деталей с различной кривизной поверхности; шаблоны и съемные кондукторы — для установки одних деталей в заданное положение по другим, ранее установленным деталям этого же узла.

Закрепляющие элементы, или прижимы (рис. 23.2), предназначены для закрепления в фиксированном положении деталей в процессе сборки и прихватки и удержания от смещения в процессе сварки. По конструкции их можно разделить на клиновые, винтовые, эксцентриковые, рычажные и комбинированные; по характеру работы — на ручные (приводимые в действие усилием рабочего) и механизированные (оборудованные специальными приводами).

Стягивающие и распорные устройства применяют для силового воздействия на собираемые детали, выравнивания кромок, поджатия сварочных подкладок, калибровки сваренных обечаяк и т. п. По принципу действия и устройству они близки с элементами первых групп.

В группу *специальных устройств* входят все элементы, по своему назначению не относящиеся к ранее отмеченным (сварочные подкладки и узлы их крепления, копирные устройства, элементы привода т. п.). Отдельные элементы (прижимы, стяжки, струбцины и др.) могут использоваться в качестве переносной универ-

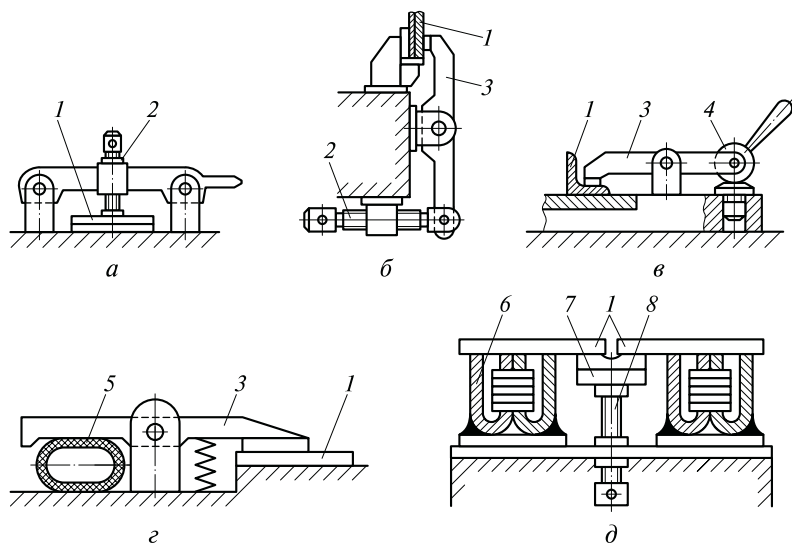


Рис. 23.2. Закрепляющие элементы:

a — винтовой; *б* — рычажно-винтовой; *в* — эксцентриковый; *г* — пневмошланговый; *д* — электромагнитный; 1 — деталь; 2 — винт; 3 — рычаг; 4 — эксцентрик; 5 — шланг; 6 — электромагнит; 7 — сборочная подкладка; 8 — поджим

сальной оснастки. Однако для выполнения сборочно-сварочных работ для узлов сложной конструкции необходимо применение комбинированных приспособлений.

Сборочные стелды представляют собой приспособления с одной (чаще горизонтальной) базовой поверхностью. Они имеют неподвижное основание с размещенными на нем установочными и прижимными элементами (рис. 23.3). В зависимости от вида производства стелды могут быть универсальными и специальными.

Сборочные стелды (рис. 23.4) применяются в тех случаях, когда крупногабаритные изделия имеют сложную конфигурацию с

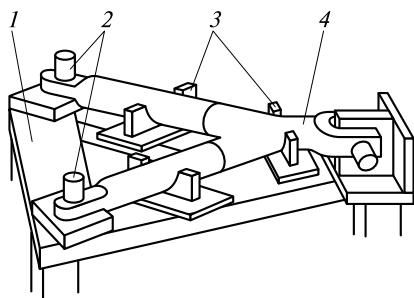


Рис. 23.3. Стелд для сборки элемента шасси:

1 — основание; 2 — фиксирующие пальцы; 3 — ложементы; 4 — изделие

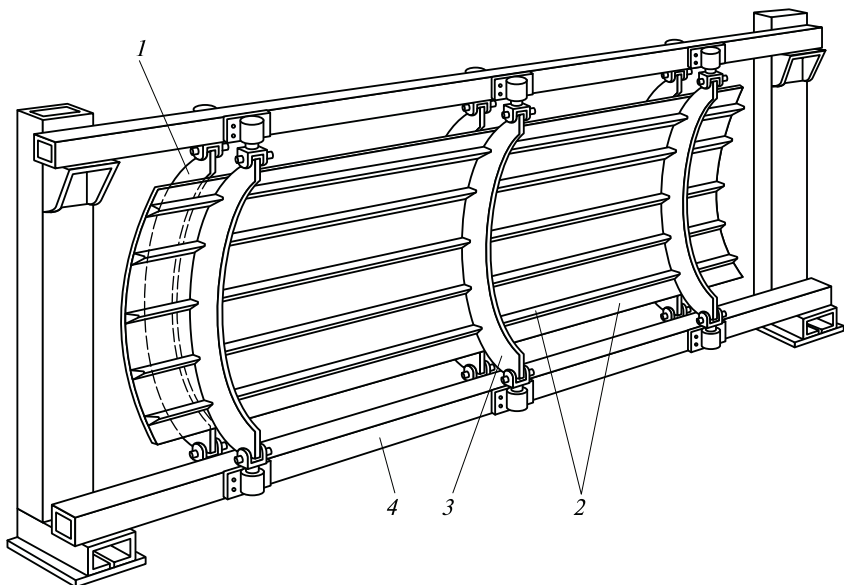


Рис. 23.4. Стапель для сборки панелей:

1 — рычаг (прижим); 2 — детали изделия; 3 — шаблон; 4 — основание

расположением деталей в разных плоскостях (панели, емкости, корпуса и т. п.).

Сборочные кондукторы — приспособления типа стенда или стапеля, состоящие из жесткого основания плоской или пространственной формы с размещенными на нем элементами. Точность сборки изделия обеспечивается за счет точности самого приспособления, поэтому оно должно отличаться повышенной точностью изготовления и жесткостью оснований.

Для механизации сборочных приспособлений их элементы оснащаются специальными быстродействующими приводами (пневматическими, гидравлическими, электрическими). Это в целом повышает уровень механизации всего технологического процесса.

Механизация и автоматизация сварочных работ. Оборудование для механизации сварочных работ можно разделить на две группы: оборудование для закрепления и перемещения свариваемых изделий; оборудование для установки и перемещения сварочной аппаратуры относительно изделия и передвижения сварщиков. Обычно в сварочном приспособлении узел устанавливается в собранном и прихваченном состоянии. Приспособление должно обеспечивать возможность фиксации узла в положении, удобном для сварки того или иного соединения, или его перемещение в процессе сварки с заданной скоростью. В сварочной практике распро-

странено использование комбинированных сборочно-сварочных приспособлений, позволяющих производить сборку и сварку в том же приспособлении, минуя прихватку. Поэтому приспособления для сварки помимо установочных и закрепляющих элементов имеют дополнительные устройства для выполнения сварки тем или иным способом (сварочные подкладки, узлы их крепления, приводы и др.). В зависимости от вида изделия и сварных соединений можно выделить ряд основных типов комбинированных сварочных и сборочно-сварочных приспособлений.

Сварочные стелды представляют собой приспособления с одной неподвижной (чаще горизонтальной) базовой поверхностью с установочными крепежными элементами и используются для сварки прямолинейных швов. Типичными представителями являются электромагнитные стелды для сборки и сварки крупногабаритных полотнищ с продольными и поперечными швами широко распространенных в судостроении, вагоностроении, резервуаростроении и других отраслях. Стелд для сварки продольных швов обечайек приведен на рис. 23.5.

В сварных конструкциях сложных форм швы могут располагаться в разных пространственных положениях. В этом случае от приспособления требуется возможность перемещения изделия в положение для сварки того или иного соединения в нем или вращение изделия с заданной скоростью при автоматической сварке. В зависимости от характера движения, особенностей конструкции, способа сварки различают следующие виды подвижных приспособлений: поворотные столы, манипуляторы, позиционеры, кантователи, вращатели.

