

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

ТОЛЬЯТТИНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

А. М. КОЗУЛИНА

ВВЕДЕНИЕ В СПЕЦИАЛЬНОСТЬ

КУЙБЫШЕВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ — 1981

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
РСФСР

Тольяттинский политехнический институт

А.М. Козулина

ВВЕДЕНИЕ В СПЕЦИАЛЬНОСТЬ

Учебное пособие



Кузнецовский авиационный институт - 1981

УДК 621.79

ПРОВЕРЕНО

0 5 ИЮН 2015

Изложена история развития сварки в нашей стране, дана классификация всех способов ручной сварки и сварочных материалов, рассмотрены вопросы металлургии и кристаллизации при сварке, вопросы свариваемости, характеристики сварочной дуги. Приведены типы сварных соединений и швов, описаны технология и техника ручной сварки. Изложены основные требования по технике безопасности при производстве сварочных работ.

Пособие предназначено для студентов специальности 0504.

Утверждено на совете института 19 ноября 1981 г.

ВВЕДЕНИЕ

В бронзовый и железный века, когда только начали осваивать металлы, для их соединения была использована кузнечная и литейная сварка.

В 1802 году русский ученый В.В.Петров открыл явление электрической дуги и доказал возможность её применения для расплавления металлов. В 1881 году русский ученый Н.Н.Бенардос изобрел способ дуговой сварки угольным электродом и устройство для сварки косвенной дугой. Для облегчения процесса сварки он сконструировал электрододержатели, окруженные газовыми горелками, и автомат для сварки угольным электродом. В 1887 году Н.Н.Бенардос получил патент на способ контактной сварки. Открытия Бенардоса усовершенствовал его современник Н.Г.Славянов. Заменяв угольный электрод металлическим плавящимся, он в 1888 году запатентовал способ сварки, названный способом электрической отливки металлов. Славянов создал первый в мире автомат для дуговой сварки металлов плавящимся электродом и предложил для получения прочных и надежных швов сварочную ванну защищать шлаком.

Серьезным стимулом для дальнейшего развития сварки был разработан в 1907 году шведским инженером Кальбергом на основе принципов, изложенных Славяновым, способ стабилизации дугового разряда и защиты зоны сварки от окружающего воздуха специальными веществами, наносимыми на поверхность электродного стержня в виде покрытия, что резко повысило качество сварных соединений. Первая мировая война ускорила развитие сварки: она начала применяться для ремонта и постройки судов в США, Германии, Австрии, Швеции. В нашей стране широкое использование сварки началось после победы Великой Октябрьской социалистической революции. В 1924 году на заводе "Электрик" в Ленинграде под руководством инженера Никитина была спроектирована первая отечественная электросварочная машина постоянного тока и разработана конструкция сварочного

трансформатора; с 1935 года крупнейшие зарубежные фирмы начали изготавливать сварочные трансформаторы по схеме Никитина. В конце 30-х годов советским ученым академиком Е.О.Патоном и коллективом АН УССР была разработана автоматическая сварка под флюсом, в декабре 1940 года принято постановление о внедрении её в промышленность.

В конце 40-х годов промышленное применение получают способы дуговой сварки в защитных газах: атомно-водородная, аргонодуговая.

В 1949 году в ИЭС им.Патона разработан новый способ сварки плавлением — электрошлаковая сварка. За его создание и внедрение в производство группе ученых во главе с Б.Е.Патоном была присуждена Ленинская премия [1]. На этот способ сварки, названный русскими чудом, у нас были куплены лицензии США, Японией и многими другими странами.

Развитие сварочной техники связано с изысканием новых источников тепла. Одним из них является концентрированный поток электронов в вакууме, на основе которого французской фирмой "ЭЛС" был создан новый вид сварки — электронно-лучевая — для соединения тугоплавких, химически активных металлов и сплавов и специальных сталей.

Сварка сегодня — это электрическая дуга в углекислом газе, аргоне, гелии; это струя высокотемпературной плазмы и электронный луч, луч лазера и роботы с программным управлением; это камеры с аргоновой атмосферой, в которую сварщик входит в костюме космонавта; это уникальные контактные автоматы, сваривающие точками за один цикл целые узлы автомобиля. Развиваются новые способы сварки: диффузионная, в вакууме, холодная сварка взрывом, при которых металлы не плавятся. Возможности сварки практически не ограничены: сваривают оболочки для радиоактивных изотопов из высоколегированных сталей толщиной 0,1 мм, детали прессы толщиной 3400 мм, двухслойные стали, различные сплавы между собой, металлы с неметаллами, варят в космосе и под водой. Сварка широко используется в медицине: сваривают и режут кости и биологические ткани, зубные протезы и сетчатку глаз. Без сварки не обходится металлургия: для получения особо чистого металла применяют электрошлаковый и электронно-лучевой переплав. Сварка развивается так стремительно, что специальность сварщика сегодня признана дефицитной.

1. ОСНОВНЫЕ СПОСОБЫ СВАРКИ МЕТАЛЛОВ

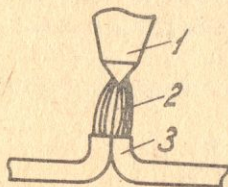
Под сварочными процессами понимают группу технологических процессов соединения, разъединения и локальной обработки материалов с использованием местного нагрева изделия: сварку, наплавку, пайку-сварку, сварку-склейку, напыление, термическую резку и т.д.

Монолитность сварных соединений твердых тел обеспечивается появлением атомно-молекулярных связей между элементарными частицами соединяемых веществ. Сближению и сцеплению атомов препятствуют неровности, различные загрязнения и окислы на поверхности соединяемых деталей, что устраняется нагревом или деформированием кромок этих деталей.

Создание металлических связей нагревом свариваемых материалов до состояния плавления называется сваркой плавлением [2].

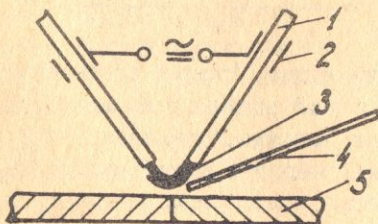
Сварка плавлением имеет следующие разновидности:

1. Газовая сварка (рис. 1.1).



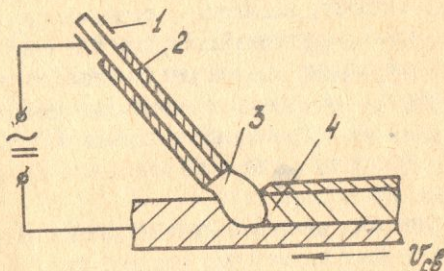
Для расплавления кромок используется теплота реакции сгорания смеси горючих газов или их паров с кислородом. Горючие газы — ацетилен, водород, природный газ, пропан-бутан, керосин; температура пламени $2000 \dots 3000^{\circ}\text{C}$.

2. Дуговая сварка косвенной (независимой) дугой (рис. 1.2).



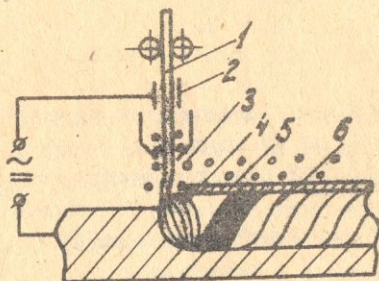
Используются неплавящиеся угольные или вольфрамовые и плавящиеся электроды. Свариваемый металл не включен в цепь тока и нагревается за счет косвенного действия дуги.

3. Ручная дуговая сварка (рис. I.3).



Используются металлические плавящиеся электроды с покрытием. Нагрев металла осуществляется дугой прямого действия, температура которой достигает 6000°C .

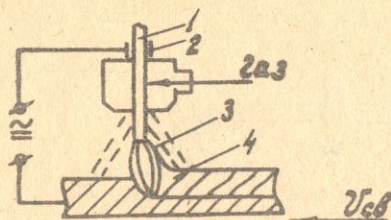
4. Автоматическая сварка под слоем флюса (рис. I.4).



Дуга горит в слое флюса, который обеспечивает её устойчивое горение и защиту сварочной зоны от воздуха. Подача проволоки и перемещение дуги вдоль шва механизированы.

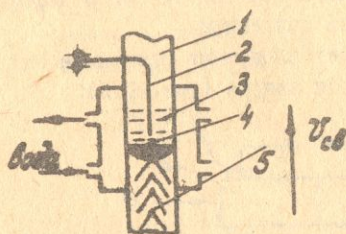
5. Сварка в среде защитных газов (рис. I.5).

В качестве защитных газов используются аргон, гелий, углекислый газ, азот, водород, водяной пар. Для сварки применяются плавящиеся и неплавящиеся электроды.



Разновидности сварки в среде защитных газов: сжатой дугой, импульсной дугой, в камерах с контролируемой атмосферой, в вакууме.

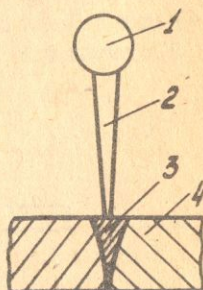
6. Электрошлаковая сварка (рис I.6).



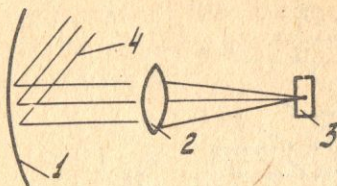
Свариваемые металлы и присадочная проволока расплавляются за счет теплоты, выделяющейся при протекании электрического тока через расплавленный шлак. Сварка ведется в вертикальном положении, свободные поверхности сварочной ванны принудительно охлаждаются медными водоохлаждаемыми ползунами.

7. Электронно-лучевая сварка (рис. I.7).

Для нагрева места соединения используется энергия электронов, быстро движущихся в электрическом поле. Сварка ведется внутри камеры с вакуумом 10^{-4} мм рт.ст. "электронной пистолет" с вольфрамовой спиралью, нагреваемой до 2500°C , что обеспечивает термическую эмиссию электронов: спираль является катодом, надетые - анодом [3].



8. Лазерная сварка (рис. I.8).

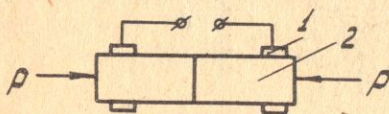


Оптические квантовые генераторы (лазеры) обеспечивают получение светового луча с определенной длиной волны, мощность в луче достигает 1000 кВт/мм^2 , яркость превышает солнечную в миллионы раз. Сварка может вестись через стекло и прозрачные материалы.

Сращение деталей совместной пластической деформацией по кромкам называется сваркой давлением.

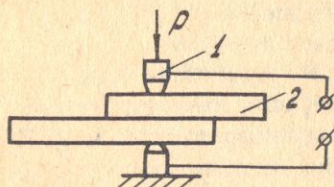
Сварка давлением имеет следующие разновидности:

1. Контактная стыковая сварка (рис. I.9).



Детали соединяются при нагреве их электрическим током с одновременным или последующим приложением механического давления. Сварка ведется сопротивлением и оплавлением. При сварке сопротивлением торцы деталей нагреваются до пластического состояния, при сварке оплавлением — до плавления.

2. Контактная точечная сварка (рис. I.10).

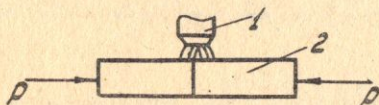


Применяется для соединения листов внахлестку. Свариваемые листы зажимаются между подвижным и неподвижным электродами, че-

рез которые подается ток и создается давление. Широко используется многоточечная сварка.

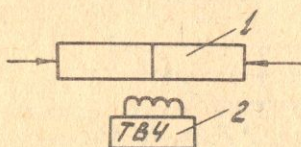
Разновидностью контактной точечной сварки является роликовая (шовная) сварка.

3. Газопрессовая сварка (рис. I.II).



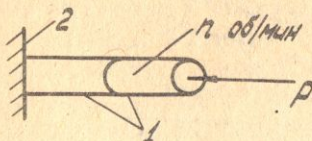
Торцы свариваемых деталей нагреваются газом до пластического состояния или оплавления и затем сжимаются.

4. Индукционная сварка (рис. I.I2).



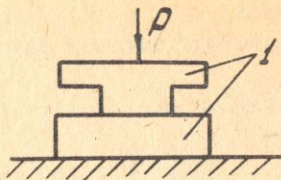
Металлы до сварочной температуры при индукционной сварке нагреваются индуктированием тока в свариваемом металле специальным индуктором от источника тока высокой частоты. Форма индуктора должна соответствовать форме нагреваемого изделия. После нагрева свариваемые кромки сдавливают.

5. Сварка трением (рис. I.I3).



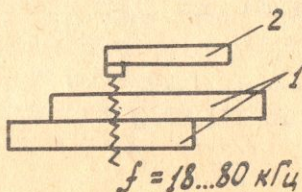
Для сварки используется тепло, которое выделяется при трении вращающегося стержня о неподвижный; после прекращения вращения происходит сдавливание стержней и образование сварного соединения.

6. Холодная сварка (рис. I.I4).



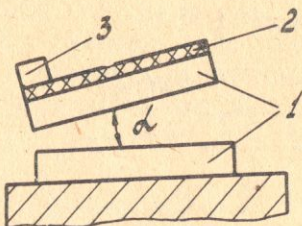
Сварка выполняется без нагрева совместным пластическим деформированием соединяемых деталей, осуществляется в результате давления или клещами.

7. Ультразвуковая сварка (рис. I.I5).



Вместо подачи тока в свариваемое изделие вводятся ультразвуковые колебания, которые приводят к разрушению окислов, местному повышению температуры и свариванию деталей. Перед сваркой необходимо зачистить свариваемые кромки [3].

