Энгельсский технологический институт (филиал) федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения
высшего образования
«Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»

ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ СВАРКИ

Методические указания
к выполнению лабораторных работ
по курсам «Технология конструкционных материалов»
и «Технологические процессы в машиностроении
для студентов направлений

15.03.02 «Технологические машины и оборудование»
15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»
23.03.01 «Нефтегазовое дело»

очная и заочная формы обучения

Энгельс 2025

ВВЕДЕНИЕ

Электродуговая сварка является ведущим методом соединения деталей в технологии производства металлоконструкций. Способ сварки, выбор оборудования и инструмента существенно влияют на формообразование и прочность сварочного шва.

Настоящая лабораторная работа направлена на изучение современного электросварочного оборудования, техники и технологии ручной сварки, выбор сварочного инструмента и формообразование шва.

1. Цель работы

Целью работы является ознакомление с устройством и работой источников питания сварочной дуги; исследование внешней характеристики источников питания, ознакомление с рабочим инструментом электросварщика и производством сварочных работ.

2. Основные понятия

2.1. Сущность электродуговой сварки

Сущность электродуговой сварки заключается в том, что под действием электрического тока (60 А–1000 А) и напряжения (10–60 В) от источника питания между электродом и деталью возникает электрический дуговой разряд.

В основе электродуговой сварки лежат тепловые процессы, которые определяют качество сварного соединения [1].

При электродуговой сварке источником нагрева является электрическая дуга, тепловая мощность которой равна:

$$q = 0{,}24JU \text{ кал/с.} \qquad (1)$$

где J – сварочный ток, А;

U – напряжение на дуге, В.

Эта мощность расходуется на нагрев и расплавление электрода $q_э$, основного металла $q_о$ и защитной среды (флюса) $q_з$, на потери в окружающее пространство $q_п$ и сопутствующий подогрев в детали $q_с$:

$$q_{затр} = q_э + q_о + q_з + q_п + q_с \qquad (2)$$

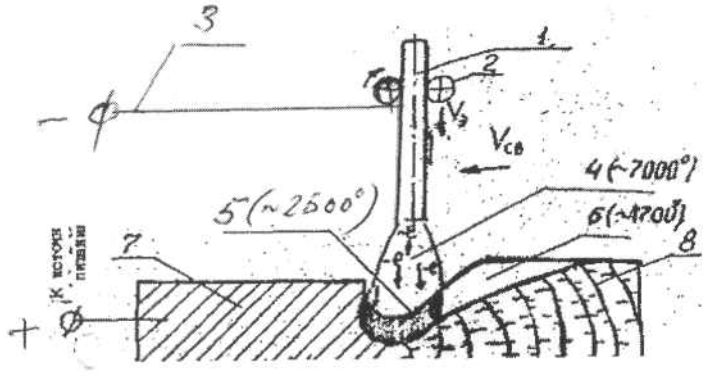

Рис. 1.

Схема электродуговой сварки (рис. 1.) содержит: 1 – электрод, 2 – механизм подачи электрода, 3 – токосъемник (токопровод), 4 – электрическая дуга, 5 – катодное (анодное) пятно, 6 – жидкая ванна расплавленного металла, 7 – свариваемое изделие, 8 – закристаллизовавшийся металл.

Соотношения составляющих теплового баланса дуги 4 во многом определяют ее эффективность и условия формирования сварного соединения, то есть фазовые и структурные превращения, взаимодействие расплавленного металла с окружающими его газами и шлаками, переход легирующих элементов из электрода в наплавленный металл, форму шва, образование остаточных напряжений и деформаций, а также производительность сварки.

2.2. Требования к источникам питания

Источник питания должен обеспечивать легкое и надежное возбуждение дуги, устойчивое ее горение и регулирование мощности.

Для возбуждения дуги между электродом и изделием подводится напряжение, которое зависит от расстояния между электродом и изделием и состояния газов в дуговом промежутке. В момент возбуждения дуги путем кратковременного замыкания электрода на изделии появляются пары ионизированного газа и величина напряжения при дальнейшем горении дуги составляет 20–40 В. Время возбуждения должно составлять примерно 0,05с.