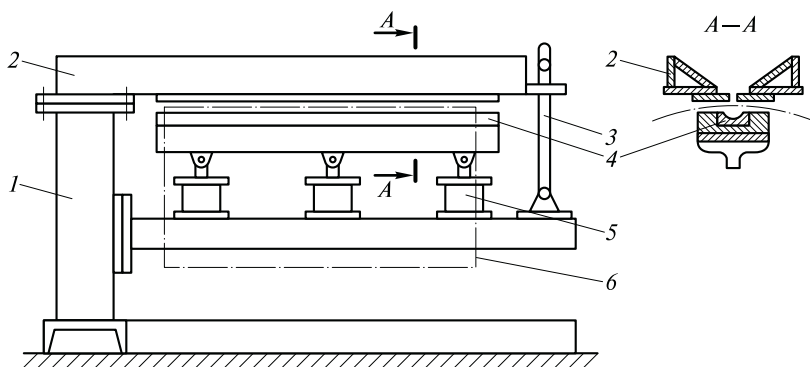


Рис. 23.5. Стелд для сварки продольных швов обечайек:

1 — основание; 2 — прижим; 3 — тяга; 4 — подкладка; 5 — пневмоцилиндр; 6 — обечайка

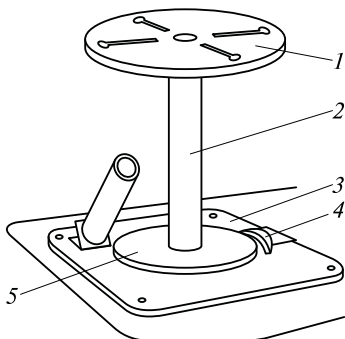


Рис. 23.6. Поворотный стол сварщика:

1 — планшайба; 2 — поворотная колонка; 3 — основание; 4 — фрикцион; 5 — поворотный диск

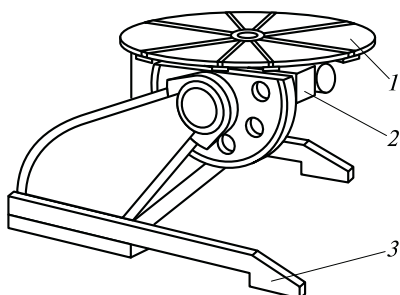


Рис. 23.7. Манипулятор:

1 — планшайба; 2 — привод; 3 — основание

Поворотные столы (рис. 23.6) являются наиболее простым видом подвижных приспособлений и используются для ручной или механизированной сварки не крупных узлов. Типовой стол (например, ССП-0,06) состоит из основания 3 с установленной на нем поворотной колонкой 2 и планшайбой 1, на которой закрепляется изделие. Поворот планшайбы осуществляет сварщик с помощью поворотного диска 5. Фиксацию нужного положения производят фрикционным механизмом.

Манипуляторы (рис. 23.7) — наиболее сложный вид подвижных приспособлений, снабженных специальными приводами. Они позволяют осуществлять наклон планшайбы с изделием в нужное положение и вращать их с заданной скоростью при сварке.

Позиционеры предназначены для установки изделия в нужное положение и позволяют поворачивать его вокруг горизонтальной и вертикальной осей. В отличие от манипуляторов они не имеют рабочей скорости в процессе сварки.

Кантователи предназначены для установки изделий в удобное для сварки положение путем поворота их вокруг горизонтальной оси. Во время сварки они, как и позиционеры, неподвижны.

Вращатели (рис. 23.8) предназначены для закрепления изделия в постоянно заданном положении и вращения его со скоростью сварки при выполнении кольцевых и круговых швов. Они бывают с вертикальной, горизонтальной или наклонной осью вращения.

Для выполнения автоматической сварки создаются сварочные установки (рис. 23.9), включающие в себя помимо приспособлений устройства для крепления и перемещения сварочных автоматов относительно изделия. Такие устройства могут быть конструк-

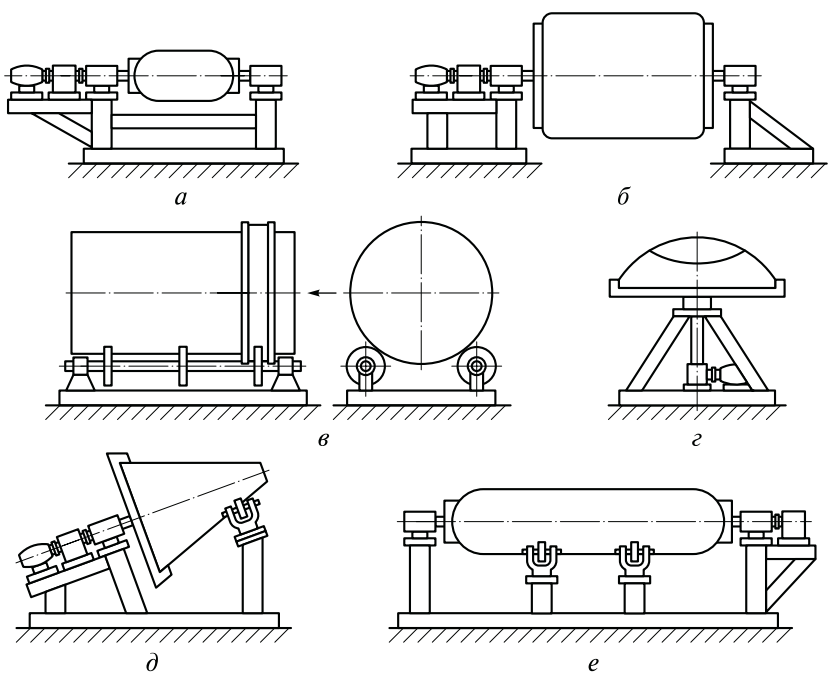


Рис. 23.8. Схемы вращателей для сварки кольцевых швов:

a — с торцевыми планшайбами; *б* — с раздельными стойками; *в* — роликовый стенд; *г* — для круговых швов; *д* — для конических обечаяек; *е* — для длинных изделий

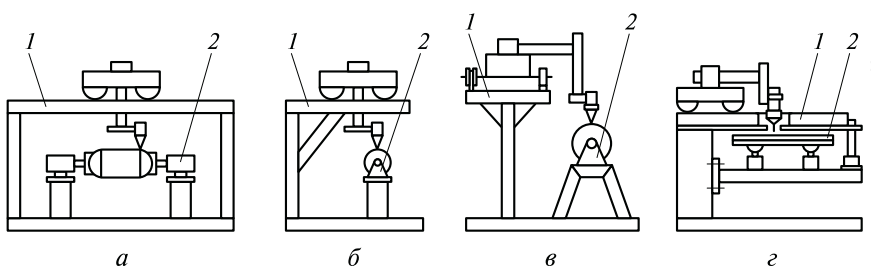


Рис. 23.9. Установки для автоматической сварки:

a — порталные; *б* — консольные; *в* — со смещенными направляющими; *г* — с совмещенными направляющими; 1 — направляющие для автомата; 2 — приспособление

тивно связанными с приспособлением или выполнены раздельно. В последнем случае устройства снабжаются индивидуальным приводом и могут перемещаться с установочной или скоростью сварки при выполнении прямолинейных или кольцевых швов.

23.5. Поточные механизированные и автоматические линии

Поточной линией называют комплекс оборудования, взаимно связанного и работающего с определенным заданным ритмом по единому технологическому процессу. Поточная механизированная сборочно-сварочная линия представляет собой комплекс оборудования, расположенного в порядке последовательности выполнения технологического процесса и обеспечивающего механизированное выполнение всех операций по изготовлению сварного изделия.

По признаку механизации и автоматизации различают несколько типов поточных линий:

- с частичной механизацией, при которой используется ручная и механизированная сварка, а остальные процессы производственного цикла (раскрой металла, резка, сборка и др.) выполняются вручную;
- с комплексной механизацией, когда механизированы несколько операций, например применяются механизированная резка и сварка, а также другие вспомогательные действия для их выполнения;
- с частичной автоматизацией, при которой основные процессы (сварка, резка) автоматизированы, а остальные работы (заготовка, сборка и др.) выполняются с применением механизированного инструмента и приспособлений с использованием ручного труда.

