

МОСКОВСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ (МАДИ)



МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

К ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЕ

«РУЧНАЯ ДУГОВАЯ СВАРКА»

МОСКОВСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
(МАДИ)

Кафедра технологии конструкционных материалов

Утверждаю
зав. кафедрой чл.-корр. РАН,
д-р техн. наук, проф.
_____ В.М. Приходько
«___» _____ 2016 г.

МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ К ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЕ «РУЧНАЯ ДУГОВАЯ СВАРКА»

МОСКВА
МАДИ
2016

УДК 621.791.75-52
ББК 34.641.510.2
М545

Авторы:

В.Д. Александров, В.Б. Безрук, Б.А. Кудряшов,
Л.П. Маслакова, Е.В. Маслова, М.В. Морщилов

Рецензент:

Профессор кафедры ПРАДМ МАДИ,
д-р техн. наук *В.И. Карагодин*

М545 Методическое пособие к практической работе «Ручная дуговая сварка» / В.Д. Александров [и др.]. – М.: МАДИ, 2016. – 44 с.

Практическая работа «Ручная дуговая сварка» соответствует рабочим программам дисциплины «Технология конструкционных материалов» для студентов 1-го курса всех механических специальностей МАДИ.

УДК 621.791.75-52
ББК 34.641.510.2

© МАДИ, 2016

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Цель работы – изучить строение и свойства сварочной дуги, конструкцию и принцип действия сварочных аппаратов для ручной дуговой сварки постоянным и переменным током.

Исследовать характеристики источников сварочного тока.

Освоить навыки выбора сварочного оборудования, электродов, параметров режима сварки и разработать технологический процесс сварки конструкции.

1.1. Основы технологии сварки

Сварка является одним из основных технологических процессов обработки металлов и сплавов. Большие преимущества сварки обеспечили ей широкое применение в промышленности; без нее сегодня немыслимо производство автомобилей, тракторов, дорожных машин и других изделий, и конструкций. Так, в автомобилях масса сварных конструкций составляет 45–50% от общей массы. При сборке кузовов автомобилей ВАЗ используют до 10 тыс. сварных точек.

***Сваркой** называется процесс получения неразъемных соединений конструкционных материалов путем местного приложения термической, термомеханической или механической энергии. Соединение металлов происходит за счет межмолекулярных или межатомных связей (сил сцепления).*

Согласно ГОСТ 2601-84 все способы сварки разделяют на три класса: *термической, термомеханической и механической.*

К **термическому** классу относят газовую и все виды дуговой сварки: ручная дуговая плавящимися и неплавящимися электродами, автоматическая под слоем флюса, ручная и автоматическая в среде защитных газов.

К **термомеханическому** классу относят все виды контактной сварки: стыковая, точечная, шовная (роликовая), а также индукционно-прессовая и диффузионная.

К **механическому** классу относят сварку: давлением, трением, взрывом, магнитно-импульсная и ультразвуковая.

Основными видами сварки являются **дуговая, контактная и газовая.**

1.2. Дуговая сварка плавлением

Основоположниками дуговой сварки плавлением являются русские ученые. В 1802 году профессор физики В.В. Петров открыл электрический дуговой разряд и указал на возможность использования тепловой энергии дуги для плавления металлов. И лишь 80 лет спустя это

изобретение нашло практическое применение. В 1882 году Н.Н. Бенардос изобрел дуговую сварку неплавящимся угольным электродом постоянным током. А несколько лет спустя (1888 г.), другой русский инженер Н.Г. Славянов усовершенствовал открытие Н.Н. Бенардоса, заменив угольный электрод металлическим плавящимся электродом. Предложенная Н.Н. Славяновым дуговая сварка плавлением металлическим электродом могла использовать как постоянный, так и переменный ток. Однако эти методы долгое время не находили широкого практического применения. И только в 20-х годах XX века началось промышленное применение электросварки для получения сварных соединений металлических конструкций.

В конце 30-х годов технология сварки стала более совершенной, так как стали применять электроды с качественными обмазками, что позволило рафинировать наплавленный металл и менять его химический состав, а следовательно, и физико-механические свойства наплавленного металла.

В наши дни используются обе схемы: как с плавящимся, так и с неплавящимся электродом (рис. 1). При сварке плавящимся металлическим электродом (по схеме Н.Г. Славянова) электрод является проводником электрического тока в цепи «источник тока – электрод – межэлектродный промежуток (дуга) – свариваемый металл», одновременно металлический электрод выполняет роль присадочного металла (рис. 1а). При сварке неплавящимся электродом (по схеме Н.Н. Бенардоса) (рис. 1б) электрод (угольный или вольфрамовый) служит лишь проводником сварочного тока, присадочный металл дополнительно вводится в зону сварочной дуги. Он расплавляется и формирует сварной шов.

Как же происходит процесс сварки? При кратковременном соприкосновении конца электрода со свариваемым металлом электрическая цепь замыкается и по ней идет ток. Вследствие протекания тока короткого замыкания и наличия контактного сопротивления, конец электрода быстро нагревается до высокой температуры в соответствии с законом Джоуля-Ленца: $Q = I^2 \cdot R \cdot t$, Дж. При высокой температуре начинается плавление и испарение материала электрода и возникает явление **термоэлектронной эмиссии** – испускание электронов под воздействием теплового возбуждения. Если в этот момент отвести электрод от свариваемого металла на небольшое расстояние, то между ними вспыхивает дуга и создается электрическое поле. Кроме термоэлектронной эмиссии, возникает явление **автоэлектронной эмиссии**: когда электроны вырываются с поверхности электрода (катода) под действием электростатических сил. В пространстве между электродом и свариваемым металлом (дуговом промежутке) находится светящийся электропроводящий канал – столб дуги, который за-

полнен заряженными частицами. Проводником электрической энергии в дуговом промежутке служит ионизированная (состоит из электронов и ионов) газовая среда, которая образуется при испарении расплавленного металла и различных материалов, применяемых в составе электродного покрытия. Ионизация дугового промежутка происходит во время зажигания дуги и непрерывно поддерживается в процессе горения.

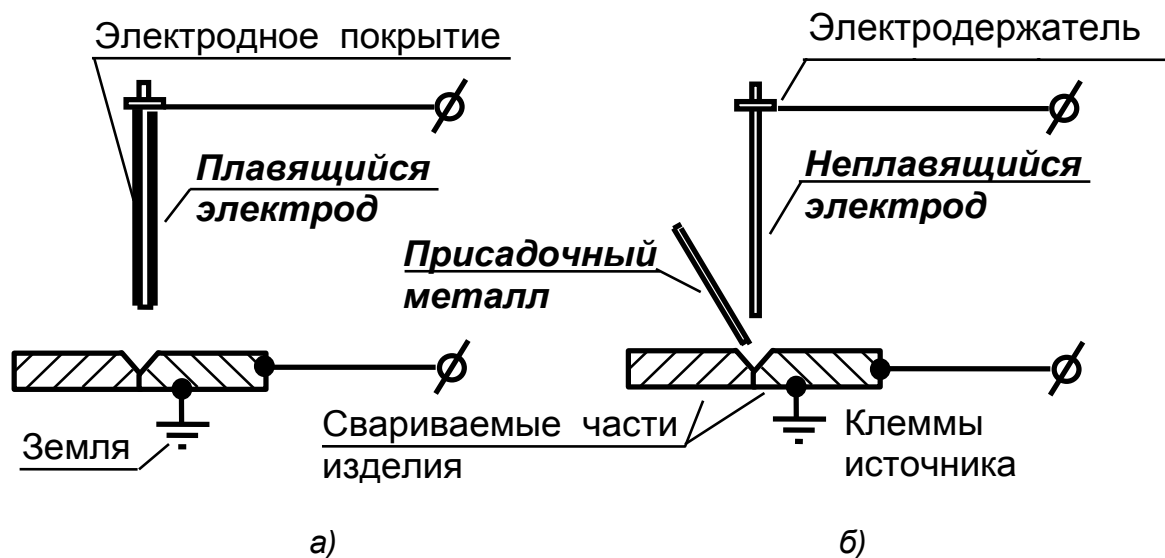


Рис. 1. Сварка плавящимся (а) и не плавящимся (б) электродами

Процесс зажигания дуги включает три этапа:

- короткое замыкание электрода на свариваемый металл;
- отвод электрода на расстояние 3...5 мм;
- возникновение устойчивого дугового разряда.

1.3. Строение сварочной дуги и процессы, происходящие в дуговом промежутке

Сварочная дуга – это длительный мощный электрический разряд в ионизированной токопроводящей газовой среде между электродом и свариваемым металлом. Потребляемая дугой электрическая энергия преобразуется в световую и тепловую. Тепловая энергия используется для плавления сварочного электрода и свариваемого металла.

На рис. 2 показано строение сварочной дуги постоянного тока. Основными элементами сварочной дуги являются катодное и анодное пятна, а также столб дуги.

Катодное пятно является важным элементом сварочной дуги, так как на нагретой торцевой поверхности электрода происходит эмиссия (отрыв) электронов. Для отрыва электронов затрачивается энергия, которая характеризуется потенциалом ионизации и выража-

ется электрон-вольтами (э-в). Электроны, оторвавшиеся от катода, ускоряются электрическим полем и перемещаются к аноду. Одновременно образовавшиеся в столбе дуги ионы, обладающие положительным зарядом, под действием электрического поля увлекаются к катоду и образуют катодную зону. При торможении на катодном пятне ионы выделяют тепловую энергию, способствующую эмиссии электронов. Поэтому в катодной зоне образуется объемная концентрация ионов. Температура и площадь катодного пятна зависят от силы сварочного тока. С повышением силы сварочного тока увеличивается площадь катодного пятна; температура достигает 2500 К. Под воздействием высокой температуры, на катодном пятне, плавятся сварочная проволока и покрытие электрода.

На поверхности свариваемого металла образуется анодное пятно. Поступающие на это пятно электроны при своем торможении выделяют кинетическую энергию, которая преобразуется в тепловую энергию. Поэтому температура анодного пятна на 1000...1500 К выше температуры катодного пятна. Около анодного пятна образуется анодная зона, представляющая собой объемный заряд отрицательно заряженных частиц. В этой зоне электроны отдают свою энергию поверхности анода.

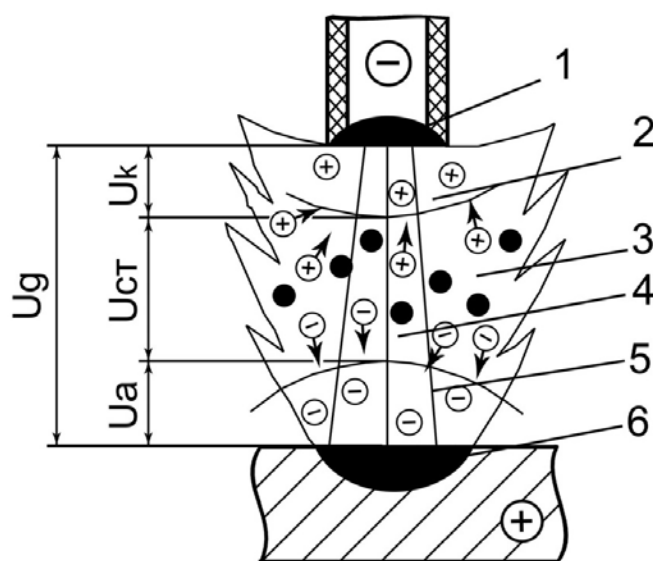


Рис. 2. Строение сварочной дуги постоянного тока: 1 – катодное пятно; 2 – катодная зона; 3 – столб дуги; 4 – ионизированная газовая среда; 5 – анодная зона; 6 – анодное пятно

Область между катодным и анодным пятнами представляет собой поток электронов и ионов называется столбом дуги. Выделение энергии в столбе дуги пропорционально силе тока и падению напряжения на дуге. Напряжение сварочной дуги U_d складывается из падения напряжения в катодной зоне $U_{кз}$, столбе дуги $U_{ст}$ и анодной зоне $U_{аз}$:

$$U_{\text{д}} = U_{\text{кз}} + U_{\text{СТ}} + U_{\text{АЗ}}, \text{ В.}$$

В зависимости от величины сварочного тока температура столба дуги достигает 7500 К. При горении электрической дуги, в дуговом промежутке, имеют место процессы ионизации (процессы образования заряженных частиц) и процессы рекомбинации заряженных частиц (процессы гибели заряженных частиц). Стабильное горение сварочной дуги (высокая степень ионизации) обеспечивается, когда в газовой среде содержатся элементы с низким потенциалом ионизации: калий, натрий, кальций и др., поэтому эти вещества вводят в состав электродной обмазки. Чем выше температура газовой среды, тем выше степень ионизации.

1.3.1. Особенности сварочной дуги переменного тока

Сварочная дуга переменного тока промышленной частоты ($f = 50$ Гц) зажигается и гаснет 100 раз в секунду. В каждый полупериод сварочная дуга затухает t_y и вновь зажигается через промежуток времени t_3 (рис. 3) называемый периодом затухания сварочной дуги. Затухание дуги происходит, когда напряжение источника тока (сварочного трансформатора) уменьшается до напряжения на дуге $U_{\text{д}}$. После зажигания дуги в период времени t_3 через сварочную цепь проходит ток дуги I . Повторное зажигание дуги во втором полупериоде синусоиды происходит через промежуток времени $1/2T$ при напряжении, равном напряжению зажигания сварочной дуги $U_{\text{зд}}$.