Надежное возбуждение дуги связано с оптимальной величиной скорости нарастания тока. Если оно очень велико, то это приводит к взрывному характеру оплавления электрода и резкому увеличению межэлектродного расстояния, что, в конечном счете, нарушает стабильность процесса. Если это нарастание мало, то это затрудняет ионизацию газа в межэлектродном пространстве. Поэтому для стабильного горения дуги необходимо компромиссное решение.

Для возбуждения дуги необходимо напряжение, достаточное для создания развития электронных лавин в разрядном промежутке. Создавшийся при этом канал проводимости должен быть достаточным для прохождения большого тока.

Возбуждение и непрерывное горение электрической дуги возможно только при наличии между свариваемыми металлом и электродом напряжения тока определенной величины:

а) для возбуждения дуги не ниже 50–55 В;

б) для поддержания горения при длине дуги 2–4 мм. не ниже 18–25 В.

Для равномерного плавления металла электрода необходимо иметь постоянную силу тока, которая не изменялась бы при изменении длины дуги, поэтому согласно закону Ома:

$$J = U/R$$

где J – сила тока;
U – напряжение;
R – сопротивление.

Сварочные машины должны обладать способностью быстро менять напряжение тока при изменении длины сварочной дуги, так как чем длиннее дуга, тем быстрее сопротивление в цепи тока возрастает; чем меньше длина дуги, тем сопротивление в электроцепи уменьшается, а при соприкосновении электрода с деталью или при приваривании электрода к детали сопротивление становится ничтожно малым и при неизменном напряжении сила тока возросла бы до опасной для обмотки сварочного аппарата величины.

Сварочные аппараты переменного тока должны удовлетворять требованиям изменять напряжение тока в зависимости от изменения длины сварочной дуги и быть не восприимчивым к коротким замыканиям.

2.3. Устройство сварочных аппаратов переменного тока

Все выпускаемые однофазные аппараты можно разделить на четыре основные группы:

1) понижающие однофазные трансформаторы с отдельным дросселем;

2) понижающие трансформаторы с дросселем на общем магнитопроводе;

3) трансформаторы дроссельного типа;

4) трансформаторы с увеличенным магнитным рассеянием.

При сварке на переменном токе питание сварочной дуги осуществляется от сварочного трансформатора и регулятора. Для регулирования силы тока и повышения устойчивости горения дуги в сварочную цепь последовательно включается регулятор, который часто называют реактором или

дросселем. На рис. 2 дана схема действия сварочного трансформатора и регулятора, имеющего три обмотки. В первичную обмотку 1 от сети подается переменный ток напряжением 220 или 380 В. Со вторичной обмотки 2 снимается напряжение 55 В. Один из проводов вторичной обмотки трансформатора присоединен к электродержателю 3, другой через регулятор тока соединен с помощью хомутика 4 со свариваемой деталью 5. Регулятор состоит из железного сердечника 6 с подвижным якорем 7 и дроссельной катушкой 8. Сила тока регулируется путем изменения воздушного зазора между подвижным якорем 7 и сердечником 6.