Высшим типом являются поточные линии с комплексной автоматизацией. Автоматическая сборочно-сварочная линия представляет собой комплекс оборудования, выполняющего без непосредственного участия человека в определенной технологической последовательности и с определенным тактом все операции технологического маршрута. Примером автоматической линии могут служить сборочно-сварочные автоматические линии для производства сварных труб большого диаметра со спиральным швом, на которых с помощью автоматов под наблюдением небольшого количества операторов осуществляются все операции по изготовлению труб из стальной ленты.

Особое значение в автоматизации сварочного производства имеет оснащение его оборудованием с программным управлением. Например на газорезательной машине «Кристалл» с программным управлением можно вырезать заготовки деталей из стальных листов толщиной до 100 мм. Машина управляется автоматически по заданной программе.

Применение сварочного оборудования с программным управлением экономически оправданно в условиях массового и крупносерийного производства.

23.6. Промышленные роботы для сварки

Промышленный робот — это автоматическая машина, представляющая собой манипулятор с перепрограммируемым устройством управления для выполнения в производственном процессе двигательных и управляющих функций, заменяющих аналогичные функции человека при перемещении предметов производства и технологической оснастки.

Промышленный робот является универсальной технологической системой для выполнения разнообразных действий, свойственных человеку в процессе его трудовой деятельности. Отличительным признаком промышленного робота от других видов роботов является его применение в производственном процессе.

Промышленный робот, обладая большими силовыми возможностями, позволяет освободить человека от монотонного, тяжелого, утомительного, а иногда и вредного или опасного труда. В итоге повышается стабильность качества изделий, возможно ускорение процесса производства.

Роботы могут действовать с любой позиции и на любом уровне в пространстве. Современный промышленный робот для сварки может быть определен как манипуляционная система, оснащенная техническими средствами ведения сварочного процесса, с программным управлением координатами сварочного инструмента и изделия и параметрами сварочного режима. Сварочный робот состоит из собственно робота и пульта управления. Робот имеет подвижную руку с захватом, которые обладают свободой пространственных перемещений, в какой-то степени имитируя руку человека. В захвате закрепляется инструмент (сварочная горелка).

Большинство сварочных роботов имеют 3—5 возможных движений в пространстве (степеней свободы). Комбинирование этих движений позволяет устанавливать сварочную горелку в любых положениях и перемещать ее в любых направлениях в пределах зоны действия робота (рис. 23.10).

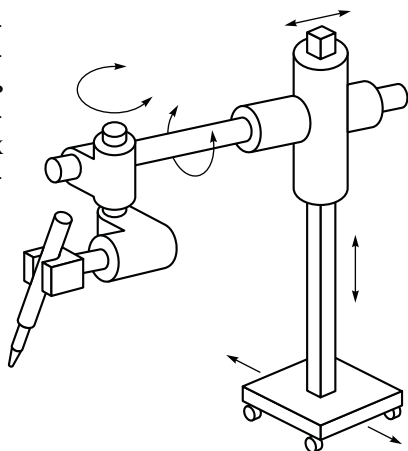


Рис. 23.10. Степени свободы движения робота

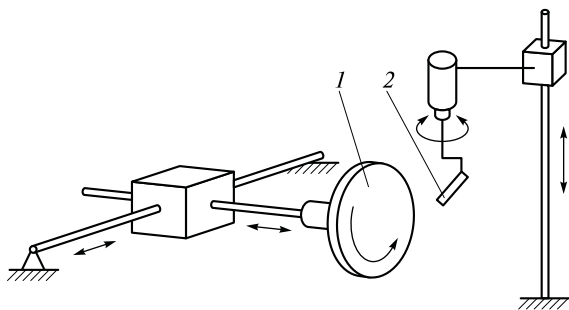


Рис. 23.11. Сочетание робота с манипулятором:

1 — манипулятор; 2 — сварочная горелка

При дуговой сварке в ряде случаев целесообразно разделять функции между манипулятором (роботом), служащим для перемещения сварочного инструмента, и манипулятором, служащим для перемещения свариваемого изделия. При этом оба устройства работают совместно, связанно, по единой программе (рис. 23.11). Такой прием позволяет упростить кинематическую схему и снизить число потребных степеней свободы самого робота. Программа, по которой сварочный робот выполняет свои движения, заранее вводится в его запоминающее устройство. Одним из основных преимуществ роботов наряду с автоматизацией процесса является возможность легкой и быстрой смены программы в зависимости от смены свариваемого изделия.

В настоящее время в промышленности используют роботы первого поколения, работающие по жесткой программе. Существенным недостатком роботов первого поколения является требование высокой точности сборки свариваемых деталей и их расположения в рабочем пространстве робота. В настоящее время созданы роботы второго поколения с системами обратной связи, с помощью которых рабочая программа и манипуляции робота автоматически корректируются при изменении положения изделия или его отдельных элементов. Управление таких роботов снабжено микропроцессорной вычислительной техникой.

Наряду с совершенствованием обычных промышленных роботов создаются специальные, действующие в экстремальных (сложных, труднодоступных, опасных для человека) условиях.

Контрольные вопросы

1. Охарактеризуйте технологическое оснащение сварочного производства.
2. Что понимается под сборочно-сварочной оснасткой и какова ее классификация?

3. Каковы назначение и особенности сборочно-сварочной оснастки?
4. Какие задачи решают с помощью сборочно-сварочной оснастки?
5. Что понимается под механизацией и автоматизацией и в чем заключаются их связь и различие?
6. Охарактеризуйте оснастку для выполнения сборочных работ, ее назначение и содержание.
7. Охарактеризуйте оснастку для выполнения сборочных и сборочно-сварочных работ, ее назначение и содержание.
8. Какие существуют разновидности поточных производственных линий?
9. Расскажите о применении в сварочном производстве промышленных роботов.

ОРГАНИЗАЦИЯ ТРУДА В СВАРОЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

24.1. Организация технологических и производственных служб

Рост технического уровня производства требует систематической разработки и внедрения новых и совершенствования существующих технологических процессов. Эта работа выполняется соответствующими технологическими службами. А в проектно-конструкторских организациях созданы специальные технологические отделы и группы, задачей которых является технологическая отработка конструкций в период их проектирования. Большое значение имеет организация технологических служб на предприятиях. Система организации их различна и зависит от масштаба производства, его технического уровня, специфики производства. На заводах, где объем сварочного производства относительно невелик, техническое руководство осуществляется отделом главного технолога, в состав которого входит сварочное бюро или сварочная группа.

На предприятиях со значительным объемом производства сварных конструкций организуются самостоятельные отделы главных сварщиков с непосредственным подчинением их главному инженеру завода, их функции аналогичны функциям отделов главного технолога или металлурга. Эти сварочные службы выполняют работы по технологической подготовке и несут непосредственную ответственность за механизацию и автоматизацию сварочного производства, внедрение и освоение прогрессивных процессов, а также качество выполнения сварочных работ.

Структура отдела главного сварщика на разных предприятиях может иметь свои особенности, но основные задачи их сводятся к следующему:

- контроль технологичности сварных конструкций, разрабатываемых конструкторскими службами предприятия или проектно-конструкторскими организациями и поступающих в производство;
- разработка и внедрение в производство прогрессивных процессов, обеспечивающих повышение производительности труда и качество сварных конструкций, а также комплексное обеспечение цехов сварочного производства технологической документацией и другими руководящими материалами;
- контроль за соблюдением технологической дисциплины в цехах предприятия, изучение и анализ причин возникновения дефектов в сварных соединениях и разработка мероприятий по их устранению;

- разработка и внедрение технологической оснастки для выполнения сборочно-сварочных работ, планировка и организация сборочно-сварочных постов;

- контроль использования и загрузки сварочного оборудования, сварочных материалов, подготовка заявок на сварочные материалы, методическое руководство повышением квалификации работающих; эти задачи обрабатываются соответствующими подразделениями системы отдела главного сварщика.

Сварочное производство в машиностроении характеризуется обширной номенклатурой сварных конструкций и масштабами производства в различных отраслях. В зависимости от этих условий применяют различные принципы организации производственных подразделений сварочного производства. В основе организации основных цехов лежит технологическая, предметная или смешанная форма их специализации.

По первой форме цехи специализируются на выполнении определенных технологических процессов по изготовлению и обработке различных деталей (сборочных единиц) для всей номенклатуры изделий данного предприятия. В этом случае изделие последовательно проходит через ряд цехов (заготовительный, механической обработки, сборочно-сварочный и т.д.). Такой принцип организации характерен в первую очередь для предприятий с единственным и мелкосерийным производством.

