

**Цель работы:** ознакомление с технологией ручной электродуговой сварки.

**Оборудование и материалы:** сварочный трансформатор, электроды, электрододержатель, щиток, стальные заготовки.

### **Задание**

1. Ознакомьтесь с теоретической частью работы.
2. Изучите оборудование сварочного поста и технику безопасности при работе на нем.
3. Подготовьте оборудование, электроды, щиток, спецодежду, пластину из малоуглеродистой стали.
4. Подсчитайте необходимую силу сварочного тока.
5. Под руководством лаборанта проведите сварку заготовок.
6. Дайте оценку качеству поверхности сварного шва.

## **1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ СВАРКЕ**

Сваркой называют процесс соединения металлических и неметаллических материалов, при котором устанавливаются межатомные и межмолекулярные связи по контактам поверхности соединяемых деталей.

Процесс соединения металлических элементов, при котором в качестве сварочного источника теплоты используют электрическую дугу, называют электродуговой сваркой.

Электрическая дуга представляет собой мощный электрический разряд в сильно ионизированной среде, сопровождающийся большим выделением теплоты и света.

Ионизация дугового промежутка происходит во время зажигания дуги и непрерывно поддерживается в процессе ее горения. Процесс зажигания дуги в большинстве случаев включает три этапа: короткое замыкание электрода на заготовку, отвод электрода на расстояние 3...6 мм и возникновение устойчивого дугового разряда.

Короткое замыкание выполняется для разогрева торца электрода и заготовки в зоне контакта с электродом.

После отвода электрода с его разогретого торца (катода) под действием электрического поля начинается термоэлектронная эмиссия электронов. Столкновение быстро движущихся по направлению к ано-

ду электронов с молекулами газов и паров металла приводит к их ионизации.

По мере разогрева столба дуги и повышения кинетической энергии атомов и молекул происходит дополнительная ионизация за счет их соударения. Отдельные атомы также ионизируются в результате поглощения энергии, выделяемой при соударении других частиц. В результате дуговой промежутки становится электропроводным и через него начинается разряд электричества.

Процесс зажигания дуги заканчивается возникновением устойчивого дугового разряда.

Температура столба дуги зависит от материала электрода и состава газов в дуге, а температура катодного и анодного пятен приближается к температуре кипения металла электродов. Эти температуры для дуги покрытого стального электрода составляют соответственно 6000 и ~ 3000 К. При этом в анодной области дуги, как правило, выделяется значительно больше тепловой энергии, чем в катодной.

Однако не вся мощность дуги полностью расходуется на нагрев и расплавление электрода и основного металла, часть ее теряется в результате теплоотдачи в окружающую среду. Часть мощности дуги, расходуемая на нагрев заготовки, называется эффективной тепловой мощностью сварочной дуги.

Электрические свойства дуги описываются статической вольтамперной характеристикой, представляющей собой зависимость между напряжением и током дуги в состоянии устойчивого горения (рис. 1).

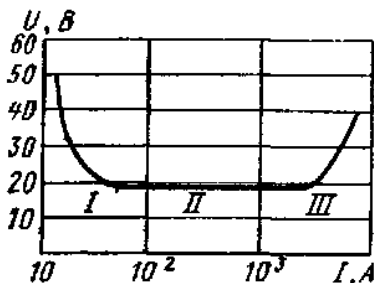


Рис. 1. Статическая вольтамперная характеристика дуги

Характеристика состоит из трех участков: I — характеристика падающая, II — жесткая, III — возрастающая. Самое широкое применение нашла дуга с жесткой и возрастающей характеристиками. Дуга с

падающей характеристикой малоустойчива и имеет ограниченное применение.

Каждому участку характеристики дуги соответствует определенный характер переноса расплавленного электродного металла в сварочную ванну: I и II — крупнокапельный, III — мелкокапельный или струйный.

