НОВОСИБИРСКИЙ ГАУ
ИНЖЕНЕРНЫЙ ИНСТИТУТ

ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ СВАРКИ

Учебно-методическое пособие по дисциплине
«Материаловедение и технология конструкционных материалов»



НОВОСИБИРСК 2019

Кафедра технологических машин и технологии машиностроения

УДК 621.791(075.8)

Составители: *М.Е. Перфилов*, канд. техн. наук, доц.
Е.В. Агафонова, ст. преп.

Рецензент: *П.И. Федюнин*, канд. техн. наук, доц.

Изучение технологического процесса электродуговой сварки: учебно-метод. пособие /Новосиб. гос. аграр. ун-т. Инженер. ин-т; сост: М.Е. Перфилов, Е.В. Агафонова. – Новосибирск, 2019 – 52с.

В учебно-методическом пособии по дисциплине «Материаловедение и технология конструкционных материалов» приведены описание и характеристики электрической дуги, ее вольтамперные характеристики. Дано описание различных источников сварочного тока и их принципов работы. Приведена классификация электродов для ручной дуговой сварки с примерами условного обозначения и расшифровки маркировки. Даны описания условного обозначения сварных швов и соединений на чертежах. Приведен порядок расчета параметров технологического процесса ручной дуговой сварки и наплавки, полуавтоматической сварки (наплавки) в углекислом газе проволокой сплошного сечения, автоматической сварки под флюсом проволокой сплошного сечения, полуавтоматической сварки порошковой самозащитной проволокой. В приложении приведены справочные данные.

Предназначено для студентов бакалавров очного и заочного отделений, обучающихся по направлениям подготовки Агроинженерия, Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов, Технология транспортных процессов, Профессиональное обучение (по отраслям), Техносферная безопасность.

Рекомендованы к изданию методическим советом Инженерного института НГАУ (протокол №__ от _____ 2019г.).

© Новосибирский государственный
аграрный университет, 2019
© Инженерный институт, 2019

ВВЕДЕНИЕ

Сварка является наиболее важным способом получения неразъемных соединений из различных материалов, свариваются металлы и сплавы, керамика, стекло, пластмассы, разнородные материалы. Сварку широко применяют практически во всех отраслях машиностроения и строительной промышленности. Сварку, как основной технологический процесс, применяют в сельхозмашиностроении и автомобилестроении при изготовлении цельносварных агрегатов, кузовов, топливных баков и многих других машин и металлоконструкций. Особенно экономически выгодно применение сварки при изготовлении новых изделий с заменой крупногабаритных цельнолитых и кованых узлов машин на комбинированные лито-сварные, ковано-сварные и прокатно-сварные. Такая замена выгодна, если конструкция имеет сложную геометрическую форму и большую массу.

Внедрение сварки в различные технологические процессы в АПК при изготовлении и ремонте изделий и механизмов часто связано с заменой литых и кованых конструкций и деталей машин на прокатно-сварные или комбинированные, включающие литые, кованые и штампованные элементы, соединенные сваркой. Эта замена является экономически целесообразной, особенно если конструкция имеет сложную геометрическую форму, а также при единичном и мелкосерийном производстве, что характерно при ремонте и восстановлении деталей машин и рабочих органов в ремонтном производстве АПК.

Сварка – это процесс получения неразъемных соединений посредством установления межатомных связей между соединяемыми частями при их нагревании и (или) пластическом деформировании.

Некоторые металлы способны образовывать сварные соединения при пластическом деформировании с нагревом до высоких температур. Другие металлы свариваются только в расплавленном состоянии. Высокопластичные металлы (медь, свинец и алюминий) можно соединять без нагрева путем совместной пластической деформации двух деталей.

В зависимости от формы энергии, используемой для образования сварного соединения, основные сварочные процессы (включая сварку, пайку и резку) разделены на три класса: термические, термомеханические, механические.

К *термическим* процессам относятся следующие виды сварки: газовая, дуговая, термитная, электрошлаковая, индукционная, лазерная, электронно-лучевая, плазменно-лучевая.

К *термомеханическим* – контактная, печная, диффузионная, дуго-прессовая, термитнопрессовая, индукционнопрессовая.

К *механическим* – холодная, трением, ультразвуковая, взрывом, магнитоимпульсная. Нагрев свариваемых деталей осуществляется разными способами: электрической дугой, газокислородным пламенем, прямым пропусканием тока, лазером и т.д. По-разному обеспечиваются защита зоны сварки от воздействия воздуха и ее принудительная деформация. Существует множество технологических процессов сварки (более 70).

1. ОБЩИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1. Плавящиеся и неплавящиеся электроды, тепловая энергия сварочной дуги, источники сварочного тока

Электрической дугой называют мощный устойчивый электрический разряд в ионизированной газовой среде между электродом и изделием. Ионизация дугового промежутка происходит во время зажигания дуги и непрерывно поддерживается в процессе ее горения. В зависимости от того, в какой среде происходит горение электрической дуги, различают:

– *открытую дугу,* горящую на воздухе (состав газовой среды в зоне дуги - воздух с примесью паров свариваемого металла, материала электродов и электродных покрытий);

–*закрытую дугу,* горящую под слоем флюса (пары основного металла, проволоки и защитного флюса);

–*электрическую дугу,* горящую в среде защитных газов (атмосфера защитного газа, пары основного металла и сварочной проволоки).

Как показано на рисунке 1 сварку можно вести плавящимся (металлическим) электродом или с использованием неплавящегося (угольного или вольфрамового) электрода.

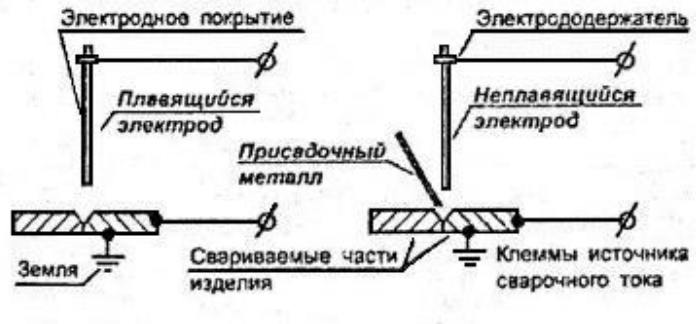


Рисунок 1. Сварка плавящимся и неплавящимся электродами

Между торцом неплавящегося электрода и свариваемым изделием горит электрическая дуга. Присадочный металл вводится в зону горения сварочной дуги дополнительно. Он расплавляется и формирует сварной шов. Плавящийся электрод сочетает функции неплавящегося электрода и присадочного металла.

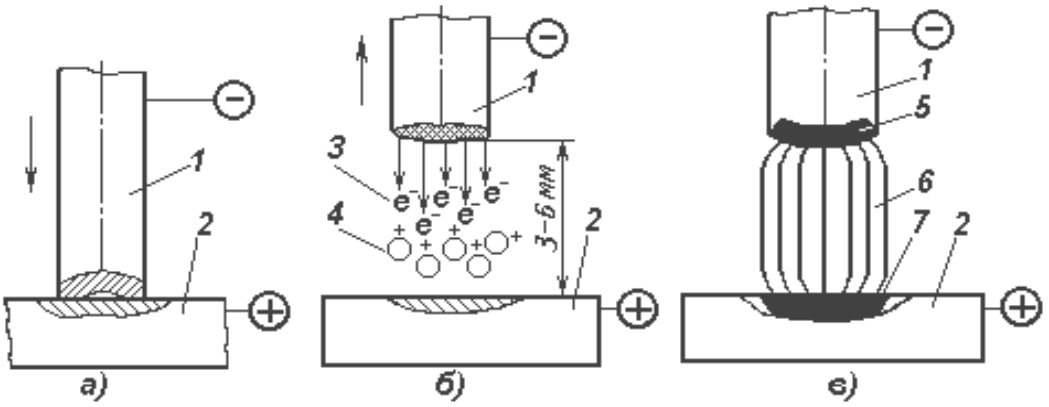


Рисунок 2. Схема процесса зажигания дуги

Процесс зажигания дуги в большинстве случаев включает в себя три этапа: короткое замыкание электрода на заготовку, отвод электрода на расстояние 3 – 6 мм и возникновение устойчивого дугового разряда. Короткое замыкание (см. рисунок 2, *а)* выполняют для разогрева торца электрода *1* и заготовки *2* в зоне контакта с электродом. После отвода электрода (см. рисунок 2, *б)* с его разогретого торца (катода) под действием электрического поля начинается эмиссия электронов *3*. Столкновение быстродвижущихся по направлению к аноду электронов с молекулами газов и паров металла приводит к их ионизации *4*. В результате дуговой промежуток становится электропроводным. Процесс зажигания дуги заканчивается возникновением устойчивого дугового разряда (см. рисунок 2, *в*).

Возможно зажигание дуги без короткого замыкания и отвода электрода с помощью высокочастотного электрического разряда через дуговой промежуток, обеспечивающего его первоначальную ионизацию. Для этого в сварочную цепь подключают источник высокочастотного переменного тока высокого напряжения (осциллятор). Этот способ применяют для зажигания дуги при сварке неплавящимся электродом.

Электрическая дуга – концентрированный источник теплоты с очень высокой температурой. Температура столба дуги *6* достигает 6000 – 7000°С, а температура катодного 5 и анодного 7 пятен стальных электродов – 2400°С и 2600°С (см. рисунок 2, *в).*

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

Полная тепловая мощность дуги:

$$Q = KJ_{св}U_{д}, \text{ Дж/с} \qquad (1)$$

где K – коэффициент несинусоидальности напряжения и тока (для постоянного тока равен единице, для переменного тока 0,7 – 0,97);

$J_{св}$ – сварочный ток, А;

$U_{д}$ – напряжение дуги, В.

Однако не вся мощность дуги полностью расходуется на нагрев и расплавление электрода и основного металла, часть ее теряется в результате теплоотдачи в окружающую среду.

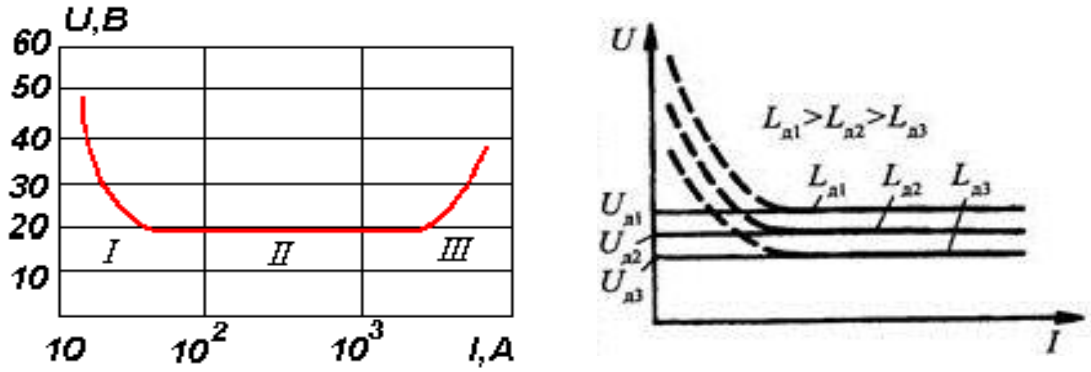
Часть мощности дуги, расходуемая на нагрев заготовки, называется *эффективной тепловой мощностью сварочной дуги*:

$$q = \eta Q, \text{ Дж/с} \qquad (2)$$

где η – КПД дуги, представляющий отношение эффективной мощности дуги к полной; величина η зависит от способа сварки, вида и состава сварочных материалов (для автоматической сварки под флюсом, электрошлаковой, ручной дуговой покрытым электродом и газоэлектрической сварки среднее значение η соответственно равно 0,9; 0,7; 0,8; 0,6).