По предметной форме цехи специализируются на изготовлении одного или нескольких наименований однотипных конструкций с применением разнообразных технологических процессов (заготовительного, сборочного, сварочных и др.). Организуется законченный цикл производства определенных конструкций в пределах цеха. Такой принцип эффективен для предприятий с серийным и массовым производством. Однако при этом необходимо учитывать, что наличие одинакового оборудования в различных цехах часто сопровождается его неполной загрузкой.

Часто на предприятиях применяют смешанную (предметно-технологическую) форму специализации цехов. В этом случае часть цехов может быть организована по технологическому принципу, а часть — по предметному. Например, заготовительные работы организуются по технологическому принципу, а обрабатывающие и сборочно-сварочные — по предметному. Такая форма обладает большей гибкостью и способствует снижению потребности в однотипном технологическом оборудовании и увеличению его загрузки. Правильный выбор организации сварочного производства на основе глубокого анализа номенклатуры изделий, технологических процессов, их оснащения средствами механизации и автоматизации обеспечивает возможность изготовления сварных конструкций с высокими технико-экономическими показателями.

24.2. Разделение труда в производстве

На предприятиях различают три основные формы разделения труда: функциональную, технологическую и квалификационную.

Функциональное разделение труда предполагает подразделение всех работников предприятия на отдельные группы в зависимости от выполняемых ими функций в производстве. Так, непосредственное выполнение технологического процесса осуществляют основные рабочие; работы, способствующие осуществлению технологического процесса, выполняют вспомогательные рабочие; управление и регулирование производственным процессом возложены на инженерно-технических работников и служащих; уборку производственных помещений и поддержание порядка на производстве осуществляет младший обслуживающий персонал, сюда же входят курьеры, гардеробщики, пожарная и сторожевая охрана и т.п. Все эти работники относятся к группе промышленно-производственного персонала.

Главными функциональными группами на предприятиях являются основные и вспомогательные рабочие, труд которых непосредственно создает материальные ценности. Разделение труда между этими группами рабочих основано на отделении труда основных рабочих от труда вспомогательных. Вспомогательные рабочие заняты обеспечением рабочих мест материалами и полуфабрикатами, в их функции входят ремонт и наладка оборудования, его обеспечение энергией, а также уборка, транспортировка, контрольные и другие операции. Такое разделение труда дает возможность увеличить время полезной работы основных квалифицированных рабочих. Кроме того, обеспечивается лучшее использование оборудования, так как основные рабочие не отвлекаются на выполнение вспомогательных и подготовительных работ. Признаком отнесения рабочих к категории основных является непосредственное выполнение ими операций по изготовлению продукции.

В сварочном производстве необходимо максимально освободить сварщиков от выполнения вспомогательных и обслуживающих операций. Обслуживание рабочего места сварщика должно быть построено таким образом, чтобы он своевременно получал производственное задание и необходимую технологическую документацию. Сварочные материалы, инструмент и приспособления должны доставляться на рабочее место вспомогательными рабочими. Необходимо обеспечить постоянную исправность оборудования, приспособлений и инструмента, бесперебойное снабжение рабочих мест всеми видами энергии и поддержание чистоты и порядка на рабочих местах. Настройка оборудования и мелкий его ремонт должны осуществляться наладчиками сварочного

оборудования, в обязанности которых входят также подналадка режима сварки и контроль за ним. Сборку изделий под сварку, как правило, производят слесари-сборщики. Сварные изделия предъявляются для контроля качества в большинстве случаев мастером участка. Доставка деталей и сборочных единиц на рабочее место сварщика, а также транспортировка готовых изделий должны производиться без непосредственного участия сварщика. Зачистку кромок перед сваркой, а также зачистку швов от шлака и брызг расплавленного металла, как правило, поручают подсобным рабочим.

Технологическое разделение труда заключается в разбивке всего производственного процесса на технологические операции и, как следствие, делении рабочих по профессиям (например, слесарь) и по группам (например, слесарь-сборщик, слесарь-ремонтник и др.).

Каждой профессии соответствует определенный по содержанию объем работ. Так, в сварочном производстве используется труд основных рабочих таких профессий, как правильщики металла, разметчики, резчики, сборщики, сварщики и т. п. Механизация и автоматизация труда влечет за собой более глубокое его разделение и вызывает появление внутри профессий более узких специалистов. Например, в профессии сварщика есть специальность электросварщика ручной дуговой сварки, электросварщика на сварочных автоматах, на полуавтоматах и др. Перечень профессий для всех отраслей содержится в Едином тарифно-квалификационном справочнике (ЕТКС).

Квалификационное разделение труда заключается в том, что в зависимости от сложности все работы и профессии рабочих различных специальностей разделяются по квалификационным разрядам. Такое разделение труда производится с учетом производственных навыков рабочих, опыта в работе, овладения теоретическими знаниями и общего уровня образования, необходимого для выполнения определенных работ.

Квалификационное разделение труда позволяет освободить рабочего высокой квалификации от работ, выполнение которых не требует квалифицированного труда, повысить его ответственность за итоги своей работы. В то же время выполнение рабочим операций, требующих более высокой квалификации, чем он имеет, может привести к снижению производительности труда и качества работы. В соответствии с квалификацией рабочего производится и оплата его труда.

В машиностроении в зависимости от сложности выполняемых работ предусмотрено шесть разрядов, по каждому из которых в ЕТКС приводится характеристика соответствующих требований, указывается необходимый перечень знаний, которыми должен обладать рабочий того или иного разряда.

24.3. Нормирование сварочных работ и себестоимость изделий

Одним из вопросов проектирования технологических процессов является нормирование его операций. Задачей нормирования является необходимость правильно рассчитать норму времени для выполнения той или иной операции в процессе изготовления конструкции.

Технически обоснованной нормой времени называют время, устанавливаемое на выполнение определенной операции при конкретных организационно-технических условиях с наиболее эффективным использованием оборудования и учетом передового производственного опыта. Ее нельзя рассматривать как предельную.

С развитием техники и усовершенствованием технологии, внедрением механизации и автоматизации, развитием рационализации и изобретательства непрерывно растет производительность труда, а следовательно, изменяется и норма времени.

Общая длительность изготовления конструкции складывается из суммарной длительности выполнения основных и вспомогательных операций технологического процесса, а также дополнительного времени, учитывающего пролеживание деталей в межоперационный период и др.

Норма времени T на основные операции (резка, сборка, сварка и т. д.) складывается из отдельных необходимых затрат времени:

$$T = t_{п-з} + t_o + t_b + t_{обсл} + t_{отд}$$

где $t_{п-з}$ — подготовительно-заключительное время, затрачиваемое рабочим на получение задания, ознакомление с чертежами и картами технологического процесса, подготовку оборудования, приспособлений, инструментов и материалов и сдачу выполненной работы; t_o — основное время, т. е. время непосредственного выполнения операции (при сварке — образование сварного шва путем расплавления основного и присадочного металла, т. е. время непрерывного горения сварочной дуги); t_b — вспомогательное время, затрачиваемое на вспомогательные действия, необходимые для выполнения основной операции: установку изделия, закрепления его в приспособлении, выставление инструмента относительно изделия, съём изделия после обработки; $t_{обсл}$ — время на обслуживание рабочего места, т. е. уход за оборудованием и поддержание порядка на рабочем месте (сюда относят время на установку режима сварки, включение и выключение сварочного оборудования, засыпку и уборку флюса, подачу защитного газа, перезарядку сварочной проволоки и приведение в порядок оборудования и рабочего места); $t_{отд}$ — время на нормируемый отдых и личные надобности.

Также при нормировании общее время определяют через основное время t_0 и коэффициент учета организации труда $K_{\text{уч}}$:

$$T = t_0 / K_{\text{уч}}.$$

Чем выше $K_{\text{уч}}$, тем выше организация труда. При ручной сварке $K_{\text{уч}} = 0,25 \dots 0,40$, при автоматической — $K_{\text{уч}} = 0,6 \dots 0,8$. Коэффициент $K_{\text{уч}}$ зависит от условий сварки и организации труда.