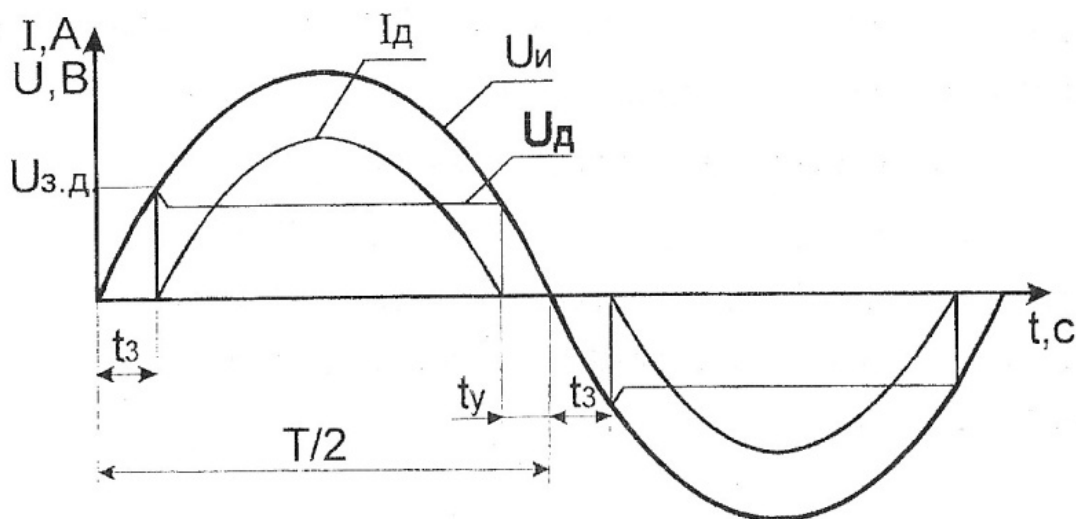


Рис. 3. Характеристики тока I , напряжения дуги $U_{\text{д}}$ и источника $U_{\text{и}}$ сварочной цепи переменного тока

Устойчивость горения сварочной дуги переменного тока зависит от интенсивности повторного зажигания дуги в каждом полупериоде. А интенсивность повторного зажигания дуги определяется степенью ио-

низации газов в дуговом промежутке и обеспечивается при введении в состав электродного покрытия элементов с низким потенциалом ионизации. Более устойчивое горение сварочной дуги переменного тока определяется соотношением $U_{зд} = (1,5-2,0)U_d$.

1.4. Ручная дуговая сварка

Дуговую сварку выполняют сварочными электродами, которые вручную подают в дугу и перемещают вдоль свариваемой заготовки. Электроды представляют собой проволоочные стержни (близкие по химическому составу к свариваемому металлу) с нанесенными на них покрытиями. Покрытия электродов предназначены для обеспечения стабильного горения дуги, защиты расплавленного металла от воздействия воздуха и получения сварного шва заданного состава и свойств. В процессе сварки дуга (рис. 4) 8 горит между стержнем электрода 7 и свариваемым металлом 1. Стержень электрода плавится, и расплавленный металл каплями стекает в сварочную ванну 9. Вместе со стержнем плавится и покрытие электрода 6, образуя защитную газовую атмосферу 5 вокруг дуги и жидкую шлаковую ванну 4 на поверхности расплавленного металла. По мере движения дуги сварочная ванна затвердевает и формируется сварной шов 3. Жидкий шлак после затвердевания образует шлаковую корку 2, которая после окончания сварки счищается.

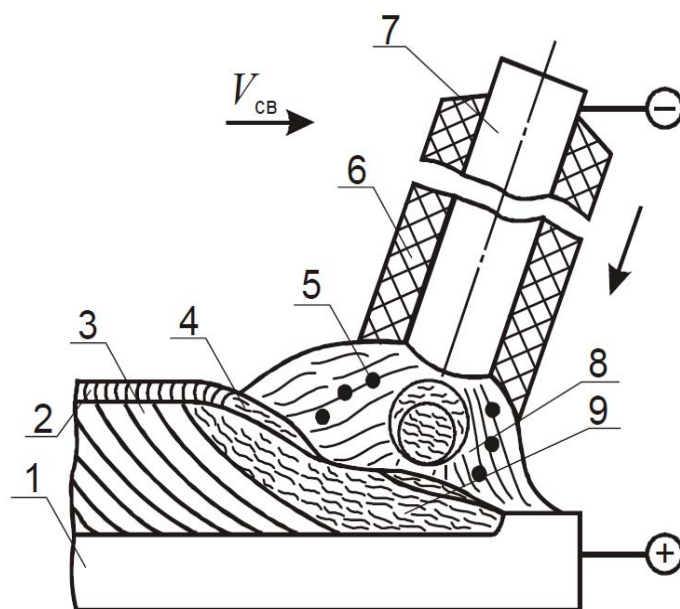


Рис. 4. Схема процесса сварки металлическим электродом с покрытием

При дуговой сварке электрическая энергия преобразуется в тепловую энергию, которая концентрированно вводится в свариваемые заготовки и оплавляет их в месте соединения.

Полная тепловая энергия, выделяемая при горении сварочной дуги

$$Q_{\Pi} = I \cdot U \cdot \tau, \text{ Дж}, \quad (1)$$

где I – сила сварочного тока, А; U – напряжение сварочной дуги, В; τ – время сварки, с.

Однако не вся тепловая энергия, выделяющаяся при горении сварочной дуги, расходуется на нагрев и расплавление основного металла и электрода. Часть тепловой энергии расходуется на плавление отдельных компонентов покрытия и образование газов, а часть тепловой энергии рассеивается в окружающей среде.

Эффективной тепловой энергией называют полезно используемую при сварке теплоту

$$Q_{\text{эфф}} = \eta \cdot I \cdot U \cdot \tau, \text{ Дж}, \quad (2)$$

где η – коэффициент полезного использования тепловой энергии сварочной дуги.

Коэффициент полезного использования тепловой энергии сварочной дуги η зависит от конкретных условий сварки. Так, при ручной дуговой сварке величина этого коэффициента может колебаться в пределах $\eta = 0,6 \dots 0,82$.

В процессе сварки плавящиеся электроды нагреваются двумя источниками:

- *тепловой энергией сварочной дуги $Q_{\text{эфф}}$;*
- *теплотой, выделяющейся при протекании электрического тока на вылете электрода* (длина электрода от электродержателя до конца электрода) Q .

Тепло, выделяемое на вылете электрода Q , рассчитывается по закону Джоуля-Ленца

$$Q = I^2 \cdot R \cdot \tau, \text{ Дж}, \quad (3)$$

где R – сопротивление вылета электрода, Ом.

Сопротивление вылета электрода:

$$R = \frac{(\rho \cdot l_{\text{выл}} \cdot 10)}{S}, \text{ Ом},$$

где ρ – удельное сопротивление, Ом·см; $l_{\text{выл}}$ – длина вылета электрода, мм; S – площадь поперечного сечения электрода, мм².

Ручная дуговая сварка применяется главным образом в изделиях, имеющих короткие и прерывистые швы, швы сложной конфигурации, т.е. там, где трудно или невыгодно применять автоматические методы сварки. Положительной стороной ручной сварки является возможность производить сварку в любом пространственном положении, что особенно важно для сварки монтажных работ.

К недостаткам ручной сварки относятся: трудности сварки тонкого материала (менее 1–2 мм) и малая производительность.

1.5. Сварочные аппараты и их внешние вольтамперные характеристики

Дуговую сварку плавлением выполняют постоянным или переменным током (рис. 5...7).

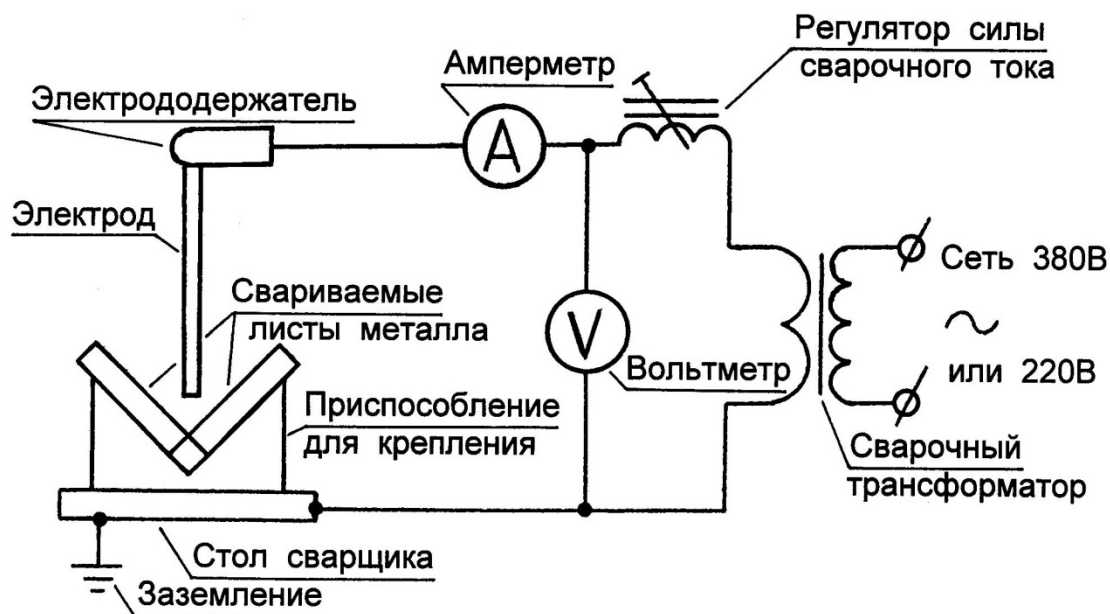


Рис. 5. Принципиальная схема сварки переменным током

При сварке переменным током (рис. 5) применяются **сварочные трансформаторы**. Трансформатор понижает напряжение сети с 380 В или 220 В до 70...80 В и менее, одновременно увеличивая силу тока до нужного значения. Для регулирования силы тока используют регуляторы. Они либо выполнены отдельно от трансформатора (см. рис. 5), либо совмещены с трансформатором (см. рис. 11, 12). Амперметр и вольтметр показывают величину силы тока и напряжения при сварке.

Для сварки постоянным током применяют **сварочные преобразователи** (рис. 6), **сварочные агрегаты** или **сварочные выпрямители** (рис. 7). Регуляторы силы тока и здесь выполняют свою роль.

Сварочные преобразователи имеют электрический привод — электродвигатель переменного тока. Вал электродвигателя соединен с валом генератора, который преобразует механическую энергию в постоянный электрический ток. В сварочных агрегатах вал генератора вращается двигателем внутреннего сгорания.

Там, где есть сетевая электроэнергия, используют **сварочный преобразователь (электродвигатель + генератор)**. В полевых условиях, где нет сетевой электроэнергии, используют **сварочный агрегат (карбюраторный или дизельный двигатель + генератор)**.

В настоящее время на многих предприятиях сварочные преобразователи заменяют выпрямителями, так как последние во время работы не шумят и у них больше коэффициент полезного действия. В выпрямительных установках переменный ток с выхода понижающего трансформатора подают на выпрямитель.

При сварке постоянным током обеспечивается высокая стабильность горения сварочной дуги и качество сварного соединения. Поэтому высоколегированные стали, из которых изготавливают ответственные конструкции, сваривают с использованием постоянного тока.

Основным недостатком сварки постоянным током является меньший, по сравнению со сваркой переменным током, коэффициент полезного действия. Сварочный генератор постоянного тока, вырабатывающий сварочный ток, необходимо приводить в движение электрическим двигателем переменного тока (сварочный преобразователь) или двигателем внутреннего сгорания (сварочный агрегат). В обоих случаях будут потери на трение движущихся деталей и потери в обмотках электрических машин. Оборудование для сварки постоянным током конструктивно сложнее и стоит дороже.

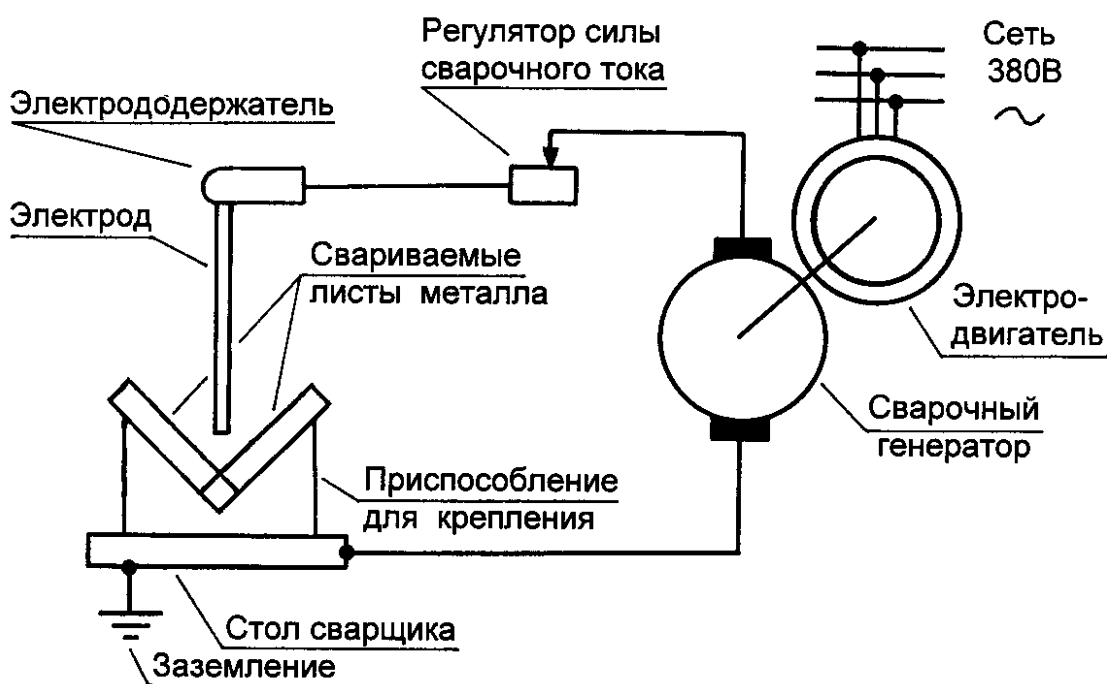


Рис. 6. Принципиальная схема сварки постоянным током

Сварка переменным током более экономичная, по сравнению со сваркой постоянным током, потому что больше к.п.д. трансформатора. Это объясняется отсутствием потерь на трение и меньшими электрическими потерями в обмотках трансформатора.