Для обеспечения устойчивости горения сварочной дуги необходимо, чтобы ее основные параметры (ток и напряжение) находились в определенной зависимости друг от друга.

Графическое изображение этой зависимости при работе в статическом режиме (состояние установившегося равновесия) называют *статической* или *вольт-амперной* характеристикой дуги (см. рисунок 3). Кривую статической характеристики дуги можно разделить на три области. В области *I* увеличение тока до 80А вызывает резкое падение напряжения на дуге. Дугу с падающей характеристикой практически не используют в сварочной технике вследствие ее малой устойчивости.



а) *б)*

Рисунок 3. Статическая (вольт-амперная) характеристика дуги (а) и зависимость напряжения дуги $U_д$ от ее длины $L_д$

В области II статическая характеристика носит жесткий характер. Увеличение тока от 80 до 800А не изменяет напряжение дуги. Оно практически остается постоянным. Это объясняется тем, что площадь сечения столба дуги и активных пятен растет пропорционально току, поэтому плотность тока и напряжение во всех участках этой области сохраняются постоянными. Дугу с жесткой статической характеристикой (область II) широко применяют в сварочной технике для ручного и автоматического процессов.

В области III увеличение тока приводит к повышению напряжения на дуге. Это объясняется тем, что без возрастания напряжения дальнейшее увеличение плотности тока в электроде выше достигнутого невозможно, так как площадь пятна на торце электрода становится равной площади этого торца. Таким образом, дальнейшее повышение тока, проходящего через электрод, в данных условиях возможно только при повышении напряжения на дуге. Этим и объясняется возрастающая форма статической характеристики дуги в области III. Дугу с возрастающей статической характеристикой широко используют в автоматических и полуавтоматических процессах при сварке под флюсом и в защитных газах.

Каждому участку характеристики дуги соответствует определенный характер переноса расплавленного электродного металла в сварочную ванну: I и II – крупнокапельный, III – мелкокапельный или струйный. Чтобы сохранять напряжение дуги неизменным, необходимо длину дуги поддерживать постоянной (см. рисунок 2, *б)*.

Для питания сварочной дуги применяют постоянный или переменный ток. При питании дуги постоянным током она горит более устойчиво. При питании же дуги

переменным током промышленной частоты нарушается стабильность ионизации дугового промежутка, а, следовательно, снижается стабильность горения дуги. Это происходит по той причине, что ток и напряжение 100 раз в секунду изменяют направление. При перемене знака, т. е. при нулевом значении тока, дуга гаснет, температура дугового промежутка и активных пятен снижается и происходит деионизация газов столба дуги.

Следовательно, в условиях пониженной ионизации дугового промежутка зажигание дуги может происходить в начале каждого полупериода только при повышенном напряжении повторного зажигания дуги. Пик зажигания (напряжение зажигания в начале каждого полупериода) всегда выше стационарного напряжения дуги.

С увеличением силы тока и введением токов высокой частоты горение дуги улучшается, высокая температура, и большая концентрация теплоты сварочной дуги позволяют почти мгновенно расплавлять небольшие объемы металлов электрода и изделия при сварке.

На нагрев изделия при прямой полярности (плюсовая клемма источника тока присоединена к детали, а минусовая – к электроду) расходуется 50% тепловой мощности дуги, на нагрев электрода – 30 %, и потери в окружающую среду составляют примерно 20%. Таким образом, 75 – 85 % всей мощности дуги расходуется на нагрев и расплавление металла.

Различие тепловыделения на катоде и аноде используют при решении технологических задач. Сварку изделий, требующих большого подвода теплоты для нагрева кромок, выполняют на прямой полярности, а сварку тонколистовых конструкций и конструкций из нержавеющих и жаропрочных сталей осуществляют при обратной полярности: плюсовая клемма присоединена к электроду, а минусовая – к детали.

1.2. Сварочные аппараты и их внешние вольтамперные характеристики

Дуговую сварку плавлением выполняют постоянным или переменным током (см. рисунок 4 – 6).

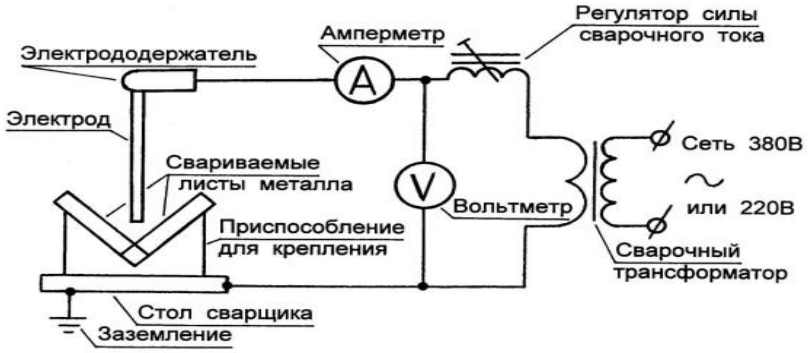


Рисунок 4. Принципиальная схема сварки переменным током

Для сварки переменным током (см. рисунок 4) применяют сварочные трансформаторы. Трансформатор понижает напряжение сети с 380В или 220В до 70…80В и менее, одновременно увеличивая силу тока до нужного значения. Для регулирования силы тока используют регуляторы. Они либо выполнены отдельно от трансформатора (см. рисунок 4), либо совмещены с трансформатором (см.

рисунок 8 и 9). Амперметр и вольтметр показывают величину силы тока и напряжения при сварке.

Для сварки постоянным током применяют сварочные преобразователи (см. рисунок 5), сварочные агрегаты, и сварочные выпрямители (см. рисунок 6). Регуляторы силы тока и здесь выполняют свою роль.

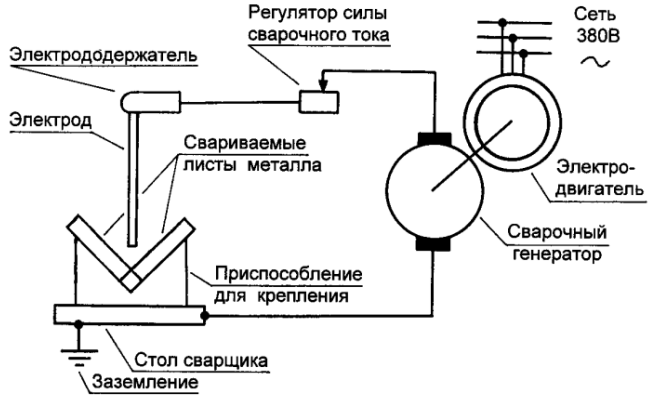


Рисунок 5. Принципиальная схема сварки постоянным током

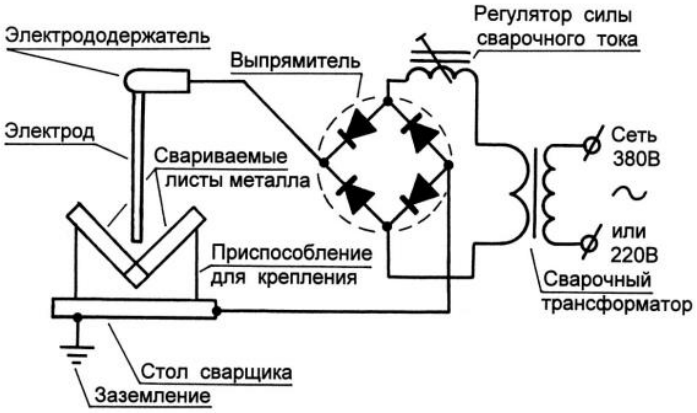


Рисунок 6. Принципиальная схема сварки выпрямленным током

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, 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.

При ручной дуговой сварке используют источники тока с крутопадающей внешней характеристикой (см. рисунок 7). Внешней вольтамперной характеристикой называют зависимость напряжения на клеммах источника от тока нагрузки.

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 $U_{xx} = 80$ *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 и сварочного тока должно изменяться в следующих пределах:

$$1{,}25 < \frac{J_{кз}}{J_{св}} < 2{,}0 \qquad (3)$$

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

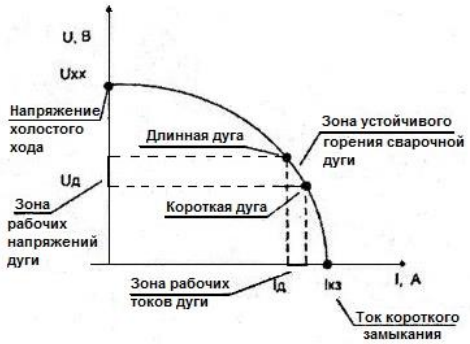


Рисунок 7. Внешняя вольтамперная характеристика источника сварочного тока

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

$$\frac{U_{xx}}{U_Д} = 1{,}8 - 2{,}5, \qquad (4)$$

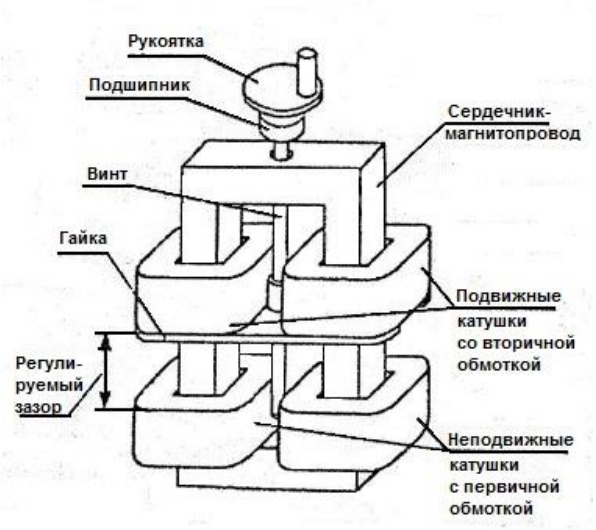


Рисунок 8. Конструктивная схема сварочного трансформатора с подвижными катушками вторичной обмотки

Напряжение холостого хода у разных сварочных аппаратов U_{xx}= 40 – 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 слишком 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 электродное покрытие. Тогда будет затруднено повторное зажигание дуги.

1.3. Конструкция сварочного трансформатора

Пределы регулирования сварочного тока трансформатора ТД-300 составляют 60 – 400 А. Напряжение холостого хода 61 и 79 В. Основными элементами сварочного трансформатора (см. рисунок 8 и 9) являются:

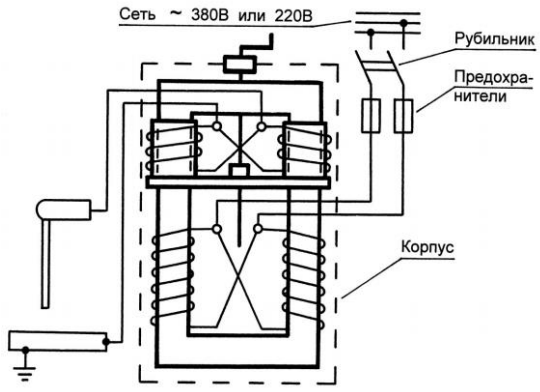


Рисунок 9. Принципиальная электрическая схема сварочного трансформатора с подвижными катушками вторичной обмотки

–сердечник (магнитопровод);

–неподвижные катушки с первичной обмоткой;

– подвижные катушки со вторичной обмоткой.

Величину сварочного тока регулируют изменением расстояния между первичными и вторичными катушками. 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 со 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 (см. рисунок 9). Уменьшение расстояния между вторичными обмотками приводит к увеличению тока.

1.4 Режим работы сварочного трансформатора

Действие сварочного трансформатора основано на явлении электромагнитной индукции. Режим холостого хода трансформатора (см. рисунок 10) устанавливают при разомкнутой вторичной обмотке в момент подключения первичной обмотки к сети переменного тока при холостом ходе без нагрузки напряжением U_1. При этом по первичной обмотке идет ток J_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 $J_2 = 0$ и никаких затрат энергии во вторичной цепи нет. Поэтому вторичное напряжение на холостом ходе максимально и эту величину называют напряжением холостого хода $U_2 = U_{xx}$.