Основное время при ручной дуговой сварке (время горения дуги) определяется по формуле определения производительности сварки:

$$t_0 = (F_{\text{н}} h \gamma) / (\alpha_{\text{н}} I_{\text{св}}),$$

где $F_{\text{н}}$ — площадь поперечного сечения наплавленного металла, см²; l — длина шва, см; γ — плотность наплавленного металла, г/см³; $\alpha_{\text{н}}$ — коэффициент наплавки, г/(А · ч); $I_{\text{св}}$ — сварочный ток, А.

Основное время при автоматической однопроходной сварке можно рассчитать по формуле

$$t_0 = l_{\text{оп}} / v_{\text{св}},$$

где $l_{\text{оп}}$ — протяженность швов данного размера в узле, свариваемых за операцию, м; $v_{\text{св}}$ — скорость сварки шва данного размера, м/ч.

Замена ручной сварки механизированной и автоматизированной позволяет резко сократить основное время сварки. Например, при сварке толщиной 10...12 мм в нижнем положении вручную покрытым электродом можно сварить около 1 пог. м в час, а при автоматической сварке под флюсом труб такой же толщины скорость сварки может достигать 320 м/ч. Трудоемкость сварки в общей трудоемкости изготовления сварных конструкций составляет примерно 25...30 %, поэтому дальнейшее сокращение времени изготовления сварных конструкций наряду с механизацией и автоматизацией самой сварки предусматривается за счет комплексной механизации и автоматизации всех производственных операций, составляющих технологический комплекс изготовления сварной конструкции. Норма выработки является величиной, обратной норме времени, и показывает, какое количество работы выполнено за единицу времени (метры сварного шва, килограммы наплавленного металла, количество изготовленных деталей и т. п.).

Важнейшим производственным показателем любого производства является себестоимость продукции. Она характеризует все затраты в производстве, идущие на изготовление изделий. В сварочном производстве себестоимость сварных конструкций C определяется по формуле

$$C = C_{\text{м}} + C_{\text{з}} + C_{\text{цр}},$$

где C_m — стоимость материалов; C_z — заработная плата производственных рабочих с начислениями; $C_{цр}$ — цеховые расходы, включающие в себя расходы на электроэнергию, ремонт и амортизацию оборудования, оснастки и инструмента, вспомогательные материалы и т. п.

Задачей технологической подготовки производства является изыскание решений, позволяющих снизить себестоимость производства.

Контрольные вопросы

1. Каковы основные формы организации технологических и производственных служб в сварочном производстве?
2. Назовите существующие формы разделения труда производственных рабочих.
3. Каким образом нормируются сварочные работы?
4. Охарактеризуйте понятие себестоимости сварных конструкций и ее содержание.
5. Какие технологические меры позволяют снижать себестоимость выполнения сварных конструкций?

ОХРАНА ТРУДА, ПРОТИВОПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА

25.1. Охрана труда и техника безопасности

Общие сведения. Охрана труда — это комплекс технических и организационных мероприятий, направленных на создание безопасных условий труда работающих. Охрана труда прежде всего предусматривает предотвращение производственного травматизма. Основой улучшения условий труда являются новые методы производства, новая техника, комплексная механизация и автоматизация производства. Трудовым законодательством предусмотрен ряд льгот для рабочих-сварщиков. К сварочным работам допускаются лица не моложе 18 лет, прошедшие специальную подготовку и проверку теоретических знаний, практических навыков, знаний инструкций по технике безопасности. Продолжительность рабочего дня сварщика, работающего внутри замкнутых сосудов, — 6 ч. Сварщикам ежегодно предоставляется дополнительный оплачиваемый отпуск в зависимости от условий работы. Им выдаются спецодежда, защитные щитки и маски. При тяжелых и вредных работах сварщики получают специальное питание.

Обязанность создания нормальных условий труда сварщикам непосредственно на производственных участках и рабочих местах возлагается на мастеров и начальников участков. Организация каждого рабочего места должна обеспечивать безопасное выполнение работ. Рабочие места должны быть оборудованы различного рода ограждениями, защитными и предохранительными устройствами и приспособлениями. При правильно организованном производстве, обеспечении условий охраны труда и соблюдении правил техники безопасности и производственной санитарии сварка не представляет собой особо вредного и опасного технологического процесса. Однако для создания безопасных условий работы сварщиков необходимо учитывать кроме общих положений техники безопасности на производстве также и особенности выполнения различных сварочных работ. Такими особенностями являются возможные поражения электрическим током, отравления вредными газами и парами, ожоги излучением сварочной дуги и расплавленным металлом, поражения от взрывов баллонов со сжатыми и сжиженными газами.

Электробезопасность. Поражение электрическим током происходит при соприкосновении человека с токоведущими частями оборудования.

Для предупреждения возможного поражения электрическим током при выполнении электросварочных работ необходимо соблюдать основные правила. Корпуса оборудования и аппаратуры, к которым подведен электрический ток, должны быть надежно заземлены. Все электрические провода, идущие от распределительных щитов и на рабочие места, должны быть надежно изолированы и защищены от механических повреждений. Запрещается использовать контур заземления, металлоконструкций зданий, а также трубы водяной и отопительной систем в качестве обратного провода сварочной цепи. При выполнении сварочных работ внутри замкнутых сосудов (котлов, емкостей, резервуаров и т. п.) следует применять деревянные щиты, резиновые коврики, перчатки, галоши. Сварку необходимо проводить в присутствии человека, находящегося вне сосуда. Следует помнить, что для осветительных целей внутри сосудов, а также в сырых помещениях применяют электрический ток напряжением не более 12 В, а в сухих помещениях — не более 36 В. В сосудах без вентиляции сварщик должен работать не более 30 мин с перерывами для отдыха на свежем воздухе. Монтаж, ремонт электрооборудования и наблюдение за ним должны выполнять электромонтеры. Сварщикам категорически запрещается исправлять силовые электрические цепи. При поражении электрическим током необходимо немедленно выключить ток первичной цепи или освободить от его воздействия пострадавшего, обеспечить к нему доступ свежего воздуха, вызвать врача, а при необходимости до прихода врача сделать искусственное дыхание.

Защита зрения и открытой поверхности кожи. Электрическая сварочная дуга излучает яркие видимые световые лучи и невидимые — ультрафиолетовые и инфракрасные. Световые лучи оказывают ослепляющее действие, так как их яркость значительно превышает норму, допускаемую для человеческого глаза. Ультрафиолетовые лучи даже при кратковременном воздействии в течение нескольких секунд вызывают заболевание глаз, называемое электроофтальмией. Оно сопровождается острой болью, резью в глазах, слезотечением, спазмами век. Продолжительное действие ультрафиолетовых лучей приводит к ожогам кожи. Инфракрасные лучи при длительном воздействии вызывают помутнение хрусталиков глаз (катаракта), что может привести к ослаблению и потере зрения, тепловое действие этих лучей вызывает ожоги кожи. Защита зрения и кожи лица при дуговой сварке обеспечивается применением щитков, масок или шлемов, в смотровые отверстия которых вставляют светофильтры, задерживающие и поглощающие излучения дуги. В зависимости от мощности дуги применяют различные светофильтры. Для защиты окружающих от излучения дуги в стационарных условиях устанавливают закрытые кабины, а при строительных и монтажных работах — переносные щиты и ширмы. Для

предохранения сварщиков от ожогов от излучения дуги, а также брызг расплавленного металла необходимо надевать защитные рукавицы и специальную одежду (обычно брезентовые куртки и брюки). При выполнении вертикальных, горизонтальных и потолочных швов рекомендуется надевать брезентовые нарукавники.

Защита от вредного влияния выделяющихся газов и пыли. В процессе сварки выделяется значительное количество аэрозоля, состоящего в основном из оксидов железа (до 70 %), марганца, диоксида кремния и фтористых соединений, способных вызвать отравление работающего. Наряду с кратковременным отравлением, проявляющимся в виде головокружения, головной боли, тошноты, рвоты, слабости, отравляющие примеси могут откладываться в тканях организма человека и вызывать заболевания. Особое внимание обращается на концентрацию марганца, так как его наличие в воздухе в количестве $0,3 \text{ мг/м}^3$ и выше может вызвать тяжелые заболевания нервной системы.

Наиболее вредной является ручная дуговая сварка покрытыми электродами. При автоматических способах сварки количество выделений значительно меньше.