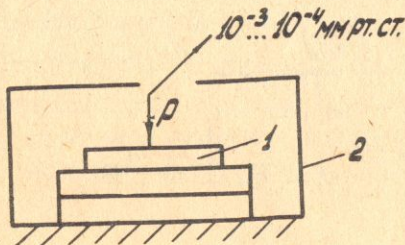
8. Сварка взрывом (рис. I.I6).



Сварное соединение образуется в результате соударения расположенных под углом друг к другу поверхностей под действием энергии взрыва. При соударении пластин между ними создается ку-

мулятивная струя, которая разрушает окисные пленки и уносит с соединяемых поверхностей их и неметаллические включения, подготавливая поверхности к сварке. Сварное соединение образуется мгновенно.

9. Диффузионная сварка в вакууме (рис. 1.17).



Тщательно очищенные, плотно прижатые друг к другу детали изделия помещаются в вакуумную камеру, нагреваются и сдавливаются. Сварка происходит за счет процесса взаимной диффузии в твердом состоянии.

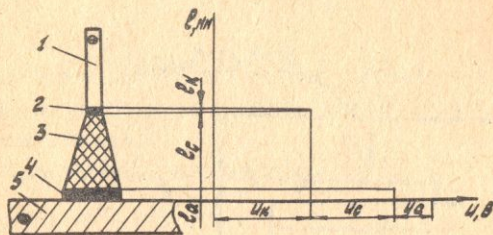
2. СВАРОЧНАЯ ДУГА И ЕЕ СВОЙСТВА

2.1. Основные понятия о дуге

Сварочной дугой называется мощный разряд электричества в газовой среде между электродом и свариваемым изделием, сопровождающийся концентрированным выделением большого количества тепла и лучеспусканием. Электропроводность газа дуги обусловлена заряженными частицами—электронами и ионами, возникающими в результате его термической ионизации. Образующаяся смесь нейтральных атомов, электронов и ионов носит название плазмы. Электропроводный газовый канал, соединяющий электроды, имеет форму усеченного конуса (рис. 2.1), свойства которого на различных расстояниях от электродов неодинаковы [2].

Приэлектродные участки называются катодной и анодной областями, между ними располагается столб дуги с температурой порядка $6000...7000^{\circ}\text{C}$.

Устойчивость электрической дуги зависит от двух процессов: ионизации газового промежутка и эмиссии электронов с поверхности электродов.



Количество тепла, выделяемого в дуге и в различных ее зонах, зависит от величины падения напряжения

$$Q = 0,24 U I_{св} t,$$

где U — падение напряжения в дуге или на отдельном ее участке;
 $I_{св}$ — сила сварочного тока;
 t — время горения дуги.

Несмотря на то, что падение напряжения в анодной области меньше, чем в катодной, на аноде выделяется больше тепла, чем на катоде, так как с катода происходит эмиссия электронов, на выход которых затрачивается мощность

$$P_B = U_B I_{св},$$

где U_B — работа выхода электронов.

Доходя через столб дуги до анода, электроны ударяются о его поверхность и отдают энергию, которая переходит в тепловую.

Мощность, передаваемая катоду,

$$P_K = U_K I_{св} - U_B I_{св} = I_{св} (U_K - U_B),$$

где U_K — падение напряжения на катоде.

Мощность, передаваемая аноду,

$$P_A = U_A I_{св} + U_B I_{св} = I_{св} (U_A + U_B),$$

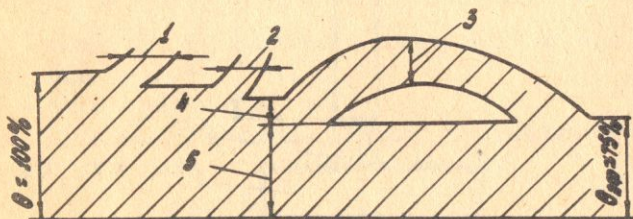
где U_A — падение напряжения на аноде.

2.2. Тепловые процессы при ручной сварке

Электрическая энергия, необходимая для сварки, в основном превращается в тепловую. Но не все тепло, выделяемое дугой, полностью используется на сварку, часть его расходуется непроизводительно (рис. 2.2). Эффективная тепловая мощность (количество тепла, введенное источником нагрева в изделие в единицу времени) меньше полной тепловой мощности:

$$Q_{эф} = 0,24 I_{св} U_d \eta, \text{ кал/с},$$

где η — эффективный к.п.д. — зависит от способа сварки, от состава покрытия, от металла электрода; для ручной сварки покрытым электродом η равен 0,60...0,85.



Погонная энергия сварки характеризует количество тепла в калориях, введенное на 1 см длины однопроходного шва или валика, и определяется как отношение эффективной тепловой мощности дуги к скорости ее перемещения:

$$q_n = \frac{Q_{эф}}{V}, \text{ кал/см},$$

Поперечное сечение шва находится в прямой зависимости от погонной энергии. При ручной сварке покрытыми электродами

$$q_n = 155 \mathcal{F},$$

где $\mathcal{F}$ — сечение шва.

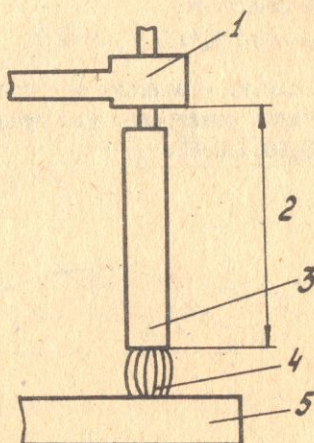
При $\mathcal{F} = 60 \text{ мм}^2$

$$q_n = 9300 \text{ кал/см}.$$

2.3. Нагрев электрода

Электрод при сварке нагревается теплом сварочной дуги, воздействующей на торец электрода, и теплом, выделяемым в металлическом стержне электрода проходящим через него током.

Количество выделяющегося тепла зависит от длины вылета электрода, который в начале сварки составляет 250...400 мм (рис. 2.3).



Количество тепла, выделяемое в электроде проходящим через него током, определяется по закону Джоуля-Ленца:

$$Q = 0,24 I_{св}^2 R t = 0,24 I_{св}^2 \frac{\rho l}{S} t, \text{ кал/с,}$$

где l - длина вылета, мм;

S - площадь поперечного сечения электрода, см²;

t - время протекания тока, с;

$I_{св}$ - сварочный ток, А;

ρ - удельное сопротивление, Ом/см.

Так как сопротивление зависит от температуры, а длина вылета электрода постоянно меняется, то количество выделяющегося тепла больше всего в начале сварки и меньше - в конце. Среднее количество тепла, идущее на нагрев электрода, регулируется подбором сварочного тока. При ручной сварке $I_{св} = (35...60) \text{ а эл.}$

Благодаря подогреву дугой температура на торце электрода выше, чем на других участках, поэтому плавление происходит с торца.

2.4. Плавление металла

Характер плавления и переноса электродного металла оказывает большое влияние на производительность сварки и на взаимодействие металла со шлаком и газами; от него зависят устойчивость горения дуги, потери металла и формирование шва.

Основной характеристикой плавления электрода является линейная или массовая скорость плавления, измеряемая длиной или массой расплавленного металла в единицу времени:

$$\Delta p = \frac{G_p}{I_{св} t} \cdot \frac{2}{A_4},$$

где G_p — количество расплавленного электродного металла, г;

$I_{св}$ — сила тока, А;

t — время горения дуги, ч.;

Для определения количества металла, участвовавшего в образовании шва, пользуются коэффициентом наплавки

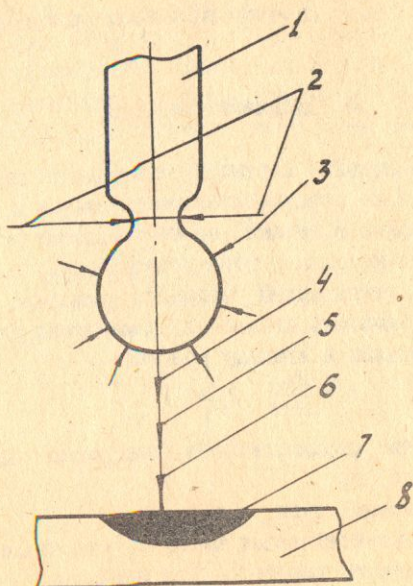
$$\Delta p = \frac{G_n}{I_{св} t} \cdot \frac{2}{A_4}.$$

2.5. Перенос металла через дугу

Характер переноса металла оказывает влияние на технологические и металлургические процессы, на качество и внешний вид шва. Металл в электрической дуге переносится каплями разных размеров. Независимо от положения, при котором выполняется сварка, капли всегда переходят с электрода на изделие. Образование капель, их отрыв от электрода и перенос в дуге вызваны рядом факторов: силой тяжести, электромагнитными силами, силой поверхностного натяжения жидкого металла, давлением газов (рис. 2.4).

Сила тяжести всегда направлена вниз.

Сила поверхностного натяжения стремится сжать жидкий металл в шарик, так как поверхность шара обладает минимальным запасом энергии. Эти силы при оседрасовании капли с поверхностью сва-



рочной ванны втягивают каплю в общий контур ванны.

Электромагнитные силы образуются вследствие действия магнитного поля, появляющегося вокруг проводника с током, и зависят от величины сварочного тока. Эти силы стремятся сжать металл, но так как силы поверхностного натяжения формируют каплю-шарик, то у твердого торца электрода образуется шейка. Плотность тока в ней увеличивается, электромагнитные силы возрастают — шейка обрывается, под действием электромагнитных сил и сил тяжести капля летит в сварочной ванне.

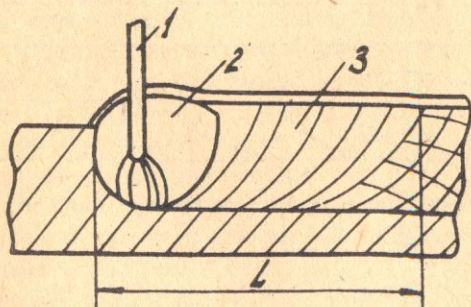
Силы внутреннего давления газа образуются при появлении на поверхности капли газообразных продуктов химических реакций. Металл кипит, газ расширяется и давит на каплю. Величина отдельных сил и направление их равнодействующей зависят от режима сварки, полярности тока, состава электродного металла и газовой среды, от состояния поверхности проволоки и ее диаметра,

При сварке покрытыми электродами перенос металла может быть крупнокапельный и мелкокапельный. При малом токе металл переносится крупными каплями. С увеличением силы тока размер капель уменьшается, что улучшает стабильность горения дуги. Если, не меняя силу тока, увеличивать напряжение на дуге, то размер капель увеличивается. При малой силе тока металл электрода можно переносить в дугу короткими замыканиями электрода на ванну.

3. МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ СВАРКЕ

3.1. Образование сварочной ванны. Формирование и кристаллизация металла шва

Плавление основного и дополнительного металлов происходит в плавленном пространстве. В процессе сварки источник тепла перемещается вдоль соединяемых кромок, вместе с ним движутся плавленное пространство и сварочная ванна—объем расплавленного металла. Плавленное пространство условно можно разделить на два участка: головной, где происходит плавление основного и дополнительного металлов, и хвостовой, где располагается сварочная ванна и происходит ее кристаллизация (рис. 3.1). Форма ванны характеризуется длиной, шириной, толщиной и глубиной проплавления.

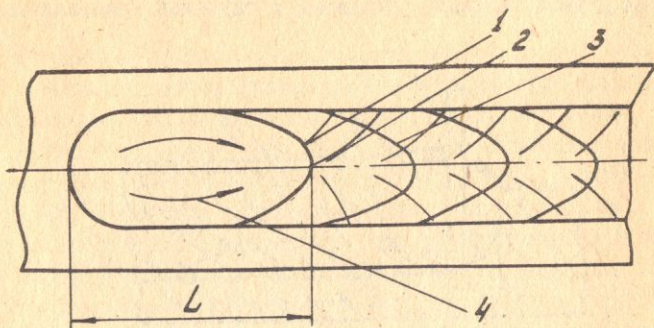


Объем сварочной ванны в зависимости от способа и режима сварки колеблется от 0,1 до 10 см³ [2].

Для сварочной ванны характерно неравномерное распределение температуры: в головной части металл нагревается до температуры значительно выше температуры его плавления; в хвостовой — температура металла приближается к температуре его плавления. Средняя температура сварочной ванны 1800°C .

Столб дуги оказывает давление на поверхность расплавленного металла совместным действием упругого удара заряженных частиц и давления газов, находящихся в дуговом промежутке; металл ванны все время движется и перемещается. Давление дуги приводит к вытеснению жидкого металла из-под ее основания, образуется углубление — кратер, и дуга погружается в толщу основного металла, что обуславливает увеличение глубины проплавления. Давление дуги пропорционально квадрату силы тока, протекающего в дуге.

Жидкий металл отбрасывается в хвостовую часть ванны. При удалении источника тепла там начинается её затвердевание — первичная кристаллизация, которая носит прерывистый характер. Металл шва имеет столбчатое строение, размер кристаллов равен $0,3 \dots 3\text{ мм}$ в поперечнике. Рост кристаллов происходит нормально к криволинейной поверхности, к фронту затвердевания от частично оплавленных зерен основного металла (рис. 3.2).



При сварке используют специальные приемы, регулирующие процесс кристаллизации в необходимом направлении, и таким образом получают требуемую структуру сварных швов. Коэффициент формы шва, т.е. соотношение между глубиной и шириной сварочной ванны, зави-

сит от $\gamma_{\text{св}}$, $\gamma_{\text{д}}$, $\gamma_{\text{св}}$, состава металла и разделки кромок. Прочностные свойства шва зависят от его структуры и химического состава: чем мельче структура, тем выше механические свойства шва. Для получения мелкозернистой структуры шва рост кристаллитов ограничивается увеличением скорости охлаждения сварочной ванны и созданием дополнительных центров кристаллизации за счет введения элементов-модификаторов, таких, как титан, алюминий, церий.