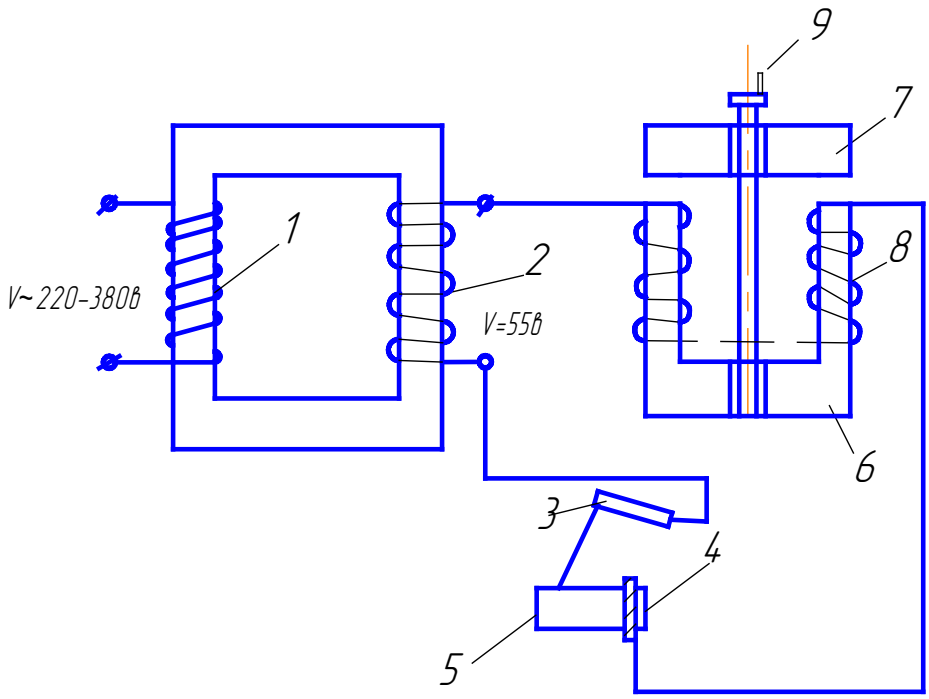

Рис. 2

Величина зазора изменяется вращением рукоятки 9. Регулятор создает падающую характеристику, регулирует величину сварочного тока и улучшает устойчивость горения дуги. Ток регулируется изменением магнитного воздушного зазора магнитопровода регулятора (дросселя). Дроссель будет пропускать на дугу минимальный сварочный ток, когда зазор равен нулю, а максимальный – при наибольшем зазоре.

Сварочные трансформаторы выпускаются двух видов: с отдельным регулятором (дросселем) и однокорпусные. Трансформаторы первого вида выпускаются под марками СТЭ–22, СТЭ–24–У, СТЭ–34–У, СТ–150–3 и т.д. Каждому трансформатору соответствует определенный регулятор: РСТЭ–22, РСТЭ–24, РСТЭ–34. РСТЭ–53. Трансформатор ТС–1000 используется для многопостовой сварки.

В табл. 1 приводятся технические данные сварочных аппаратов типа СТЭ. сварочные трансформаторы в комбинации с реактивной катушкой

представляют собой аппараты, у которых магнитопровод реактивной катушки объединен с магнитопроводом трансформатора.

Таблица 1

Технические данные сварочных трансформаторов с отдельным дросселем.

ТИП		Напряжение, В			Пределы регулирования, А	В
трансформатора	регулятора	первичное	вторичное при			трансформат
			холостом ходе	номинальное		
СТЭ-22	РСТЭ-22	127 220 380	50	30	130-350	170
СТЭ-24-У	РСТЭ-24	220 380	65	30	100-500	130
РСТЭ-34-У	РСТЭ-34	220 380	60	30	150-700	160
СТ-150-8	РСТЭ-53	220 380 500	65-70	30	500-900	410

Таблица 2

Технические данные трансформаторов

Тип трансформатора	Напряжение, В			Пределы регулирования сварочного тока, А	Вес трансформатора, кг
	первичное	при холостом ходе	номинальное		
СТН-350 СТН-500	220-380	70 600	30 30	80-450 150-700	220 260

2.4. Электроды для дуговой сварки

Электроды представляют собой проволочные стержни с нанесенными на них покрытиями. Стержень электрода изготавливают из специальной сварочной проволоки повышенного качества. ГОСТ 2246–70 на стальную сварочную проволоку предусматривает 56 марок проволоки диаметром 0,3 – 12 мм. Все марки проволоки в зависимости от состава разделяются на 3 группы: углеродистую (Св–0,3; Св–10ГС и др.), легированную (Св–18ХМА; Св–10Х5М и др.) и высоколегированную (Св–6Х19Н10М5Т; Св–07Х25Н13 и др.)