Под воздействием ультрафиолетового излучения дуги в зоне ее горения образуется озон, а при попадании в зону сварки воздуха — оксиды азота. Сварка под флюсом, содержащим плавиковый шпат, сопровождается выделением фтористых соединений. Все эти продукты являются весьма вредными для дыхательных путей человека. Подаваемый в зону сварки углекислый газ не ядовит, но под действием высокой температуры дуги он разлагается на кислород и оксид углерода, который, выходя из области высоких температур, вновь окисляется кислородом воздуха, снова превращаясь в углекислый газ. Последний более тяжелый, чем воздух, и скапливается в нижних частях помещения, вытесняя воздух. Это может привести к нехватке кислорода для дыхания сварщика, поэтому там, где ведется сварка в углекислом газе, а также в аргоне, необходимо устраивать отсосы из нижних частей помещений.

Из зоны сварки выделяется также и пыль — мелкие (до 1 мкм) частицы сконденсировавшихся паров. Состав пыли и ее количество зависят от состава защитного газа, свариваемого металла, применяемой электродной проволоки и режима сварки. Токсичность пыли зависит от ее состава и строения частиц. Наиболее высока концентрация пыли и вредных газов в облаке дыма, поднимающегося из зоны сварки, поэтому сварщик должен следить за тем, чтобы этот поток не попадал за щиток. Для удаления вредных газов и пыли из зоны сварки необходимо устройство внешней вентиляции, вытяжной и общеобъемной приточно-вытяжной цеховой. Приточно-вытяжная вентиляция должна обеспечивать обмен воздуха на 1 кг расплавленного металла в следующих объемах: при сварке углеродистых и низколегированных сталей в угле-

кислом газе — 3 000 м³, при сварке под флюсом — 2 000 м³, при сварке меди и ее сплавов — до 7 000 м³. В зимнее время приточная вентиляция должна подавать в помещение подогретый воздух. Отсосы местной вытяжной вентиляции на стационарных сварочных постах располагают в нижней задней части сварочного стола, а на подвижных сварочных постах рекомендуется использовать переносные отсосы. Успешно применяются также местные отсосы газа, устанавливаемые непосредственно на сварочных горелках и держателях при механизированной сварке.

При отравлении пострадавшего необходимо вынести на свежий воздух, освободить от стесняющей одежды и предоставить ему покой до прибытия врача, а при необходимости следует сделать искусственное дыхание.

Правила обращения с баллонами для сжатых и сжиженных газов. Электросварщику в процессе работы приходится пользоваться баллонами для сжатых (аргон, гелий и др.) и сжиженных (углекислый газ) газов. При работе с ними необходимо соблюдение следующих мер безопасности:

- не следует допускать падения баллонов, а также ударов их друг о друга;

- баллоны нужно переносить на носилках или перевозить на тележках;

- в летнее время баллоны необходимо защищать от нагрева солнечными лучами брезентом или другими средствами;

- открывать вентиль баллона следует плавно, без рывков, пользоваться специальным ключом;

- при замерзании баллонных вентилях и редукторов (что бывает при интенсивном отборе газа) отогревать их можно только горячей водой (применять открытый огонь нельзя);

- для понижения давления до рабочего следует пользоваться исправными газовыми редукторами, предназначенными для данного газа и окрашенными в соответствующий этому газу цвет.

Защита от ушибов и порезов. Ушибы и порезы чаще всего случаются при выполнении сборочно-сварочных работ и являются результатом неправильной организации рабочего места и нарушения правил ручного подъема и переноса тяжестей. В процессе сборки тяжелых и громоздких изделий необходимо применять кантователи, подъемники и другие механизированные подъемно-транспортные устройства. При этом нужно соблюдать все правила безопасности труда, предусмотренные для такелажных работ. Чтобы избежать порезов, уколов и других ранений, детали, имеющие острые кромки, следует собирать только в рукавицах.

Основными мерами по снижению травматизма являются продуманная с позиций безопасности работ технология заготовительных работ, сборки и сварки, правильное освещение рабочих мест и соблюдение персоналом правил техники безопасности.

25.2. Противопожарная безопасность

Причинами пожара при сварочных работах могут быть искры и капли расплавленного металла и шлака, неосторожное обращение с пламенем горелки при наличии горючих материалов вблизи рабочего места сварщика.

Опасность пожара особенно следует учитывать на строительномонтажных площадках и при ремонтных работах в непригодных для сварки помещениях.

Для предупреждения пожаров необходимо соблюдать следующие противопожарные меры:

- не допускается хранить вблизи от места сварки огнеопасные и легковоспламеняющиеся материалы, а также производить сварочные работы в помещениях, загрязненных промасленной ветошью, бумагой, отходами дерева и т.п.;

- запрещается пользоваться одеждой и рукавицами со следами масел, жиров, бензина, керосина и других горючих жидкостей;

- не допускается выполнять сварку и резку свежеекрасшенных масляными красками конструкций до полного их высыхания;

- запрещается выполнять сварку аппаратов, находящихся под электрическим напряжением, и сосудов, находящихся под давлением;

- не допускается проводить без специальной подготовки сварку и резку емкостей из-под жидкого топлива;

- при выполнении в помещениях временных сварочных работ деревянные полы, настилы и помосты должны быть защищены листами асбеста или железа;

- нужно постоянно следить за наличием и исправным состоянием противопожарных средств — огнетушителей, ящиков с песком, лопат, ведер, пожарных рукавов и т.п., а также содержать в исправности пожарную сигнализацию;

- после окончания сварочных работ необходимо выключить сварочный аппарат, а также убедиться в отсутствии горящих или тлеющих предметов. Средствами пожаротушения являются вода, пена, газы, пар, порошковые составы и др.

Для подачи воды в установки пожаротушения используют специальные водопроводы. Пена представляет собой концентрированную эмульсию диоксида углерода в водном растворе минеральных солей, содержащих пенообразующее вещество. При тушении пожара газами и паром используют диоксид углерода, азот, дымящие газы и др.

При тушении керосина, бензина, нефти, горящих электрических проводов запрещается применять воду и пенные огнетушители. В этих случаях следует пользоваться песком, углекислотными или сухими огнетушителями.

25.3. Охрана окружающей среды

Мероприятия по охране и рациональному использованию земли и ее недр, водных ресурсов, растительного и животного мира, по сохранению в чистоте воздуха и воды, обеспечению воспроизводства природных богатств и улучшению окружающей человека среды в годовых планах предприятий группируются по разделам: охрана и использование водных ресурсов, охрана воздушного бассейна, охрана и рациональное использование земель, охрана и использование минеральных ресурсов.

В сварочном производстве на многих предприятиях применяют систему оборотного водоснабжения, воду, используемую для охлаждения сварочного оборудования, многократно используют после ее естественного охлаждения.

Охрана воздушного бассейна предусматривает мероприятия по обезвреживанию вредных для человека и окружающей среды веществ, выбрасываемых с отходящими газами: сооружение очистных установок в виде мокрых и сухих пылеуловителей для химической и электрической очистки газов, а также для улавливания ценных веществ, утилизации отходов и др. Например, из отходящих продуктов сгорания производят сжиженный углекислый газ для сварочных и других целей.

Деятельность предприятия не должна нарушать нормальных условий работы других предприятий и организаций, ухудшать бытовые условия населения. С этой целью в годовых планах предусматриваются также меры борьбы с производственными шумами, вибрациями, воздействиями электрических и магнитных полей. Шум, создаваемый сварочным оборудованием, должен быть минимальным.

Источники питания сварочной дуги, а также ряд электрических устройств, применяемых в сварочных автоматах и полуавтоматах, создают помехи радио- и телеприему. С целью устранения этого явления во всех типах сварочного оборудования, создающего такие помехи, устанавливают помехозащитные устройства.