3.2. Особенности металлургических процессов при сварке

Металлургические процессы — это физико-химические явления в жидком металле: химические реакции окисления и восстановления окислов, диссоциация газов, растворение легирующих элементов и других веществ в металле, выделение газов из жидкого металла. Знание этих процессов и умение управлять ими необходимо для получения нужного качества шва. Металлургические процессы при сварке идут при очень высоких температурах, в небольшом объеме, ограниченном сварочной ванной. Скорость процессов большая, время протекания — малое.

Основные газы, участвующие в реакциях сварки, — это кислород, водород, азот, углекислый газ. Газы расщепляются на атомы — диссоциируют и становятся более активными.

Особенно интенсивно на ход металлургических процессов влияет кислород. Окисление может происходить при наличии свободного кислорода или сложных газовых молекул CO_2 , H_2O , способных выделять кислород. Окислы или растворяются в жидкой ванне, или остаются в шве в виде включений — в обоих случаях ухудшается прочность и пластичность сварного соединения. Для очистки сварочной ванны в нее добавляют элементы-раскислители: кремний, марганец, склонные к соединению с кислородом; они связывают кислород, и образующиеся окислы уходят в шлак.

Водород растворим в металле; с повышением температуры его растворимость увеличивается. Различная растворимость в твердом и жидком металлах приводит к выделению водорода при охлаждении металла, что влечет за собой появление пор в металле шва. Образующиеся гидриды увеличивают свой объем, возникают напряжения, появляются трещины. Источники водорода — атмосферная влага, влага по-

крития, ржавчина на проволоке и кромках.

Концентрацию водорода можно уменьшить, связывая его в химически прочные, нерастворимые в металле соединения фтористого водорода (вводят плавиковый шпат). Перед сваркой необходимо очистить свариваемые кромки и прокалить электроды.

Азот, попадая в сварочную ванну из воздуха, образует очень твердые нитриды, которые охрупчивают и снижают пластичность металла, но прочность его немного возрастает.

Углекислый газ в зоне дуги диссоциирует, выделяя окись углерода, образующую поры в момент кристаллизации. Углекислый газ попадает в шов из воздуха и при сгорании органических загрязнений.

Легирование металла

В ряде случаев состав металла шва для обеспечения его качества и эксплуатационных свойств должен отличаться от состава свариваемого металла по содержанию легирующих элементов. Основной способ легирования шва — введение в сварочную ванну соответствующих элементов в чистом виде или в виде сплавов. Легирующие элементы: углерод, марганец, кремний, хром, никель, молибден, ванадий, вольфрам, титан, ниобий и другие.

Углерод влияет на прочность, вязкость, закаливаемость металла. В зависимости от содержания углерода различают малоуглеродистые, углеродистые и высокоуглеродистые стали.

Марганец увеличивает прочность, повышает пластичность металла, содержится в сталях от 0,3 до 2,5%.

Кремний увеличивает прочность металла, но при содержании его в стали свыше 1,5% она охрупчивается.

Хром увеличивает сопротивление металла коррозии и окислению, содержится в сталях от 0,7 до 35%.

Никель измельчает зерно, увеличивает прочность и пластичность металла, содержится в сталях от 0,2 до 35%, сварку не затрудняет.

Молибден измельчает зерно, увеличивает прочность и пластичность металла, содержится в сталях от 0,15 до 0,8%. Добавляется в стали, работающие при высоких температурах и ударных нагрузках. Затрудняет сварку, так как вызывает образование трещин.

Вольфрам увеличивает твердость стали и её работоспособность при высоких температурах, но затрудняет сварку.

Сера и фосфор – вредные примеси в сварных швах. Сера усиливает склонность швов к образованию горячих, а фосфор – холодных трещин. Содержание серы и фосфора в наплавленном металле не должно превышать 0,04%.

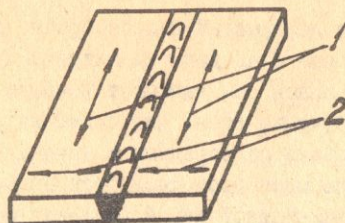
4. НАПРЯЖЕНИЯ И ДЕФОРМАЦИИ ПРИ СВАРКЕ

4.1. Классификация напряжений и деформаций

В результате местного неравномерного нагрева металла концентрированным источником тепла в сварной конструкции возникают временные и остаточные сварочные напряжения. Временные сварочные напряжения наблюдаются только в процессе изменения температуры. Напряжения, возникающие после окончания сварки конструкции и полного её остывания, называются остаточными сварочными напряжениями. Они возникают в результате расширения и сжатия металла при его нагреве и остывании, так как нагретый участок со всех сторон окружен холодным металлом, размеры которого не претерпевают никаких изменений.

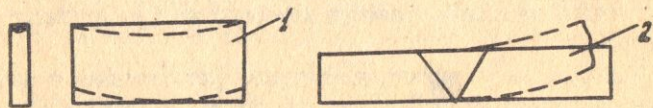
В зависимости от пространственного расположения и взаимодействия различают линейные, или одноосные, сварочные напряжения, действующие только по одной оси в одном направлении; плоскостные, или двухосные, действующие в двух направлениях; объемные, или трехосные, действующие в трех направлениях.

По направлению действия различают продольные и расположенные поперек оси шва поперечные сварочные напряжения (рис. 4.1).



Сварочные напряжения не снижают работоспособности конструкций, но если значения сварочных напряжений достигнут предела текучести металла, они вызовут его пластическую деформацию, а следовательно, и изменения размеров и формы свариваемой конструкции (коробление).

Различают деформацию в плоскости, проявляющуюся в уменьшении конструкции, и из плоскости (угловую) – в виде изгибов, хлопунков (рис. 4.2). Величина и характер остаточных деформаций в значительной степени определяются толщиной и свойствами основного металла, режимом сварки, последовательностью наложения швов. Изменение размеров и формы сварной конструкции портит её внешний вид и иногда приводит к браку, поэтому при разработке технологии сборки и сварки необходимо стремиться к снижению остаточных деформаций.



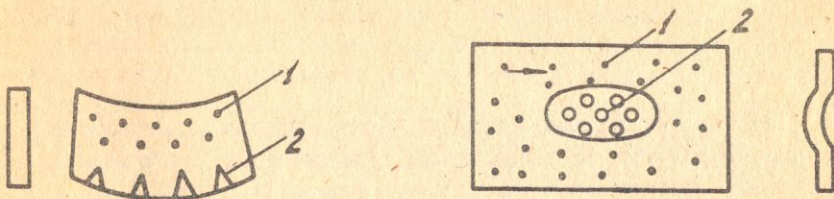
4.2. Предотвращение и снижение остаточных напряжений и деформаций

Для уменьшения деформаций целесообразно применять двухстороннюю сварку, которая благодаря симметричному расположению шва относительно нейтральной оси вызывает меньшую деформацию, и принимать наименьшее сечение швов. Для снижения деформаций швы рекомендуется накладывать от середины к концам обратноступенчатым способом, при сварке многопроходных швов применяются методы горкой и каскадный. Эффективной мерой снижения остаточных деформаций является закрепление свариваемых деталей в специальных приспособлениях – кондукторах. Для борьбы с угловыми деформациями при сварке стыковых и нахлесточных соединений используют обратный изгиб свариваемых деталей (рис. 4.3).



При предварительном или сопутствующем подогреве свариваемых деталей уменьшается перепад температур между участками сварного соединения и снижаются напряжения. Температура подогрева зависит от химического состава, толщины металла и жесткости конструкции.

Для полного снятия сварочных напряжений сварные соединения подвергают термической обработке — назначают высокий отпуск конструкций (нагрев до $630...650^{\circ}\text{C}$ и медленное охлаждение), но это дорогостоящая операция, которая выполняется только в особых случаях. Почти полностью снимаются напряжения проковкой швов в процессе остывания металла молотком массой $0,6...1,2\text{ кг}$ с закругленным бойком. Уменьшение или полное устранение деформаций достигается при термической и механической правке деталей. При термической правке нагрев ведут газокислородным пламенем или электрической дугой неплавящимся электродом до температуры $750...850^{\circ}\text{C}$. Нагретый участок стремится расшириться, но окружающий холодный металл ограничивает возможность расширения, в результате чего возникают пластические деформации сжатия. После охлаждения линейные размеры нагретого участка уменьшаются, что приводит к устранению деформаций (рис. 4.4). При механической правке происходит растяжение сжатых участков деформированной детали.



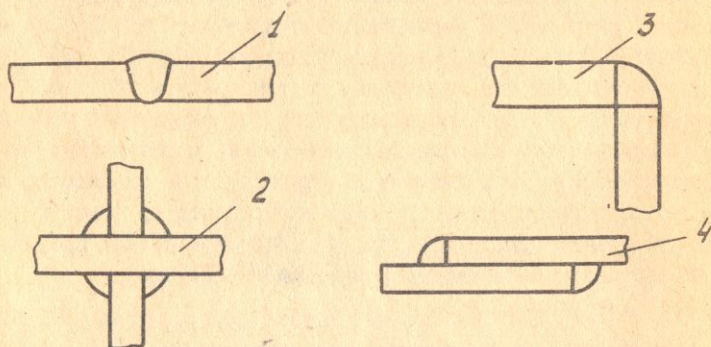
5. ПОДГОТОВКА МЕТАЛЛА ПОД СВАРКУ

5.1. Типы сварных соединений и швов

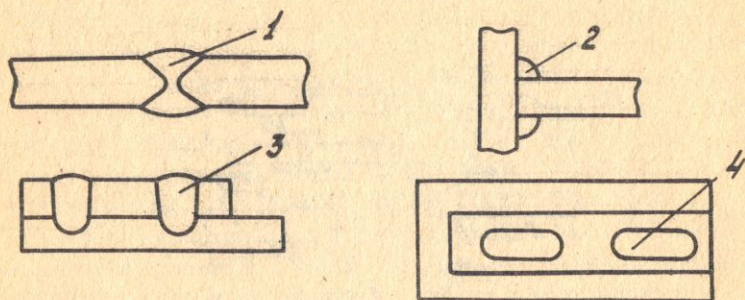
Сварным соединением называется участок конструкции, в котором отдельные элементы соединены с помощью сварки. В него входят сварной шов, прилегающая к нему зона термического влияния (нагретая от 100° и выше) и примыкающие к ней участки основного металла.

Сварной шов — это закристаллизовавшийся металл, который в процессе сварки находился в расплавленном состоянии. Сварной шов определяет геометрическую форму, сплошность, прочность и другие свойства металла непосредственно в зоне сварки. Свойства сварного соединения зависят от свойств металла самого шва и зоны термического влияния.

По форме сопряжения свариваемых элементов выделяются следующие основные типы сварных соединений: стыковые, тавровые, угловые, нахлесточные (рис. 5.1) [4].



Сварные швы подразделяются по форме поперечного сечения на стыковые и угловые. Их разновидностью являются швы пробочные и прорезные, выполняемые в нахлесточных соединениях (рис. 5.2).



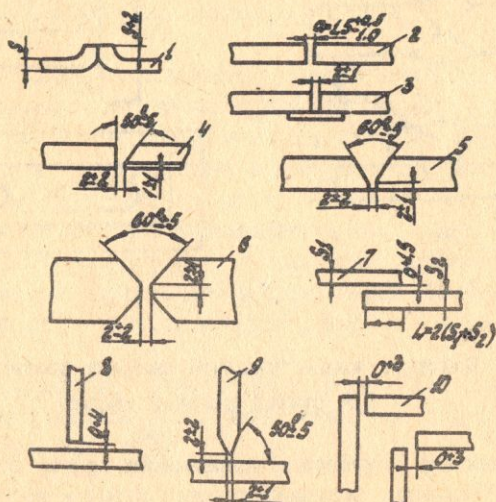
5.2. Конструктивные элементы сварных соединений при ручной дуговой сварке

Для правильной подготовки свариваемых кромок созданы государственные стандарты, регламентирующие форму и конструктивные элементы разделки и сборки кромок под сварку.

Стиковые швы по форме разделки кромок разделяются на три вида: с отбортовкой кромок; без разделки кромок – односторонние и двухсторонние; с разделкой кромок – односторонние V -образные и двухсторонние X -образные (рис. 5.3).

Форму разделки кромок и их сборку под сварку характеризуют четыре основных конструктивных элемента: зазор между кромками, притушение, угол скоса кромки и угол разделки кромок. Без разделки кромок при односторонней сварке можно сварить металлы толщиной до 4 мм, при большей толщине металла необходима разделка кромок. Угол скоса кромки обеспечивает определенную величину угла разделки кромок, что необходимо для доступа дуги вглубь соединения и полного проплавления кромок на всю их толщину. Тип и величина угла разделки кромок определяют количество необходимого дополнительного металла для заполнения разделки и производительность сварки. Например, X -образная разделка кромок по сравнению с V -образной уменьшает объем наплавленного металла в 1,6...1,7 раза.

Для обеспечения высокого качества сварных конструкций заготовки для свариваемых деталей следует изготавливать из предварительно выправленного и зачищенного металла. Вырезка деталей и



подготовка кромок производится механической обработкой (на пресс-ножницах, кромкострогальных и фрезерных станках), газокислородной и плазменной резкой [5].

6. ЭЛЕКТРОДЫ ДЛЯ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ

6.1. Сварочные проволоки

Сварочная проволока изготавливается по ГОСТу 2246-70, предусматривающему 77 марок диаметром 0,3...12 мм. В условные обозначения марок проволок входят индекс Св (сварочная) и цифры, следующие за ним, которые указывают среднее содержание углерода в сотых долях процента. Легирующие элементы обозначены буквами: Б - ниобий, В - вольфрам, Г - марганец, Д - медь, Н - никель, С - кремний, Т - титан, Ф - ванадий, Х - хром, Ц - цирконий, Ю - алюминий.