При ручной дуговой сварке используют источники тока с крутопадающей внешней характеристикой (рис. 8). **Внешней вольтампер-**

ной характеристикой называют зависимость напряжения на клеммах источника от тока нагрузки.

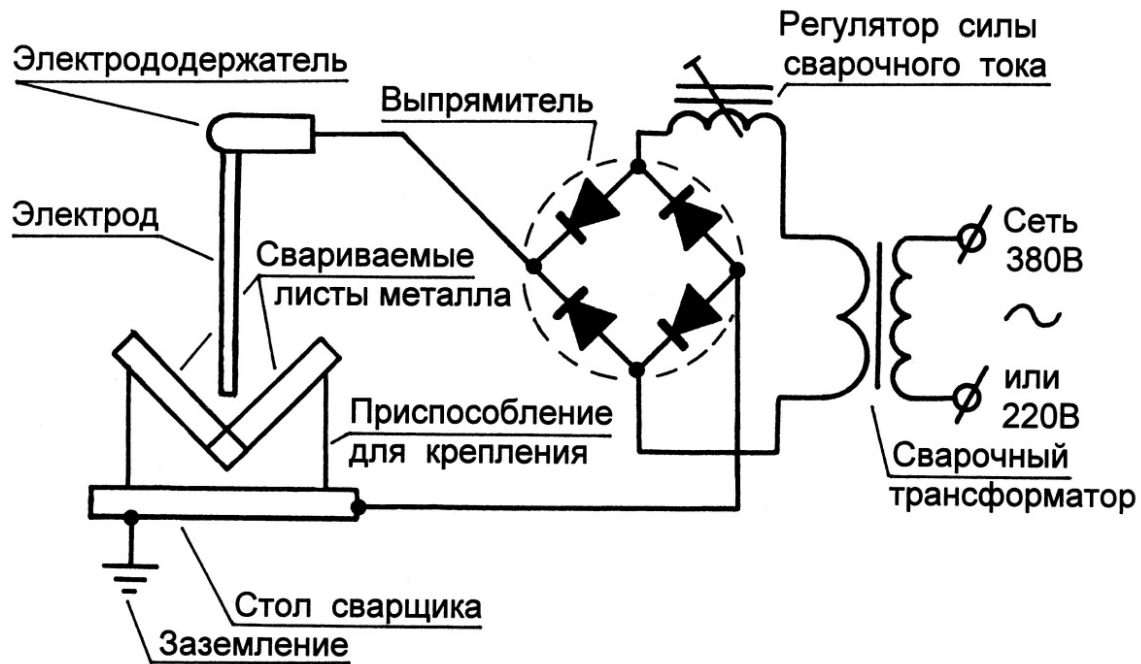


Рис. 7. Принципиальная схема сварки выпрямленным током

К источникам тока для ручной дуговой сварки предъявляют следующие требования:

- напряжение холостого хода должно обеспечивать надежное зажигание сварочной дуги, а также отвечать правилам техники безопасности (не должно превышать $U_{xx} = 80 \text{ В}$);
- ток короткого замыкания должен быть ограничен;
- внешняя вольтамперная характеристика источника тока должна быть крутопадающей для ограничения токов короткого замыкания и повышения стабильности горения сварочной дуги;
- источник тока должен быть надежным и простым в эксплуатации.

При малых значениях тока короткого замыкания затрудняется зажигание дуги, а при больших его значениях увеличивается перегрев токоведущих частей и электрода, возрастают потери металла на разбрызгивание. Поэтому у источников тока для ручной дуговой сварки отношение тока короткого замыкания $I_{кз}$ и сварочного тока $I_{св}$ должно изменяться в следующих пределах

$$1,25 < \frac{I_{кз}}{I_{св}} < 2,0. \quad (4)$$

Длину дуги поддерживают вручную. Поэтому в процессе сварки возможно изменение ее длины из-за произвольных движений руки сварщика. Источник сварочного тока должен обеспечить устойчивое горение сварочной дуги при изменении ее длины.

Дуга переменного тока зажигается и гаснет 100 раз в секунду. Поэтому для интенсивного первоначального и повторного зажигания дуги при проектировании источников сварочного тока обеспечивают условие

$$\frac{U_{xx}}{U_d} = 1,8 \dots 2,5. \quad (5)$$

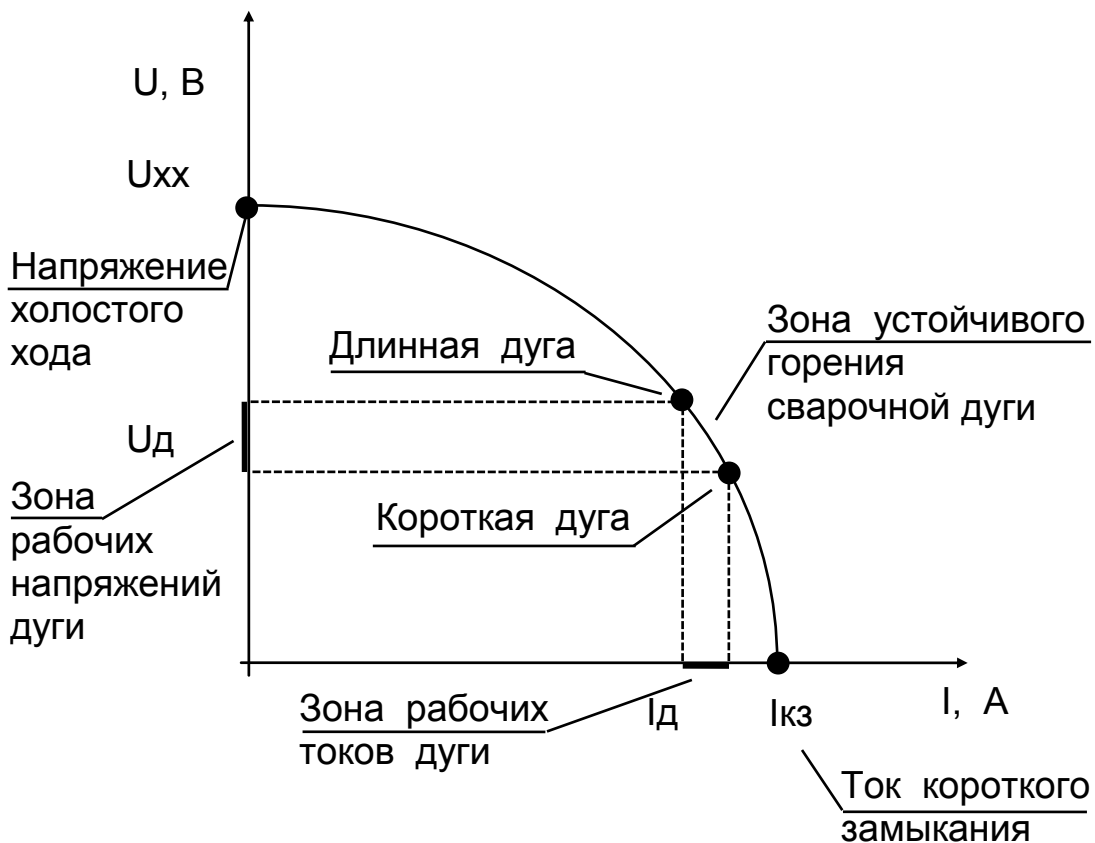


Рис. 8. Внешняя вольтамперная характеристика (ВАХ) источника тока

Напряжение холостого хода у разных сварочных аппаратов $U_{xx} = 60 \dots 80 В$. У сварочных аппаратов постоянного тока напряжение холостого хода и рабочее напряжение ниже, чем у трансформаторов благодаря более высокой устойчивости горения сварочной дуги постоянного тока. Более низкое напряжение уменьшает вероятность поражения сварщика электрическим током.

При слишком короткой дуге возможно возникновение режима короткого замыкания и приваривание электрода к изделию. При длинной дуге происходит ее обрыв из-за недостатка подводимой энергии.

При чрезмерно большом токе короткого замыкания возможен пробой и повреждение изоляции обмоток источника сварочного тока.

При прохождении большого тока по электроду, он сильно нагревается по всей длине. При этом может растрескаться и осыпаться

ся электродное покрытие. Тогда будет затруднено повторное зажигание дуги.

Недостатком сварки переменным током является неустойчивое горение сварочной дуги, поэтому необходима ее хорошая стабилизация, которая достигается путем использования источника питания со звеном повышенной частоты, или инвертором, условно такие источники относятся к классу выпрямителей. После выпрямления напряжения переменного тока питающей сети инвертор преобразует напряжение постоянного тока в высокочастотное напряжение переменного тока, которое сглаживается с помощью последующего блока и подается на дугу.

Выше сказанное можно представить в виде схемы:

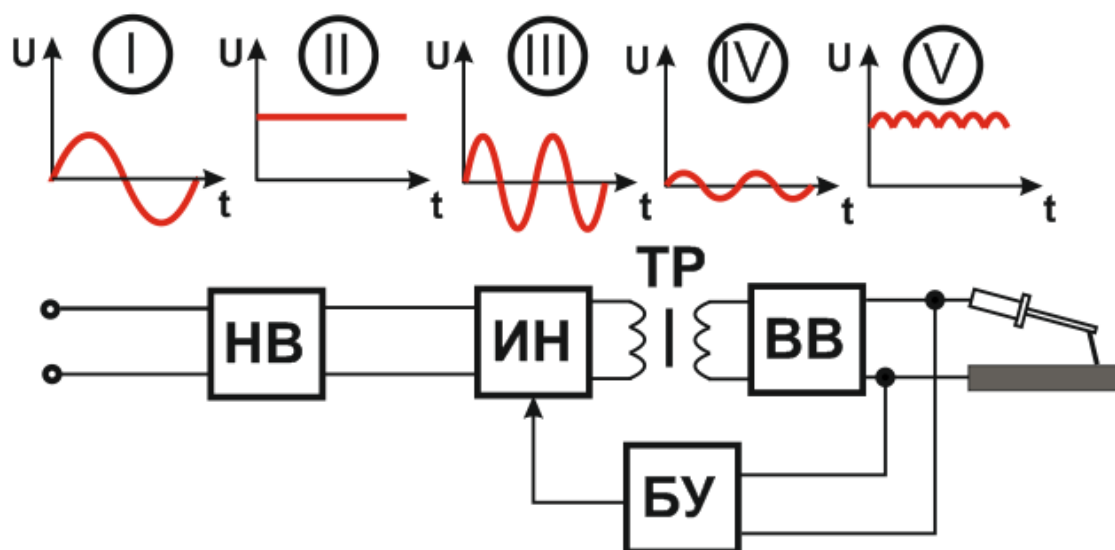


Рис. 9. Инверторный источник питания: НВ – низкочастотный выпрямитель; ИН – инвертор; Тр – трансформатор; ВВ – высокочастотный выпрямитель; БУ – блок управления

На рис. 9 низкочастотный выпрямитель преобразует переменное напряжение (I) питающей сети в постоянное (II), которое сглаживается низкочастотным выпрямителем. Затем выпрямленное напряжение преобразуется в переменное высокой частоты (до 160 кГц) (III) с помощью инвертора на двух транзисторах. Далее напряжение понижается трансформатором (IV) и сглаживается высокочастотным выпрямителем (V). В результате сварочная дуга работает на сглаженном напряжении. Таким образом, понижающий трансформатор преобразует напряжение повышенной частоты без дополнительных устройств (отсутствует дроссель), что позволяет уменьшить габаритные размеры и массу магнитопровода, а также потери в трансформаторе. В целом масса инвертора по сравнению с массой сварочных выпрямителей, имеющих аналогичные выходные параметры, ниже в 10–20 раз.

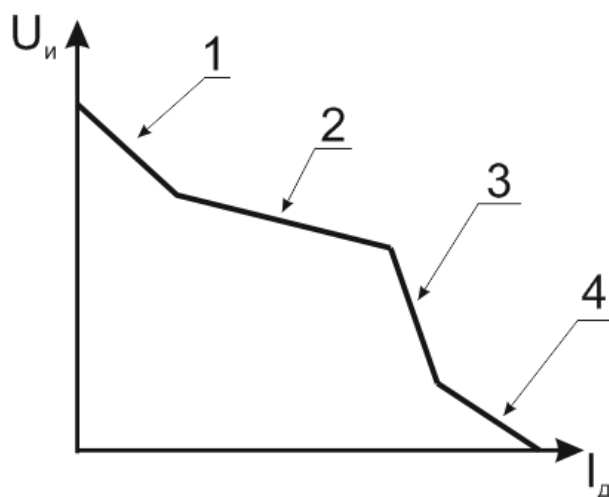


Рис. 10. Комбинированная внешняя вольтамперная характеристика (ВАХ) инверторного источника питания при управлении сварочным процессом:
1...4 – участки характеристики, отличающиеся видом зависимости напряжения источника $U_{и}$ от силы тока дуги $I_{д}$

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

Инверторные источники питания имеют характерную внешнюю вольтамперную характеристику. Естественные внешние ВАХ первого выпрямительного блока инвертора, как у большинства выпрямителей, почти жесткие. Однако в процессе сварки характеристики собственно инвертора представляют собой ломаные линии – так называемые комбинированные ВАХ (рис. 10).

Крутопадающий участок 1 ВАХ служит для задания повышенного напряжения холостого хода, необходимого для возбуждения дуги; пологопадающий участок 2 обеспечивает эффективное саморегулирование процесса; крутопадающий участок 3 ограничивает силу сварочного тока (предотвращая прожог тонкого металла), а участок 4 ограничивает силу тока короткого замыкания.

2. КОНСТРУКЦИЯ СВАРОЧНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Пределы регулирования сварочного тока $I_{св}$ трансформатора ТД – 300 составляют 60...400 А. Напряжение холостого хода 60 и 80 В. Рабочее напряжение равно 30 В.

Основными элементами сварочного трансформатора (рис. 11, 12) являются:

- сердечник (магнитопровод);
- неподвижные катушки с первичной обмоткой;
- подвижные катушки с вторичной обмоткой.

Величину сварочного тока регулируют изменением расстояния между первичными и вторичными катушками благодаря подвижным вторичным катушкам.