Контрольные вопросы

1. Какова цель мероприятий по охране труда и технике безопасности?
2. Расскажите о мерах защиты работающего от поражения электрическим током.
3. Каковы меры защиты сварщика от воздействия излучения сварочной дуги?
4. Каковы основные мероприятия по противопожарной безопасности при выполнении сварочных работ?
5. Изложите правила обращения с баллонами для газов.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Режимы некоторых видов сварки

Таблица П1.1

Значения силы тока при сварке покрытыми электродами

Марка электрода	Диаметр электрода, мм	Сила тока при сварке, А		
		в нижнем положении	в вертикальном положении	в потолочном положении
АНО-3	4	200	150	150
АНО-5	4	180	140	140
УОНИ-13/45	4	140	110	110
ВСЦ-4	4	150	130	130

Таблица П1.2

Режимы сварки в аргоне плавящимся электродом

Свариваемый металл	Толщина, мм	$d_{э}$, мм	$I_{св}$, А	$U_{д}$, В	$v_{св}$, м/ч	Расход газа, л/мин
Сталь	4	1,6	300	30	20	18
Титан	4	1,5	250	26	25	24
Алюминий	4	1,6	200	24	22	16

Таблица П1.3

Режимы сварки в аргоне вольфрамовым электродом

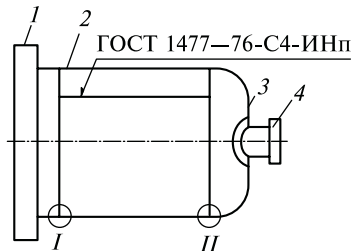
Свариваемый металл	Толщина металла, мм	$d_{э}$, мм	Диаметр присадки, мм	$I_{св}$, А	$U_{д}$, В	$v_{св}$, м/ч	Расход газа, л/мин
Сталь	3	3	2,0	200	14	30	8
Титан	3	3	1,6	180	13	25	18
Алюминий	3	3	1,6	200	20	30	10

Таблица П1.4

Режимы сварки стали в углекислом газе

Толщина, мм	$d_{э}$, мм	$I_{св}$, А	$U_{д}$, В	$v_{св}$, м/ч	Расход газа, л/мин
2	1,2	100	18	18	10
4	1,6	180	28	20	16
6	2,0	250	30	18	18
10	2,0	300	32	16	20

Технология изготовления корпуса реактора



Материал:

алюминиевый сплав АМгб;
толщина 3,0 мм.

Вид производства:

серийный.

Заготовительные работы:

фланец 1 — литье, механическая обработка;
обечайка 2 — резка (гиловинные ножницы), гибка-прокатка;
днище 3 — резка (дисковые ножницы), вытяжка в штампах;
патрубок 4 — литье, механическая обработка.

Решения при разработке ДТМ

1. Анализ технологичности конструкции:
конструкционный материал (сплав АМгб) обладает хорошей свариваемостью при дуговой сварке;

конструкция и тип соединений встык оптимальны для сварки плавлением;

все соединения имеют свободный двусторонний подход и швы удобных форм для выполнения автоматической сварки.

Заключение: конструкция относится к разряду технологичных.

2. При сварке сплав АМгб склонен к окислению и растворению водорода. Необходима защита инертным газом.

3. Для конструкции оптимальна параллельная схема сборки и сварки узлов 1, 2, 3 с последующей общей сборкой и сваркой их по стыкам I, II.

4. Для выполнения стыковых швов целесообразна автоматическая аргонодуговая электросварка вольфрамовым электродом с присадкой того же состава. Сварку выполнять на переменном токе.

5. В технологическом процессе необходимо использовать приспособления: сварочный стенд для продольных швов, манипулятор для круговых швов.

Маршрутная технологическая карта изготовления корпуса

Маршрут для узла 2

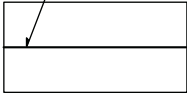
№ п/п	Операции	Метод обработки	Оборудование, оснастка	Режимы, материалы	Квалификация, разряд	Норма времени, мин
1	Подготовить поверхность деталей и присадки	Химическое травление	Ванны химической обработки	Растворы: NaOH, HNO ₃	Травильщик, 4	10
2	Собрать продольный стык детали 2	В приспособлении без прихватки	Сборочно-сварочный стенд	—	Слесарь, 4	10
3	Сварить продольный стык детали 2	Автоматическая аргодуговая сварка вольфрамовым электродом с присадкой	УСПО-1, 2 УДГ-301	$d_э, I_{св}, U_д, v_{св}$; аргон; присадка: АМг6, $d = 2$ мм	Сварщик, 5	20
4	Калибровать по диаметру деталь 2	Обтяжка	Пресс ПКД, разжимной пуансон	—	Слесарь, 3	15
5	Торцевать кромки детали 2 по длине в размер	Механическая обработка	Токарный станок, оправка	—	Токарь, 4	10
6	Контроль шва и размер	Визуально	Верстак, шаблон	—	Контролер, 4	10

Аналогично разрабатывается маршрут для узлов 1, 3.

Общая сборка и сварка узлов 1, 2, 3

№ п/п	Операции	Метод обработки	Оборудование, оснастка	Режимы, материалы	Квалификация, разряд	Норма времени, мин
16	Обезжирить кромки кольцевых стыков деталей I, 2, 3	Протирка растворителем	Верстак	Ацетон, хлопчатобумажные салфетки	Слесарь, 3	15
17	Собрать детали I, 2, 3 по разъемам I, II	В приспособлении без прихватки	Стапель с подкладными кольцами	—	Слесарь, 4	20
18	Сварить поочередно кольцевые швы I, II	Автоматическая аргодуговая сварка, вольфрамовый электрод с присадкой	УСК-22МК, УДГ-301	$d_э, I_{св}, U_д, v_{св}$; аргон; присадка: АМг6, $d = 2$ мм	Сварщик, 5	40
19	Контроль размеров и герметичности	Инструментальный, обдувом гелием	Верстак, гелиевый течеискатель	—	Контролер отдела технического контроля	30

Операционная технологическая карта

Наименование операции				Эскиз			
Сварить продольный стык детали 2				ГОСТ 14771–76-С4-ИНп 			
№ п/п	Переходы	Метод обработки	Оборудование, приспособления	Режимы	Материалы	Длина шва, м	Специальные указания
1	Установить и закрепить деталь 2 в приспособлении	Вручную	Сборочно-сварочный стенд	—	—	—	—
2	Выставить сварочный автомат по стыку	Вручную	—	—	—	—	—
3	Сварить продольный стык детали 2	Автоматическая аргонодуговая сварка вольфрамовым электродом с присадкой	УСПО-1, -2 УДГ-301	$d_{э}, I_{св}, U_{д}, v_{св}$	Аргон ВЛ10, $d = 3$ мм, АМг6 $d = 2$ мм	0,8	—
4	Контроль формирования шва	Визуально	Шаблон	—	—	—	Дефекты подварить
5	Снять деталь 2 с приспособления	Вручную	—	—	—	—	—
Подписана: _____			Квалификация Разряд		Сварщик 5 разряд	Норма времени	20 мин

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Андреев В. В.* Инверторные источники питания сварочной дуги // Сварщик. — 1999. — № 6. — С. 25—29.
2. *Виноградов В. С.* Оборудование и технология дуговой автоматической и механизированной сварки / В. С. Виноградов. — М. : Высш. шк., 2000. — 319 с.
3. *Волченков В. Н.* Контроль качества сварных конструкций / В. Н. Волченков. — М. : Машиностроение, 1986. — 152 с.
4. *Кобозев В. А.* Сварочные трансформаторы / В. А. Кобозев, В. В. Коваленко. — Ставрополь : [б. и.], 1998. — 227 с.
5. Оборудование для дуговой сварки : справочное пособие / под ред. В. В. Смирнова. — Л. : Энергоатомиздат, 1986. — 656 с.
6. *Розаренов Ю. Н.* Оборудование для электрической сварки плавлением / Ю. Н. Розаренов. — М. : Машиностроение, 1987. — 207 с.
7. *Рыбаков В. М.* Дуговая и газовая сварка / В. М. Рыбаков. — М. : Высш. шк., 1986. — 255 с.
8. Сварка и резка материалов / под ред. Ю. В. Казакова. — М. : Издательский центр «Академия», 2003. — 398 с.
9. Сварка — качество — конкурентоспособность : международная конференция : тез. докл. — М. : Полигам, 2002. — 214 с.
10. Теория сварочных процессов / под ред. В. В. Фролова. — М. : Высш. шк., 1988. — 559 с.
11. Технология и оборудование сварки плавлением / [Г. Д. Никифоров, Г. В. Бобров, В. М. Никитин, В. В. Дьяченко]. — М. : Машиностроение, 1986. — 320 с.
12. Технология и оборудование сварки плавлением и термической резки / [А. И. Акулов, В. П. Алехин, С. И. Ермаков и др.]. — М. : Машиностроение, 2003. — 258 с.
13. *Чернышев Г. Г.* Сварочное дело : сварка и резка металлов / Г. Г. Чернышев. — М. : Издательский центр «Академия», 2002. — 496 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
ЧАСТЬ I. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ДУГОВОЙ СВАРКИ	
Глава 1. Виды и способы сварки. Сварные соединения	5
1.1. Понятие о сварке и ее сущность	5
1.2. Классификация дуговой сварки	6
1.3. Сварные соединения и швы	10
1.4. Условные изображения и обозначения швов сварных соединений ..	15
1.5. Расчет прочности сварных соединений	18
Глава 2. Организация рабочих мест для дуговой сварки	21
2.1. Оборудование сварочных постов	21
2.2. Инструменты и принадлежности электросварщика	23
Глава 3. Электрическая дуга и ее применение при сварке	25
3.1. Природа сварочной дуги	25
3.2. Особенности дуги на переменном токе	29
3.3. Технологические свойства сварочной дуги	31
Глава 4. Тепловые процессы при дуговой сварке	34
4.1. Сварочная дуга как источник нагрева	34
4.2. Плавление металла электрода и его перенос в дуге при сварке	36
4.3. Производительность процесса дуговой сварки	37
Глава 5. Нагрев свариваемого металла	40
5.1. Общие сведения о нагреве металла при сварке	40
5.2. Формирование сварочной ванны	43
5.3. Параметры режима дуговой сварки и их влияние на форму и размеры сварочной ванны	46
Глава 6. Металлургические процессы при сварке	48
6.1. Общие сведения и особенности сварочных металлургических процессов	48
6.2. Основные процессы, протекающие при дуговой сварке	49
6.3. Особенности металлургических процессов при разных видах сварки	53
6.4. Кристаллизация сварочной ванны	55
6.5. Образование трещин и газовых пор в металле шва	58
6.6. Структура сварного соединения	60
Глава 7. Напряжения и деформации при сварке	63
7.1. Понятия о напряжениях и деформациях	63
7.2. Причины возникновения напряжений и деформаций при сварке	64