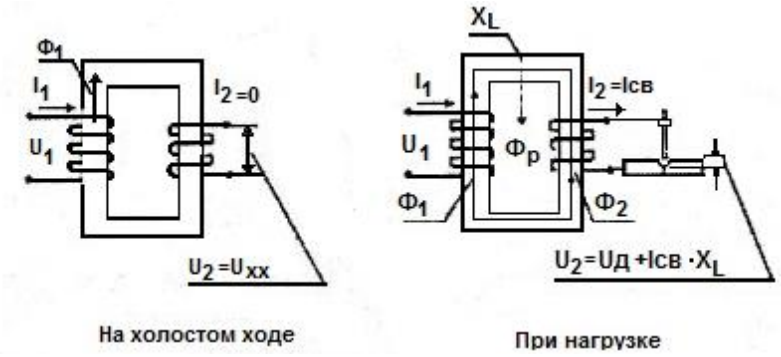


Рисунок 10. Работа трансформатора

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

$$K = \frac{U_1}{U_2} = \frac{W_1}{W_2}, \quad (5)$$

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

Режим нагрузки (см. рисунок 10) устанавливают благодаря замыканию цепи вторичной обмотки в момент зажигания дуги. При этом под действие напряжения U_2 во вторичной обмотке и дуге появляется ток $J_2 = J_{св}$. Этот ток создаёт переменный магнитный поток, который стремится уменьшить величину потока, создаваемого первичной обмоткой $\Phi_к$. Противодействуя этому, сила тока в первичной обмотке увеличивается. Увеличение энергии в первичной обмотке должно быть равно увеличению отдачи энергии дуге вторичной обмотки в соответствии с законом сохранения энергии.

Напряжение во вторичной обмотке трансформатора при нагрузке равно

$$U_2 = U_д + J_{св} \cdot X_L, \quad (6)$$

где U_2 – падение напряжения на дуге;

X_L – индуктивное омическое 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 пренебрегают.

Часть магнитного потока $Ф_р$ по пути от первичной обмотки ко вторичной рассеивается в пространстве. Магнитный поток рассеивания тем больше, чем больше расстояние между магнитными потоками (см. рисунок 9 и 10). В результате вторичную обмотку пронизывает магнитный поток $Ф_2$. Падающая внешняя вольтамперная характеристика сварочного трансформатора получается благодаря изменению величины рассеивания магнитного потока $Ф_р$.

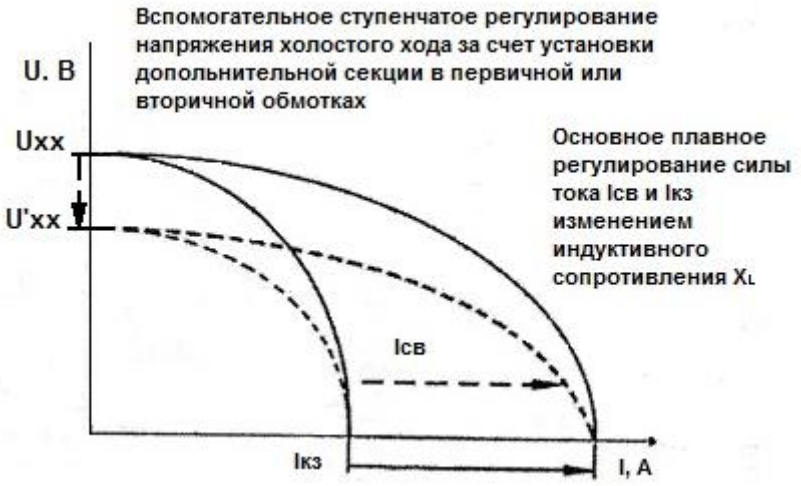


Рисунок 11. Регулирование силы сварочного тока $J_{св}$, силы тока короткого замыкания $J_{кз}$ и напряжения холостого хода $U_{хх}$ трансформатора

При этом напряжение дуги уменьшается при увеличении силы сварочного тока и индуктивного сопротивления X_L.

Как показано на рисунке *11*, регулировать трансформатор можно:

– изменяя индуктивное сопротивление сварочного трансформатора X_L;

– изменяя напряжение холостого хода U_{xx}.

Первый способ более распространен и позволяет плавно регулировать сварочный ток. Второй способ применяют как дополнительный.

Как правило, трансформатор имеет одну или две фиксированные величины U_{xx} и U'_{xx}. U'_{xx} получают, устанавливая дополнительные секции в первичной или вторичной обмотках. При величине напряжения холостого хода U'_{xx}, как и при U_{xx}, можно плавно регулировать индуктивное сопротивление X_L а, следовательно, сварочный ток $J_{св}$ и ток короткого замыкания $J_{кз}$.

Плавное двухдиапазонное регулирование силы тока позволяет уменьшить массу и габариты трансформатора. Для получения диапазона больших токов обе катушки первичной и вторичной обмоток включаются попарно параллельно (см.

рисунок 8). Для получения диапазона малых токов катушки первичной и вторичной обмоток включаются последовательно.

Регулирование сварочного тока $J_{св}$ (как и $J_{кз}$) 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.

Первый вариант интересен простой и надежной конструкцией. Однако если сваривать необходимо на расстоянии 10 – 40 метров от трансформатора, то отдельный регулятор будет всегда под рукой у сварщика. Он весит значительно меньше трансформатора, потому его легче перемещать. При коротком замыкании электрод касается изделия $U_Д$ = 0, напряжение во вторичной обмотке равно $U_2 = J_{кз} \cdot X_L$.

Отсюда

$$J_{кз} = \frac{U_2}{X_L} \qquad (7).$$

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

1.5 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.

Свариваемость – сложное, комплексное свойство материала. Она в основном определяется типом и свойством структуры, возникающей в сварном соединении при сварке.

При сварке однородных металлов и сплавов в месте соединения, как правило, образуется структура, идентичная или близкая структуре соединяемых заготовок. При сварке разнородных материалов в зависимости от различия их физико-химических свойств в месте соединения образуется твердый раствор с решеткой одного из материалов либо химическое или интерметаллидное соединение с решеткой, резко отличающейся от решеток исходных материалов.

Механические и физические свойства твердых растворов (особенно химических или интерметаллидных соединений), например, твердость, пластичность, электропроводность и другие свойства, могут значительно отличаться от свойств соединяемых материалов.

Различие свойств может также вызываться образованием закалочных структур в зоне сварного соединения материалов вследствие локального высокотемпературного сварочного нагрева и быстрого охлаждения. Наличие

хрупких и твердых структур в сварном соединении в условиях действия сварочных напряжений в ряде случаев приводит к возникновению трещин в шве или в околошовной зоне. В последнем случае материалы относят к категории удовлетворительно или плохо сваривающихся.

По мере совершенствования технологии сварки и разработки новых способов сварки с использованием интенсивных высокотемпературных источников теплоты, высоких давлений, глубокого вакуума, промежуточных сред и материалов и т. п. удается получать работоспособные в отношении заданных свойств соединения плохо сваривающихся материалов. При этом возможна также сварка некоторых сочетаний материалов, ранее считавшихся практически несваривающимися.

В процессе сварки некоторые стали склонны к образованию трещин в шве или в зонах, прилегающих к шву. Появление этих трещин обусловливается главным образом химическим составом и внутренней микроструктурой стали. Из основных химических элементов, входящих в состав сталей, наибольшее влияние на образование трещин оказывает углерод. 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, структура стали, но также тип конструкции и характер соединения ее узлов.

Обозначение низкоуглеродистой стали начинается со слова Сталь (Сталь 15, Сталь 20 – качественные стали) или начальных букв слова Сталь (Ст1, Ст2, Ст3. Ст4 – стали обыкновенного качества). Чем больше цифра в обозначении конструкционной низкоуглеродистой стали обыкновенного качества (Ст1, Ст2, Ст3, Ст4), 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 менее 1%.

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.

Дефекты сварного соединения. Дефекты в сварных соединениях делятся на внешние и внутренние.

В сварных соединениях к внешним дефектам относят наплывы, подрезы, наружные непровары и несплавления, поверхностные трещины и поры, к внутренним – скрытые трещины и поры, внутренние непровары и несплавления, шлаковые включения и др.

Таблица 1 – Условные обозначения легирующих элементов в марках сталей и марках сварочных проволок

Элемент	**Обозначение**		**Элемент**	**Обозначение**	
Ниобий	*Nb*	Б	Бор	*B*	Р
Вольфрам	*W*	В	Кремний	*Si*	С
Марганец	*Mn*	Г	Титан	*Ti*	Т
Медь	*Cu*	Д	Ванадий	*V*	Ф
Кобальт	*Co*	К	Хром	*Cг*	Х
Молибден	*Mo*	М	Цирконий	*Zr*	Ц
Никель	*Ni*	Н	Алюминий	*Al*	Ю

Сварные и паяные соединения считают качественными, если в них нет дефектов и их механические свойства удовлетворяют требованиям, предъявляемым в соответствии с условиями эксплуатации узла или конструкции.

Качество сварных и паяных соединений обеспечивается предварительным контролем материалов и заготовок перед сваркой, текущим контролем за процессом сварки и пайки, окончательным контролем готовых сварных или паяных соединений.

Предварительный контроль материалов и заготовок. При контроле основного и сварочных материалов устанавливают, удовлетворяют ли сертификатные данные в документах заводов-поставщиков требованиям, предъявляемым в соответствии с назначением и ответственностью сварных узлов и конструкций. Осматривают поверхности основного металла, сварочной проволоки и покрытий электродов с целью обнаружения внешних дефектов и повреждений. Перед сборкой и сваркой заготовок проверяют, соответствуют ли их формы и габаритные размеры установленным, а также контролируют качество подготовки кромок и свариваемых поверхностей.

Текущий контроль за процессом сварки. В процессе сварки проверяют соблюдение сварщиками установленных параметров режима сварки и исправность работы сварочного оборудования. Осматривают сварные швы для выявления внешних дефектов и замеряют их геометрические размеры. Замеченные отклонения устраняют непосредственно в процессе изготовления конструкций. Выявленные дефекты удаляют механическим путем или с помощью поверхностной газовой резки, а дефектные участки швов заваривают; дефекты при повторной заварке исправляют в соответствии с установленными нормами.

Окончательный контроль готовых сварных и паяных соединений. Готовые сварные соединения подвергают следующим видам контроля: внешнему осмотру для выявления поверхностных дефектов и обмеру сварных швов; испытаниям на плотность; магнитному контролю; просвечиванию рентгеновскими и гамма-лучами, ультразвуком для выявления внутренних дефектов.

1.6 Основные виды сварных соединений и металлургические процессы при сварке

При изготовлении сварных конструкций широко применяют следующие типы сварных соединений: стыковые, нахлесточные, тавровые, угловые.

Стыковые соединения имеют преимущества перед другими типами по прочности и технико-экономическим показателям.

Шов, соединяющий элементы стыкового соединения, называют *стыковым,* а таврового и нахлесточного – *угловым* или *валиковым.* В зависимости от числа проходов (слоев), необходимых для получения расчетного сечения шва, различают однопроходный (однослойный) и многопроходный (многослойный) стыковой и угловой швы.

Шов, соединяющий заготовки по всей их ширине, называют *сплошным;* шов, где сваренные участки чередуются с несваренными – *прерывистым.*

Перед сваркой элементы конструкций подвергают соответствующей подготовке. Виды подготовки зависят от материала конструкции, его толщины, способа сварки, а также от технологических особенностей свариваемого изделия. Основными видами подготовки кромок являются угол раскрытия, величина притупления и зазор. Угол раскрытия и зазор необходимы для обеспечения провара всего сечения, а притупление предотвращает сквозное проплавление (прожог). Подготовка кромок осуществляется на металлорежущих станках или на газорежущих машинах (кислородных, плазменных). Конструктивные элементы подготовки кромок изделия для ручной электродуговой сварки регламентированы ГОСТом. Наиболее распространенные виды подготовки кромок при ручной электродуговой сварке приведены на рисунке 12.