При содержании легирующих элементов в проволоке менее 1% ставится только буква. Буква А в конце марки проволоки указывает

на повышенную чистоту металла по содержанию серы и фосфора. Например, обозначение проволоки Св08Г2С расшифровывается так: Св-сварочная, 08 — содержание углерода 0,08%, марганца до 2%, кремния до 1%. По химическому составу сварочные проволоки разделяются на низкоуглеродистые: Св08, Св08А, Св08ГА, Св10ГА, Св10Г2; легированные (легированных элементов до 6%): Св08ГС, Св08Г2С и др.; высоколегированные: Св06Х19Н10Т, Св08Х19Н9Ф2С2 и др. [6].

Проволока поставляется в мотках диаметром 150...700 мм в зависимости от её диаметра и марки. Поверхность проволоки должна быть гладкой, чистой, без окалин и ржавчины. Упаковывается проволока в водонепроницаемую бумагу, в пленку или в тарную ткань. К каждому мотку прикрепляется бирка, на которой указаны наименование предприятия-поставщика, наименование проволоки, марка стали проволоки, диаметр проволоки, номер ГОСТа, номер плавки.

6.2. Основные требования, предъявляемые к электродам

Общие требования, предъявляемые к электродам (ГОСТ 9466-75):

1. Обеспечивать требуемые механические свойства наплавленного металла и сварного соединения в соответствии с техническими условиями на свариваемое изделие.

2. Иметь хорошие технологические и сварочные свойства:

а) допускать возможность проведения сварки на постоянном и переменном токе в любом пространственном положении;

б) обеспечивать легкое зажигание и спокойное горение дуги без обрывов и чрезмерного разбрызгивания металла и шлака;

в) обеспечивать равномерное плавление покрытия и распределение шлака на поверхности шва с легким его удалением после сварки;

г) обеспечивать получение наплавленного металла без дефектов: пор, трещин, шлаковых включений;

д) не выделять вредных для здоровья рабочих газов и паров;

е) обладать достаточной прочностью и влажностойкостью.

3. Иметь высокий коэффициент наплавки, от которого в значительной степени зависит производительность сварки.

Коэффициент наплавки $\lambda_n = \frac{G_n}{T_{св}} \cdot \frac{2}{\pi \gamma}$ показывает, какое количество электродного металла в граммах наплавляется сварочным током в один ампер за один час горения дуги. Коэффициент наплав-

ки зависит от величины коэффициента расплавления и от величины потерь на угар и разбрызгивание: коэффициент расплавления

$$\alpha_p = \frac{Z_p}{Z_{\text{свт}}} \text{ г/Ач},$$

где Z_p — вес расплавленного металла;

коэффициент потерь $\psi = \frac{Z_p - Z_n}{Z_p} 100\%$;

где $\psi = 5 \dots 10\%$ — без огарка, с учетом огарка — до 30%.

Между α_n, α_p и ψ существует следующая зависимость:

$$\alpha_n = \alpha_p (1 - \psi)$$

Коэффициент расплавления зависит от материала электродного стержня, электродного покрытия, от плотности тока, его рода и полярности и не зависит от квалификации сварщика. Коэффициент наплавки обычно меньше коэффициента расплавления на 1...3 г/Ач. Коэффициент наплавки имеет большое значение для обоснованного нормирования сварочных работ.

Иногда к электродам предъявляются специальные требования: получение швов заданной формы (вогнутая поверхность шва, глубокий провар), возможность сварки определенным способом (опираннем, вертикальных швов).

6.3. Стальные электроды и виды покрытий

Металлические стальные электроды для ручной дуговой сварки — это металлические стержни, длина которых в зависимости от диаметра проволоки согласно ГОСТу 9466-75 равна 225...450 мм. Металлические стальные электроды по внешнему виду и по сварочным и технологическим свойствам делятся на два основных вида:

- а) со стабилизирующим покрытием;
- б) с качественным покрытием.

6.4. Стабилизирующие электродные покрытия

Стабилизирующие электродные покрытия применяются для повышения устойчивости горения дуги. В качестве материалов для покрытий обычно используются мел, поташ, калиевая селитра, углекислый барий. Наилучшим стабилизатором дуги является калий. Компо-

нентами покрытий, содержащих калий, служат как природные минералы, богатые калием (некоторые разновидности гранитов и полевых шпатов), так и выпускаемые промышленностью соли калия (хромат и бихромат калия, поташ, калиевая селитра и др.).

Стабилизирующие вещества под действием высокой температуры дуги быстро испаряются, расщепляются на ионы и электроны, увеличивая электропроводность дугового промежутка.

Для обеспечения устойчивого горения дуги на проволоку наносятся стабилизирующие покрытия толщиной около 0,1...0,25 мм, вес покрытия колеблется в пределах 1...2% от веса стержня.

Незначительное количество стабилизирующих веществ не оказывает заметного влияния на качество металла сварного шва. Как при сварке голым электродом, так и со стабилизирующим покрытием металл сварного шва насыщается азотом и кислородом воздуха и имеет низкие механические свойства.

Состав покрытия АН-1: мел — 20%, жидкое стекло — 80% (водный раствор жидкого стекла с удельным весом 1,32...1,37).

6.5. Качественные электродные покрытия

При ручной дуговой сварке повышение механических свойств металла шва достигается главным образом за счет качественных покрытий толщиной 1...2 мм на сторону, что составляет 20...40% от веса металла электрода.

В покрытие обычно входят составляющие, которые можно разбить на следующие группы:

- | | |
|---------------------|-----------------------------|
| 1) шлакообразующие; | 4) легирующие; |
| 2) газообразующие; | 5) кислящие, или связующие; |
| 3) раскислители; | |

Шлакообразующие, кислящие и раскислители входят почти во все качественные покрытия.

Шлакообразующие составляющие служат для защиты расплавленного металла от действия кислорода и азота воздуха. Они образуют шлаковые оболочки вокруг капель электродного металла и шлаковый покров на поверхности металла шва.

Шлаковый покров замедляет скорость остывания шва, что способствует выделению из него неметаллических включений и улучшает условия кристаллизации металла шва.

Шлакообразующая часть покрытия состоит в основном из окислов металлов и металлоидов, которые обычно вводятся в виде титанового концентрата (ильменита), марганцевой руды (пиролизита), полевого шпата, мрамора, мела, каолина, кварцевого песка, доломита. В состав шлакообразующей части покрытия входят также вещества, повышающие устойчивость горения сварочной дуги (обладающие низким потенциалом ионизации и малой работой выхода электронов).

Газообразующие составляющие, образуя при сгорании (плавлении) покрытия газовую защиту, состоящую из окиси углерода и некоторых углеводородов, вводятся в состав в виде органических соединений древесной муки, крахмала, пищевой муки, декстрина, оксиглицерина. Раскислителями служат марганец, кремний, титан, алюминий, обладающие большим сродством к кислороду, чем железо. Эти элементы, находясь в расплавленном металле сварного шва, легче вступают в химические соединения с кислородом, отбирают его из окислов железа и, будучи сами нерастворимыми в стали или ограниченно растворимыми, в виде окислов всплывают на поверхность сварочной ванны. Большинство раскислителей вводится в покрытия в виде сплавов с железом ферромарганца, ферросилиция, ферротитана. Алюминий чаще всего вводится в виде металлического порошка.

Для придания наплавленному металлу специальных свойств, т.е. повышения механических качеств, износостойкости, жаростойкости, сопротивляемости коррозии, в покрытие электрода вводится легирующие элементы: марганец, кобальт, хром, никель, вольфрам, титан, банадий, бор.

Кислящие, или связующие, вещества служат для скрепления между собой составляющих покрытия со стержнем электрода. В качестве кислящих применяются жидкое стекло (калиевое или натриевое), декстрин, желатин, лаки, пластмассы, водный раствор хлористого натрия.

Для повышения пластичности обмазочной массы в состав покрытия вводятся пластификаторы: бентонит, каолин, тальк, слюда, целлюлоза.

6.6. Классификация покрытий электродов

Кислое покрытие - А.

Шлакообразующую основу кислого покрытия составляют железные и марганцевые руды и кремнезем. Газовой защитой расплавленного металла являются разлагающиеся при нагревании и плавлении элект-

рода органические составляющие. Расплавленный металл раскисляется ферромарганцем. Металл шва характеризуется высоким содержанием кислорода и водорода, склонен к образованию трещин при повышенном содержании серы и углерода, не образует поры при сварке по окалине или ржавчине и при случайном удлинении дуги. Недостаток покрытия — повышенное разбрызгивание расплавленного металла и обильное выделение окислов марганца и кремнезема. Марганец вызывает расстройство нервной системы сварщика, окись кремния — силикоз.

Покрытие применяется для малоуглеродистых сталей, тип электродов Э-42, марки ОММ-5, ЦМ-7, СМ-5, АНО-6.

Состав покрытия ЦМ-7: ферромарганец 30%, гематит 33%, гранит 32%, крахмал 5%.

Электроды ОММ-5 и СМ-5 иногда называются электродами с ильменитовым покрытием — его основой является ильменит FeTiO_2 .

Новые электроды АНО-6 имеют улучшенные сварочно-технологические свойства, приближаются к электродам с рутиловым покрытием; производительность АНО-6 на 15...20% выше производительности ОММ-5.

Рутиловое покрытие — Р.

По качеству наплавленного металла электроды с рутиловым покрытием занимают промежуточное место между кислыми и фтористо-кальциевыми электродами.

Шлакообразующую основу покрытия составляют рутил, алумосиликаты, карбонаты. Металл раскисляется ферромарганцем. Выделение паров марганца в 3...5 раз меньше. Металл шва мало склонен к образованию пор при колебаниях длины дуги, при сварке по грязи и ржавчине. Рутиловые электроды характеризуются высокими сварочно-технологическими свойствами по сравнению с кислыми покрытиями: разбрызгивание в 4...5 раз меньше, легко отделяется шлаковая корка, хороший внешний вид. Типы электродов: Э42, Э46, марки АНО-3, АНО-4, АНО-5, ОЗС-4, ОЗС-6, МР-1, МР-3.

Фтористо-кальциевое покрытие основного типа — Б.

Шлакообразующую основу покрытия составляют карбонаты и плавленый шпат. Газовая защита обеспечивается углекислым и угарным газами, образующимися при диссоциации карбонатов. Расплавленный металл раскисляется ферромарганцем, ферросилицием, иногда ферротитаном и алюминием.

Металл шва содержит незначительное количество кислорода и водорода. Покрытие слабо окислительное, поэтому возможно легирова-

ние шва элементами, обладающими большим сродством к кислороду. Соединения кальция, хорошо связывающие серу и фосфор, обеспечивают высокую чистоту наплавленного металла, его повышенные пластические свойства; легирование шва кремнием и марганцем — высокую прочность. При использовании этих электродов металл шва склонен к образованию пор при загрязнении кромок маслом и ржавчиной, а также при увеличении длины дуги. Покрытие рекомендуется для сварки ответственных конструкций, легированных сталей. Типы электродов 342А, 346А, марки: УОНИ 13/45, СМ-11, ДСК-50, АНО-7, АНО-8. Состав покрытия УОНИ 13/45: ферромарганец 2%, ферротитан 15, ферросилиций 3, мрамор 53, плавиковый шпат 18, кварцевый песок 9%.

Целлюлозное покрытие Ц.

Целлюлозное покрытие содержит большое количество органических составляющих, обеспечивающих газовую защиту расплавленного металла. Шлакообразующие добавки: рутил, карбонаты. Раскислитель — ферромарганец. Электроды по свойствам металла близки к рутиловым. Вес покрытия небольшой, шлака мало, рекомендуется на монтаже.

Особенность покрытия — большие (до 20%) потери металла на разбрызгивание. Покрытие невлагостойко.

Типы электродов 342, 350, марки Ц-1, ОМА-2, ВСЦ-1, ВСЦ-2, ВСЦ-3.

Высокопроизводительные электроды

Характерная особенность высокопроизводительных электродов — высокое содержание железного порошка в покрытии и большая толщина его. Плавление покрытия сопровождается образованием на торце электрода глубокой втулочки из неоплавленного покрытия, которая увеличивает длину дуги и её мощность. По технологическим свойствам и содержанию железного порошка в покрытии электроды условно могут быть разделены на три группы: первая содержит железный порошок до 20%, марки электродов: АНО-4, АНО-3, МР-3, ОЗС-4, производительность наплавки электродами диаметром 4 мм 23...30 г/мин. Железный порошок в эти покрытия введен для улучшения сварочно-технологических свойств электродов, производительность их возрастает мало; вторая содержит 30...35% порошка, марки электродов: АНО-5, ЗРС-2, производительность наплавки 35...40 г/мин. Электроды называются универсальными электродами повышенной производительности; третья содержит 50...65% порошка, марки электродов: АНО-1, ОЗС-3, ЗРС-1, производительность наплавки 65...70 г/мин. Эти высокопроизводительные электроды применяются для сварки в

нижнем положении длинных швов. К обозначению вида покрытия с железным порошком добавляют индекс Ж.

6.7. Типы электродов

Для сварки конструкционных сталей тип электрода обозначается буквой Э, за которой цифрами указана величина временного сопротивления при разрыве. Например, Э38, Э42...Э150. У некоторых типов электродов для обозначения более высоких характеристик пластичности металла после цифр ставится буква А. Например: электроды типа Э42 - $\delta\delta = 42 \text{ кгс/мм}^2$; относительное удлинение $\delta = 18\%$, ударная вязкость $A_k = 8 \text{ кгс/см}^2$. Содержание серы и фосфора в наплавленном металле не более 0,045%. Электроды типа Э42А

$\delta\delta = 42 \text{ кгс/мм}^2$; относительное удлинение $\delta = 22\%$; ударная вязкость $A_k = 15 \text{ кгс/см}^2$. Содержание серы и фосфора в наплавленном металле не более 0,035%.