Сварочную проволоку используют для изготовления стержней покрытых электродов, а также при автоматической дуговой сварке под флю-

сом, сварке плавящимся электродом в среде защитных газов и как присадочный материал при сварке неплавящимся электродом и газовой сварке.

Электроды классифицируют по следующим признакам: типу покрытия, химическому составу жидкого шлака, назначению. По типу покрытия электроды подразделяют на электроды со стабилизирующим, защитным или легирующим покрытием. Стабилизирующее покрытие состоит из мела ($CaCO_3$). В качестве стабилизирующих веществ применяют соединения калия, натрия, кальция, бария (силикаты натрия и калия, мрамор). Газообразующие составляющие образуют при нагреве защитные газы вокруг дуги. К газообразующим относятся органические вещества и карбонаты (крахмал, оксицеллюлоза, магнезит). Шлакообразующие составляющие при расплавлении образуют жидкий шлак на поверхности сварочной ванны. Шлак служит для защиты расплавленного металла от воздействия кислорода воздуха, а также средой, через которую осуществляется раскисление и легирование металла шва. Для получения шлака в покрытия вводят марганцевую руду, полевой шпат, мрамор.

Легирующие составляющие служат для получения металла шва требуемого химического состава и механических свойств. Легирующими составляющими в покрытии являются феррохром, ферромолибден, ферротитан и др.

В качестве связующего элемента в основном применяют жидкое натриевое стекло (силикат натрия $Na_2O(SiO_2)$). Жидкое стекло связывает порошкообразные составляющие покрытия и обмазочную массу, а после просушивания и прокалки придает покрытию необходимую прочность.

По назначению стальные электроды подразделяют на 4 класса: для сварки углеродистых и легированных конструкционных сталей (Ст3, 45, 30ХГСА); для сварки теплоустойчивых сталей (12ХМ, 15ХМ и др.); для сварки высоколегированных сталей (ОХ18Н9Т, Х17 и др.); для наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами.

Для сварки конструкционных сталей применяются электроды типа Э34, Э42 …. Э145. Цифры обозначают прочность металла шва в кгс/мм^2, а электроды для сварки теплоустойчивых сталей Э–ХМ, Э–ХМФБ в зависимости от химического состава металла. Буквы М, Х, Ф, Б означают легирование молибденом, хромом, ванадием и ниобием.

Электроды для сварки высоколегированных сталей ЭА–3М6, ЭА–2Б являются электродами аустенитного типа (А–аустенит) с добавками молибдена, ниобия и других элементов.

Маркировка наплавочного электрода ЭН–У30Х28С4Н4–50 означает: ЭН–наплавочный электрод, У–содержание углерода в десятых долях процента (3%) и другие легирующие элементы, твердость HRC 50.

Помимо типа электрода, важной характеристикой является его марка, которая определяет состав покрытия (УОНИ–13/45, ЦЛ–18, ЦЛ–11 и др.). Марка электрода характеризует также его технологические свойства:

род и полярность тока, возможность сварки в различных пространственных положениях и пр.

2.5 Рабочий инструмент электросварщика

При электродуговой сварке применяется следующий инструмент:

1. Электродержатель – служит для того, чтобы сварщик рукой мог во время сварки перемещать электрод над свариваемым изделием, поэтому электрод должен надежно и быстро закрепляться в электродержателе, а электропроводы, по которым подводится ток к электроду, должны быть гибкими, чтобы не затруднять движения руки и быть хорошо изолированнымы;
2. Кабель сечения 2*70 или 2*35 мм для подвода сварочного тока;
3. Щиток и шлем со специальными темными стеклами, служащий для защиты глаз и лица сварщика от вредного действия лучей сварочной дуги;
4. Стальная щетка для очистки свариваемых деталей от ржавчины окислов, и т.п.;
5. Зубило для очистки швов;
6. Молоток;
7. Стойка для электродержателя, на которую он помещается во время подготовительных работ;
8. Коробка для хранения электродов и огарков.

3. Методика проведения лабораторной работы

3.1. Задание

1. Изучить особенности сварки на постоянном и переменном токе.
2. Научиться возбуждать сварочную дугу.
3. Научиться подбирать оптимальную силу сварочного тока.
4. Научиться поддерживать требуемую длину сварочной дуги.