Для дуги с жесткой характеристикой напряжение  $U_d$  пропорционально ее длине:

$$U_d = \alpha + \beta L_d,$$

где  $L_d$  — длина дуги ( $0 < L_d < 8$  мм);  $\alpha$  и  $\beta$  — опытные коэффициенты, зависящие от рода металла и газа в дуговом промежутке и других факторов (для стальных электродов  $\alpha = 10$  В;  $\beta = 2$  В/мм).

Из приведенной зависимости следует, что для сохранения напряжения дуги неизменным необходимо длину дуги поддерживать постоянной.

В дальнейшем рассмотрена главным образом дуга с жесткой характеристикой как наиболее распространенная при сварке.

Источники сварочного тока. Источники тока для питания сварочной дуги должны иметь специальную внешнюю характеристику. Внешней характеристикой источника называется зависимость напряжения на его выходных клеммах от тока в электрической цепи. Внешние характеристики могут быть следующих основных видов: падающая 1, пологопадающая 2, жесткая 3 и возрастающая 4 (рис. 2, а). Источник тока выбирают в зависимости от вольтамперной характеристики дуги, соответствующей принятому способу сварки.

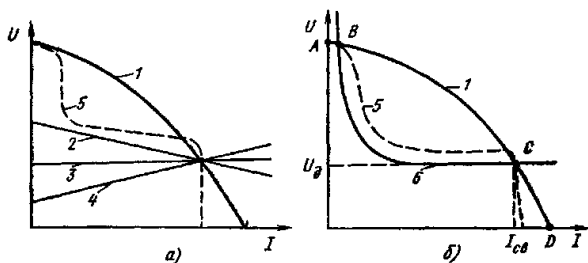


Рис. 2. Внешние характеристики источников сварочного тока (а) и соотношение характеристик дуги и падающей характеристики источника тока при сварке (б)

Для питания дуги с жесткой характеристикой применяют источники с падающей или пологопадающей внешней характеристикой (ручная дуговая сварка, автоматическая под флюсом, сварка в защитных газах неплавящимся электродом). Режим горения дуги определяется точкой пересечения характеристик дуги  $b$  и источника тока  $1$  (рис. 2,  $b$ ). Точка  $C$  соответствует режиму устойчивого горения дуги, точка  $A$  — режиму холостого хода в работе источника тока в период, когда дуга не горит и сварочная цепь разомкнута. Режим холостого хода характеризуется повышенным напряжением (60...80 В). Точка  $D$  соответствует режиму короткого замыкания при зажигании дуги и ее замыкании каплями жидкого электродного металла. Короткое замыкание характеризуется малым напряжением, стремящимся к нулю, и повышенным, но ограниченным током.

Источники сварочного тока с падающей характеристикой необходимы для облегчения зажигания дуги за счет повышенного напряжения холостого хода, обеспечения устойчивого горения дуги и практически постоянной проплавливающей способности дуги, так как колебания ее длины и напряжения (особенно значительные при ручной сварке) не приводят к значительным изменениям сварочного тока, а также для ограничения тока короткого замыкания, чтобы не допустить перегрева токоподводящих проводов и источников тока. Наилучшим образом, приведенным требованиям удовлетворяет источник тока с идеализированной внешней характеристикой  $5$  (рис. 2,  $a$ ).

Для обеспечения устойчивости горения дуги с возрастающей характеристикой применяют источники сварочного тока с жесткой или возрастающей характеристикой (сварка в защитных газах плавящимся электродом и автоматическая под флюсом током повышенной плотности).

Для питания сварочной дуги применяют источники переменного тока (сварочные трансформаторы) и источники постоянного тока (сварочные выпрямители и генераторы). Источники переменного тока более распространены, так как обладают рядом технико-экономических преимуществ. Сварочные трансформаторы проще в эксплуатации, значительно долговечнее и обладают более высоким КПД, чем выпрямители и генераторы постоянного тока. Постоянный ток предпочтителен в технологическом отношении: при его применении повышается устойчивость горения дуги, улучшаются условия сварки в различных пространственных положениях, появляется возможность вести сварку на прямой и обратной полярностях и т. д.

Сварочные трансформаторы, как правило, имеют падающую внешнюю характеристику, их используют для дуговой ручной сварки и автоматической сварки под флюсом.