В обозначение типов электродов для сварки теплоустойчивых и высоколегированных сталей вводится характеристика химического состава наплавленного металла. Например: Э-09М, Э-09МХ, Э-12Х13, Э-10Х20Н7012М2Б2В.

Одному и тому же типу электрода могут соответствовать электроды с покрытиями различного вида и различным составом стержня. Конкретный состав покрытия и стержня в данном электроде определяет марка электрода. Например: тип электрода Э42, марки: ОММ-5, ПМ-7, АНО-6, АНО-5, тип электрода Э46, марки МР-3, АНО-4, ОЗС-4 и другие.

6.8. Технология изготовления покрытых электродов.

Подготовка сварочной проволоки

Проволока, поступающая в мотках, подлежит размотке, правке, рубке, очистке. Правка и рубка производятся на правильно-рубильных (отрезных) станках различного типа (ПОС-1, ПОС-2, ОСЗ-МД) с летучими и гильотинными ножами. В процессе рубки контролируются рихтовка, длина, характер среза (перпендикулярность, наличие заусенцев). Стержни очищаются от ржавчины, масла, грязи и других загрязнений опескоструиванием, травлением или кварцевым песком,

смешанным с древесными опилками.

Подготовка шихты

Кусковые материалы (плавиковый шпат, гранит, глыбы) моются в специальных моечных камерах или на специальных решетках струей воды.

Сушка сыпучих и кусковых материалов (гематита, титанового концентрата, ильменита, мела, каолина, марганцевой руды) производится перед тонким помолом в открытых подовых или сушильных печах, время сушки равно 2...3 часам, температура равна 180...200°C. Толщина слоя не более 40 мм, перемешивание - 2...3 раза.

Для снижения содержания серы и удаления влаги назначается обжиг компонентов при температуре 800...1000°C в течение 1...1,5 часа.

Для облегчения обработки ферросплавов (феррохрома, ферромolibдена, ферротитана, ферровольфрама) применяется их закалка с нагревом до температуры 950...1000°C в течение 1...1,5 часа с последующим охлаждением в проточной воде.

Крупное и среднее дробление кусковых материалов (мрамора, плавикового шпата, кварца, доломита, ферросилиция, ферромарганца) производится на молотковых, щековых или вальцовых дробилках.

Тонкое измельчение и просев производится в шаровых цилиндрических или конических мельницах непрерывного или периодического действия. Просев производится на латунных ситах, размер сетки 900...6000 отв/см². Степень измельчения определяется номером сетки.

При изготовлении обмазочной массы и нанесении покрытий на электроды в ней часто наблюдается газообразование с последующим её окаменением (скаисанием). Это явление - результат соединения жидкого стекла с ферросплавами (ферромарганцем, ферросилицием). Для устранения газообразования размолотые ферросплавы подвергаются процессу пассивирования - созданию на крупинках размолотых ферросплавов защитных (пассивных) окисных пленок. Пассивирование производится сухим и мокрым способами. При сухом пассивировании ферросплавы нагреваются в прокалочных печах до температуры 300...800°C в течение 1...1,5 часа. Мокрое пассивирование производится на противнях замачиванием размолотых компонентов в чистой воде в течение суток или в водном растворе 0,25...0,50%-ного марганцево-кислого калия в течение 60...90 мин. Сухая шихта составляется

по рецептуре и перемешивается в смесителях. В зависимости от способа нанесения покрытия замес может быть разной консистенции: типа оконной замазки для опрессовки или густой сметаны для окунания.

Нанесение покрытия на стержни производится двумя способами:

1) вручную (окунанием) поштучно или рамочным способом (до 20...30 стержней одновременно). Толщина покрытия определяется скоростью извлечения электродов из ванны (чем больше скорость, тем толще покрытие);

2) опрессовкой на специальных электродообмазочных прессах: ОСЗ-3, АОЗ-1, АОЗ-2.

Производительность прессов 300...500 штук электродов в минуту.

Электроды прокаливаются в специальных конвейерных печах.

После прокали электроды контролируют, упаковывают во влагостойкую парафинированную битумную бумагу или пленку в пачки по 3...8 кг.

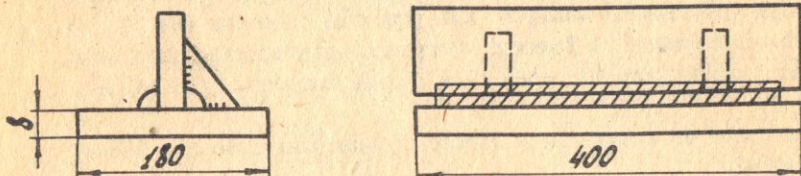
На пачку наклеивают паспорт электрода.

7. ТЕХНОЛОГИЯ И ТЕХНИКА РУЧНОЙ СВАРКИ

7.1. Свариваемость металлов

Совокупность технологических характеристик основного металла, определяющих его реакцию на изменения, происходящие при сварке, и способность при принятом технологическом процессе обеспечивать надежное в эксплуатации и экономичное сварное соединение называется свариваемостью. Под хорошей свариваемостью низкоуглеродистой стали понимается возможность при обычной технологии получить сварное соединение, равнопрочное основному металлу, без трещин в шве и без снижения пластичности в околосшовной зоне. Все однородные металлы и сплавы при сварке плавлением образуют сварные соединения удовлетворительного качества. Разница между металлами с хорошей и плохой свариваемостью в том, что для соединения последних необходима более сложная технология сварки (предварительный подогрев, ограничение погонной энергии, последующая термообработка, обливка кромок и т.д.). Известно более 200 методик испытаний на свариваемость. Тип образца обычно выбирается из стремления максимально приблизить условия испытания к условиям эксплуатации конструкции.

Для определения стойкости металла шва против образования кристаллизационных трещин используются образцы, имитирующие реальные сварные соединения (рис. 7.1).



Контрольный шов сваривается на режиме, оптимальном для данного способа сварки, марки стали и толщины металла. Трещины выявляются внешним осмотром поверхности и излома шва или на вырезанных из него микрошлифах. Данная методика применяется для испытания качества основного металла, сварочных материалов, режимов сварки [7].

Стойкость металла околошовной зоны против образования трещин проверяется на сварных образцах или определением эквивалента:

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

Символ каждого элемента обозначает максимальное содержание этого элемента в металле в процентах. Если $C_{\text{экв}} > 0,45\%$, то для обеспечения стойкости против трещин необходим предварительный подогрев свариваемых кромок до температур $100 \dots 200^\circ \text{C}$; при сварке металла небольшой толщины предельное значение $C_{\text{экв}}$ может быть повышено до $0,55\%$.

7.2. Технология и техника ручной дуговой сварки малоуглеродистых сталей

7.2.1. Выбор режима ручной дуговой сварки

Режимом сварки называется совокупность заданных параметров и условий процесса сварки.

Основные параметры режима: сила, род и полярность тока, диаметр электрода (напряжение на дуге – её длина и скорость сварки

в технологии не оговариваются).

Дополнительные параметры: состав и толщина покрытия, начальная температура металла, положение электрода и изделия в пространстве. От выбора параметров режима зависят глубина провара и ширина шва. При выборе диаметра электрода руководствуются толщиной свариваемого металла, положением шва в пространстве, размерами изделия [3].

Соотношение между диаметром электрода и толщиной свариваемого изделия.

Толщина свариваемого I...2 3 4...5 6...12...13 и более
изделия, мм

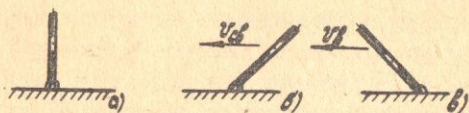
Диаметр электрода, I,5...2,5 3 3...4 4...5 5...8
мм

Сила тока выбирается по формуле $I_{сб} = (35...60) d$ эл.

При увеличении сварочного тока повышаются погонная энергия и давление дуги на сварочную ванну, что увеличивает глубину провара. Ширина шва увеличивается незначительно. Уменьшение диаметра электрода приводит к увеличению глубины провара, так как с уменьшением диаметра увеличивается плотность тока и уменьшается подвижность столба дуги.

С увеличением напряжения (длины дуги) ширина шва заметно возрастает. С увеличением скорости сварки снижается погонная энергия, уменьшаются глубина проплавления и ширина шва. Предварительный подогрев деталей до $100...140^{\circ}\text{C}$ приводит к увеличению глубины провара и ширины шва.

По положению электрода в пространстве различается сварка вертикальным электродом, углом вперед и углом назад (рис. 7.2).



При сварке углом вперед уменьшается глубина провара, увеличивается ширина шва, так как дуга располагается над вытесненным из средней части ванны жидким металлом, передача тепла твердому металлу ухудшается.

При сварке углом назад жидкий металл ванны лучше вытесняется в сторону шва, дно ванны обнажается, теплоотдача от дуги к основному металлу улучшается. В результате глубина провара увеличивается, ширина шва уменьшается.

7.2.2. Техника ручной дуговой сварки

Техникой сварки называется совокупность манипуляций электродом, обеспечивающих требуемые размеры, форму и качество шва.

Зажигание дуги

Зажигание дуги производится прикосновением конца электрода с одним полюсом источника тока к свариваемому металлу, соединенному с другим полюсом того же источника, с последующим быстрым отводом его на расстояние 3...4 мм. До зажигания дуги напряжение между электродом и свариваемым изделием обычно не менее 60 В; в момент касания электрода к изделию напряжение падает почти до нуля, после зажигания дуги и нормального её горения в зависимости от длины дуги и типа электрода оно поддерживается в пределах 16...30 В. Возбуждение дуги можно производить двумя приемами: касанием впритык и отводом перпендикулярно вверх или чирканьем электродом, как спичкой.

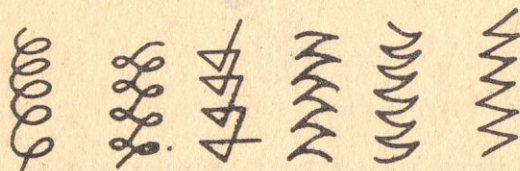
В процессе сварки следует поддерживать определенную длину дуги, которая зависит от марки и диаметра электрода. Ориентировочно нормальная длина дуги $l_d = (0,5...1,1) d$ эл. Длина дуги оказывает большое влияние на качество сварного шва и его геометрическую форму. Длинная дуга способствует более интенсивному окислению и азотированию расплавленного металла, увеличивает его разбрызгивание, при сварке электродами основного типа приводит к пористости шва. При обрыве дуги нужно вновь зажигать её либо несколько впереди кратера, либо на шве, для того чтобы тщательно расплавить образовавшийся при обрыве дуги кратер. Для получения хорошей сварки глубина проплавления в зависимости от сварочного тока - 1,5...5,0 мм.

Движение электрода

Во время сварки сварщик должен сообщать электроду движение в трех направлениях:

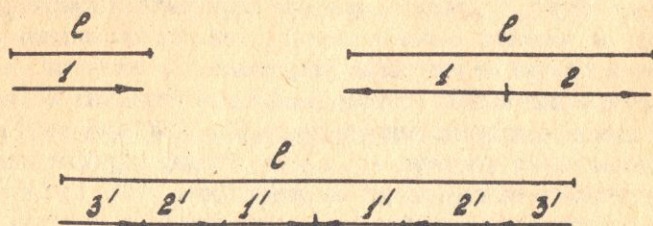
1. Поступательном — по направлению оси электрода.
2. Вдоль шва — для образования шва. При малой скорости движения может произойти перегрев или прожог. При большой скорости может получиться непровар в шве. При правильно выбранной скорости передвижения электрода вдоль шва ширина валика будет на 2...3 мм больше диаметра электрода.
3. Поперек шва — для получения унированного валика.

Поперечные движения разнообразны и определяются формой, размерами, положением шва и навыком сварщика (рис. 7.3).



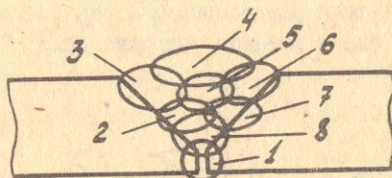
В зависимости от длины шва делится на короткие — до 250 мм, средние — 250...1000 мм, длинные — более 1000 мм.

Короткие варятся на проход, средние — от середины к краям, длинные — обратноступенчатым способом — от середины к концам, что приводит к меньшим остаточным деформациям (корослению) (рис. 7.4).



Длина участка должна быть кратна количеству электродов. Сварка ведется от участков с большей жесткостью к участкам с меньшей жесткостью. Сварку ответственных конструкций большой толщины выполняют каскадом или горкой, что позволяет улучшить структуру металла шва и сварного соединения и его механические свойства.

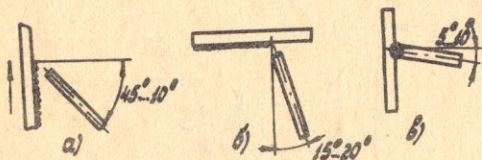
При сварке швов со скосом кромок сварку ведут в несколько проходов, корень разделки проваривают электродами диаметром 3-4 мм без поперечных колебаний. Последующие слои выполняют электродами большего диаметра с поперечными колебаниями (рис. 7.5). Для



обеспечения хорошего провара между слоями предыдущие швы и кромки необходимо очищать от шлака и окисл металла.

По положению швов в пространстве различают следующие виды: нижние - выполняемые на горизонтальной поверхности; вертикальные - выполняемые на вертикальной поверхности; горизонтальные - выполняемые по горизонтали на вертикальной поверхности; потолочные - выполняемые при положении сварщика под изделием и при сварке как бы по потоку.