3.2. Особенности сварки с применением постоянного и переменного тока.

3.2.1. Сварка дугой постоянного тока

Этот процесс может выполняться на прямой или обратной полярности (плюс на электроде, минус на изделии). Обратная полярность применяется при сварке большинства легированных сталей, меди, алюминия, а также тонких листов обычной малоуглеродистой стали.

Сварка дугой обратной полярности требует от сварщика соблюдения следующих правил:

а) дуга должна быть очень короткой (1,2–2,5 мм);

б) чехольчик покрытия должен касаться расплавленной ванны;

в) сварку желательно вести уширенными валиками.

3.2.2. Сварка дугой переменного тока

Дуга переменного тока питается от обычной сети переменного тока с частотой 50 Гц.

В особых случаях применяют повышенную частоту до 300 Гц. В дуге переменного тока катодное и анодное пятно меняются местами (электрод–изделие). Частота перемен зависит от частоты тока. В момент, когда синусоида напряжения переходит через нулевое значение, ток в дуге прекращается.

Дуга переменного тока обладает значительно меньшей устойчивостью горения, чем дуга постоянного тока. Для устойчивого горения этой дуги необходимо применять электроды со специальными покрытиями. В экономическом отношении использование переменного тока гораздо выгоднее, чем постоянного. Расход электроэнергии на 1 кг, расплавленного металла составляет для переменного тока 4,2–5 кВт/ч.

3.3. Зажигание электрической сварочной дуги

Чтобы зажечь электрическую дугу, нужно коснуться концом электрода поверхности свариваемого изделия, а затем тут же медленно отвести электрод от изделия на расстояние 4–5 мм. Тогда между электродом и изделием возникает электрическая дуга, так как промежуток между ними заполняется ионизирующими парами металлов, являющимися проводником тока.

Способы зажигания дуги следующие:

1) способ вертикального соприкосновения электрода с изделием (рис. 3, а);

2) способ горизонтального соприкосновения электрода с изделием (рис. 3, б).

Если, коснувшись электродом до изделия, его тут же не отвести, то электрод, как говорят "примерзает" – приварится и его надо оторвать быстрым движением, как показано на рис. 4.

Если дуга не зажигается и нет искрения, а сварочный аппарат включен, надо удалить обмазку ударом с конца электрода и проверить наличие контакта между свариваемой деталью и рабочим столом [2].

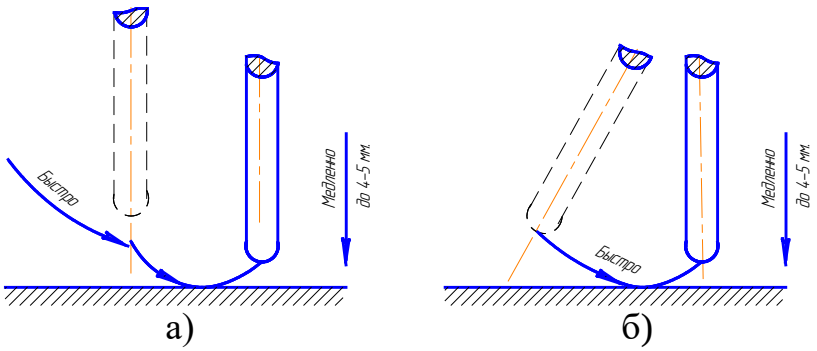

Рис. 3

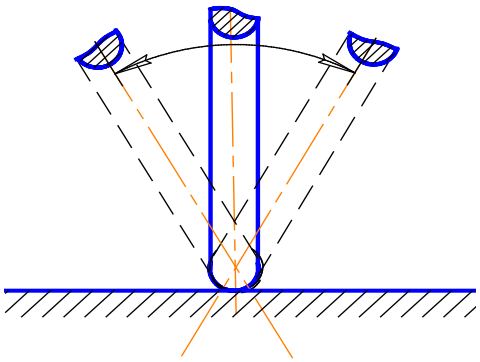

Рис. 4

3.4 Установление (подбор) силы свариваемого тока

Для производства качественной сварки надо научиться подбирать силу сварочного тока, которая зависит от материала обмазки и диаметра электрода, от свариваемого материала, от сварочной аппаратуры и квалификации сварщика.