Катушки первичной обмотки неподвижны. Катушки вторичной обмотки лежат на большой плоской гайке. При вращении рукоятки, соединенный с ней винт вкручивается в эту гайку. Винт через упорный подшипник связан с корпусом трансформатора. При вращении рукоятки винта гайка поднимается или опускается по винту вместе с вторичной обмоткой. Происходит плавное изменение силы сварочного тока.

При увеличении расстояния между обмотками уменьшается магнитный поток, пронизывающий вторичную катушку. Чем больше зазор, тем большая часть магнитного потока теряется за счет рассеивания в пространстве. Поэтому сварочный ток уменьшается. Уменьшение расстояния между обмотками приводит к увеличению тока.

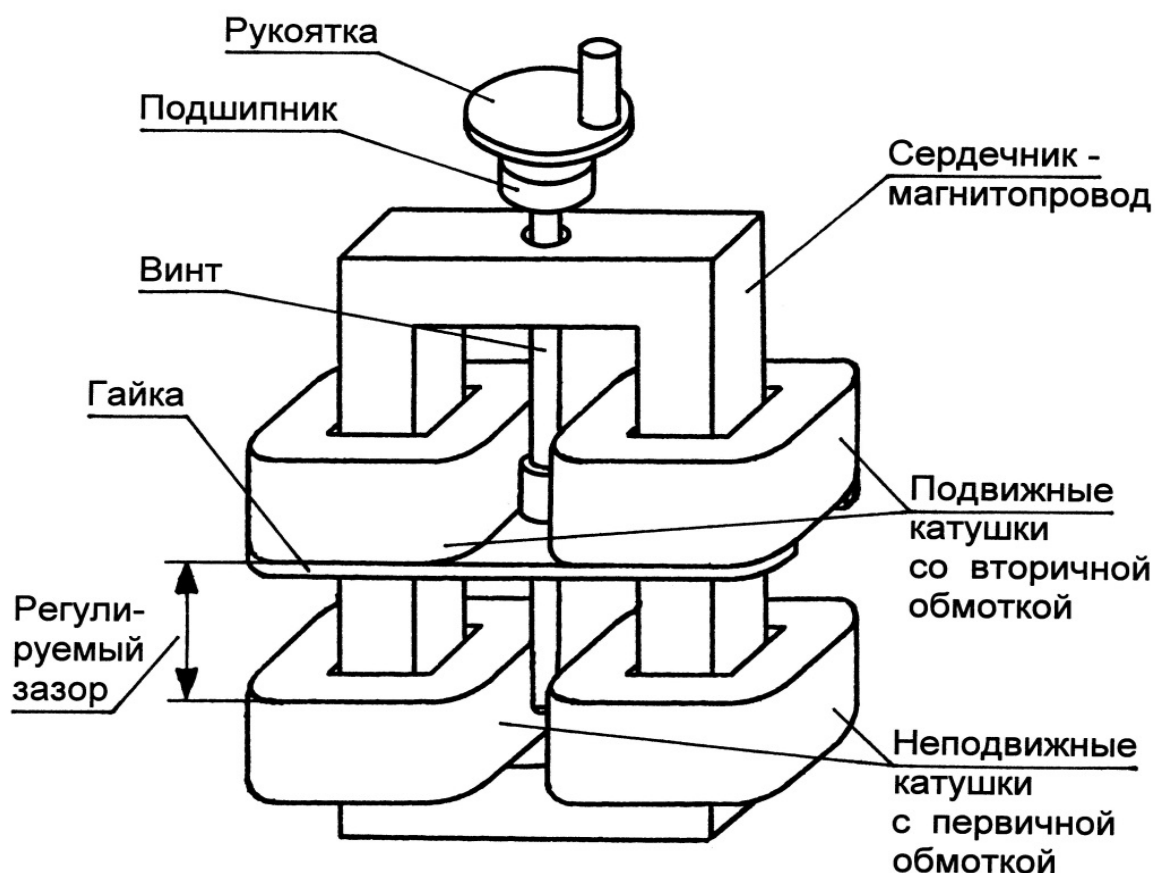


Рис. 11. Конструктивная схема сварочного трансформатора с подвижными катушками вторичной обмотки

2.1. Режимы работы сварочного трансформатора

Действие сварочного трансформатора основано на явлении электромагнитной индукции.

Режим холостого хода трансформатора (рис. 13) устанавливают *при разомкнутой вторичной обмотке* в момент подключения первичной обмотки к сети переменного тока с напряжением U_1 . При этом по первичной обмотке идет ток I_1 , который создает переменный магнитный поток Φ_1 . Этот поток индуцирует во вторичной обмотке переменное напряжение U_2 . Поскольку цепь вторичной обмотки разомкнута, то ток в ней не идет $I_2 = 0$ и никаких затрат энергии во вторичной цепи нет. Поэтому вторичное напряжение на холостом ходе максимально и эту величину называют напряжением холостого хода $U_2 = U_{\text{хх}}$.

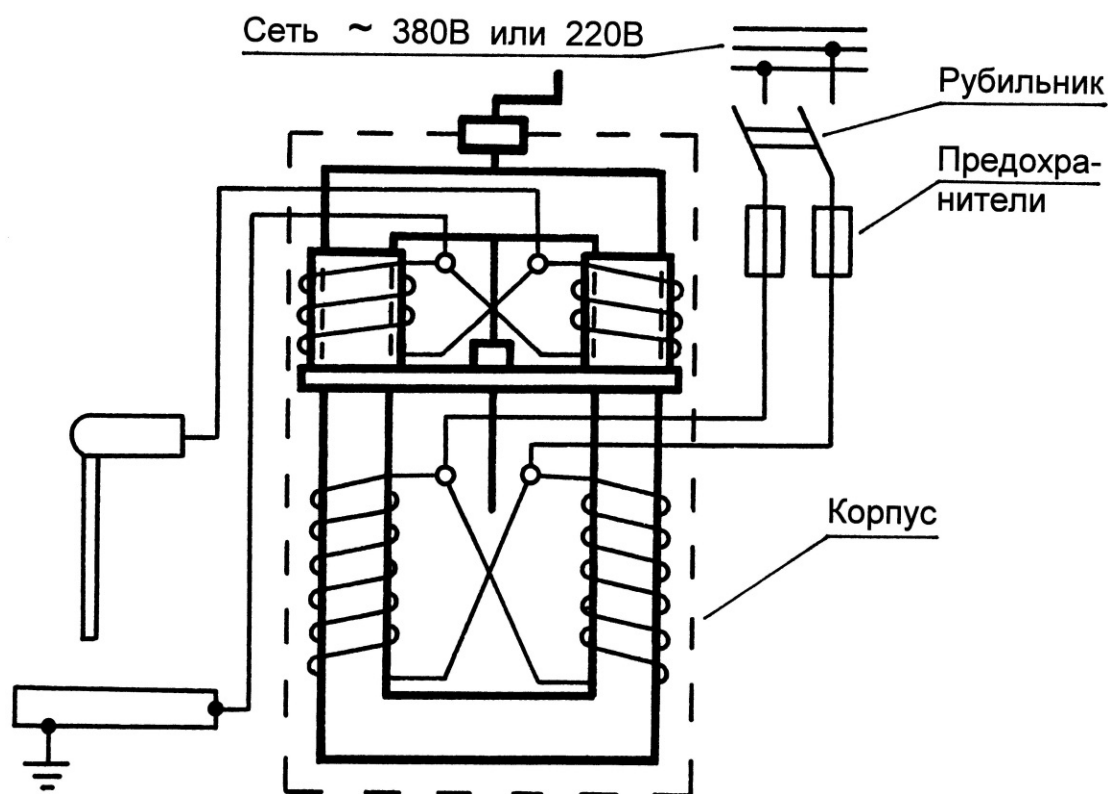


Рис. 12. Принципиальная электрическая схема сварочного трансформатора с подвижными катушками вторичной обмотки

Отношение напряжений первичной и вторичной обмоток при холостом ходе называют коэффициентом трансформации K и он равен отношению чисел витков первичной обмотки W_1 к вторичной обмотки W_2 .

$$K = \frac{U_1}{U_2} = \frac{W_1}{W_2}. \quad (6)$$

В сварочных трансформаторах сетевое напряжение 220 В или 380 В преобразуется в более низкое напряжение холостого хода $U_2 = U_{xx} = 60 \dots 80$ В.

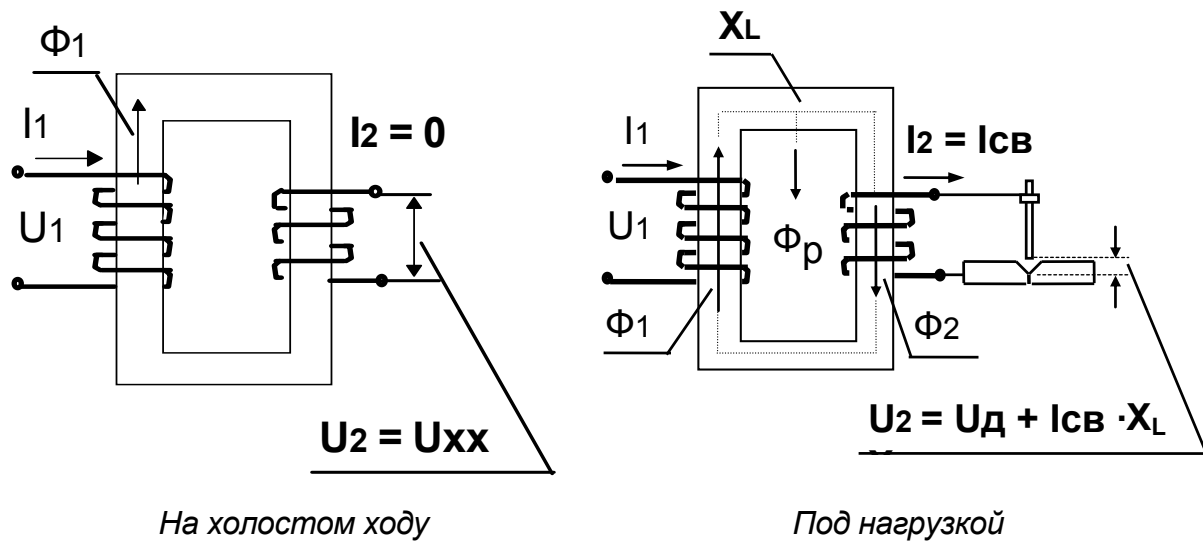


Рис. 13. Работа трансформатора

Режим нагрузки (см. рис. 13) устанавливают благодаря замыканию цепи вторичной обмотки в момент зажигания дуги. При этом под действием напряжения U_2 во вторичной обмотке и дуге появляется ток $I_2 = I_{св}$. Этот ток в сердечнике создает переменный магнитный поток, который стремится уменьшить величину потока, создаваемого первичной обмоткой Φ_1 . Противодействуя этому, сила тока в первичной обмотке увеличивается. Увеличение потребления энергии в первичной обмотке должно быть равно увеличению отдачи энергии дуге вторичной обмоткой в соответствии с законом сохранения энергии.

Напряжение во вторичной обмотке трансформатора *при нагрузке* равно:

$$U_2 = U_d + I_{св} \cdot X_L, \quad (7)$$

где U_d – падение напряжения на дуге; X_L – индуктивное сопротивление сварочного контура.

Омическое сопротивление сварочного контура R , включая вылет электрода, значительно меньше индуктивного сопротивления X_L . По этой причине при расчете U_2 величиной R пренебрегаем.

Часть магнитного потока Φ_p по пути от первичной обмотки ко вторичной рассеивается в пространстве. Магнитный поток рассеивания тем больше, чем больше расстояние между обмотками (см. рис. 12 и 13). В результате вторичную обмотку пронизывает магнитный поток Φ_2 . Падающая внешняя вольтамперная характеристика сварочного трансформатора получается благодаря изменению величины рассеивания магнитного потока Φ_p .

При этом напряжение дуги U_d уменьшается $U_d = U_2 - I_{CB}$
 $U_d = U_2 - I_{CB} \cdot X_L$ при увеличении силы сварочного тока I_{CB} и индуктивного сопротивления X_L .

Регулирование сварочного тока I_{CB} (как и I_{K3}) при постоянном напряжении холостого хода трансформатора U_{XX} возможно только за счет изменения индуктивного сопротивления.

В существующих конструкциях трансформаторов регулирование индуктивного сопротивления вторичной цепи может быть выполнено:

- изменением расстояния между первичной и вторичной обмотками;
- изменением зазора магнитопровода дросселя, выполненного отдельно от трансформатора.

При коротком замыкании электрод касается изделия и напряжение дуги $U_d = 0$. Следовательно, исходя из формулы 7, напряжение во вторичной обмотке $U_2 = I_{K3} \cdot X_L$.

Отсюда:

$$I_{K3} = \frac{U_2}{X_L}. \quad (8)$$

Поэтому регулирование тока короткого замыкания возможно только за счет изменения индуктивного сопротивления X_L .

3. СТАЛИ И ИХ СВАРИВАЕМОСТЬ

В сварных конструкциях автомобилей, строительных и дорожных машин широко используют конструкционные стали. Стали обладают различной свариваемостью.

Под термином «свариваемость металлов» обычно понимают комплекс свойств свариваемого металла, обеспечивающих хорошую прочность и работоспособность сварного соединения в условиях эксплуатации.

В процессе сварки некоторые стали склонны к образованию трещин в шве или в зонах, прилегающих к шву. Появление этих трещин обуславливается главным образом химическим составом и внутренней микроструктурой стали. Из основных химических элементов, входящих в состав сталей, наибольшее влияние на образование трещин оказывает углерод. С увеличением содержания углерода в стали более 0,3% повышается самозакаливаемость переходной зоны основного металла, и сталь становится более хрупкой. Поэтому в сварных конструкциях используют стали с содержанием углерода не более 0,3%.

Легирующие компоненты, вводимые в сталь в небольших количествах, например молибден – 0,2...0,8%, ванадий – 0,1...0,3% и другие, наряду с улучшением механических свойств стали, повышают ее свариваемость. Вредные примеси – сера и фосфор, а также оксидные

включения и растворенные газы (водород, кислород и азот), ухудшают свариваемость стали.