Сварные соединения желательно иметь равнопрочными основному металлу при всех температурах эксплуатации и при всех видах нагрузок (статических, ударных и вибрационных). Конструкции, в которых сварные соединения равнопрочны основному металлу, являются наиболее рациональными. Однако на практике достичь этого весьма сложно и не всегда удается в основном из-за того, что при сварке плавлением в результате специфических особенностей процесса (кратковременность, высокие температуры и быстрое охлаждение) кроме сварного шва образуются также зоны термического влияния. Их строение приведено на рисунке 14 на примере малоуглеродистой стали.

Сам шов – наплавленный металл *1* и зоны неполного расплавления – имеет дендритное строение, характерное для литого металла; в связи с высокой скоростью охлаждения в зернах участка *2* может произойти закалка, металл этого участка обладает повышенной хрупкостью и низкими механическими свойствами. Кроме того, в зону термического влияния входят участки с мелкозернистой нормализованной структурой *3*, с неполной перекристаллизацией *4* (температура нагрева лежит между A_{c1} и A_{c3}); с рекристаллизованным зерном 5 и зона синеломкости, характеризующаяся повышенной хрупкостью.

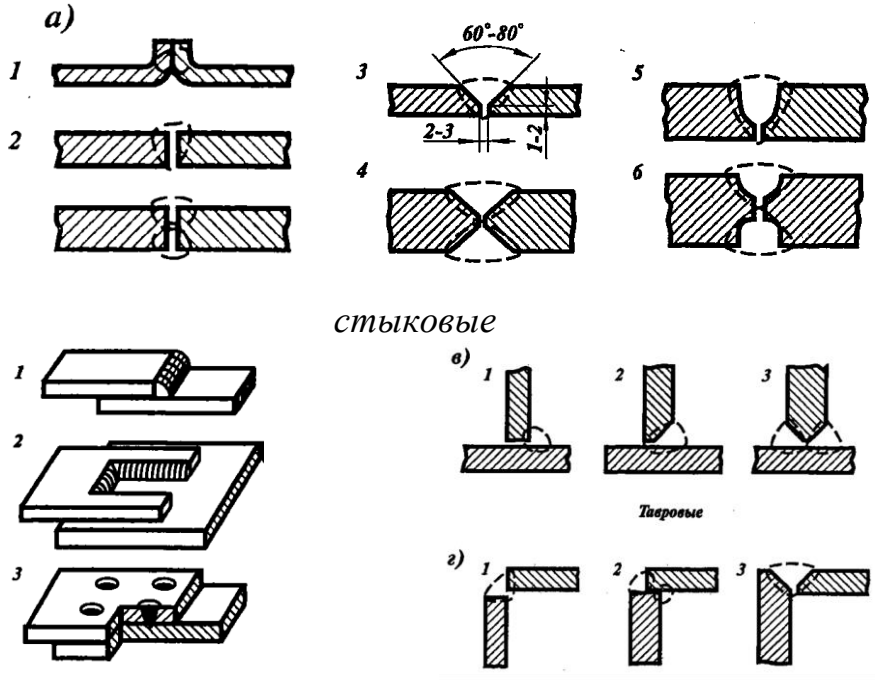


Рисунок 12. Типы сварных соединений: а – стыковые: 1 – отбортовочное; 2 – без разделки кромок; 3 – V-образная разделка кромок; 4 – X-образная разделка кромок; 5 – U-образная разделка кромок односторонняя; 6 – U-образная разделка кромок двусторонняя; б – нахлесточные: 1 – с односторонним лобовым швом; 2 – прорезное с односторонним лобовым и фланговыми швами; 3 – заклепочное; в – тавровые: 1 – с односторонним фланговым швом; 2 – то же, с односторонней разделкой кромок; 3 – с двусторонним фланговым швом и двусторонней разделкой кромок; г – угловые: 1 – с односторонним фланговым швом; 2 – то же, с двусторонними фланговыми швами; 3 – с V-образной разделкой кромок

Элементом сварного соединения является сварной шов. По расположению в пространстве различают *нижние, горизонтальные, вертикальные* и *потолочные сварные швы* (см. рисунок 13).

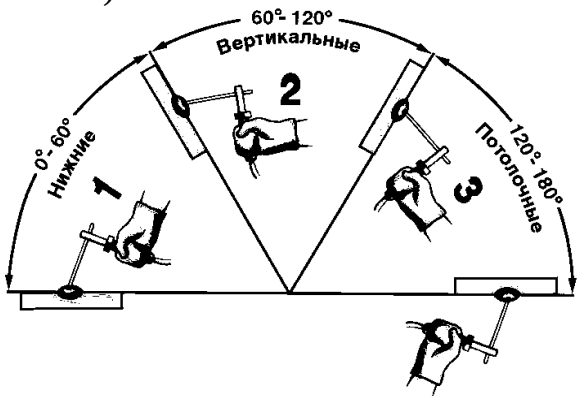


Рисунок 13. Расположение сварного шва в пространстве: 1 – нижнее; 2 – вертикальное; 3 – потолочное

Неравномерное распределение температур при сварке и другие сопутствующие физико-химические процессы, вызванные нагревом металла в месте соединения элементов конструкции, затрудняют получение свойств металла шва и зоны термического влияния (ЗТВ), близких к свойствам металла изделия. Шов

представляет собой литой сплав, состоящий из основного металла (изделия) и присадочного (электрода), а ЗТВ – околошовный участок металла, нагретый в процессе сварки от 100 °С до температуры плавления.

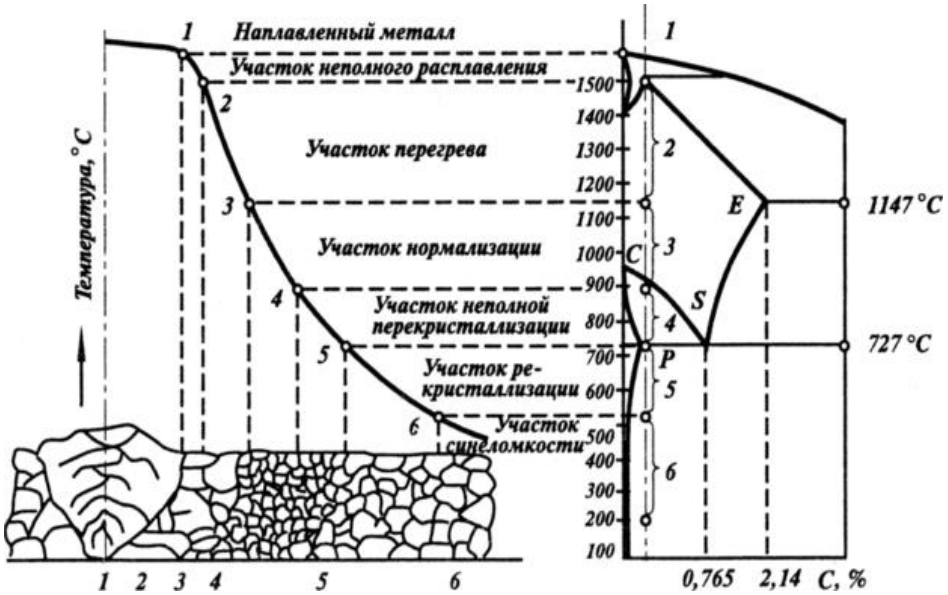


Рисунок 14. Изменение структуры металла в зоне термического влияния при сварке низкоуглеродистой стали

Структура зоны термического влияния и ее ширина зависят от способа и режима сварки, химического состава и толщины свариваемого изделия.

Участок 5 называется *участком рекристаллизации.* Здесь происходит сращивание раздробленных зерен металла, поступившего на сварку после обработки его давлением (прокат, штамповка, ковка и др.). При сварке изделий из литья рекристаллизации не наблюдается.

Для металлов и сплавов, склонных к старению, необходимо учитывать снижение пластичности на этом участке и снижение работоспособности конструкции.

За участком 5 располагается последний участок 6 с нагревом от 100 до 500 °С. Этот участок не претерпевает видимых структурных изменений и по своим свойствам практически не отличается от металла изделия. Называют его *участком синеломкости.*

Особенности сварки алюминия и его сплавов. Алюминий активно взаимодействует с кислородом. Образующийся оксид алюминия $A1_2O_3$ затрудняет процесс сварки. Обладая высокой температурой плавления (2050 °С), оксидная пленка не расплавляется при сварке и покрывает металл прочной оболочкой, затрудняющей образование общей ванны. При сварке необходимо принять меры по разрушению и удалению пленки и защите металла от повторного окисления. РДС выполняют электродами, стержни которых изготовлены из проволоки (ГОСТ 7871-75) с нанесенными на неё покрытиями из хлористых и фтористых солей. Эти соли способствуют растворению и смыванию при сварке оксидной пленки. Электроды ОЗА-1 со стержнем из проволоки СвА1 применяют для сварки технического алюминия, а электроды ОЗА-2 со стержнем из проволоки СвАК5 – для заварки брака отливок из сплавов АЛ4, АЛ9, АЛ11 и др. Сварку в основном ведут в нижнем положении. Необходим предварительный подогрев заготовки до

250 – 400 °С.

Сварку алюминиевых сплавов проводят постоянным током обратной полярности короткой дугой. Силу тока устанавливают из расчета 25 – 30 А на 1 мм диаметра электрода.

Особенности сварки меди и ее сплавов. При сварке меди ее большая теплопроводность создает высокие градиенты температуры и скорости охлаждения. Время пребывания сварочной ванны в жидком состоянии уменьшается, что ограничивает возможности ее металлургической обработки и требует применения более активных раскислителей меди, чем при сварке сталей РДС покрытыми электродами. Сварка медных сплавов (бронз и латуней) идет удовлетворительно, но в латунях при этом теряется цинк за счет его испарения и окисления. При сварке латуней наблюдается сильное разбрызгивание. Металл шва часто содержит поры. Дуговую сварку покрытыми электродами выполняют на постоянном токе обратной полярности короткой дугой. Чаще всего применяют электроды ОЗБ-1, АНЦ/ОЗМ-2, «Комсомолец-100», стержни которых изготовлены из проволоки по ГОСТ 16130-72. При сварке меди требуется предварительный подогрев заготовки до 300 – 500 °С. Сварку ведут в нижнем или наклонном положении. Ток выбирают из расчета 40 – 60 А на 1 мм диаметра электрода.

1.7 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 достаточно 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 сварочного 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. таблицу 4).

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-04Х19Н11М3 для сварки жаропрочных и коррозионно-стойких сталей содержит 0,04% углерода, 19% хрома, 11% никеля и молибдена 3%.

В состав покрытия входят:

– стабилизирующие вещества;

– раскислители и легирующие материалы:

– газообразующие материалы;

– шлакообразующие;

– связующие и цементирующие.

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, оксицеллюлоза, древесная мука) образуют защитный газ, защищающий зону сварки от попадания кислорода, водорода и азота из окружающего воздуха.

Шлакообразующие вещества (полевой шпат, кремнезем, магнезит, мрамор) образуют шлаковый покров на поверхности расплавленного металла шва. Шлак уменьшает скорость охлаждения и затвердевания 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 $Na_2O{\cdot}SiO_5$) 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 куска покрытие не наносят. Он служит для закрепления электродов при их сушке, а при сварке для закрепления в электрододержателе.

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 и низколегированных конструкционных сталей с временным сопротивлением разрыву до 600 МПа;

– Л – для сварки легированных конструкционных сталей с временным сопротивлением разрыву более 600 МПа;

– Т – для сварки легированных теплоустойчивых сталей,

– В – для сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами;

– Н –для наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами.