Для плавного регулирования сварочного тока изменяют расстояние между обмотками трансформатора.

Ручная дуговая сварка. Ручную дуговую сварку выполняют сварочными электродами, которые вручную подают в дугу и перемещают вдоль заготовки. В процессе сварки металлическим покрытым электродом (рис. 3) дуга 8 горит между стержнем электрода 7 и основным металлом 1. Стержень электрода плавится, и расплавленный металл каплями стекает в металлическую ванну 9. Вместе со стержнем плавится покрытие электрода 6, образуя газовую защитную атмосферу 5 вокруг дуги и жидкую шлаковую ванну 4 на поверхности расплавленного металла. Металлическая и шлаковая ванны вместе образуют сварочную ванну. По мере движения дуги сварочная ванна затвердевает и формируется сварной шов 3. Жидкий шлак после остывания образует твердую шлаковую корку 2.

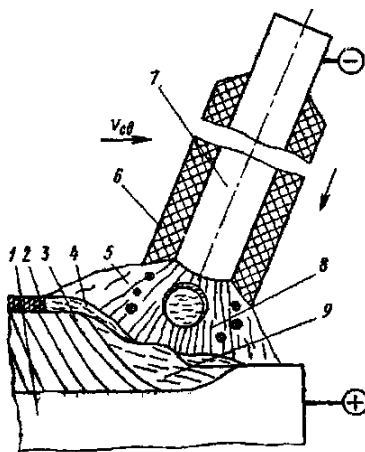


Рис. 3. Схема процесса сварки металлическим покрытым электродом

В перегретой сварочной ванне протекает ряд металлургических процессов: испарение или окисление (выгорание) некоторых легирующих элементов, например углерода, марганца, кремния, хрома и др., и насыщение расплавленного металла кислородом, азотом и водородом.

дом из окружающего воздуха. В результате возможно изменение состава сварного шва по сравнению с электродным и основным металлом, а также понижение его механических свойств, особенно вследствие насыщения шва кислородом. Для обеспечения заданного состава и свойств шва в покрытие вводят легирующие элементы и элементы-раскислители.

Электроды для ручной сварки представляют собой стержни с нанесенными на них покрытиями. Стержень изготавливают из сварочной проволоки повышенного качества. Стандарт на стальную сварочную проволоку предусматривает 77 марок проволоки диаметром 0,2...12 мм. Сварочную проволоку всех марок в зависимости от состава разделяют на три группы: низкоуглеродистую (Св-08А, Св-08ГС и др.), легированную (Св-18ХМА; Св-10Х5М и др.) и высоколегированную (Св-06Х19Н10М3Т; Св-07Х25Н13 и др.). В марках проволоки «Св» означает слово «сварочная», буквы и цифры — ее марочный состав.

Покрытия электродов предназначены для обеспечения стабильного горения дуги, защиты расплавленного металла от воздействия воздуха и получения металла шва заданного состава и свойств. В состав покрытия электродов входят стабилизирующие, газообразующие, шлакообразующие, раскисляющие, легирующие и связующие составляющие.

Электроды классифицируют по назначению и виду покрытия. По назначению стальные электроды подразделяют на пять классов: для сварки углеродистых и низколегированных конструкционных сталей с  $\sigma_b \leq 600$  МПа, легированных конструкционных сталей с

$\sigma_b \geq 600$  МПа, легированных жаропрочных сталей, высоколегированных сталей с особыми свойствами и для наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами. Электроды для сварки конструкционных сталей делят на типы Э38, Э42, ..., Э150. Цифры в обозначении типа электрода означают  $\sigma_b$  наплавленного металла в  $10^{-1}$  МПа. В обозначении типов электродов для сварки жаропрочных и высоколегированных сталей и наплавочных входит марочный состав наплавленного металла (Э-09МХ, Э-10Х5МФ, Э-08Х20Н9Г2Б и др.).

По виду покрытия электроды делят на электроды с кислым, рутитовым, основным и целлюлозным покрытием.