На образование трещин влияет не только химический состав и структура стали, но также тип конструкции и характер соединения ее узлов.

В вариантах задания (глава 10) предусмотрено пять групп сталей:

- низкоуглеродистые конструкционные стали обыкновенного качества;
- качественные низкоуглеродистые конструкционные стали;
- низколегированные конструкционные стали;
- легированные жаропрочные стали;
- легированные коррозионностойкие стали.

Обозначение низкоуглеродистой стали начинается со слова Сталь (Сталь 15, Сталь 20 – качественные стали) или начальных букв слова Сталь (Ст 1, Ст 2, Ст 3, Ст 4 – стали обыкновенного качества).

Чем больше цифра в обозначении конструкционной низкоуглеродистой стали обыкновенного качества (Ст 1, Ст 2, Ст 3, Ст 4), тем выше содержание углерода.

Цифра в обозначении качественной низкоуглеродистой конструкционной стали показывает содержание углерода в сотых долях процента. Например: Сталь 10 содержит 0,10% углерода.

В табл. 1 приведены условные обозначения легирующих элементов в марках сталей и марках сварочных проволок.

В обозначении легированных сталей, например 09Г2Д цифры 09 показывают содержание углерода в сотых долях процента – 0,09% С. Буквы справа от цифры обозначают легирующий элемент: Г – марганец; Д – медь. Цифра после буквы указывает содержание легирующего элемента в целых процентах. Отсутствие цифры указывает на содержание элемента порядка 1%.

Таблица 1

Условные обозначения легирующих элементов
в марках сталей и марках сварочных проволок

| Элемент | Обозначение | Элемент | Обозначение |
|----------|-------------|----------|-------------|
| Ниобий | Nb | Бор | B |
| Вольфрам | W | Кремний | Si |
| Марганец | Mn | Титан | Ti |
| Медь | Cu | Ванадий | V |
| Кобальт | Co | Хром | Cr |
| Молибден | Mo | Цирконий | Zr |
| Никель | Ni | Алюминий | Al |

Исследования и опыт применения сварки в промышленности позволяют оценить с некоторым приближением каждую марку стали с

точки зрения свариваемости как весьма высокую, высокую, удовлетворительную и низкую. Эти оценки приводятся в справочной литературе.

В индивидуальных заданиях на практическую работу стали, из которых предложено изготовить ванну обладают весьма высокой и высокой свариваемостью.

4. ЭЛЕКТРОДЫ ДЛЯ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ

Плавящийся электрод для ручной дуговой сварки представляет собой стержень из сварочной проволоки, на который нанесено электродное покрытие (обмазка). Промышленность выпускает большое число марок сварочной проволоки диаметром от 1,6 до 12 мм для изготовления электродов. Длина электродов составляет 150...450 мм. Наиболее часто используют электроды длиной 350, 400 и 450 мм и диаметром 3,4 и 5 мм. Металл электрода и элементы электродного покрытия участвуют в формировании сварного шва.

Электродное покрытие:

- обеспечивает устойчивое горение дуги;
- восстанавливает окисляющийся в процессе сварки металл;
- легирует сварной шов необходимыми элементами;
- защищает зону сварки от попадания кислорода, водорода и азота из окружающего воздуха;
- образует шлаковый покров на поверхности сварного шва, уменьшая тем самым скорость охлаждения и затвердевания металла шва.

Для обеспечения высоких эксплуатационных характеристик сварного соединения необходимо, чтобы **химический состав сварного шва был близок к химическому составу свариваемой стали**.

Поэтому для сварки стали определенного химического состава рекомендуется подобрать **электроды с необходимым содержанием** соответствующих **легирующих элементов в сварочной проволоке** (см. табл. 9 – стр. 33).

Условное обозначение марки проволоки состоит из индекса Св – сварочная и следующих за ним цифр, показывающих содержание углерода в сотых долях процента и буквенных обозначений элементов, входящих в состав проволоки. Буква А в конце обозначения указывает на повышенную чистоту металла по содержанию серы и фосфора.

Например: Св-08ХМ для сварки конструкционных сталей содержит 0,08% углерода и менее 1% хрома и молибдена. Св-04Х19Н11МЗ для сварки жаропрочных и коррозионностойких сталей содержит 0,04% углерода, 19% хрома, 11% никеля и 3% молибдена.

В состав покрытия входят:

- стабилизирующие вещества;
- раскисляющие и легирующие материалы;

- газообразующие материалы;
- шлакообразующие вещества;
- связующие и цементирующие вещества.

Эти компоненты обеспечивают функции покрытия при его расплавлении в процессе сварки.

Стабилизирующие вещества предназначены для устойчивого горения дуги. К ним относятся соединения щелочных и щелочно-земельных металлов калия, натрия, кальция и др.

Раскисляющие материалы (ферромарганец, ферросилиций, ферротитан) применяют для восстановления окисленного в процессе сварки металла. Кроме того эти же ферросплавы служат **легирующими материалами** и увеличивают содержание марганца, титана и других элементов в металле шва.

Газообразующие материалы (мрамор, магнезит, крахмал, оксигеллюлоза, древесная мука) образуют защитный газ, защищающий зону сварки от попадания кислорода, водорода и азота из окружающего воздуха.

Шлакообразующие вещества (полевошпат, кремнезем, магнезит, мрамор) образуют шлаковый покров на поверхности расплавленного металла шва. Шлак уменьшает скорость охлаждения и застывания металла шва, способствует выходу из него газовых и оксидных включений. После остывания сварного соединения необходимо сколоть с него шлаковую корку.

Связующие и цементирующие вещества (калиевое жидкое стекло $K_2O \cdot SiO_2$, натриевое жидкое стекло $Na_2O \cdot SiO_2$) связывают все компоненты покрытия.

Электродное покрытие образуется из хорошо размолотых и перемешанных материалов, связанных жидким стеклом. Его наносят на сварочную проволоку, предварительно нарезанную на куски длиной от 350 до 450 мм. На один из концов куса покрытие не наносят. Он служит для закрепления электродов при их сушке, а при сварке для помещения в электрододержатель.

В справочниках кроме марки сварочной проволоки указывают марку электродного покрытия, а также рекомендации по использованию электродов.

Стальные электроды **для дуговой сварки классифицируют** в соответствии с ГОСТ 9466-75 и ГОСТ 9467-75.

По назначению в зависимости от свариваемых материалов:

- У – для сварки углеродистых сталей;
- Л – для сварки легированных конструкционных сталей;
- Т – для сварки легированных теплоустойчивых сталей;
- В – для сварки высоколегированных сталей;
- Н – для наплавки поверхностных слоев.

По толщине покрытия:

- М – тонкие покрытия $D/d \leq 1,2$;
- С – средние покрытия $1,2 < D/d \leq 1,45$;
- Д – толстые покрытия $1,45 < D/d \leq 1,8$;
- Г – особо толстые покрытия $D/d > 1,8$.

D – диаметр электрода с покрытием, d – диаметр сварочной проволоки.

По виду покрытия:

- А – с кислым покрытием;
- Б – с основным покрытием;
- Ц – с целлюлозным покрытием;
- Р – с рутиловым покрытием;
- П – с прочими покрытиями.

Кроме того электроды классифицируют **по технологическим особенностям** (сварка в различных положениях), **по роду тока и полярности** применяемого тока, а также по другим признакам.

Полная маркировка электрода:

Тип электрода

Марка электродного покрытия

Диаметр электрода

Назначение электрода и тип покрытия

Э46А – УОНИ – 13/45 – 4,0 – УД2 ГОСТ 9466 – 75

Е 432 (5) – Б10

По ГОСТ 9467 – 75 это расшифровывается:

- Э – электроды для электродуговой сварки;
- 46 – минимальный гарантируемый предел прочности (460 МПа);
- УОНИ-13/45 – марка электродного покрытия;
- 4,0 – диаметр электрода;
- У – электроды для сварки углеродистой и низколегированной стали;

- Д2 – электроды с толстым покрытием второй группы точности;
- Е – индекс, характеризующий свойства металла сварного шва;
- 43 – предел прочности на разрыв (не менее 460 МПа);
- 2 – относительное удлинение не менее 22%;
- 5 – индекс, характеризующий ударную вязкость металла – 34,3 Дж/см при температуре минус 40°С.

- Б – основное покрытие;
- 1 – сварка во всех пространственных положениях;
- 0 – на постоянном токе обратной полярности.

Полная маркировка не содержит сведений о марке сварочной проволоки, что вызывает необходимость повторного обращения к стандарту.

Обычно производители электродов используют сокращенную маркировку. Например, **марка электродного покрытия УОНИ-13/45, марка сварочной проволоки Св-08.**

5. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СВАРКИ РЕЗЕРВУАРА

Разработка технологического процесса сварки включает в себя:

- выбор типа сварного соединения;
- определение оптимального режима сварки;
- определение порядка наложения сварных швов;
- выбор сварочного оборудования.

5.1. Сварные соединения

В промышленности используют достаточно много типов сварных соединений:

- стыковые;
- угловые;
- тавровые;
- нахлесточные.

В табл. 3 приведены некоторые типы стыковых сварных соединений, а в табл. 4 – угловых.

В настоящей работе рассматриваются односторонние – У4, У6 и двухсторонние – У5, У7 угловые сварные соединения без разделки кромок и с разделкой одной кромки (см. табл. 4).

ТИП СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ

Тип сварного соединения приведен в варианте задания (см. главу 7).

ПЛОЩАДИ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ СВАРНЫХ ШВОВ И СОЕДИНЕНИЯ

Площадь поперечного сечения основного наружного шва определяют по формуле

$$S_{\text{осн}} = \frac{A^2}{2} \cdot K_y, \text{ мм}^2, \quad (9)$$

где K_y – коэффициент увеличения. Коэффициент увеличения выбирают по табл. 4 в зависимости от величины катета A . Коэффициент увеличения учитывает наличие зазора между свариваемыми деталями и выпуклость (полноту) шва.

Таблица 2

Коэффициент увеличения K_y

| Катет шва A или C , мм | 2,5...3 | 3,5...4 | 4,5...5 | 5,5...6 |
|-------------------------------|---------|---------|---------|---------|
| Коэффициент увеличения, K_y | 1,5 | 1,45 | 1,4 | 1,35 |

Таблица 3

Стыковые сварные соединения при ручной дуговой сварке (ГОСТ 5264-80)

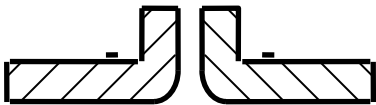

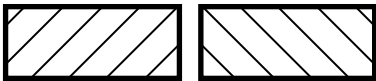

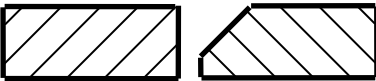
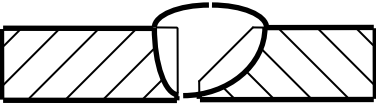


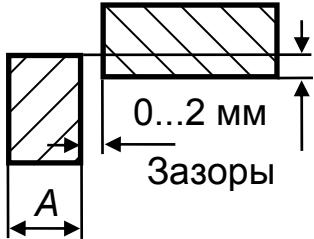
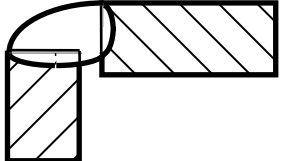
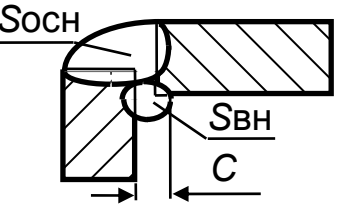
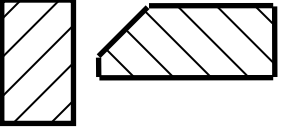
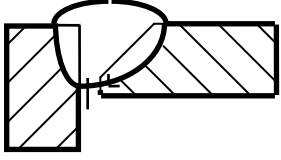
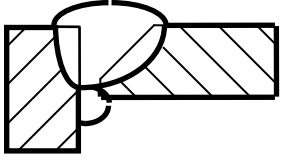
| Форма подготовленных кромок | Характер сварного шва | Форма поперечного сечения | | Толщина свариваемых деталей, мм | Условное обозначение соединения |
|--------------------------------------|-----------------------|--|---|---------------------------------|---------------------------------|
| | | подготовленных кромок | сварного соединения | | |
| С отбортовкой кромок | Одно- сторонний |  |  | 1...4 | C1 |
| Без скоса кромок | |  |  | | C2 |
| Со скосом одной кромки | |  |  | 3...60 | C8 |
| С двумя симметричными скосами кромок | Двух- сторонний |  |  | 8...120 | C25 |

Таблица 4

Угловые сварные соединения при ручной дуговой сварке (ГОСТ 5264-80)

| Форма подготовленных кромок | Характер сварного шва | Форма поперечного сечения | | Толщина свариваемых деталей, мм | Условное обозначение соединения |
|-----------------------------|-----------------------|--|---|---------------------------------|---------------------------------|
| | | подготовленных кромок | сварного соединения | | |
| Без скоса кромок | Одно-сторонний |  |  | 1...30 | У4 |
| | Двух-сторонний | |  | 2...30 | У5 |
| Со скосом одной кромки | Одно-сторонний |  |  | 3...60 | У6 |
| | Двух-сторонний | |  | | У7 |

Площадь поперечного сечения внутреннего подварочного шва определяют аналогично

$$S_{\text{вн}} = \frac{C^2}{2} \cdot K_y, \text{ мм}^2. \quad (10)$$

K_y выбирают по табл. 2 в зависимости от величины катета C .

Общая площадь поперечного сечения сварного соединения

$$S = S_{\text{осн}} + S_{\text{вн}}, \text{ мм}^2. \quad (11)$$

Толщину свариваемых заготовок A (толщина стенок ванны) и величину катета подварочного шва C выбирают в соответствии с вариантом задания (см. главу 10).