По толщине покрытия:

– М – тонкие покрытия $D/d \leq 1{,}2$;

– С – средние покрытия $1{,}2 < D/d < 1{,}45$;

– Д– толстые покрытия $1{,}45 < D/d < 1{,}8$;

– Г – особо толстые покрытия $D/d > 1{,}8$,

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

По качеству, т.е. точности изготовления, состояния поверхности покрытия, сплошности выполненного данными электродами металла шва и по содержанию серы и фосфора в наплавленном металле, электроды делятся на группы 1, 2 и 3.

По виду покрытия:

– А – с кислым покрытием;

– Б – с основным покрытием;

– Ц – с целлюлозным покрытием;

– Р – с рутиловым покрытием;

– П – с прочими покрытиями.

Целлюлозные покрытия (ВСЦ-1, ВСЦ-2, ОЗЦ-1 и др.) состоят из целлюлозы, органической смолы, ферросплавов, талька и др.

Основные покрытия (УОНИ-13/45, УП-1/45, ОЗС-2, ДСКС-50 и др.) не содержат окислов железа и марганца. Покрытие марки УОНИ-13/45 состоит из мрамора, плавикового шпата, кварцевого песка, ферросилиция, ферромарганца, ферротитана, жидкого стекла.

Кислые покрытия при сварке насыщают металл шва кислородом и водородом в большей степени, чем при сварке с другими видами покрытий. Металл шва, выполненный электродами с основным (фтористокальциевым) покрытием, обладает большей ударной вязкостью, меньшей склонностью к старению и образованию трещин. Этими электродами сваривают особо ответственные изделия из низкоуглеродистых и легированных сталей.

Целлюлозные покрытия удобны при сварке в любом пространственном положении, но дают наплавленный металл пониженной пластичности. Они применяются главным образом для сварки низкоуглеродистой стали малой толщины.

Покрытия, обозначенные буквой П, не имеют явно выраженного кислого, основного, целлюлозного или рутилового состава.

Смешанные покрытия обозначают двойной буквой, например, БЦ – покрытие основного типа со значительным количеством целлюлозы.

При выборе марки электрода для сварки конструкций в монтажных условиях следует учитывать трудность поддержания постоянной длины дуги, что может привести к образованию пор в швах. Электроды с основными покрытиями очень чувствительны к изменению длины дуги.

Поэтому при монтажной сварке следует применять электроды с рутиловым или с рутил-основными покрытиями (СМ – 11, АНО – 11).

По допустимым пространственным положениям сварки или наплавки:

– для всех положений – 1;

– для всех положений, кроме вертикального сверху вниз –2;

– для нижнего, горизонтального на вертикальной плоскости и вертикального внизу вверх – 3;

– для нижнего и нижнего «в лодочку» – 4

По роду тока, полярности постоянного тока и номинального напряжения холостого хода источника питания сварочной дуги переменного тока частотой 50 Гц – в соответствии с таблицей 2.

Условное обозначение электродов включает марку электрода, диаметр стержня, группу по качеству и номер ГОСТ 9466-75, 9467-75.

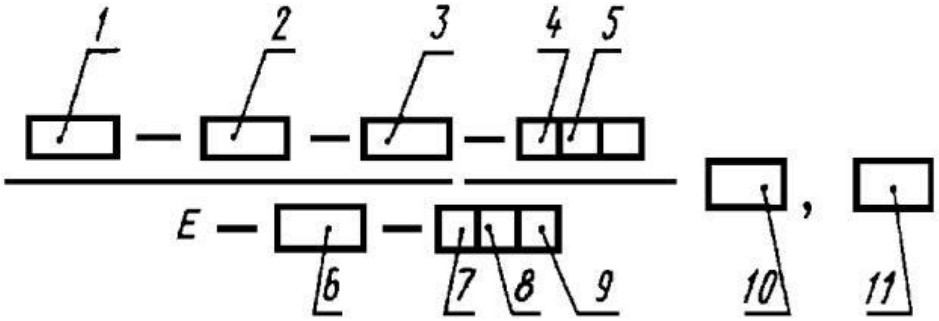


Рисунок 15. Условное обозначение электродов:
1 – тип; 2 – марка; 3 – диаметр, мм; 4 – обозначение назначения электродов; 5 – обозначение толщины покрытия; 6 – группа индексов, указывающих характеристики наплавленного металла и металла шва по ГОСТ 9467-7, ГОСТ 10051, или ГОСТ 10052; 7 – обозначение вида покрытия; 8 – обозначение допустимых пространственных положений сварки или наплавки; 9 – обозначение рода применяемого при сварке или наплавке тока, полярности постоянного тока и номинального напряжения холостого хода источника питания сварочной дуги переменного тока частотой 50 Гц; 10 – обозначение ГОСТ;
11 – обозначение стандарта на типы электродов.

Пример условного обозначения маркировки электрода:

$$\frac{\text{Э46А – УОНИ-13/45 – 4,0 – У Д2}}{\text{Е 43 2 (5) – Б 1 0}}\ \text{ГОСТ 9466–75, ГОСТ 9467–75}$$

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 2 %;

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.

Условное обозначение должно быть указано на этикетках или в маркировке коробок, пачек и ящиков с электродами.

Талица 2 – Классификация электродов по роду и полярности тока

Рекомендуемая полярность постоянного тока	**Напряжение холостого хода источника переменного тока, В**		**Обозначение**
	номинальные	**предельные отклонения**	
Обратная	-	-	-
Любая Прямая Обратная	50	±5	1 2 3
Любая Прямая Обратная	70	±10	4 5 6
Любая Прямая Обратная	90	±5	7 8 9

Широкое распространение получили следующие электроды, назначение которых приводится в таблицах 3 и 4.

Электроды УОНИ-13 дают высокое качество металла шва и применяются для сварки ответственных швов из конструкционных сталей. Такие электроны выпускаются нескольких марок: УОНИ-13/45, УОНИ-13/55, УОНИ-13/65 и УОНИ-13/85. Цифры после черты означают получаемый предел прочности металла шва (МПа). Сварку можно производить при любом положении шва, но только на постоянном токе обратной полярности. Эти электроды применяют в заводских и монтажных условиях. Коэффициент наплавки электродов типа УОНИ-13 достигает 9,5 г/А·ч.

Таблица 3 – Области применения электродов для сварки сталей

Сталь	**Марка электродов**
Углеродистая 08, 10,20, Ст2, Ст3, Ст3Г	АНО-4, АНО-6М, ВСЦ-4А, МЗ-3, ОЗС-4, АНО-18, АНО-23, УОНИ-13/45, УОНИ-13/55, ИТС-4С, ТМУ-21У, ЦУ-5,ЦУ-7, ЦУ- 8, ЦУ-6, ТМУ-46, ТМУ-50
Ст4, 15Л, 20Л, 25Л	УОНИ013/45, УОНИ-13/55, ИТС-4С, ВСЦ-4А, ЦУ-5, ТМУ-21У, ЦУ-7, ЦУ-8, ТМУ-46, ТМУ-50
Низколегированные конструкционная 15ГС, 16ГС, 17ГС, 14ГН, 16ГН, 09Г2С, 10Г2С1, 14ХГС, 20ГСЛ, 17Г1С, 17Г1СУ	ВСЦ-4А, ЦУ-5, УОНИ-13/55, ТМУ-21У, У-7, ЦУ-8, ИТС-4С

Для сварки конструкций из низкоуглеродистых и низколегированных сталей с учетом их химического состава рекомендуется марки электродов, приведенные в таблице 4.

Хранение электродов на предприятиях осуществляется в специально оборудованных помещениях при температуре не ниже 15°С и относительно влажности не более 50%. Электроды следует хранить на стеллажах раздельно по маркам и партиям. Помещения должны иметь печь для прокалки электродов при температуре до 450°С и сушильный шкаф с температурой до 150°С и обеспечивать потребность в электродах.

Таблица 4 – Характеристика электродов общего назначения для сварки сталей

Тип электрода	**Марка электрода**	**Марка сварочной проволоки**	**Род тока и полярность**	**Положение сварки**	**Коэффициент наплавки, г/А·ч**	**Режим прокалки**	
						Температура, °С	**Время, мин**
1	***2***	***3***	***4***	***5***	***6***	***7***	***8***
Углеродистые и низколегированные конструкционные стали							
Э42	АНО-6М	Св-08, Св-08А	постоянный и переменный	все положения	8,5	180-200	60
	АНО-1	то же		нижнее	16	180-200	60
	ВСЦ-2	»	постоянный	все положения	10,5	120-160	60-90
	ВСЦ-4	»	»	то же	10	120-160	60
Э42А	См-11	»	постоянный и переменный	»	9,5-10,5	320-360	60-90
	УП-1/45	»		»	10	350-370	60
	УП-2/45	»		»	10	300-350	60
	ОЗС-2	»	постоянный	»	8,5	250-300	60
Э46	АНО-4	»	постоянный и переменный	»	7,5-8,3	180-200	60-90
	МР-3	»		»	8-8,5	150-180	60-90
	ОЗС-4	»		»	8,5-9,2	270-300	20-30
	АНО-18	»		»	8,7-9,5	180-200	60
	АНО-24	Св-08, Св-08А	постоянный и переменный	все положения	8,5-9,5	120-200	60
Э46	ВМ-9	то же		то же	8,5	180	60
Э46А	УОНИ-13/45	»	постоянный	»	7,5-9,5	350-400	60-120
Э50А	УОНИ-13/55	»	»	»	8,5-9,5	350-400	60-120
	СК2-50	»	»	»	9,5-10	400-420	60-90
	ДСК-50	»	постоянный и переменный	»	9,5-10	360-400	60-90
	АНО-11				10	350	60
	КД-11	»		»	9-9,5	200-250	60-90
	ОЗС-18	»	постоянный	»	9-9,5	250-300	60-90
Э55	УОНИ-13/55У	»	постоянный и переменный	горизонтальные и вертикальные стыки	9,5	350-400	60-120

Продолжение таблицы 4

1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*
Э60	ВСФ-65У	»	постоянный	все положения	9-9,5	300-350	90-120
Э60А	УОНИ-13/65	»	»	то же	9	350-400	60-120
Э70	ЛКЗ-70	»	»	нижнее	9,5	320-350	60
	АНП-2			все положения	9	420-450	90-120
Э85	УОНИ-13/85	»	»	то же	9,5	350-400	60-120
Теплоустойчивые стали							
Э09М	УОНИ-13/45М	Св-08А	постоянный	все положения	9-10	300-350	60
Э09МХ	УОНИ-13/45МХ	то же	»	то же	10,5	300-350	60
	ОЗС-11	»	постоянный и переменный	»	8-9	300-350	60
Э09Х1М	ЦЛ-30-63	Св-08ХМ	постоянный	нижнее и вертикальное	10,4	350	60
Э09Х1МФ	ЦЛ-20-63	Св-08ХМФА	»	все положения	10,3	330-350	60
Э10Х3М1БФ	ЦЛ-26М-63	то же	»	то же	10,5	330-350	60

Для каждых марки электродов устанавливается своя температура прокалки, значение которой приводятся в таблице 4. Прокалка электродов может производиться не более трех раз. Если электроды после трех прокалок показали неудовлетворительные сварочно-технологические свойства, то применение их для сварочных работ не допускается.

Импортные электроды прокаливают по тому же режиму, что и отечественные с аналогичным типом покрытия.

Электроды с основным покрытием, предназначенные для сварки перлитных сталей, следует использовать в течение 5 суток после прокалки, остальные электроды – в течение 15 суток, если их хранят на складе с соблюдением требований. По истечении указанного срока электроды перед применением необходимо вновь прокалить. В случае хранения электродов в сушильном шкафу при температуре 100 – 600°С срок их годности не ограничивается.