Сварка вертикальных швов более сложная по сравнению со сваркой нижних швов; расплавленный металл под действием силы тяжести стремится вытечь из кратера, поэтому вертикальная сварка должна выполняться возможно более короткой дугой. Расплавленный металл в сварочной ванне от вытекания удерживается в основном силой поверхностного натяжения, поэтому необходимо уменьшить объем сварочной ванны. Применяют пониженную на 10...20% силу тока и электроды уменьшенного диаметра - 3...4 мм. Сварку вертикальных швов можно выполнять на подъем или на спуск (рис. 7.6). При сварке на подъем закристаллизовавшийся металл шва помогает удержать расплавленный металл сварочной ванны, что облегчает возможность провара



корня шва и кромок. При сварке на спуск получить качественный провар труднее, так как шлак и расплавленный металл подтекают под дугу и от дальнейшего стекания удерживаются только силами давления дуги и поверхностного натяжения. Сварку на спуск применяют при сварке тонкого металла.

Сварка горизонтальных швов затруднена из-за стекания расплавленного металла из сварочной ванны на нижнюю кромку, поэтому обычно делают скос только верхней кромки, нижняя помогает удерживать металл в сварочной ванне.

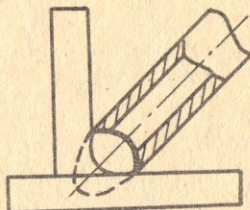
Сварка швов в потолочном положении наиболее сложна. Её выполняют периодическими короткими замыканиями конца электрода на сварочную ванну, во время которых металл сварочной ванны частично кристаллизуется. Свойства металла шва ниже, чем при сварке в других положениях, так как в шве остаются неметаллические включения. Иногда для потолочной сварки применяют специальные тугоплавкие электроды.

7.3. Высокопроизводительные способы ручной сварки

Сварка методом опирания (с глубоким проплавлением) производится электродами с увеличенной толщиной покрытия. Электрод опирается на образующийся при сварке козырек. При этом способе благодаря концентрации тепла в небольшом пространстве, ограниченном козырьком, достигается значительная глубина

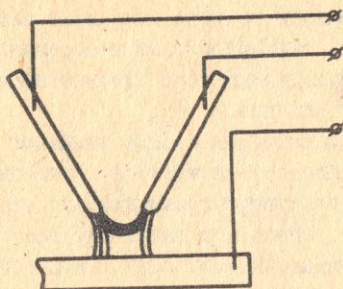
провара. Производительность увеличивается на 50%. Сварка производится на максимально допустимых токах с большой скоростью. Наклон электрода к горизонту $70...85^\circ$. Сила тока выбирается по формуле $I_{св} = 16a^2$

Сварка методом опирания также называется сваркой погруженной (ультракороткой) дугой (рис. 7.7).



Сварка пучком электродов заключается в одновременной работе двумя, тремя и более электродами, изолированными друг от друга. Электроды соединяются в пучок прихваткой в месте зажима их в электрододержателе. Ток подводится одновременно ко всем электродам. Дуга горит между наделком и тем электродом, который находится ближе к изделию; как только этот электрод оплавляется, дуга возбуждается на другом электроде, расположенном в этот момент ближе к свариваемому наделку. Процесс плавления электродов повторяется. Этот метод улучшает использование тепла дуги и снижает потери на утар и разбрызгивание. Экономится время на смену электродов, производительность повышается на 30%.

Сварка трехфазной дугой требует применения специального электрода (рис. 7.8). Ток подводится раздельно к каждому из стержней. При сварке две фазы присоединяются к электрододержателю специальной конструкции, третья — к свариваемому изделию. Расстояние между электродами — 5...6 мм. Расплавление металла производится одновременно тремя дугами, поэтому возрастает скорость плавления электродов, производительность сварки возрастает в два раза, однако техника исполнения швов затруднена из-за большого веса электродов и держателя. Трехфазной



дугой можно сваривать стыковые и тавровые соединения, заваривать тавровые соединения, заваривать дефекты литья.

Безогарковая сварка. Электрод с покрытием по всей длине приваривается торцом к держателю, что устраняет потери на огарки и сокращает расход времени на смену электродов. Недостатки метода: меньшая технологическая маневренность при сварке и большая сложность приварки по сравнению с захватом в обычных держателях.

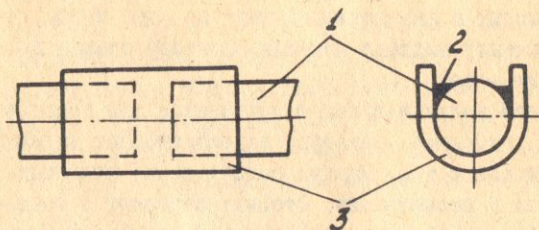
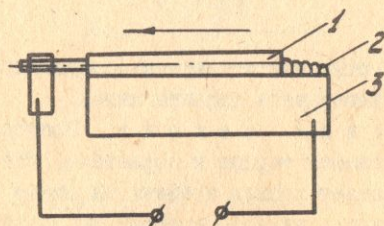
Сварка ванным способом. Расплавление металла происходит в значительной мере за счет тепла, передаваемого изделию ванной жидкого металла, поэтому сварку проводят при повышенной силе тока.

Этот способ получил широкое применение при соединении стержневых изделий, например, арматуры железобетонных изделий, железнодорожных рельсов и т.п. Ванную сварку можно выполнять как одним электродом, так и несколькими. Стержни собирают с зазором 12...16 мм в стальной остающейся, медной съемной, графитовой или керамической форме (рис. 7.9). Сварку начинают в нижней части формы: до окончания сварки металл сварочной ванны стараются поддерживать в расплавленном состоянии на большую глубину и на всю ширину зазора и формы. Шов наплавляют несколько выше поверхности стержней.

Сварка лежачим и наклонным электродами. Лежачим электродом (рис. 7.10) сваривают стыковые и нахлесточные соединения и угловые швы, для чего используют электроды диаметром 2,5...8 мм и длиной до 2000 мм. Электро-

ды укладывают на стык, накрывают сверху массивным медным бруском. Дуга зажигается замыканием рабочего конца электрода угольным стержнем и перемещается по мере плавления электрода, постепенно расплавляя его и основной металл и образуя шов. Повышение производительности труда достигается одновременным обслуживанием одним сварщиком нескольких дуг.

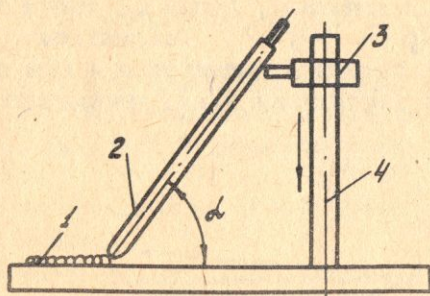
Сварку наклонным электродом иногда называют гравитационной сваркой. Электрод закрепляется в штативе, установленном на поверхность изделия через изолирующую прокладку; по мере оплавления электрод опускается с обоймой под действием веса. Токопровод осуществляется непосредственно к электроду или к обойме (рис. 7.II).



Глубина проплавления и ширина шва регулируются изменением угла наклона электрода. Сварщик обслуживает две и более установки.

Производительность ручной сварки повышается за счет применения электродов с железным порошком в покрытии. Сварка возможна только в нижнем положении, так как в других пространственных положениях увеличенный размер сварочной ванны приводит к вытеканию

из неё расплавленного металла.



8. ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ СВАРОЧНОЙ ДУГИ

8.1. Требования, предъявляемые к источникам питания

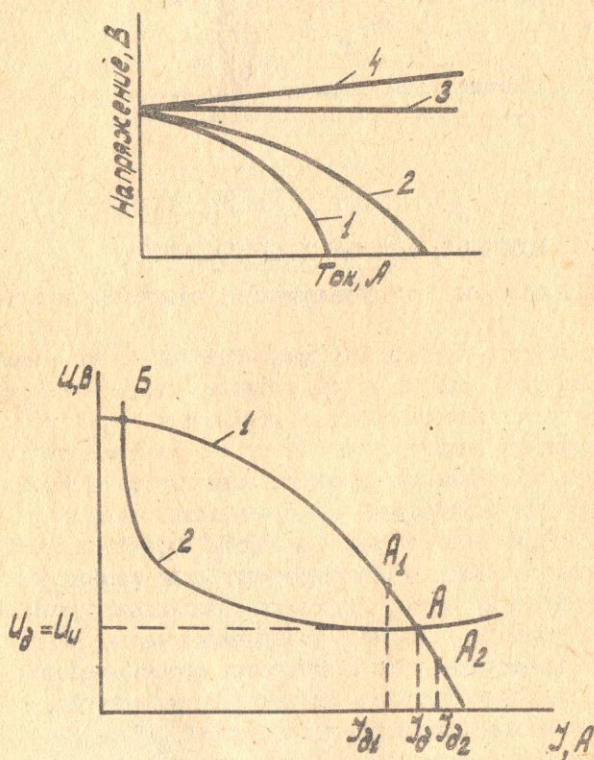
Источник тока и сварочная дуга – это энергетическая система, которая в процессе сварки должна обладать достаточной устойчивостью. Под устойчивостью системы понимается такое состояние, при котором параметры режима сварки I_d и U_d не изменяют своей величины в течение длительного времени. Зависимость напряжения дуги, необходимого для поддержания её устойчивого горения, от тока дуги называется статистической вольт-амперной характеристикой дуги. Форма отдельных участков характеристики дуги зависит от плотности тока в электроде (в дуге). При сварке маломощной дугой на токах менее 100 А форма характеристики падающая; когда ток дуги превышает 100 А, напряжение дуги практически остается постоянным независимо от изменения тока; при больших плотностях тока статистическая характеристика становится возрастающей [7].

Зависимость напряжения источника питания от силы тока нагрузки называется внешней характеристикой источника питания (рис.8.1).

Установившийся режим работы системы сварочная дуга – источник питания определяется точкой пересечения внешней характеристики источника питания и вольт-амперной характеристики дуги (рис. 8.2).

Предположим, что режим сварки соответствует точке А. Если

ток под действием внешних факторов уменьшится и примет значение I_{d1} , то напряжение источника $U_{и}$ (точка A_1) станет больше напряжения дуги: $U_{и} > U_d$, $U_{и} - U_d > 0$. Следовательно, сила тока начнет увеличиваться, пока не достигнет точки А (при изменении тока в сварочной цепи индуцируется э.д.с. самоиндукции).



При увеличении силы тока до значения $I_{dи}$ напряжение источника становится меньше, чем напряжение дуги, а разность $U_{и} - U_d$ принимает отрицательное значение, в результате чего сила тока начинает уменьшаться до тех пор, пока не достигнет точки А, т.е. при режиме сварки, соответствующем точке А, вследствие действия

э.д.с. самоиндукции происходит саморегулирование режима горения дуги. Точка А определяет устойчивое состояние системы источник питания – сварочная дуга. Точка В соответствует неустойчивому режиму горения дуги, так как уменьшение силы тока приводит к её обрыву.

При ручной сварке применяются источники питания с крутопадающими внешними характеристиками, поэтому сварщик может удлинять дугу, не опасаясь обрыва, и уменьшать её без чрезмерного увеличения силы тока.

Источники питания сварочной дуги должны удовлетворять следующим требованиям:

1. Напряжение холостого хода, т.е. напряжение на зажимах источника питания при разомкнутой сварочной цепи, должно быть достаточным для легкого возбуждения дуги, но не превышать нормы безопасности. Максимально допустимое напряжение холостого хода для источников питания постоянного тока (ГОСТ 304-69, I382I-68) равно 90 В; для источников переменного тока (ГОСТ 95-69, 70I2-69) – 80В.

2. Напряжение горения дуги (рабочее напряжение) должно быстро устанавливаться и изменяться в зависимости от длины дуги, обеспечивая её устойчивое горение. Время восстановления рабочего напряжения от 0 до 30 В после каждого короткого замыкания должно быть не более 0,05 с.

3. Ток короткого замыкания не должен превышать сварочный ток более чем на 40...50%; источник тока должен выдерживать продолжительные короткие замыкания сварочной цепи.

4. Мощность источника тока должна быть достаточной для выполнения сварочных работ.

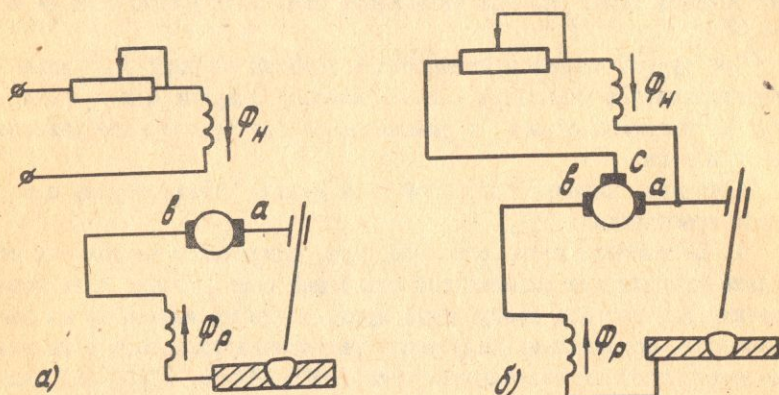
5. Источники питания дуги должны иметь устройства для плавного регулирования тока в требуемых пределах.

8.2. Сварочные преобразователи постоянного тока

Однофазные сварочные преобразователи состоят из генератора и электродвигателя или двигателя внутреннего сгорания, изготовляемых по электромагнитным схемам, в которых обеспечивается падающая внешняя характеристика.

Наибольшее распространение получили генераторы с размагничивающей последовательной обмоткой возбуждения с независимым воз-

буждением или самовозбуждением и генераторы с расщепленными полюсами (рис. 8.3).



Генератор имеет две обмотки возбуждения.