5.2. Порядок, последовательность и направление наложения швов

Швы длиной до 250 мм можно варить напроход (рис. 14). Сварка напроход от середины к краям рекомендуется при длине шва 250...500 мм. При большей длине шва рекомендуется обратноступенчатая сварка. Шов выполняют короткими отрезками 1...4.

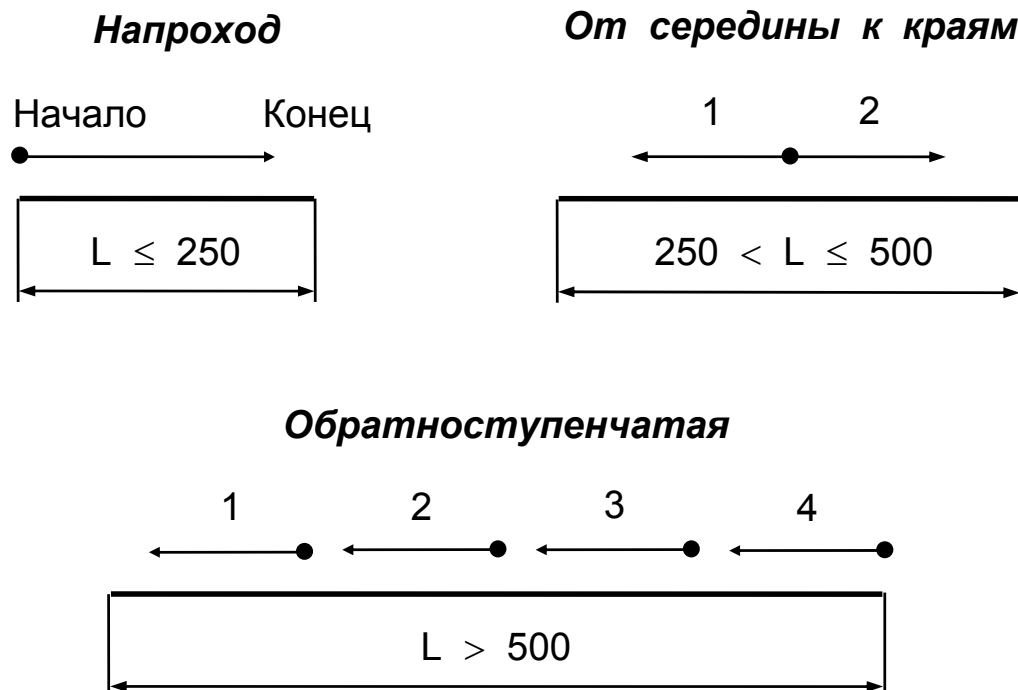


Рис. 14. Последовательность и направление наложения швов

Для уменьшения коробления свариваемой ванны необходимы определенный порядок и последовательность наложения сварных швов. На рис. 15 приведен эскиз ванны с размерами, соответствующи-

ми примеру оформления отчета. Порядок наложения швов аналогичен во всех вариантах задания. Последовательность может быть разной.

В вариантах с двухсторонними сварными соединениями У5 и У7 листы сначала прихватывают короткими внутренними подварочными швами, расположенными на расстоянии до 250 мм один от другого. Затем проваривают внутренний подварочный шов полностью. Подварочными швами соединяют все элементы ванны. После этого ванну переворачивают и выполняют основные наружные швы. В вариантах с односторонними сварными соединениями У4 и У6 внутренние швы не выполняют. Листы прихватывают снаружи. Затем полностью проваривают наружные швы.

*Размеры соответствуют
примеру оформления отчета
см. главу 8, стр. 36*

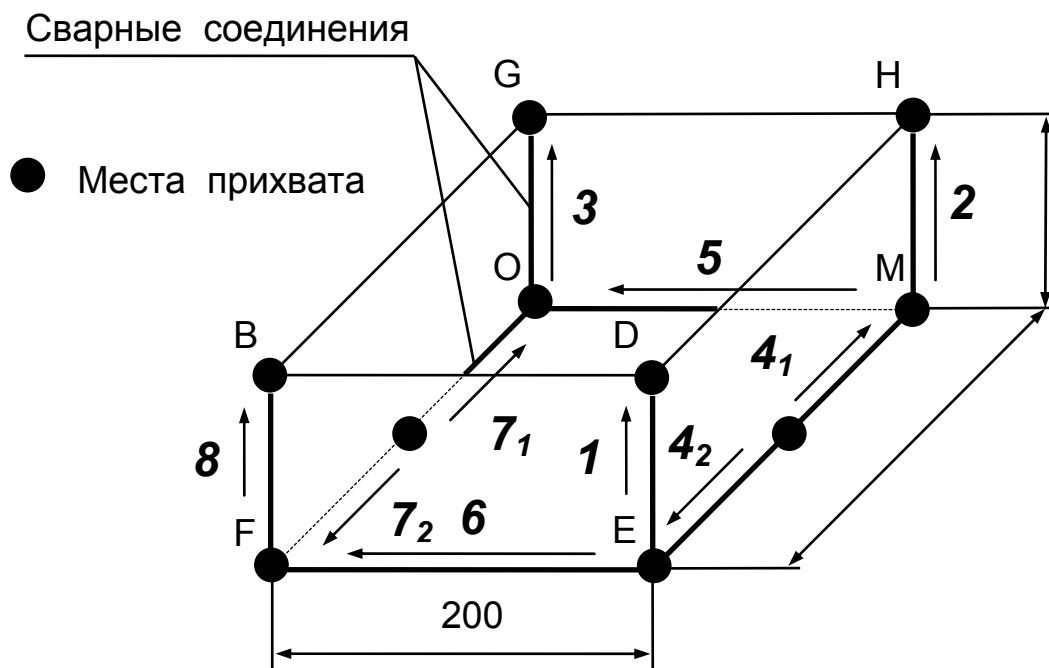


Рис. 15. Эскиз металлической ванны с размерами: порядок наложения швов указан большими цифрами; последовательность — маленькими цифрами; направление сварки — стрелочкой

5.3. Режим сварки и выбор оборудования

Режим сварки — совокупность характеристик сварочного процесса, обеспечивающих получение сварного шва заданного размера, формы и качества. При сварке открытой дугой такими характеристиками являются:

- марка и диаметр электрода;
- напряжение дуги;

- сила сварочного тока;
- род тока и полярность;
- скорость сварки.

МАРКА ЭЛЕКТРОДА

При выборе марки электрода следует учитывать химический состав свариваемой стали и требования, предъявляемые к качеству сварного соединения. Марку сварочной проволоки и марку электродного покрытия выбирают по табл. 9 в зависимости от марки свариваемой стали. Для расшифровки марки стали и сварочной проволоки следует изучить разделы 3 и 4.

ДИАМЕТР ЭЛЕКТРОДА

Диаметр электрода выбирают в зависимости от толщины свариваемого металла (табл. 5).

Таблица 5

Выбор диаметра электрода

| Толщина свариваемых листов, мм | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---------------------------------|---|---|---|---|
| Диаметр электрода $d_{эл}$, мм | 3 | 3 | 4 | 5 |

СИЛА СВАРОЧНОГО ТОКА

Силу сварочного тока определяют по формуле:

$$I_{св} = I_{уд} \cdot d_{эл}, \text{ А}, \quad (12)$$

где $I_{уд}$ – удельный сварочный ток, приходящийся на 1 мм диаметра электрода, А/мм.

Значение $I_{уд}$ для сварки легированных и низкоуглеродистых сталей приведены в табл. 6. Меньшие значения силы тока используют при сварке легированных сталей, обладающих малым коэффициентом теплопроводности, с целью уменьшения перегрева. Большие значения удельного тока используют для определения силы тока при сварке низкоуглеродистых сталей.

Таблица 6

Сила тока $I_{уд}$, приходящаяся на 1 мм диаметра электрода

| | |
|-------------------------|---------------------------------|
| Легированные стали | $I_{уд} = 40...45 \text{ А/мм}$ |
| Низкоуглеродистые стали | $I_{уд} = 45...50 \text{ А/мм}$ |

ВЫБОР СВАРОЧНОГО АППАРАТА

Вид сварочного аппарата определен в задании. Если в номере варианта есть буква П – используйте сварочный преобразователь, В – выпрямитель. При отсутствии буквы – трансформатор. Легированные стали рекомендуется сваривать только на постоянном токе (сварочный преобразователь, выпрямитель). Причем лучше использовать обратную полярность, чтобы не допустить перегрева и выгорания легирующих элементов. Используя табл. 7 выбирают тот сварочный аппарат, в диапазон регулирования которого попадает рассчитанное значение $I_{св}$.

РОД ТОКА И ПОЛЯРНОСТЬ

Род тока и полярность выбирают в зависимости от физико-механических свойств свариваемой стали и используемой марки электрода. С целью упрощения выбора в табл. 8 подобраны и заданы род тока и полярность для конкретных марок сталей и электродов.

Низкоуглеродистые стали можно сваривать как на переменном токе, так и на постоянном. Сварка на постоянном токе и тем более с использованием обратной полярности позволяет повысить качество сварного соединения.

НАПРЯЖЕНИЕ ДУГИ

Рабочее напряжение дуги определяется ее длиной и колеблется в пределах $U_d = 20 \dots 40$ В (см. табл. 7).

МАССА НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА

Масса наплавленного металла основных наружных швов:

$$G_H^{OCH} = \frac{S_{OCH}}{1000} \cdot L_{OCH} \cdot \rho, \text{ г}, \quad (13)$$

где S_{OCH} – площадь поперечного сечения основного наружного шва, мм²; L_{OCH} – суммарная длина основных сварных швов, мм; $\rho = 7,8$ г/см³ – плотность наплавленного металла.

Массу наплавленного металла подварочных швов находят аналогично:

$$G_H^{BH} = \frac{S_{BH}}{1000} \cdot L_{BH} \cdot \rho, \text{ г}, \quad (14)$$

где S_{BH} – площадь подварочного шва, мм²; L_{BH} – суммарная длина подварочных сварных швов, мм.

Общая масса наплавленного металла сварных соединений при соединении элементов металлической ванны:

$$G_H = G_H^{OCH} + G_H^{BH}, \text{ г}. \quad (15)$$

РАСХОД ЭЛЕКТРОДОВ

Расход электродов на изготовление металлической ванны:

$$G_{эл} = k \cdot G_H, \text{ г}, \quad (16)$$

где $k = 1,6 \dots 1,8$ – коэффициент расхода электродов на 1 кг наплавленного металла. В табл. 8 заданы конкретные значения k . Коэффициент расхода k учитывает:

- массу электродного покрытия;
- потери металла на угар, разбрызгивание и огарки.

ВРЕМЯ СВАРКИ

Время, необходимое для выполнения сварочных работ:

$$T_{св} = T_{OCH} + T_{OBSL} + T_{ПОД} + T_{ОТД}, \text{ ч}, \quad (17)$$

где T_{OCH} – основное технологическое время, ч; T_{OBSL} – время, затрачиваемое на обслуживание оборудования, ч; $T_{ПОД}$ – подготовительное время на получение электродов, инструмента и др., ч; $T_{ОТД}$ – время, затрачиваемое на отдых, ч.

Таблица 7

Технические характеристики сварочных аппаратов

| Вид аппарата | Тип | Диапазон регулирования сварочного тока I_{CB} , А | Напряжение, В | | Мощность, кВт | Размеры, мм | Масса, кг |
|-----------------|------------|---|------------------|-------------------------------|------------------|--------------------|--------------|
| | | | рабочее U_D | холостого хода U_{XX} | | | |
| Трансформатор | ТСБ-90 | 60...100 | 20 | 36 | 3,3 | 203 · 370 · 350 | 30 |
| | ТД-102 У2 | 60...160 | 26 | 70 | 11,2 | 570 · 320 · 530 | 42 |
| | ТД-300 У2 | 70...365 | 32 | 61, 80 | 19,4 | 692 · 710 · 620 | 137 |
| | ТД-500 У2 | 90...650 | 30 | 59, 76 | 32,0 | 570 · 720 · 835 | 200 |
| Выпрямитель | ВКС-120 | 30...130 | 25 | 65 | 4,8 | 785 · 628 · 953 | 242 |
| | Вд-201 У3 | 30...200 | 28 | 68 | 15,0 | 622 · 716 · 775 | 120 |
| | ВД-502-1 | 50...500 | 40 | 80 | 42,0 | 810 · 550 · 1077 | 348 |
| Преобразователь | ПСО-120 | 30...120 | 25 | 48...65 | 4,0 | 1055 · 550 · 730 | 155 |
| | ПСУ-300 | 50...300 | 30 | 48 | 28,0 | 1160 · 490 · 740 | 315 |
| | ПСУ-500-2 | 60...500 | 40 | 48 | 30,0 | 1075 · 650 · 1085 | 595 |
| Агрегат | АДД-304 | 100...300 | 30 | 74 | 9,6 | 1820 · 980 · 1450 | 850 |
| | АДБ-318 У1 | 40...380 | 32 | 85 | 10,0 | 1890 · 880 · 1200 | 530 |
| | АСДП-500 | 120...500 | 40 | 80 | 20,0 | 6350 · 2350 · 2785 | 4400 |

* Напряжение питающей сети для ТСБ-90 – 220 В, для всех остальных сварочных аппаратов – 380 В

Таблица 8

Электроды для сварки сталей

| Марка электродного покрытия | Марка сварочной проволоки | Расход электродов на 1кг наплавленного металла k , кг | Коэффициент наплавки K_n , г/(А·ч) | Род тока | Полярность | Марка свариваемой стали |
|-----------------------------|---------------------------|---|--------------------------------------|------------|------------|----------------------------------|
| АНО-4с | Св-08 или Св-08А | 1,7 | 8,5 | Постоянный | Любая | Ст 4, Сталь 20 |
| | | | | Переменный | – | Ст 1, Сталь 15 |
| МР-3 | | 1,6 | | Постоянный | Обратная | Ст 3, Сталь 25 |
| | | | | Переменный | – | Ст 2, Сталь 10 |
| Э-138/50н | Св-10ГН | 1,7 | 9 | Постоянный | Обратная | 12ГС, 15ГФ, 14Г2,14ХГС |
| ЦЛ-45 | Св-08ХМ | 1,65 | 9,5 | | | 15ХСНД,12Х1МФ, 15Х1М1Ф,10ХСНД |
| ЭА-395/9 | Св-10Х16Н25АМ6 | 1,6 | 11 | | | 08Х12Н8К5М2Т, 08Х12Н7К7М4 |
| ЭА-400/10У | Св-04Х19Н11М3 | 1,8 | 12 | | | 10Х17Н13М2Т, 08Х18Н10Т |

Основное технологическое время рассчитывают, используя формулу:

$$T_{\text{ОСН}} = \frac{G_{\text{Н}}}{K_{\text{Н}} \cdot I_{\text{СВ}}}, \text{ ч}, \quad (18)$$

где $G_{\text{Н}}$ – масса наплавленного металла; $K_{\text{Н}}$ – коэффициент наплавки, г/(А·ч); $I_{\text{СВ}}$ – сила сварочного тока, А.