Кислые покрытия имеют шлаковую основу, состоящую из руд железа и марганца ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ), полевого шпата ( $\text{SiO}_2$ ), ферромарганца ( $\text{FeMn}$ ) и других компонентов. Применяют для сварки низкоуглеродистых и низколегированных сталей.

Рутиловые покрытия состоят из рутилового концентрата ( $\text{TiO}_2$ ), полевого шпата, мрамора ( $\text{CaCO}_3$ ), ферромарганца и других компонентов. Их применяют для сварки ответственных конструкций из низкоуглеродистых и низколегированных сталей.

Основные покрытия содержат мрамор, магнезит ( $\text{MgCO}_3$ ), плавленый шпат ( $\text{CaF}_2$ ), ферросилиций ( $\text{FeSi}$ ), ферромарганец, ферротитан ( $\text{FeTi}$ ) и другие компоненты. Электроды с основным покрытием применяют для сварки ответственных конструкций из сталей всех классов

Целлюлозное покрытие содержит целлюлозу и другие органические вещества с небольшим количеством шлакообразующих компонентов. Они создают хорошую газовую защиту и образуют малое количество шлака. Особенно пригодны для сварки на монтаже в любых пространственных положениях на переменном и постоянном токе. Их применяют для сварки низкоуглеродистых и низколегированных сталей.

Режим ручной дуговой сварки. Основным параметром режима ручной дуговой сварки является сварочный ток ( $A$ ), который выбирают в зависимости от диаметра и типа металла электрода:

$$I_{\text{св}} = kd_3,$$

где  $k$  — опытный коэффициент, равный 40...60 для электродов со стержнем из низкоуглеродистой стали и 35...40 для электродов со стержнем из высоколегированной стали,  $A/\text{мм}$ ;  $d_3$  — диаметр стержня электрода,  $\text{мм}$ .

Диаметр электродов выбирают, исходя из толщины стали  $\delta$ :

$\delta$ , мм	1 — 2	3 — 5	4 — 10	12 — 24 и более
$d_3$ , мм	2 — 3	3 — 4	4 — 5	5 — 6

При толщине стали до 6 мм сваривают по зазору без разделки кромок заготовки. При больших толщинах металла выполняют одностороннюю или двустороннюю разделку кромок под углом  $60^\circ$ . Разделка необходима для обеспечения полного провара по толщине.

Металл толщиной свыше 10 мм сваривают многослойным швом. Ручная сварка удобна при выполнении коротких и криволинейных швов в любых пространственных положениях — нижнем, вертикальном, горизонтальном, потолочном, при наложении швов в труднодоступных местах, а также при монтажных работах и сборке конструк-

ций сложной формы. Ручная сварка обеспечивает хорошее качество сварных швов, но обладает более низкой производительностью, например, по сравнению с автоматической дуговой сваркой под флюсом.

Производительность процесса в основном определяется сварочным током. Однако ток при ручной сварке покрытыми электродами ограничен, так как повышение тока сверх рекомендованного значения приводит к разогреву стержня электрода, отслаиванию покрытия, сильному разбрызгиванию и угару расплавленного металла. Ручную сварку постепенно заменяют полуавтоматической в атмосфере защитных газов.

### **Содержание отчета**

1. Основные теоретические сведения о ручной дуговой сварке.
2. Схема процесса сварки металлическим покрытым электродом.
3. Статическая вольтамперная характеристика дуги.
4. Внешние характеристики источников сварочного тока и соотношение характеристик дуги и падающей характеристики источника тока при сварке
5. Оценка качества сварного шва.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Материаловедение и технология металлов: учеб. для студентов машиностроит. спец. вузов / Г.П. Фетисов, М.Г. Карпман, В.М. Матюнин и др.; под ред. Г.П. Фетисова. М.: Высшая школа, 2001. 638 с.
2. Технология конструкционных материалов: учеб. пособие для вузов по специальности «Комплексная автоматизация машиностроения» / А.М. Дальский, В.С. Гаврилук, Л.Н. Бухаркин и др.; под общ. ред. А.М. Дальского. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1990. 352 с.