Первая — независимого возбуждения — создает постоянный магнитный поток Φ_H и питается током от сети переменного тока. Вторая, называемая размагничивающей, включается в сварочную цепь последовательно. При холостом ходе ток по ней не проходит, и э.д.с. генератора создается только магнитным потоком Φ_H . При возбуждении дуги вторая обмотка создает переменный по величине магнитный поток Φ_P , который направлен против магнитного потока Φ_H . С увеличением сварочного тока размагничивающее действие второй обмотки увеличивается, результирующий магнитный поток уменьшается, и напряжение на клеммах генератора падает. При коротком замыкании величины магнитных потоков почти уравниваются, результирующий магнитный поток становится незначительным, и напряжение на клеммах генератора падает до нуля. Следовательно, размагничивающая последовательная обмотка возбуждения создает падающую характеристику сварочного генератора. Плавное регулирование сварочного тока производится изменением величины магнитного потока Φ_H при помощи реостата.

В генераторах с самовозбуждением обмотка возбуждения питается током от части обмотки явора сварочного генератора, для чего

на коллекторе между главными щетками А и В расположена дополнительная щетка С. Напряжение между щетками А и С при нагрузке генератора практически не изменяется, поэтому к ним и подключается обмотка возбуждения, создающая постоянный магнитный поток Φ_H . Падающая характеристика обеспечивается действием размагничивающей обмотки, магнитный поток Φ_H в которой направлен против магнитного потока Φ_R . Наибольшее применение нашел сварочный преобразователь ПСО-500 (пределы регулирования сварочного тока 120...600А), состоящий из трехфазного асинхронного двигателя и однопостового сварочного генератора постоянного тока ГСО-500. Преобразователь установлен на колеса, снабжен ручкой, на корпусе смонтирована пускорегулирующая и контрольная аппаратура. Сварочный ток регулируется двумя способами - секционированием последовательной обмотки и изменением тока реостатом.

При включении всей последовательной обмотки (перемычка на доске зажимов генератора ДЗГ соединяет клемму + с клеммой 300) сварочный ток генератора можно регулировать в пределах 125...300А. При включении части её (перемычка соединяет клемму + с клеммой 500) ток регулируется в пределах 300...600 А. Наблюдают за величиной тока по показаниям амперметра, шунт которого включен в цепь якоря генератора и смонтирован внутри корпуса. Наибольшее применение находят преобразователи ПСО-120, ПСО-300, ПС-300М-1, ПС-500.

Для выполнения сварочных работ при отсутствии электроэнергии применяются подвижные сварочные преобразователи САК, АСБ, АСД, ПАС, СДУ, состоящие из сварочного генератора и двигателя внутреннего сгорания.

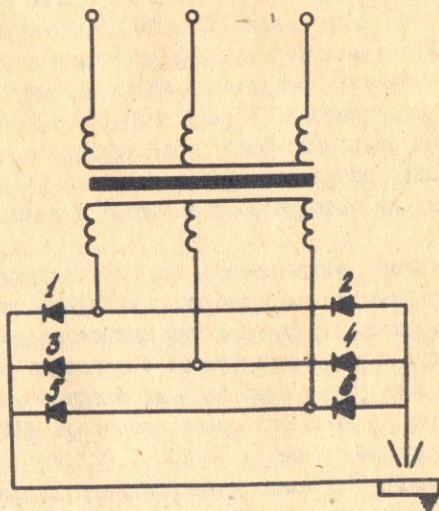
Для одновременной работы нескольких постов применяются многопостовые сварочные генераторы с жесткой характеристикой. Для получения падающей внешней характеристики сварочные посты включаются в цепь генератора через регулируемые балластные реостаты. Величина сварочного тока устанавливается изменением сопротивления балластного реостата. В комплект преобразователя ПСМ-1000-4 могут быть включены балластные реостаты РБ-200-1 (9 штук) или РБ-300-1 (6 штук). Реостатом РБ-200 можно устанавливать сварочный ток от 10 до 200 А. При необходимости для увеличения мощности включают параллельно две сварочные машины.

8.3. Сварочные выпрямители

Основное преимущество сварочных выпрямителей: высокий к.п.д., высокие динамические свойства при меньшей электромагнитной индукции, отсутствие вращающихся частей, бесшумность в работе и небольшая масса.

Сварочные выпрямители состоят из понижающего трехфазного трансформатора с устройством для регулирования напряжения или тока и выпрямительного блока. Для выпрямления тока используется способность полупроводникового вентиля (элемента) проводить ток только в одном направлении. Наибольшее применение получили селеновые и кремниевые вентили. Селеновые более дешевые, выдерживают небольшие перегрузки, но чувствительны к нагреву и требуют хорошего охлаждения. Кремниевые вентили имеют более высокий к.п.д.

Выпрямление тока осуществляется по трехфазной мостовой схеме (рис. 8.4).



Нашей промышленностью выпускаются выпрямители ВС-300, ВС-500, ВСС-300-3, ВКС-500, ВД-102, ВД-302, ВСУ-300, ВВУ-504 и другие. Выпрямитель ВСС-300-3, предназначенный для питания электрической дуги при ручной дуговой сварке и наплавке, состоит из понижающего трехфазного трансформатора с подвижными катушками, из выпрямительного селенового блока с вентилятором и пускорегулирующей и защитной аппаратурой, смонтированной в общем кожухе. Понижающий трансформатор выполнен с повышенным магнитным рассеянием, которое регулируется уменьшением расстояния между первичной и вторичной обмотками. Два диапазона регулирования сварочного тока получаются в результате соединения первичной и вторичной обмоток звездой (малые токи) и треугольником (большие токи). Плавное регулирование производится изменением расстояния между катушками первичной и вторичной (верхней подвижной) обмоток. Оно изменяется вращением рукоятки, находящейся сверху сварочного выпрямителя. При вращении рукоятки по часовой стрелке катушки обмоток сближаются, индуктивность рассеяния уменьшается, сварочный ток увеличивается.

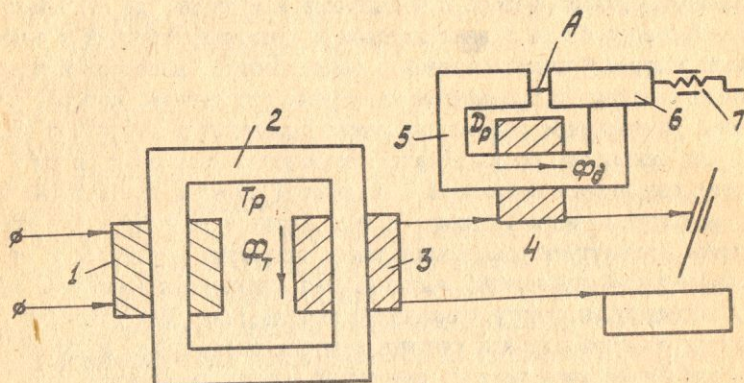
Сварочные выпрямители типа ВСУ и ВДУ универсальные, применяются для ручной и механизированной сварки, имеют различные внешние характеристики.

8.4. Сварочные аппараты переменного тока (трансформаторы)

Трансформатор обеспечивает питание дуги переменным током напряжением 60...70 В.

Трансформаторы с отдельным дросселем состоят из понижающего трансформатора и дросселя для создания падающей внешней характеристики и регулирования величины сварочного тока (рис. 8.5). Трансформатор Тр имеет сердечник (магнитопровод) из штампованных пластин, изготовленных из трансформаторной стали толщиной 0,5 мм. На сердечнике расположена первичная и вторичная обмотки. Первичная обмотка из изолированной проволоки подключается к сети переменного тока напряжением 220 или 380 В. Во вторичной обмотке, изготовленной из медной шины, индуцируется ток напряжением 60...70 В. Последовательно вторичной обмотке в сварочную цепь включена обмотка дросселя Др. Сердечник дросселя набран из пластин тонкой транс-

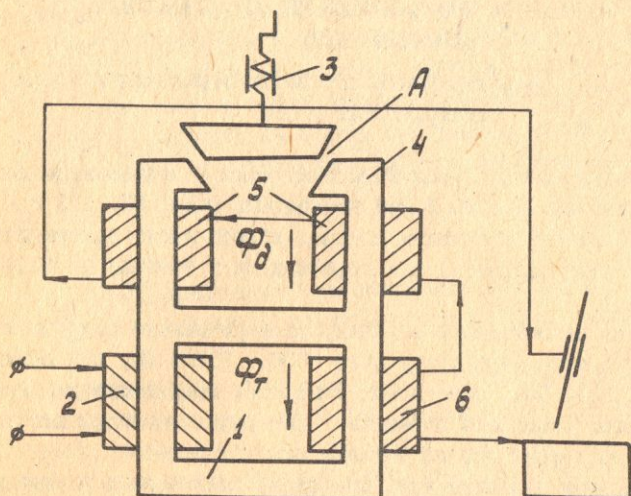
форматорной стали и состоит из двух частей: неподвижной, на которой расположена обмотка дросселя, и подвижной, перемещаемой с помощью винтового приспособления. При возбуждении дуги (при коротком замыкании) большой ток, проходя через обмотку дросселя,



создает мощный магнитный поток, наводящий э.д.с. дросселя, направленную против напряжения трансформатора. Вторичное напряжение, развиваемое трансформатором, полностью поглощается падением напряжения в дросселе. Напряжение в сварочной цепи достигает почти нуля. При возникновении дуги величина сварочного тока уменьшается. Вслед за ним уменьшается э.д.с. самоиндукции дросселя, направленная против напряжения трансформатора, и в сварочной цепи устанавливается рабочее напряжение. С изменением величины зазора А между неподвижным и подвижным магнитопроводами изменяется индуктивное сопротивление дросселя и в результате — величина тока в сварочной цепи.

При увеличении зазора магнитное сопротивление магнитопровода дросселя увеличивается, магнитный поток ослабляется, уменьшается э.д.с. самоиндукции и её индуктивное сопротивление — сварочный ток возрастает. По такой схеме изготовлены трансформаторы СТЗ-24у, СТЗ-34у. При вращении рукоятки дросселя по часовой стрелке воздушный зазор, а следовательно, и сварочный ток увеличивается. Один оборот рукоятки изменяет сварочный ток примерно на 20 А.

Магнитопровод трансформатора со встроенным дросселем (рис. 8.6) состоит из основного сердечника, на котором расположены пер-



вичная и вторичная обмотки трансформатора, и добавочного сердечника с обмоткой дросселя. Добавочный магнитопровод расположен над основным и состоит из неподвижной и подвижной частей, между которыми винтовым механизмом устанавливается необходимый воздушный зазор А. Магнитный поток, создаваемый обмоткой дросселя, может иметь попутное или встречное направление с потоком, создаваемым вторичной обмоткой трансформатора, в зависимости от того, как включены эти обмотки. При встречном соединении магнитные потоки, возникающие при прохождении тока во вторичной обмотке трансформатора Φ_T и обмотке регулятора Φ_d , направлены навстречу друг другу, поэтому напряжение холостого хода $U_{xx} = U_{Tx} - U_{dx}$, где U_{Tx} — напряжение во вторичной обмотке трансформатора, В; U_{dx} — напряжение в обмотке дросселя, В.

При попутном включении магнитные потоки Φ_T и Φ_d имеют одинаковые направления, напряжение холостого хода $U_{xx} = U_{Tx} + U_{dx}$.

Величина сварочного тока регулируется изменением воздушного

зазора А; чем больше зазор, тем больше величина тока. По такой схеме изготавливаются трансформаторы СТН-500, СТН-350, СТН-700.

9. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СВАРОЧНЫХ РАБОТ

9.1. Предотвращение опасности поражения электрическим током

При сварке используются источники тока с напряжением холостого хода, равным 45...80 В при постоянном токе, 55...75 В - при переменном. Поэтому источники питания должны иметь автоматические устройства, отключающие их при обрыве дуги в течение не более 0,5 с.

Учитывая непостоянную величину электрического сопротивления человеческого тела (при сухой коже 8000...20000 Ом, при влажных руках 400...1000 Ом), безопасным считается напряжение не выше 12В. Для уменьшения опасности поражения электрическим током необходимо соблюдение следующих правил техники безопасности:

1. Надежная изоляция всех проводов, связанных с питанием источника тока и сварочной дуги, заземление корпусов сварочных аппаратов.

2. Надежное устройство электродержателя с хорошей изоляцией.

3. Работа в исправной сухой спецодежде и рукавицах. При работе в тесных отсеках и в замкнутых пространствах обязательно использование резиновых галлов и ковров, источников освещения с напряжением не выше 6...12 В. [5].

9.2. Предотвращение опасности поражения лучами электрической дуги

Сварочная дуга является источником световых лучей, яркость которых может вызвать ожог незащищенных глаз при облучении их в течение всего 10...15 с. Более длительное воздействие излучения дуги может привести к повреждению хрусталика глаза и к потере зрения. Ультрафиолетовое излучение вызывает ожоги глаз и кожи, инфракрасное приводит к помутнению хрусталика глаза. Для предотвращения опасного поражения глаз обязательно применение защитных сте-

кол — наиболее темных для сварщиков и более светлых — для вспомогательных рабочих. Защитные стекла, вставленные в щитки и в маски, снаружи закрываются простым стеклом для предохранения их от брызг расплавленного металла. Щитки изготавливаются из изоляционного материала — фибры, фанеры и должны закрывать лицо и голову сварщика.

Сварочные кабины окрашиваются в светлые тона с добавлением в окраску окиси цинка с целью уменьшения отражения ультрафиолетовых лучей дуги, падающих на стены. При работе вне кабины рабочее место сварщика должно отгораживаться переносными щитками или ширмами.

9.3. Предотвращение опасности поражения брызгами расплавленного металла и шлака

Температура брызг достигает 1800°C . Сварщика предохраняет от них спецодежда (брюки, куртки и рукавицы) из брезентовой или специальной ткани. Куртки при работе не следует заправлять в брюки, обувь должна иметь гладкий верх, чтобы брызги не попадали внутрь одежды, так как возможны тяжелые ожоги.