Диаметр электрода $d_э$ выбирают в зависимости от толщины свариваемого металла, положения шва в пространстве и катета шва. При сварке нижних швов диаметр электрода можно принимать из следующих соотношений:

Толщина металла, мм	1 – 2	3 – 5	5 – 10	12 – 24	30 – 60
Диаметр электрода, мм	2	3 – 4	4 – 5	5 – 6	5 – 8

Независимо от толщины материала диаметр электрода должен быть не более 12 мм.

При сварке вертикальных швов не рекомендуется использовать электроды диаметром более 5 мм, а потолочных швов – диаметром более 4 мм, так как при этом легче предупредить вытекание жидкого металла и шлака из сварочной ванны. При сварке многослойных швов для лучшего провара основы шва первый шов сваривают электродом диаметром 3 – 4 мм, а последующие – электродами большего диаметра. В процессе сварки необходимо поддерживать определенную

длину дуги, которая зависит от типа и марки электрода и от положения шва в пространстве. Длина дуги должна быть в пределах $(0,5 – 1,1)d_э$.

Дугу, длина которой больше диаметра электрода, называют *длинной*. Чрезмерное увеличение длины дуги снижает устойчивость ее горения, уменьшает глубину проплавления, повышает частоту обрыва дуги при сварке, увеличивает потери (угар, разбрызгивание), ухудшает равномерность сварного шва, способствует более интенсивному окислению и азотированию расплавляемого металла, а при сварке покрытыми электродами основного типа приводит к пористости металла.

Сила сварочного тока в основном зависит от диаметра электрода, химического состава и теплопроводности свариваемого материала, состава покрытия, положения шва в пространстве, скорости сварки и других факторов.

Для нижнего шва силу сварочного тока, А, определяют по формуле:

$$J_{св} = Kd_э, \quad (8)$$

где K – коэффициент плотности тока (для металлических электродов K равен 40 – 55 А/мм).

Меньшие значения K рекомендуют для сварки легированных сталей, обладающих малым коэффициентом теплопроводности, так как при большом токе возможен перегрев металла. С увеличением тока возрастает производительность, однако при чрезмерном токе электрод быстро перегревается выше допустимого предела, что приводит к снижению качества шва, повышенному разбрызгиванию металла, осыпанию покрытия. При недостаточном токе дуга неустойчива, часто обрывается, в шве могут быть непровары.

При отсутствии полной информации о технологии сварки для электрода диаметром 3 – 6 мм силу сварочного тока можно рассчитать по экспериментально полученной формуле академика К. К. Хренова:

$$J_{св} = (20 + 6d_э)d_э. \quad (9)$$

Для электродов диаметром менее 3 мм принимают $I_{св} = 30d_э$.

При толщине свариваемых элементов менее $1,5d_э$, силу сварочного тока уменьшают по сравнению с расчетной на 10 – 15%, при толщине более $3d_э$ – увеличивают на 10 – 15%.

При сварке вертикальных швов $J_{св}$ уменьшают на 10 – 15% по сравнению с силой тока, выбранной сварки в нижнем положении, а при сварке потолочных швов – на 15 – 20%.

Род и полярность тока выбирают в зависимости от физико-химических свойств свариваемого металла и марки электродов. При сварке постоянным током прямой полярности больше теплоты выделяется на детали. Поэтому высокоуглеродистые и высоколегированные стали рекомендуют сваривать током обратной полярности. Обратную полярность применяют также при сварке тонких деталей для предотвращения прожога и при сварке электродами с основным покрытием. Если электроды предназначены для сварки постоянным и переменным током, предпочтение следует отдать переменному, так как это экономичнее.

Оптимальное значение силы сварочного тока связано также со скоростью перемещения электрода. С увеличением скорости перемещения электрода и с уменьшением его рабочей длины можно повышать силу сварочного тока. Максимальные значения сварочного тока, полученные расчетом, уточняют для

качественных электродов по данным паспорта.

При сварке заготовок неодинаковой толщины диаметр электрода и силу сварочного тока подбирают по нижним предельным значениям, рекомендуемым для заготовок большей толщины. В таких условиях сварочную дугу направляют на элемент соединения большей толщины. Выбор рабочего напряжения дуги. Скорость сварки и напряжение дуги при РДС, как правило, не регламентированы. Эти характеристики устанавливает сам сварщик в зависимости от вида сварного соединения, свариваемого материала, марки электрода, положения шва в пространстве.

Рабочее напряжение дуги U_p в зависимости от длины дуги $l_д$ определяют по формуле:

$$U_p = U_{а.к} + U_{дlд}, \quad (10)$$

где $U_{а.к}$ – падение напряжения на аноде и катоде, вне зависимости от длины дуги равное 10 – 12 В;

$U_д$ – падение, напряжения по длине дуги, равное 2 – 3 В/мм.

Напряжение дуги изменяется в сравнительно узких пределах – от 16 до 30 В.

Определение времени и скорости сварки.

Количество наплавленного металла, $Q_н$, г,

$$Q_н = F \cdot L \cdot \rho, \quad (11)$$

где F – площадь поперечного сечения шва, мм^2;

L – длина шва мм;

ρ – плотность наплавленного металла, г/мм^3.

Количество расплавленного металла, г,

$$Q_р = Q_н(1 + K_п), \quad (12)$$

где $K_п$ – коэффициент потерь на угар, разбрызгивание и огарки электродов, $K_п$ = 0,15 – 0,40.

Основное технологическое время горения дуги, ч,

$$t_о = Q_р /(J_{св} \cdot K_н), \quad (13)$$

где $K_н$ – коэффициент наплавки, г/(А·ч), для качественных электродов 10...12 г/(А·ч), для стабилизирующих – 8 г/(А·ч).

Скорость сварки, м/ч, рассчитывают по формуле:

$$V_{св} = L/t_о, \quad (14)$$

где L – длина шва, м.

Определение расхода электроэнергии:

$$P_э = U_р \cdot J_{св} \cdot t_о/(\eta_{и.п} \cdot 103) + N_{х.х}(T - t_о), \quad (15)$$

где $P_э$ – расход электроэнергии, кВт·ч,

$\eta_{и.п}$ – коэффициент полезного действия источника питания, для трансформаторов 0,8 – 0,85, для генераторов 0,3 – 0,6;

$N_{х.х}$ – мощность холостого хода источника питания, кВт, для трансформаторов 0,2 – 0,4 кВт, для генераторов 2 – 3 кВт;

T – полное время работы источника питания, ч.

В среднем расход электроэнергии на 1 кг наплавленного металла при ручной дуговой сварке составляет: на переменном токе: 3,5 – 4,5 кВт·ч на постоянном токе 7 – 8 кВт·ч.

1.8 Условные обозначения швов сварных соединений на чертежах

На чертежах сварных изделий применяется система условного изображения и обозначения швов сварных соединений по ГОСТ 2.312-72.

В планах и боковых видах чертежа место видимого шва изображают сплошной линией, а невидимого – пунктирной линией. В поперечных сечениях границы шва изображают сплошными полужирными линиями, а кромки свариваемых частей – сплошными тонкими линиями. Обозначение шва отмечается выноской (см. рисунок 16), состоящей из наклонной линии и полки. Наклонная линия заканчивается односторонней стрелкой на месте шва.

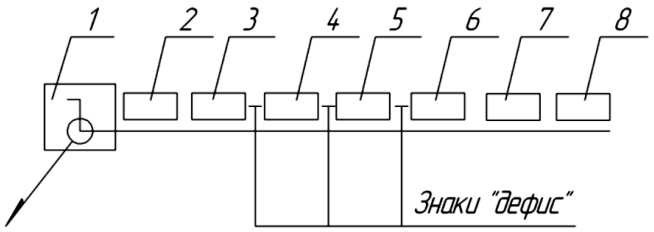


Рисунок 16. Условное обозначение стандартных сварных соединений по ГОСТ 2.312-72

Характеристика шва проставляется или над полкой (когда односторонней стрелкой указана лицевая сторона шва), или под полкой (когда указана обратная сторона шва) и состоит из следующих элементов (таблица5):

1. вспомогательные знаки шва по замкнутой линии и шов при монтаже (○,⚐)

2. обозначения стандарта на типы и конструктивные элементы швов сварных соединений – ГОСТ 5264-80;

3. буквенно-цифрового обозначения шва по стандарту на типы и конструктивные элементы швов сварных соединений;

4 условного обозначения способа сварки по стандарту на типы и конструктивные элементы швов сварных соединений (иногда не указывается);

5. знак ◺ и размер катета согласно стандарту, на типы и конструктивные элементы швов сварных соединений (только для швов угловых, тавровых и нахлесточных соединений);

6. для прерывистого шва, для одиночной сварной точки, для шва контактной точечной электросварки или электрозаклепочного, для шва контактной роликовой электросварки, для прерывистого шва контактной роликовой электросварки, в остальных случаях не указываются.

7. вспомогательных знаков (таблица 6).

Вспомогательными знаками обозначаются особые условия выполнения швов (например, сварка при монтаже, выполнение шва со снятым усилением и др.).

Все элементы условного обозначения располагаются в указанной последовательности и отделяются друг от друга знаком дефис (за исключением вспомогательных знаков).

Буквенные обозначения способа сварки необходимо проставлять на чертеже только в случае применения нескольких видов сварки в данном изделии:

П – полуавтоматическая дуговая сварка;

Г – газовая;

У – дуговая в углекислом газе;

А – автоматическая дуговая и др.;

Ручная дуговая сварка не имеет буквенного обозначения.

Можно не указывать на полке линии-выноски обозначения стандарта, если все швы в изделии выполняются по одному стандарту. В этом случае следует сделать соответствующее указание в примечаниях на чертеже.

Примеры условного обозначения сварных швов приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Примеры условных обозначений швов

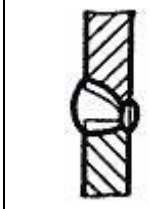
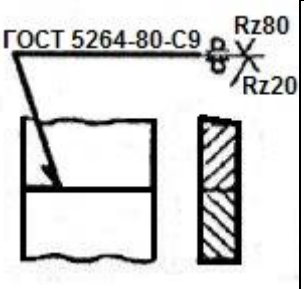
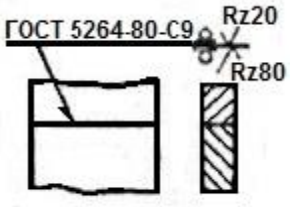
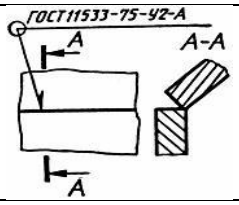
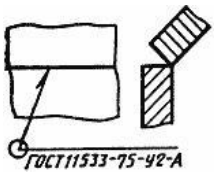
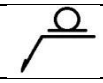
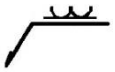
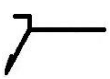
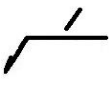
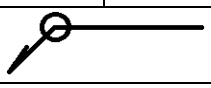
Характеристика шва	**Форма поперечного сечения шва**	**Условное обозначение шва изображенного на чертеже**	
		с лицевой стороны	**с оборотной стороны**
Шов стыкового соединения с криволинейным скосом одной кромки, двусторонний, выполняемый дуговой ручной сваркой при монтаже изделия. Параметр шероховатости поверхности шва со стороны: Лицевой Rz 20 Оборотной Rz 80			
Шов углового соединения без скоса кромок, двусторонний, осуществляемый автоматической сваркой под флюсом с ручной подваркой по замкнутой линии			

Таблица 6 – Вспомогательные знаки для обозначения сварных швов

Вспомогательный знак	**Значение вспомогательного знака**	**Расположение вспомогательного знака относительно полки линии выноски, проведенной от изображения шва**	
		с лицевой стороны	**с обратной стороны**
1	***2***	***3***	***4***
	Выпуклость шва снять		
	Наплыв и неровности шва обработать с плавным переходом к основному металлу		
	Шов выполнить при монтаже изделия, т.е. при установке его по монтажному чертежу на месте применения		
	Шов прерывистый или точечный с цепным расположением. Угол наклона линии ~ 60		
	Шов прерывистый или точечный с шахматным расположением		
	Шов по замкнутой линии. Диаметр знака от 3 до 5 мм		

Продолжение таблицы 6

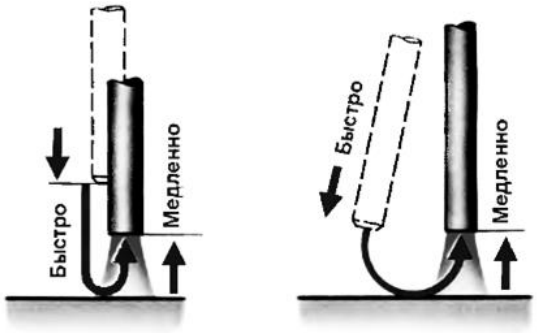
1	*2*	*3*	*4*
	Шов по незамкнутой линии. Знак применяют, если расположение шва ясно из чертежа		

Примечание. 1. За лицевую сторону одностороннего шва сварочного соединения принимают сторону, с которой ведут сварку; соответственно двустороннего шва с несимметрично подготовленными кромками – сторону, с которой накладывают основной шов, и двустороннего шва с симметричной подготовкой кромок – любую сторону.