Ориентировочное значение величины силы тока при ручной сварке электродами из малоуглеродистой стали определяется по формуле:

$$J = (\beta+\alpha D)D,$$

где J – сила тока, А;

α – коэффициент, зависящий от материала электрода;

D – диаметр электрода, мм, который выбирается по табл. 3;

β – коэффициент равный 20.

Если дуга плохо зажигается, неустойчивая и прерывается при поднятии электрода над деталью, это означает, что сила тока недостаточная и ее надо увеличить.

Если при сварке образуется большой кратер, электрод нагревается до красного каления, это указывает на большую силу тока и ее надо уменьшить

Таблица 3

Толщина металла, мм.	0.5-1	2	3	4-5	6-10	>10
D электрода, мм.	1	2	3	4	5	6
Сила сварочного тока, А	20-40	80	130	180	250	340

3.5. Величина сварочной дуги при сварке металлическим электродом

Во время сварки происходит плавление электрода, поэтому, чтобы дуга была постоянной величины сварщик должен непрерывно и равномерно приближать электрод к свариваемой детали.

В процессе сварки расплавленный металл электрода, проходя через слой воздуха, поглощает азот и кислород, которые понижают качество наплавленного металла, поэтому длина сварочной дуги должна быть 2–3 мм для электродов с меловой обмазкой и 4–5 мм для толстообмазанных электродов.

Наибольшую допустимую длину дуги (т.е. расстояние от конца электрода до свариваемого металла изделия) определяют по формуле:

$$l = D/2,$$

где l–длина дуги, мм.;

D–диаметр электрода, мм.

Если во время горения дуги на конце электрода собираются капли металла, которые часто падают на холодный металл, то это указывает, что сварка ведется слишком длинной дугой, необходимо длину дуги уменьшить.

Содержание отчета

Отчет о лабораторной работе должен содержать: краткое содержание работы, описание сущности электродуговой сварки, ее схема, тепловой баланс электрической мощности дуги, основные требования к источникам питания, электрические схемы источников питания, краткое описание методики проведения опытов при снятии внешней вольт–амперной характеристики источников питания, результаты опытов, паспортные данные источника питания и принцип его работы.

Контрольные вопросы

1. В чем заключается сущность электродуговой сварки?
2. На что расходуется электрическая мощность источников питания?
3. Какие требования предъявляются к источникам питания?
4. Какие могут быть внешние вольт–амперные характеристики источников питания?
5. Электрические схемы источников питания?

6. Как расшифровать марку источника питания?
7. Выбор марки электродов?
8. Как зажечь дугу?
9. Подбор оптимальных режимов сварки и их регулировка?

Литература

1. Николаев Г.А. Сварные конструкции, расчет и проектирование / Г.А. Николаев, В. А. Винокуров. М.: Высшая школа, 1990. – 446с.
2. Технология конструкционных материалов: учебник / под общ. ред. А.М. Дальского – 6–е изд, испр. и доп. М. Машиностроение. 2005. – 592с.

ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ
ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ СВАРКИ

Методические указания
к лабораторной работе
по дисциплине "Технология конструкционных материалов"

Составили: ДОЛГИХ АНАТОЛИЙ МИХАЙЛОВИЧ
БАСКОВ ЛЕВ ВАСИЛЬЕВИЧ

Рецензент Г. А. Козлов

Корректор Григоренко Е.В.

Подпись в печать Формат60х84 1\16
Бум. офсет. Усл. печ. л. Уч.– изд. л.
Тираж 100 экз. Заказ Бесплатно
Саратовский государственный технологический университет,
410054 г. Саратов, ул. Политехничекая,77
Отпечатано в РИЦ СГТУ, 410054 г. Саратов, Политехническая ул., 77