9.4. Предотвращение отравления вредными газами и аэрозолями, выделяющимися при сварке

Высокая температура дуги приводит к тому, что часть сварочной проволоки, покрытий, флюсов переходит в парообразное состояние. Эти пары конденсируются в аэрозоль конденсации, частицы которой по дисперсности приближаются к дымам и легко попадают в дыхательную систему сварщиков. Химический состав электросварочной пыли зависит от способов сварки и видов основных и сварочных материалов. Наряду с пылью при сварке образуются и выделяются газообразные продукты — окислы азота, окись углерода, фтористые соединения. Наиболее опасны для здоровья сварщиков аэрозоли марганца: отравление ими может вызвать длительное и стойкое поражение центральной нервной системы, вплоть до параличей; отравление парами цинка и свинца — лихорадку, длительное отложение пыли в легких — пневмокониозы.

Для улавливания сварочного аэрозоля в местах сварки нужно устанавливать местные отсосы в виде вытяжного шкафа, стола с под-
решеточным отсосом и др. В сварочном цехе должна действовать
общеобъемная вентиляция.

9.5. Рабочее место сварщика

При ручной дуговой сварке мелких изделий рабочее место свар-
щика и сборщика — кабина 2 х 2 или 2х3 м с подвижной брезентовой
занавеской. Кабина оборудуется поворотным столом, сварочным аппа-
ратом, стеллажами для деталей и готовых изделий.

Рабочее место сварщика часто оснащается манипулятором, по-
зволяющим легко поворачивать изделие в удобное положение. В каби-
не должен быть комплект инструмента, запас электродов.

При сварке в условиях монтажа особое значение придается тща-
тельной изоляции токоведущих проводов, а при сварке внутри метал-
лических конструкций — хорошей вентиляции места сварки.

ПОДРИСУНОЧНЫЕ ПОДПИСИ

Страница 5

Рис.1.1. Газовая сварка: 1 — горелка; 2 — пламя; 3 — свариваемые детали.

Рис.1.2. Сварка косвенной дугой: 1 — электроды; 2 — токоподвод; 3 — сварочная дуга; 4 — присадка; 5 — свариваемые детали.

Страница 6

Рис.1.3. Ручная сварка: 1 — токоподвод; 2 — электрод; 3 — сварочная дуга; 4 — шов.

Рис.1.4. Автоматическая сварка: 1 — сварочная проволока; 2 — токоподвод; 3 — флюс; 4 — сварочная дуга; 5 — шлаковая корка; 6 — шов.

Страница 7

Рис.1.5. Сварка в защитных газах: 1 — сварочная проволока; 2 — токоподвод; 3 — сварочная дуга; 4 — шов.

Рис.1.6. Электрошлаковая сварка: 1 — свариваемые детали; 2 — сварочная проволока; 3 — ползуны; 4 — шлаковая ванна; 5 — шов.

Рис.1.7. Электронно-лучевая сварка: 1 — источник; 2 — луч; 3 — шов; 4 — свариваемые детали.

Страница 8

Рис.1.8. Сварка световым лучом: 1 — зеркало; 2 — фокусирующая линза; 3 — изделие; 4 — луч.

Рис.1.9. Стыковая сварка: 1 — токоподвод; 2 — свариваемые детали.

Рис.1.10. Точечная сварка: 1 — электроды; 2 — свариваемые детали.

Страница 9

Рис.1.11. Газопрессовая сварка: 1 — газовая горелка; 2 — свариваемые детали.

Рис.1.12. Индукционная сварка: 1 — свариваемые детали; 2 — источник ТВЧ.

Рис.1.13. Сварка трением: 1 — свариваемые детали; 2 — зажимной патрон.

Страница 10

Рис.1.14. Холодная сварка: 1 — свариваемые детали.

Рис.1.15. Ультразвуковая сварка: 1 — свариваемые детали; 2 — волновод.

Рис.1.16. Сварка взрывом: 1 — свариваемые детали; 2 — взрывчатка; 3 — детонатор.

Страница 11

Рис.1.17. Диффузионная сварка: 1 — свариваемые детали; 2 — вакуумная камера.

Страница 12

Рис.2.1. Основные области дуги и распределение потенциала дуги: 1 — катод (электрод); 2 — катодная область; 3 — столб дуги; 4 — анодная область; 5 — анод (деталь).

Страница 13

Рис.2.2. Тепловой баланс электрической дуги покрытым электродом: 1 — рассеивание в окружающую среду 20%; 2 — разбрызгивание 5%; 3 — перенос каплями расплавленного металла 25%; 4 — поглощение электродом 30%; 5 — поглощение основным металлом 50%.

Страница 14

Рис.2.3. Схема сварки: 1 — вылет электрода; 2 — электрододержатель; 3 — электрод; 4 — дуга; 5 — изделие.

Страница 16

Рис.2.4. Перенос металла через дугу: 1 — электрод; 2 — электромагнитные силы; 3 — силы поверхностного натяжения; 4 — силы тяжести; 5 — вертикальная составляющая сил внутреннего давления газов; 7 — сварочная ванна; 8 — деталь.

Страница 17

Рис.3.1. Строение и форма сварочной ванны: 1 — электрод; 2 — головной участок; 3 — хвостовой участок; 4 — длина сварочной ванны; в — ширина; Н — толщина; — глубина.

Страница 18

Рис.3.2. Схема кристаллизации металла шва: 1 — направление роста кристаллов; 2 — фронт затвердевания; 3 — кристаллизационные слои; 4 — движение металла в ванне.

Страница 21

Рис.4.1. Направление действия напряжений: 1 — продольные напряжения.

Страница 22

Рис.4.2. Схема деформаций: 1 — в плоскости; 2 — из плоскости (угловая).

Страница 23

Рис.4.3. Обратный выгиб листов.

Рис.4.4. Механическая и термическая правка деталей: 1 — места проколачивания; 2 — места нагрева.

Страница 24

Рис.5.1. Типы сварных соединений: 1 — стыковое; 2 — тавровое; 3 — угловое; 4 — нахлестное.

Страница 25

Рис.5.2. Типы сварных швов: 1 — стыковой; 2 — угловой; 3 — пробочный; 4 — прорезной.

Страница 26

Рис.5.3. Подготовка кромок под сварку соединения: 1 — встык с отбортовкой; 2 — встык без скоса кромок; 3 — встык на подкладке; 4 — встык со скосом одной кромок; 5 — встык со скосом кромок; 6 — встык двухсторонний; 7 — внахлестку; 8 — тавровое без скоса; 9 — тавровое со скосом кромок; 10 — угловое.

Страница 36

Рис.7.1. Образец для испытаний.

Страница 37

Рис.7.2. Способы выполнения сварки: а — вертикальным электродом; б — углом вперед; в — углом назад.

Страница 39

Рис.7.3. Перемещение электрода поперек шва.

Рис.7.4. Схемы сварки швов: а — напроход; б — от средних к концам; в — обратноступенчато; г — обратноступенчато от середины к концам; д — каскадом; е — горкой.

Страница 40

Рис.7.5. Поперечное сечение многослойного шва (8 слоев).

Страница 41

Рис.7.6. Положение электродов при сварке швов: а — вертикальных; б — потолочных; в — горизонтальных.

Страница 42

Рис.7.7. Сварка методом опирания.

Страница 43

Рис.7.8. Сварка трехфазной дугой.

Страница 44

Рис.7.9. Сварка ванным способом: 1 — стержни; 2 — прихватка; 3 — форма.

Рис.7.10. Сварка лежащим электродом: 1 — электрод; 2 — шов; 3 — изделие.

Страница 45

Рис.7.11. Сварка наклонным электродом: 1 — электрод; 2 — обойма; 3 — штатив; 4 — шов.

Страница 46

Рис.8.1. Типы внешних характеристик источников питания сварочного тока: 1 — крутопадающая; 2 — пологопадающая; 3 — жесткая; 4 — пологовозрастающая.

Рис.8.2. Внешняя характеристика источника питания и вольт-амперная характеристика дуги.

Страница 48

Рис.8.3. Принципиальные схемы генераторов с размагничивающей последовательной обмоткой: а — с независимым возбуждением; б — с самовозбуждением.

Страница 50

Рис.8.4. Схема трехфазного мостового выпрямителя.

Страница 52

Рис.8.5. Схема трансформатора с отдельным дросселем: 1 — первичная обмотка; 2 — сердечник; 3 — вторичная обмотка; 4 — обмотка дросселя; 5 — сердечник дросселя неподвижный; 6 — сердечник дросселя подвижный; 7 — винт.

Страница 53

Рис.8.6. Схема трансформатора со встроенным дросселем: 1 — основной сердечник; 2 — первичная обмотка; 3 — винт; 4 — добавочный сердечник; 5 — обмотка дросселя; 6 — вторичная обмотка.

THE UNIVERSITY OF CHICAGO
 LIBRARY
 540 EAST 57TH STREET
 CHICAGO, ILL. 60637

THE UNIVERSITY OF CHICAGO
 LIBRARY
 540 EAST 57TH STREET
 CHICAGO, ILL. 60637

THE UNIVERSITY OF CHICAGO
 LIBRARY
 540 EAST 57TH STREET
 CHICAGO, ILL. 60637

THE UNIVERSITY OF CHICAGO
 LIBRARY
 540 EAST 57TH STREET
 CHICAGO, ILL. 60637

THE UNIVERSITY OF CHICAGO
 LIBRARY
 540 EAST 57TH STREET
 CHICAGO, ILL. 60637

THE UNIVERSITY OF CHICAGO
 LIBRARY
 540 EAST 57TH STREET
 CHICAGO, ILL. 60637

THE UNIVERSITY OF CHICAGO
 LIBRARY
 540 EAST 57TH STREET
 CHICAGO, ILL. 60637

THE UNIVERSITY OF CHICAGO
 LIBRARY
 540 EAST 57TH STREET
 CHICAGO, ILL. 60637

THE UNIVERSITY OF CHICAGO
 LIBRARY
 540 EAST 57TH STREET
 CHICAGO, ILL. 60637

ЛИТЕРАТУРА

1. Патон Б.Е., Харченко Л.Ф. Достижения сварочного производства в СССР. - "Сварочное производство", 1977, № II.
2. Фролов В.В., Теоретические основы сварки. - М.: Высшая школа, 1970.
3. Николаев Г.А., Специальные методы сварки. - М: Машиностроение, 1975.
4. Патон Б.Е., Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением. - М.: Машиностроение, 1974.
5. Акулов А.И., Бельчук Г.Л., Демянцевич В.П., Технология и оборудование сварки плавлением. - М.: Машиностроение, 1977.
6. Петров Г.Л., Сварочные материалы. - М.: Машиностроение, 1972.
7. Геворкян В.Г., Основы сварочного дела. - М.: Высшая школа, 1975.

О Г Л А В Л Е Н И Е

Введение	3
I. Основные способы сварки металлов	5
2. Сварочная дуга и её свойства	II
2.1. Основные понятия о дуге	13
2.2. Тепловые процессы при ручной сварке	14
2.3. Нагрев электрода	15
2.4. Плавление металла	15
2.5. Перенос металла через дугу	
3. Металлургические процессы при сварке	
3.1. Образование сварочной ванны. Формирование и кристаллизация металла шва	17
3.2. Особенности металлургических процессов при сварке	19
4. Напряжения и деформации при сварке	
4.1. Классификация напряжений и деформаций	21
4.2. Превращение и снижение остаточных напряжений и деформаций	22
5. Подготовка металла под сварку	
5.1. Типы сварных соединений и швов	24
5.2. Конструктивные элементы сварных соединений при ручной дуговой сварке	25
6. Электроды для ручной дуговой сварки	26
6.1. Сварочные проволоки	
6.2. Основные требования, предъявляемые к электродам	27
6.3. Стальные электроды и виды покрытий	28
6.4. Стабилизирующие электродные покрытия	28
6.5. Качественные электродные покрытия	29
6.6. Классификация покрытий электродов	30
6.7. Типы электродов	33
6.8. Технология изготовления покрытых электродов. Подготовка сварочной проволоки	33

7.	Технология и техника ручной сварки	35
7.1.	Свариваемость металлов	
7.2.	Технология и техника ручной дуговой сварки малоуглеродистых сталей	36
7.2.1.	Выбор режима ручной дуговой сварки	38
7.2.2.	Техника ручной дуговой сварки	
7.3.	Высокопроизводительные способы ручной сварки	41
8.	Источники питания сварочной дуги	
8.1.	Требования, предъявляемые к источникам питания	45
8.2.	Сварочные преобразователи постоянного тока	47
8.3.	Сварочные выпрямители	50
8.4.	Сварочные аппараты переменного тока (трансформаторы)	51
9.	Техника безопасности при производстве сварочных работ	
9.1.	Предотвращение опасности поражения электрическим током	54
9.2.	Предотвращение опасности поражения лучами электрической дуги	54
9.3.	Предотвращение опасности поражения брызгами расплавленного металла и шлака	55
9.4.	Предотвращение отравления вредными газами и аэрозолями, выделяющимися при сварке	55
9.5.	Рабочее место сварщика	56

А.М. Козулина

ВВЕДЕНИЕ В СПЕЦИАЛЬНОСТЬ

Редактор
Корректор

Е.С. Поздеева
С.И. Протиковская

Подписано в печать 30.11.81. Е001536.

Формат 60x84/16. Бумага обертка белая.

Уч. изд. листов 3,1 Усл. печ. листов 3,75

Тираж 500 экз. Заказ № 1724 . Цена 10 коп.

Политехнический институт. Тольятти, Белорусская, 14

Ротапринт тип. им. Мати г. Куйбышев

Цена 10 коп.