2. Вспомогательные знаки, приведенные в таблице, выполняются сплошными тонкими линиями и одинаковой высоты с высотой цифр.

1.9. Технология ручной дуговой сварки

Зажигание (возбуждение) дуги производят двумя способами (см. рисунок 17). При первом способе электрод подводят перпендикулярно к месту начала сварки и после относительно легкого касания изделия отводят его вверх на расстояние 2 – 5 мм. Второй способ подобен зажиганию спички.



а *б*

Рисунок 17 Схемы зажигания сварочной дуги касанием электрода об изделие в точке (а) и чирканьем концом электрода о поверхность металла (б)

Если дуга прервалась ее повторное зажигание производят на основном металле впереди кратера с возвратом к наплавленному металлу, для вывода на поверхность загрязнений, скопившихся в кратере. Затем сварку продолжают в нужном направлении. Положение электрода зависит от положения шва в пространстве.

Сварку вертикальных швов выполняют сверху вниз и снизу вверх. При сварке в нижнем положении электрод имеет наклон от вертикали в сторону направления сварки. Перемещение электрода при сварке осуществляют способами «к себе» и «от себя». Если сварка ведется без поперечных колебательных движений конца электрода ширина валика должна составлять $(0{,}8 – 1{,}5)d_э$. Такие швы (или валики) называют узкими, или ниточными. Их используют при сварке изделий малой толщины и при наложении первого слоя в многослойном шве. Средние швы (или валики), ширина которых составляет не более $(2 – 4)d_э$, накладывают при колебательных движениях конца электрода. Траектории колебательных движений конца электрода не способствующие усиленному прогреву свариваемых кромок, показаны на рисунке 18 а – б; способствующие усиленному прогреву обеих свариваемых кромок – на рисунке 18 в – е; способствующие усиленному прогреву одной кромки – на рисунке 18 ж – з.

В зависимости от длины различают короткие (250 – 300 мм), средние (350 – 1000 мм) и длинные (более 1000 мм) швы. Порядок выполнения швов показан на рисунке 19. Шов выполняют короткими отрезками 1 – 4.

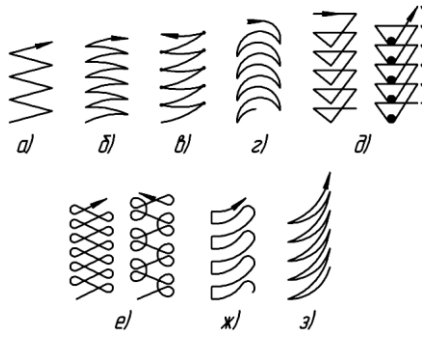


Рисунок 18. Основные виды траекторий поперечных движений рабочего конца электрода

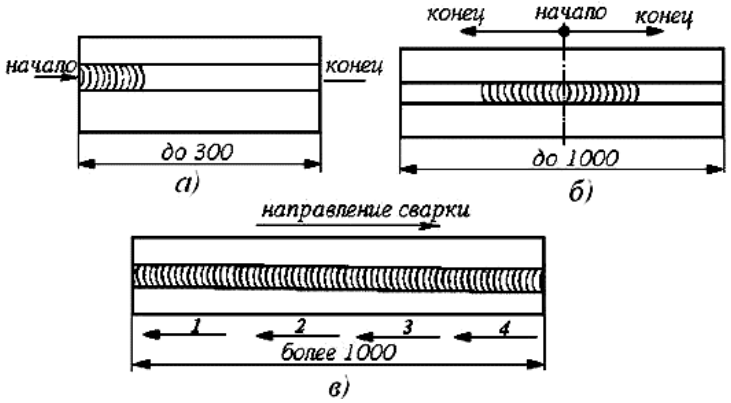


Рисунок 19. Выполнение шва в зависимости от его длины: на проход (а), от середины к краям (б) и обратно-ступенчатым способом (в)

Швы (рис.), в зависимости от размеров сечения, выполняют однопроходными (однослойными) и многопроходными (многослойными). Однопроходная сварка производительна и экономична, но металл шва недостаточно пластичен из-за увеличенной зоны перегрева и грубой столбчатой структуры металла шва. При многослойной сварке каждый нижележащий валик проходит термическую обработку при наложении последующего валика, благодаря чему получается измельченная структура металла шва и соответственно повышенные механические свойства шва и сварочного соединения.

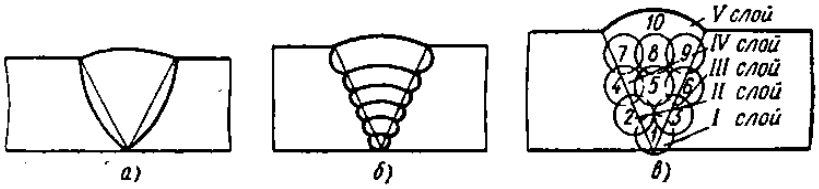


Рисунок 20. Схемы сварного шва: однопроходного (а), многослойного (б) и многопроходного (в)

При выполнении многослойных швов особое внимание уделяют качественному выполнению первого слоя в корне шва. Провар корня шва определяет прочность всего многослойного шва.

2. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СВАРКИ

2.1. Порядок рассчета на примере ручной дуговой сварки

Для заданной детали (узла) требуется:

1) начертить эскиз детали (узла) и указать на нём места сварки или наплавки;

2) вычертить эскиз разделки кромок (если необходимо) и указать размеры сварного шва;

3) перечислить основные операции технологического процесса сварки или наплавки;

4) выбрать материалы для сварки (наплавки): тип и марку электрода и электродной проволоки, марку флюса, род защитного газа;

5) выбрать параметры режима дуговой сварки (наплавки);

6) выбрать основное сварочное оборудование и привести его технические характеристики;

7) определить:

а) полное время сварки (наплавки), ч;

б) расход присадочных материалов, кг;

в) расход электроэнергии, кВт/ч;

8) назначить метод контроля качества сварки (наплавки);

9) разработать меры по охране труда и технике безопасности при производстве сварочно-наплавочных работ.

Начинать выполнение задания следует с вычерчивания заданной детали (узла).

Свариваемый узел вычерчивается с необходимым количеством проекций по заданию преподавателя из имеющихся в наличии в специализированной лаборатории.

Места сварки или наплавки рекомендуется выделить другим цветом.

В зависимости от характера задания подготовка к сварочно-наплавочным работам состоит из:

- предварительной зачистки места сварки (наплавки);
- выявления конца трещины нагревом сварочной горелкой;
- накернивания, засверловки и разделки трещины под заварку;
- разделки кромок свариваемых элементов под сварку (там, где она необходима);
- сборки и прихватки свариваемых элементов.

На чертеже надо указать размеры разделки кромок, вычертить поперечное сечение шва, а где предусматривается наплавка – поперечное сечение двух – трёх валиков.

Выбирая форму и размеры разделки кромок и сварных швов, использовать следующие стандарты:

- ГОСТ 5264-80 «Ручная дуговая сварка»;
- ГОСТ 14771-76 «Дуговая сварка в защитном газе»;
- ГОСТ 8713-79 «Сварка под флюсом».

На чертеже указать не возможные предельные размеры (например, угол скоса кромок a=55±3°, зазор b_3 = 0 – 3 мм), а конкретные выбранные значения (например, a = 58°, b_3 = 2 мм).

При выборе типа разделки кромок под сварку (I, V, К, Х, U-образная) необходимо учесть их технико-экономические показатели. Так, наиболее экономичной является I-образная разделка (без скоса кромок). В сравнении с V-образной (односторонней) более экономичными являются К- и Х-образные разделки кромок (двусторонние). Однако их применение невозможно, если не обеспечивается доступ к обеим сторонам сварного соединения.

При заварке несквозной трещины чаще применяют V-образную разделку. При заварке сквозной трещины, особенно в элементах детали или конструкции значительной толщины, целесообразнее применять Х-образную сварку (если возможен доступ с обеих сторон трещины).

Размеры разделки трещины зависят от способа сварки.

Форму и размеры разделки кромок под сварку и заварку трещины принимают вначале, а размеры шва при сварке или заварке трещины, а также валиков при наплавке определяют после расчёта параметров режима сварки (заварки трещины, наплавки).

Легче всего определяется площадь поперечного сечения наплавленного металла. Это геометрический расчёт.

При этом высота усиления шва h_b назначается в пределах 1/3 – 1/10 толщины δ свариваемых элементов (при заварке трещины – глубины трещины, т. е. $h_b \approx (0,1 – 0,3)\cdot\delta$).

С увеличением толщины свариваемых элементов (глубины трещины) отношение h_b/δ снижается.

Площадь поперечного сечения F_b усиления сварного шва (или наплавленного валика) можно приближено рассчитать по формуле $F_b \approx 0,75 \cdot h_b \cdot \delta$.

Ширина b и глубина h не рассчитываются для шва. Их размеры зависят от многих параметров режима сварки:

- силы сварочного тока;
- плотности тока в электроде;
- напряжения дуги;
- скорости сварки;
- угла наклона электрода;
- характера перемещения электрода в разделке шва или по наплавляемой поверхности;
- пространственного положения шва.

В связи с этим при определении ширины и глубины шва необходимо использовать справочную литературу.

При ручной дуговой наплавке размеры валиков ориентировочно рассчитывают по формулам:

$$b = (2 – 4)d_э \quad (16)$$

$$h_b = (0,8 – 0,2)d_э \quad (17)$$

где $d_э$ – диаметр электрода, мм.

Перекрытие валиков принимается в пределах $c = (0,25 – 0,33)b$. При других способах дуговой наплавки для оценки ширины наплавленного валика и его высоты рекомендуется задаться площадью поперечного сечения одного валика

$F_b(c) = 0,3 - 0,7$ см^2 и отношением $h_b/\delta = 0,1 - 0,3$,после чего решаются совместно два уравнения:

$$F_b\,(c) \approx 0,75 \cdot h_b \cdot \delta \quad (18)$$

$$H_b/\delta = 0,1 - 0,3. \quad (19)$$

При этом надо иметь в виду, что $F_b\,(c)$ растёт с повышением силы тока, практически не зависит от напряжения дуги и снижается с увеличением скорости сварки.

H_b/δ снижается с уменьшением силы тока и повышением напряжения дуги и растёт с увеличением скорости сварки.