Коэффициент наплавки $K_{\text{Н}}$ [г/(А·ч)] – масса наплавленного на поверхность детали металла в граммах за 1 час, приходящаяся на силу тока в 1 ампер. В табл. 8 даны величины коэффициента наплавки для различных марок электродов.

Окончательно время, необходимое для выполнения сварочных работ при наложении внутреннего и основного швов:

$$T_{\text{СВ}} = \frac{T_{\text{ОСН}}}{K_{\text{ИСП}}}, \text{ ч}, \quad (19)$$

где $K_{\text{ИСП}}$ – коэффициент использования сварочного поста.

Коэффициент использования сварочного поста $K_{\text{ИСП}}$ учитывает время на обслуживание оборудования, на получение материалов, на отдых и др. Значения коэффициента использования приведены в табл. 9.

Таблица 9

Коэффициент использования
сварочного поста $K_{\text{ИСП}}$

| | |
|-----------------------|------------------------------|
| При работе в цехе | $K_{\text{ИСП}} = 0,6...0,8$ |
| При монтажных работах | $K_{\text{ИСП}} = 0,5...0,7$ |

ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ И СКОРОСТЬ СВАРКИ

Производительность сварки:

$$G = K_{\text{Н}} \cdot I_{\text{СВ}}, \text{ г/ч}. \quad (20)$$

Скорость сварки при формировании основного шва:

$$V_{\text{СВ}}^{\text{ОСН}} = \frac{K_{\text{Н}} \cdot I_{\text{СВ}}}{\rho \cdot S_{\text{ОСН}}}, \text{ м/ч}. \quad (21)$$

Скорость сварки при формировании внутреннего шва:

$$V_{\text{СВ}}^{\text{ВН}} = \frac{K_{\text{Н}} \cdot I_{\text{СВ}}}{\rho \cdot S_{\text{ВН}}}, \text{ м/ч}. \quad (22)$$

РАСХОД ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Расход электроэнергии рассчитывают, используя формулу:

$$Q = 0,001 \cdot U_{\text{д}} \cdot I_{\text{СВ}} \cdot T_{\text{ОСН}}, \text{ кВт} \cdot \text{ч}, \quad (23)$$

где $U_{\text{д}}$ – рабочее напряжение дуги, В; $I_{\text{СВ}}$ – сила сварочного тока, А; $T_{\text{ОСН}}$ – основное технологическое время сварки, ч.

6. ПОРЯДОК СНЯТИЯ ВНЕШНЕЙ ВОЛЬТАМПЕРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ СВАРОЧНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Порядок снятия и построения графической зависимости напряжения на клеммах источника от тока нагрузки следующий:

- закрепить электрод в электрододержателе;
- снять три зависимости напряжения на клеммах источника от тока нагрузки в соответствии с условиями, приведенными в табл. 10.

Таблица 10

Экспериментальные данные при снятии вольтамперных
характеристик сварочного трансформатора

| № опыта | Режим работы трансформатора | | | | | | |
|---|-----------------------------|-----------------|--------------------|------------------|-----------------|---------------|-----------------|
| | Холостой ход | | Короткое замыкание | | Режим сварки | | |
| | U, В | I, А | U, В | I, А | U, В | | I, А |
| Первое положение регулятора сварочного тока | | | | | | | |
| 1 | U _{xx} | I _{xx} | U _{к31} | I _{к31} | U ₁ | Короткая дуга | I ₁ |
| 2 | | | | | U ₂ | | I ₂ |
| 3 | | | | | U ₃ | | I ₃ |
| 4 | | | | | U ₄ | Длинная дуга | I ₄ |
| 5 | | | | | U ₅ | | I ₅ |
| 6 | | | | | U ₆ | | I ₆ |
| Второе положение регулятора сварочного тока | | | | | | | |
| 7 | U _{xx} | I _{xx} | U _{к32} | I _{к32} | U ₇ | Короткая дуга | I ₇ |
| 8 | | | | | U ₈ | | I ₈ |
| 9 | | | | | U ₉ | | I ₉ |
| 10 | | | | | U ₁₀ | Длинная дуга | I ₁₀ |
| 11 | | | | | U ₁₁ | | I ₁₁ |
| 12 | | | | | U ₁₂ | | I ₁₂ |
| Третье положение регулятора сварочного тока | | | | | | | |
| 13 | U _{xx} | I _{xx} | U _{к33} | I _{к33} | U ₁₃ | Короткая дуга | I ₁₃ |
| 14 | | | | | U ₁₄ | | I ₁₄ |
| 15 | | | | | U ₁₅ | | I ₁₅ |
| 16 | | | | | U ₁₆ | Длинная дуга | I ₁₆ |
| 17 | | | | | U ₁₇ | | I ₁₇ |
| 18 | | | | | U ₁₈ | | I ₁₈ |

По результатам эксперимента, приведенных в табл. 10 строят три графика внешней вольтамперной характеристики, как показано на рис. 16.

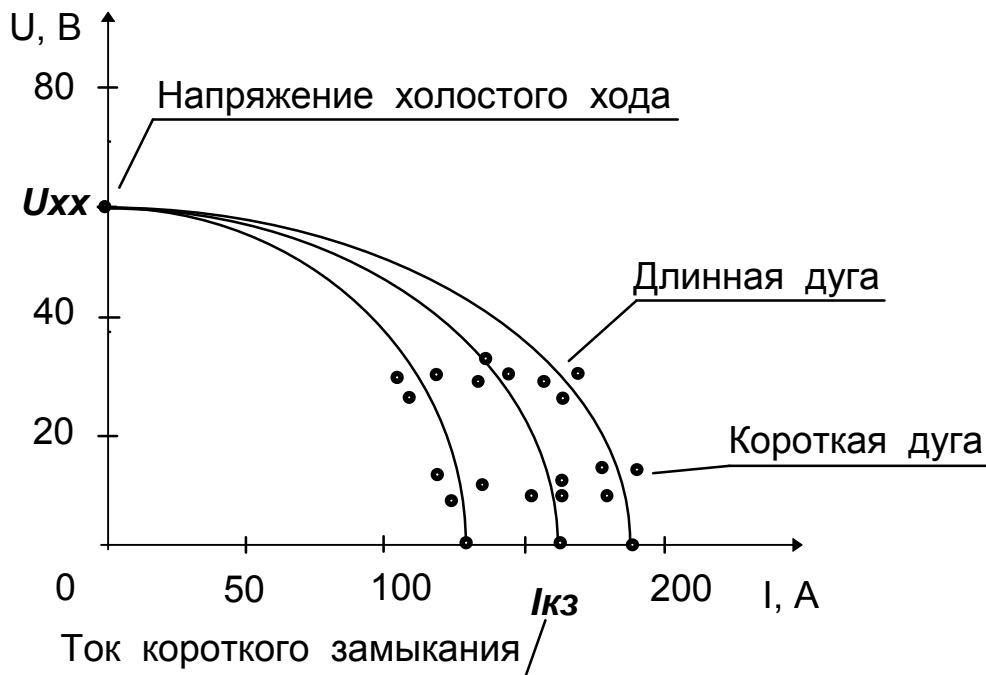


Рис. 16. Внешние вольтамперные характеристики сварочного трансформатора

7. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Получить задание от преподавателя.
2. Изучить сварочное оборудование и основные схемы сварки.
3. С учебным мастером провести эксперимент по снятию вольт-амперной характеристики сварочного трансформатора. Проведение отдельных опытов может быть поручено студентам знакомым с ручной дуговой сваркой.
4. Пользуясь примером оформления отчета выполнить необходимые эскизы, выбрать сварочный аппарат, электроды и рассчитать рациональный режим сварки ванны в соответствии с вариантом задания.
5. Сдать практическую работу преподавателю. Отчет должен быть выполнен в рабочей тетради ручкой. Эскизы – в карандаше.

8. ПРИМЕР ОФОРМЛЕНИЯ ОТЧЕТА

Практическая работа: **«Разработка технологического процесса ручной электродуговой сварки»**

Студент: Иванов Сергей, группа 1А3, вариант №7

1. Дано (см. главу 10. Варианты заданий):

| № варианта | Размеры ванны, мм | | | Толщина стенок А, мм | | Катет шва С, мм | Материал заготовок | |
|-----------------------------|----------------------|----------|----------|----------------------------|----|-----------------------|--|-------------|
| | <i>b</i> | <i>l</i> | <i>h</i> | Тип соеди- нения | | | Группа сталей | Обозначение |
| 7 | 200 | 400 | 100 | 5 | У5 | 4,7 | Качественные низкоуглеро- дистые конст- рукционные стали | Сталь 10 |
| Работа в цехе (см. табл. 9) | | | | | | | | |

2. Эскиз металлической ванны с размерами. Выполните рисунок, аналогичный рис. 15:

- для своего варианта;
- с размерами;
- в масштабе.

Укажите места прихвата.

Укажите порядок, последовательность и направление наложения швов.

Если используете односторонние сварные соединения У4 и У6, исключите из дальнейших расчетов подварочные швы.

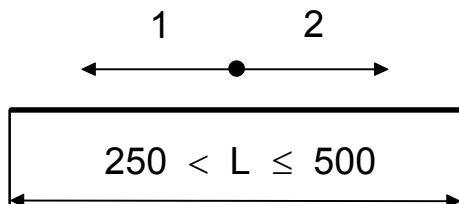
Суммарная длина основных наружных швов:

$$L_{\text{осн}} = 200 \cdot 2 + 400 \cdot 2 + 100 \cdot 4 = 1600 \text{ мм.}$$

Будем считать, что суммарная длина внутренних подварочных швов равна длине основных $L_{\text{вн}} = 1600$ мм. Длина сварных соединений $L = 1600$ мм. Толщина заготовок $A = 5$ мм. Все швы угловые двухсторонние впритык.

3. Последовательность и направление наложения швов.

От середины к краям



Швы FO и EM

Напроход



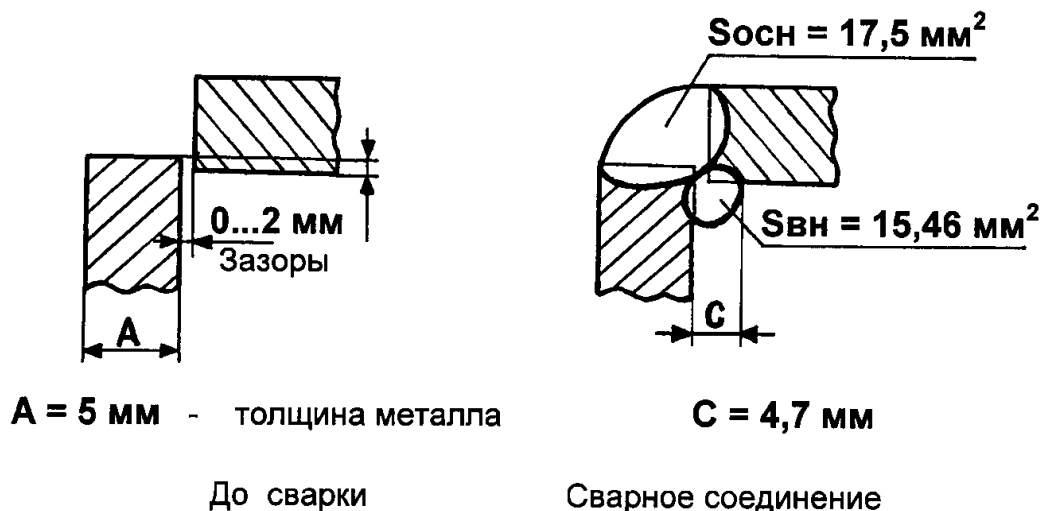
**Швы FB, ED, MH,
OG, FE, OM**

Швы FO и EM варят напроход от середины к краям.

Швы *FB*, *ED*, *MH*, *OG*, *FE* и *OM* можно варить напроход, поскольку они короче 250 мм.

4. Материал заготовок – качественная низкоуглеродистая конструкционная Сталь 10, содержащая 0,1% углерода.

5. Эскизы сварного соединения – двухстороннее угловое сварное соединение без разделки кромок.



Площадь поперечного сечения основного наружного шва:

$$S_{\text{ОСН}} = \frac{A^2}{2} \cdot K_y = \frac{5^2}{2} \cdot 1,4 = 17,5 \text{ мм}^2.$$

Площадь поперечного сечения внутреннего подварочного шва:

$$S_{\text{ВН}} = \frac{C^2}{2} \cdot K_y = \frac{4,7^2}{2} \cdot 1,4 = 15,46 \text{ мм}^2.$$

Общая площадь поперечного сечения сварного соединения:

$$S = S_{\text{ОСН}} + S_{\text{ВН}} = 17,5 + 15,46 = 32,96 \text{ мм}^2.$$

6. Выбор марки электродного покрытия и сварочной проволоки. В соответствии с табл. 8 выбран электрод с электродным покрытием МР-3. Марка сварочной проволоки Св-08 или Св-08А. Такая сварочная проволока содержит 0,08% углерода. Буква А указывает на повышенную чистоту металла по содержанию вредных примесей – серы и фосфора.