7.3. Уменьшение сварочных напряжений	67
7.4. Устранение сварочных деформаций	68
Глава 8. Свариваемость металлов и свойства сварных соединений	71
8.1. Понятие о свариваемости металлов	71
8.2. Оценка свариваемости металлов	72
8.3. Технологическая свариваемость конструкционных материалов	75
ЧАСТЬ II. СВАРОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ СВАРКИ	
Глава 9. Сварочные материалы	77
9.1. Присадочные материалы для сварки	77
9.2. Электроды для дуговой сварки	81
9.3. Сварочные флюсы	84
9.4. Защитные газы	88
Глава 10. Источники питания для дуговой сварки	90
10.1. Характеристики источников питания дуги и требования к ним	90
10.2. Сварочные трансформаторы	95
10.3. Сварочные выпрямители	102
10.4. Сварочные электромашинные генераторы и преобразователи	110
10.5. Источники питания с частотными преобразователями (инверторные)	112
10.6. Многопостовые источники питания дуги	114
10.7. Вспомогательные устройства для источников питания	115
Глава 11. Оборудование для дуговой автоматической сварки	118
11.1. Общие сведения и классификация автоматов для дуговой сварки	118
11.2. Комплектование и основные узлы сварочных автоматов	119
11.3. Принципы работы сварочных автоматов	121
11.4. Автоматы для сварки под флюсом	124
11.5. Автоматы для сварки в защитных газах	128
11.6. Газовая аппаратура, применяемая в автоматах для сварки в защитных газах	130
Глава 12. Оборудование для механизированной дуговой сварки	135
12.1. Общие сведения и классификация сварочных полуавтоматов	135
12.2. Устройство и основные узлы полуавтоматов	135
12.3. Электрические схемы полуавтоматов	137
12.4. Типовые конструкции сварочных полуавтоматов	139
Глава 13. Технология ручной дуговой сварки	143
13.1. Сущность способа и оборудование	143
13.2. Подготовка деталей под сварку	145
13.3. Режимы ручной дуговой сварки покрытыми электродами	146
13.4. Технология выполнения ручной дуговой сварки	148
Глава 14. Технология автоматической дуговой сварки под флюсом	154
14.1. Особенности процесса сварки под флюсом	154
14.2. Подготовка деталей под сварку	155
14.3. Режимы сварки под флюсом	157
14.4. Сварка под флюсом стыковых и угловых швов	161
14.5. Сварка под флюсом кольцевых швов	164

Глава 15. Технология автоматической дуговой сварки в защитных газах	166
15.1. Особенности сварки в защитных газах	166
15.2. Подготовка деталей и режимы сварки в защитных газах	168
15.3. Сварка неплавящимся электродом	170
15.4. Разновидности аргонодуговой сварки вольфрамовым электродом	173
15.5. Сварка в защитных газах плавящимся электродом	175
Глава 16. Технология дуговой механизированной сварки	180
16.1. Общие сведения о технологии механизированной дуговой сварки плавящимся электродом	180
16.2. Механизированная сварка порошковой проволокой	184
16.3. Механизированная сварка открытой дугой самозащитной проволокой	185
Глава 17. Технология и оборудование электрошлаковой сварки	187
17.1. Особенности процесса электрошлаковой сварки	187
17.2. Технология выполнения электрошлаковой сварки	189
17.3. Оборудование для электрошлаковой сварки	191
Глава 18. Дуговая наплавка и резка металлов	194
18.1. Общие сведения о наплавке	194
18.2. Способы и технология наплавки	196
18.3. Дуговая резка металлов	203
18.4. Плазменная резка металлов	204
ЧАСТЬ III. ОСОБЕННОСТИ СВАРКИ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И ПРОИЗВОДСТВО СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ	
Глава 19. Технология сварки сталей и чугуна	206
19.1. Общие свойства и классификация сталей	206
19.2. Сварка низкоуглеродистых и низколегированных сталей	208
19.3. Сварка легированных и углеродистых закаливающихся сталей	212
19.4. Сварка высоколегированных сталей и сплавов	216
19.5. Сварка чугуна	221
Глава 20. Сварка цветных металлов и сплавов	225
20.1. Общие сведения	225
20.2. Сварка алюминия и его сплавов	226
20.3. Сварка магниевых сплавов	233
20.4. Сварка титана и его сплавов	235
20.5. Сварка меди и ее сплавов	239
Глава 21. Дефекты и контроль качества сварных соединений	245
21.1. Общие сведения и организация контроля	245
21.2. Дефекты сварных соединений и причины их возникновения	246
21.3. Методы неразрушающего контроля сварных соединений	249
21.4. Методы контроля с разрушением сварных соединений	254
Глава 22. Технологическая подготовка сварочного производства	257
22.1. Понятие о сварочном производстве и его особенности	257
22.2. Классификация сварных конструкций	259
22.3. Роль, содержание и принципы технологической подготовки сварочного производства	260

22.4. Технологичность сварных конструкций и ее отработка	262
22.5. Разработка технологических процессов	267
Глава 23. Механизация и автоматизация сварочного производства	282
23.1. Технологическое оснащение производства	282
23.2. Классификация сборочно-сварочной оснастки	283
23.3. Назначение и особенности сборочно-сварочной оснастки	285
23.4. Механизация и автоматизация сварочного производства	286
23.5. Поточные механизированные и автоматические линии	294
23.6. Промышленные роботы для сварки	295
Глава 24. Организация труда в сварочном производстве	298
24.1. Организация технологических и производственных служб	298
24.2. Разделение труда в производстве	300
24.3. Нормирование сварочных работ и себестоимость изделий	302
Глава 25. Охрана труда, противопожарная безопасность и экологическая защита	305
25.1. Охрана труда и техника безопасности	305
25.2. Противопожарная безопасность	309
25.3. Охрана окружающей среды	310
Приложения	311
Приложение 1. Режимы некоторых видов сварки	311
Приложение 2. Технология изготовления корпуса реактора	312
Список литературы	316

Учебное издание

Виноградов Василий Сергеевич

Электрическая дуговая сварка

Учебник

9-е издание, стереотипное

Редактор *Е. В. Соловьева*. Технический редактор *Е. Ф. Коржуева*

Компьютерная верстка: *В. А. Крыжко*

Корректоры *Т. Н. Морозова, С. Ю. Свиридова*

Изд. № 709208225. Подписано в печать 12.08.2018. Формат 60 × 90/16.
Гарнитура «Таймс». Усл. печ. л. 20,0.