7. Характеристики электрода в соответствии с табл. 9:

- марка электродного покрытия МР-3;
- марка проволоки Св-0,8 или Св-08А;
- расход электродов на 1 кг наплавленного металла $k = 1,6$ кг;
- коэффициент наплавки $K_H = 8,5 \text{ г}/(\text{А} \cdot \text{ч})$;
- род тока – переменный;
- полярность – отсутствует.

8. Диаметры электродов для наружного и внутреннего швов.

В соответствии с табл. 5 диаметр $d_{\text{эл}} = 4 \text{ мм}$.

9. Сила сварочного тока.

$$I_{\text{св}} = I_{\text{уд}} \cdot d_{\text{эл}} = 45 \cdot 4 = 180 \text{ А.}$$

10. Выбор сварочного аппарата. Для сварки Стали 10 можно использовать как переменный, так и постоянный ток. В табл. 9 рекомендован переменный ток, а в варианте задания (глава 10) сварочный трансформатор как источник переменного тока. Поэтому в соответствии с табл. 7 выбран сварочный трансформатор ТД-300 У2, имеющий следующие технические характеристики:

- пределы регулирования сварочного тока 70...365 А;
- напряжение питающей сети 380 В;
- рабочее напряжение 32 В;
- напряжение холостого хода 80 В;
- мощность 19,4 кВт;
- размеры 692 · 710 · 620 мм;
- масса 137 кг.

11. Принципиальная электрическая схема сварочного трансформатора с подвижной катушкой вторичной обмотки.

Выполните рис. 12.

12. Принципиальная схема сварки переменным током.

Выполните рис. 5.

13. Конструктивная схема сварочного трансформатора с подвижными катушками вторичной обмотки.

Выполните рис. 11.

В том случае, **если используется постоянный ток не выполняйте рис. 11.** При использовании **сварочного преобразователя** выполните рис. 6, **выпрямителя** – рис. 7.

14. Расход электродов для сварки.

Масса наплавленного металла основных наружных швов

$$G_{\text{н}}^{\text{ОСН}} = \frac{S_{\text{ОСН}}}{1000} \cdot L_{\text{ОСН}} \cdot \rho = \frac{17,5}{1000} \cdot 1600 \cdot 7,8 = 218 \text{ г.}$$

Масса наплавленного металла внутренних подварочных швов

$$G_{\text{н}}^{\text{ВН}} = \frac{S_{\text{ВН}}}{1000} \cdot L_{\text{ВН}} \cdot \rho = \frac{15,46}{1000} \cdot 1600 \cdot 7,8 = 193 \text{ г.}$$

Общая масса наплавленного металла:

$$G_{\text{н}} = G_{\text{н}}^{\text{ОСН}} + G_{\text{н}}^{\text{ВН}} = 218 + 193 = 411 \text{ г.}$$

Расход электродов:

$$G_{\text{эл}} = k \cdot G_{\text{н}} = 1,6 \cdot 411 = 658 \text{ г.}$$

15. Продолжительность сварки

Основное технологическое время:

$$T_{\text{ОСН}} = \frac{G_{\text{н}}}{K_{\text{н}} \cdot I_{\text{св}}} = \frac{411}{8,5 \cdot 180} = 0,269 \text{ ч.}$$

Время выполнения сварочных работ:

$$T_{CB} = \frac{T_{OCH}}{K_{ИСП}} = \frac{269}{0,8} = 0,336 \text{ ч.}$$

16. Скорость сварки

Скорость сварки при формировании основного шва:

$$V_{CB}^{OCH} = \frac{K_H \cdot I_{CB}}{\rho \cdot S_{OCH}} = \frac{8,5 \cdot 180}{7,8 \cdot 17,5} = 11,21 \text{ м/ч.}$$

Скорость сварки при формировании внутреннего шва:

$$V_{CB}^{BH} = \frac{K_H \cdot I_{CB}}{\rho \cdot S_{BH}} = \frac{8,5 \cdot 180}{7,8 \cdot 15,46} = 12,69 \text{ м/ч.}$$

17. Производительность сварки

$$G = K_H \cdot I_{CB} = 8,5 \cdot 180 = 1530 \text{ г/ч.}$$

18. Расход электроэнергии

$$Q = 0,001 \cdot U_D \cdot I_{CB} \cdot T_{OCH} = 0,001 \cdot 32 \cdot 180 \cdot 0,269 = 1,549 \text{ кВт} \cdot \text{ч.}$$

19. Экспериментальные данные при снятии вольтамперной характеристики сварочного трансформатора. Подготовьте таблицу, аналогичную табл. 10 без значений силы тока и напряжения. Заполните эту таблицу в ходе эксперимента.

20. Внешняя вольтамперная характеристика трансформатора для ручной дуговой сварки. Постройте внешнюю характеристику трансформатора по экспериментальным данным, полученным в предыдущем пункте. Форма выполнения показана на рис. 16.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

| № | Название | Обозначение | Численное значение |
|----|---|-------------|-----------------------|
| 1 | Длина сварных швов | L_{OCH} | 1600 мм |
| | | L_{BH} | 1600 мм |
| 2 | Длина сварных соединений | L | 1600 мм |
| 3 | Площадь поперечного сечения сварных швов | S_{OCH} | 17,5 мм ² |
| | | S_{BH} | 15,46 мм ² |
| 4 | Площадь поперечного сечения сварного соединения | S | 32,96 мм ² |
| 5 | Диаметр электрода | $d_{ЭЛ}$ | 4 мм |
| 6 | Сила сварочного тока | I_{CB} | 180 А |
| 7 | Масса наплавленного металла | $G_{НОСН}$ | 218 г |
| | | $G_{НВН}$ | 193 г |
| | | G_H | 411 г |
| 8 | Расход электродов | $G_{ЭЛ}$ | 658 г |
| 9 | Основное технологическое время | T_{OCH} | 0,269 ч |
| | Время выполнения сварочных работ | T_{CB} | 0,336 ч |
| 10 | Скорость сварки | $V_{СВОСН}$ | 11,21 м/ч |
| | | $V_{СВВН}$ | 12,69 м/ч |
| 11 | Производительность | G | 1530 г/ч |
| 12 | Расход электроэнергии | Q | 1,549 кВт·ч |

9. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Опишите преимущества и недостатки сварки постоянным, переменным и выпрямленным током.
2. Нарисуйте схемы сварки постоянным, переменным и выпрямленным током.
3. Объясните устройство сварочного трансформатора.
4. Объясните устройство сварочного инвертора.
5. Расскажите о маркировке сварочных электродов, ее назначении, расшифруйте пример маркировки.
6. Каково назначение и состав электродных покрытий?
7. Как расшифровать состав свариваемой стали и сварочной проволоки?
8. Расскажите о маркировке химических элементов.
9. Опишите особенности крутопадающей и пологопадающей внешней вольтамперной характеристики источника тока.
10. Опишите порядок снятия вольтамперной характеристики трансформатора. Как получить режимы $I_{кз}$, $U_{хх}$, $I_{кор}$ и $I_{дл}$?
11. Какова зона рабочих токов I_d и зона рабочих напряжений дуги U_d ?
12. Каковы правила разделки кромок?
13. Каково назначение основных и подварочных швов?
14. Каков порядок наложения сварочных швов?
15. Расскажите о последовательности определения режима сварки.
16. Расскажите о критериях выбора диаметров электродов для наложения основного и подварочного швов.
17. Какая сила тока приходится на 1 мм диаметра электрода?
18. Как определить продолжительности сварки?
19. Как определить массу наплавленного металла и расхода сварочных электродов?

10. ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ

| № вари- анта | Размеры ванны, мм | | | Толщина стенки А, мм ----- Тип соеди- нения | | Катет шва С, мм | Материал заготовок | | |
|--------------------------------|-------------------|------|-----|--|----|---|--|------------------|----------|
| | b | l | h | | | | Группа сталей | Обозна- чение | |
| Работа в цехе (см. табл. 9) | | | | | | | | | |
| 1 | 400 | 500 | 200 | 3 | У5 | 2,5 | Конструкцион- ные низкоугле- родистые стали обыкновенного качества | Ст 2 | |
| 2В | 400 | 500 | 200 | 3 | У7 | 2,6 | | Ст 4 | |
| 3 | 400 | 600 | 200 | 4 | У5 | 3,5 | | Ст 1 | |
| 4П | 400 | 600 | 200 | 4 | У7 | 3,6 | | Ст 3 | |
| 5 | 400 | 700 | 200 | 5 | У5 | 4,5 | | Ст 2 | |
| 6В | 400 | 700 | 200 | 5 | У7 | 4,6 | | Ст 4 | |
| 7 | 400 | 800 | 200 | 6 | У5 | 5,5 | | Ст 1 | |
| 8П | 400 | 800 | 200 | 6 | У7 | 5,6 | | Ст 3 | |
| 9 | 500 | 800 | 400 | 3 | У5 | 2,7 | Качественные низкоуглероди- стые конструк- ционные стали | Сталь 10 | |
| 10В | 500 | 800 | 400 | 3 | У7 | 2,8 | | Сталь 20 | |
| 11 | 600 | 800 | 400 | 4 | У5 | 3,7 | | Сталь 15 | |
| 12П | 600 | 800 | 400 | 4 | У7 | 3,8 | | Сталь 25 | |
| 13 | 700 | 800 | 400 | 5 | У5 | 4,7 | | Сталь 10 | |
| 14В | 700 | 800 | 400 | 5 | У7 | | | 4,8 | Сталь 20 |
| 15 | 800 | 800 | 400 | 6 | У5 | | | 5,7 | Сталь 15 |
| 16П | 800 | 800 | 400 | 6 | У4 | | | | Сталь 25 |
| Монтажные работы (см. табл. 9) | | | | | | | | | |
| 17П | 600 | 1000 | 300 | 3 | У6 | Низколегирован- ные конструкци- онные стали | 12ГС | | |
| 18В | 600 | 1000 | 300 | 3 | У4 | | 15ХСНД | | |
| 19П | 600 | 1000 | 400 | 4 | У6 | | 15ГФ | | |
| 20В | 600 | 1000 | 400 | 4 | У4 | | 12Х1МФ | | |
| 21П | 600 | 1000 | 500 | 5 | У6 | | 14Г2 | | |
| 22В | 600 | 1000 | 500 | 5 | У4 | | 15Х1М1Ф | | |
| 23П | 600 | 1000 | 600 | 6 | У6 | | 14ХГС | | |
| 24В | 600 | 1000 | 600 | 6 | У4 | | 10ХСНД | | |
| 25П | 400 | 900 | 200 | 3 | У6 | Легированные жаропрочные стали | 08Х12Н8К5М2Т | | |
| 26В | 400 | 900 | 200 | 3 | У4 | | 10Х17Н13М2Т | | |
| 27П | 900 | 800 | 400 | 4 | У6 | | 08Х12Н7К7М4 | | |
| 28В | 900 | 800 | 400 | 4 | У4 | Легированные коррозионностой- кие стали | 08Х18Н10Т | | |
| 29П | 600 | 1000 | 700 | 5 | У6 | | 08Х12Н8К5М2Т | | |
| 30В | 600 | 1000 | 700 | 5 | У4 | | 08Н18Н10Т | | |

Примечание. Буква **П** в номере варианта- использовать **сварочный преобразователь**, **В** – **выпрямитель**, отсутствие буквы – **трансформатор**.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Технология конструкционных материалов / под ред. А.М. Дальского. – М.: Машиностроение, 2005. – 592 с.
2. Разработка технологического процесса ручной электродуговой сварки: методическое руководство к практической работе по курсу технологии конструкционных материалов / В.Б. Безрук [и др.]. – М.: МАДИ, 1998. – 40 с.
3. Маслов, В.И. Сварочные работы / В.И. Маслов. – 10-е изд., стереот. – М.: Издательский центр «Академия», 2014. – 288 с.

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----|
| 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ..... | 3 |
| 1.1. Основы технологии сварки | 3 |
| 1.2. Дуговая сварка плавлением | 3 |
| 1.3. Строение сварочной дуги и процессы, происходящие в дуговом промежутке | 5 |
| 1.3.1. Особенности сварочной дуги переменного тока | 7 |
| 1.4. Ручная дуговая сварка | 8 |
| 1.5. Сварочные аппараты и их внешние вольтамперные характеристики | 10 |
| 2. КОНСТРУКЦИЯ СВАРОЧНОГО ТРАНСФОРМАТОРА..... | 15 |
| 2.1. Режимы работы сварочного трансформатора..... | 17 |
| 3. СТАЛИ И ИХ СВАРИВАЕМОСТЬ..... | 19 |
| 4. ЭЛЕКТРОДЫ ДЛЯ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ..... | 21 |
| 5. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СВАРКИ РЕЗЕРВУАРА | 24 |
| 5.1. Сварные соединения..... | 24 |
| 5.2. Порядок, последовательность и направление наложения швов..... | 27 |
| 5.3. Режим сварки и выбор оборудования | 28 |
| 6. ПОРЯДОК СНЯТИЯ ВНЕШНЕЙ ВОЛЬТАМПЕРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ СВАРОЧНОГО ТРАНСФОРМАТОРА | 34 |
| 7. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ | 35 |
| 8. ПРИМЕР ОФОРМЛЕНИЯ ОТЧЕТА..... | 35 |
| 9. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ | 40 |
| 10. ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ | 41 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ | 42 |

Учебное издание

АЛЕКСАНДРОВ Виктор Дмитриевич
БЕЗРУК Валерий Борисович
КУДРЯШОВ Борис Александрович
МАСЛАКОВА Любовь Петровна
МАСЛОВА Екатерина Всеволодовна
МОРЩИЛОВ Максим Витальевич

МЕТОДИЧЕСКОЕ
ПОСОБИЕ
К ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЕ
«РУЧНАЯ
ДУГОВАЯ СВАРКА»

Редактор В.В. Виноградова

Подписано в печать 04.02.2016 г. Формат 60×84/16.
Усл. печ. л. 2,75. Тираж 200 экз. Заказ . Цена 95 руб.
МАДИ, 125319, Москва, Ленинградский пр-т, 64.