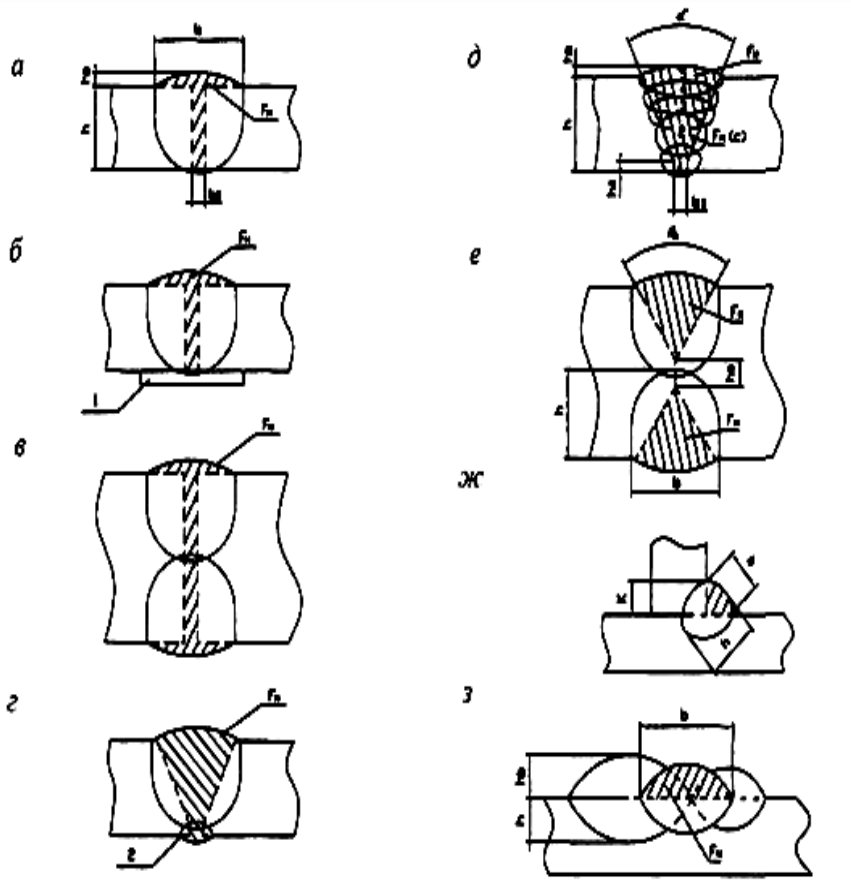


Рисунок 21. Размеры и форма подготовки кромок сварного шва: а – I-образный (без скоса кромок односторонний стыковой шов); б – то же с металлической (остающейся) подкладкой (I); в – I-образный (без скоса кромок двухсторонний стыковой шов); г – V-образный стыковой шов с подваркой корня шва (2); д – V-образный многопроходный стыковой шов (цифры указывают номер прохода - слоя); е – X-образный двухсторонний стыковой шов; ж – угловой шов (без скоса кромки вертикального элемента); з – расположение валиков при наплавке (наплавленный металл заштрихован, пунктиром показана первоначальная разделка кромок соединяемых элементов)

На чертеже сварные швы нумеруются, а в тексте указывается, в какой последовательности собираются и свариваются элементы для предотвращения коробления изделия. При выборе параметров режима сварки надо помнить, что оптимальные параметры – те, которые обеспечивают максимальную производительность и высокое качество сварного соединения (наплавки) при

минимальных затратах материалов и электроэнергии.

При ручной дуговой сварке угол разделки шва, образованный двумя состыкованными кромками (см. рисунок 21, *д*), составляет 55 ± 3° (при этом зазор b_3 и притупление кромок h_b для листов толщиной δ>3 мм изменяются в пределах 0 – 3 мм).

Такую подготовку кромок применяют при сварке листов толщиной до 18 – 20 мм. При большей толщине свариваемых элементов применяют двухстороннюю Х-образную разделку кромок (см. рисунок 21, *е*) с теми же углами скоса 55 ± 3°. Сварку листов толщиной до 3 мм выполняют без скоса кромок (U - образная разделка) (см. рисунок 21, *а*). Зазор между свариваемыми листами 0 – 2 мм.

Тонкие швы (стыковые при толщине листов до 6 – 8 мм, а угловые при катете шва до 6 – 8 мм) сваривают, как правило, за один проход. При выполнении более толстых стыковых и угловых швов сварку (заполнение разделки шва) ведут за несколько проходов (см. рисунок 21, *д*). При этом сварку всех проходов стремятся выполнять при одних и тех же параметрах режима. Исключением является первый проход, который рекомендуется выполнять электродами диаметром 3 – 4 мм (применение электродов большего диаметра затрудняет проплавление корня шва). Сечение первого слоя (прохода) не должно превышать 30 – 35 мм^2 и может быть определено по формуле

$$F_1 = (6 - 8) \cdot d_э \,, \tag{20}$$

а последующих слоев (проходов) – по формуле

$$F_c = (8 - 12) \cdot d_э \,. \tag{21}$$

Общее число слоев (проходов), включая первый (сварка корня шва), определится как

$$n = \frac{F_н - F_1}{F_C} + 1, \tag{22}$$

где $F_н$ – общая площадь наплавляемого металла (шва).

При ручной дуговой сварке к параметрам режима сварки относятся:

- диаметр электрода;
- сила сварочного тока;
- скорость перемещения электрода вдоль шва (скорость сварки);
- род тока;
- полярность тока.

Диаметр электрода выбирается в зависимости от

- толщины свариваемых элементов;
- типа сварного соединения;
- положения шва в пространстве.

Для выбора диаметра электрода можно использовать ориентировочные данные приведенные в таблице 7.

При выборе типа и марки электрода необходимо исходить из требований, предъявляемых к качеству сварных швов или наплавки.

Таблица 7 – Зависимость диаметра электрода от толщины свариваемых листов

Толщина листов, мм	1 – 3	3	4 – 5	6 – 12	≥ 13
Диаметр электрода $d_э$, мм	1,5 – 2,5	3	3 – 4	4 – 5	5

Для сварки широко применяются высокопроизводительные электроды, в том числе содержащие в составе обмазки железный порошок (таблица 8).

При выборе электродов используют:

- ГОСТ 9466-75 «Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки сталей и наплавки. Классификация и общие технические условия»;
- ГОСТ 9467-75 «Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки конструкционных и теплоустойчивых сталей. Типы»;
- ГОСТ 10052-75 «Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами. Типы»;
- ГОСТ 10051-75 «Электроды покрытые металлические для ручной дуговой наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами. Типы».

Таблица 8 – Характеристики высокопроизводительных электродов

Тип электрода	**Марка электрода**	**Коэффициент наплавки, г/(А·ч)**	**Разбрызгивание электродного металла**	**Расход электродов, кг на 1 кг наплавленного металла**
Сварочные электроды				
Э42	СМ-11	10,0 – 11,0	Умеренное	1,45
Э42	УОНИ-13/45 АНО-1 АНО-5	8,5 – 9,0 14,0 – 16,0 10,0 – 11,0	Умеренное Умеренное Малое	1,60 1,50 1,60
Э46	ЗРС-1 ЗРС-2 МР-3 АНО-3 ОЗС-3 ОЗС-4	12,5 – 14,0 11,0 – 12,0 8,5 – 9,0 8,5 – 9,0 16,0 – 18,0 8,5 – 9,5	Малое Умеренное Умеренное Малое Малое Умеренное	1,60 1,60 1,70 1,60 1,60 1,70
Э50	ДСК–50 УСК–24 УОНИ 13/55	10,0 – 11,0 10,0 – 11,0 8,5 – 9,0	Малое Умеренное Умеренное	1,40 1,40 1,70
Наплавочные электроды				
Э10Г2 Э11Г3 Э12Г4 Э15Г5	ОЗН-250У ОЗН–ЗООУ ОЗН-35ОУ ОЗН-400У	8,5 – 9,0	Умеренное	1,70

Для оценки производительности электродов необходимо сравнивать значения коэффициента наплавки $\alpha_н$. Из группы электродов, обеспечивающих заданные механические свойства металла шва или наплавки, следует выбирать те, которые имеют более высокий коэффициент наплавки, а значит, обеспечивают большую производительность.

Обозначение типов сварочных электродов расшифровывается так: Э – электрод; цифры, стоящие за буквой – гарантированное значение $\sigma_в$, МПа.

В наплавочных электродах следующие за буквой Э цифры показывают среднее содержание углерода и легирующих элементов в наплавленном металле.

В других марках электродов цифры указывают твёрдость НВ. Например, металл, наплавленный электродами типа Э12Г4 (марка ОЗН–350У), содержит в среднем 0,12 % С и 4 % Mn; твёрдость его равна 350 НВ.

Силу сварочного тока выбирают на основании рекомендаций, помещённых в паспортах электродов и справочных таблицах, или рассчитывают по эмпирическим формулам.

При ручной дуговой сварке стальными электродами диаметром 1 – 6 мм можно пользоваться формулой

$$J_{св} = K \cdot d_э \,, \qquad (23)$$

где K – коэффициент, равный 25 – 60;

$d_э$ – диаметр электрода, в мм.

Коэффициент K в зависимости от диаметра электрода $d_э$ принимается равным:

$d_э$, мм	1 – 2	3 – 4	5 – 6
K, А/мм	25 – 30	30 – 45	45 – 60

Силу сварочного тока следует скорректировать с учетом:

- толщины свариваемых элементов;
- типа соединения;
- положения сварки в пространстве.

Если толщина $S \geq 3d_э$, то значение $J_{СВ}$ следует увеличивать на 10 – 15%. Если же $S \leq 3d_э$, то сварочный ток уменьшают на 10 − 15%. При сварке угловых швов и наплавке значение $J_{СВ}$. должно быть повышено на 10 – 15%. Если сварка производится в вертикальном или потолочном положении, значение сварочного тока должно быть уменьшено на 10 − 15 %.

Выбирая *род тока,* следует учитывать экономические и эксплуатационные преимущества переменного тока перед постоянным. Однако могут быть положения, при которых использование переменного тока не допускается или не рекомендуется, например, при сварке электродами УОНИ−13.

Характер наплавочных работ обусловливает необходимость получения слоя наплавочного металла за счёт большого количества электродного металла при минимальной глубине проплавления основного металла. Поэтому для наплавочных работ следует предпочесть постоянный ток и вести наплавку на той полярности, на которой электродный металл плавится быстрее.

Для определения ориентировочной *длины дуги* $l_Д$, мм используют формулу

$$l_Д = (0{,}5 - 1{,}1)d_э, \qquad (24)$$

где $d_э$ – диаметр электрода, мм.

Длина дуги влияет на качество наплавленного металла и геометрическую форму шва. При длинной дуге ухудшается защита сварочной ванны и металл шва интенсивно насыщается кислородом и азотом воздуха. С увеличением длины дуги увеличивается разбрызгивание металла и в шве могут появиться поры.

Для определения напряжения дуги $U_Д$ используют справочные данные или рекомендации сертификатов, которыми сопровождается каждая марка электрода (в технологической документации $U_Д$ не регламентируется).

Для большинства марок электродных покрытий, используемых при сварке углеродистых и легированных конструкционных сталей, напряжение дуги $U_Д$ = 22 − 28 В.

Расчёт скорости сварки (скорость перемещения электрода при укладке одного

слоя валика многослойного шва, м/ч) производится по формуле

$$V_{CB} = \frac{\alpha_H \cdot J_{CB}}{100 \cdot F_{H(C)} \cdot \rho}, \quad (25)$$

где $\alpha_н$ – коэффициент наплавки, г/(А·ч);

$F_{H(C)}$ – площадь поперечного сечения шва F_H при однопроходной сварке (или одного слоя валика $F_{H(C)}$ при многослойном шве), см^2;

ρ – плотность металла электрода, г/см^3.

Коэффициент наплавки $\alpha_н$ выбирается в зависимости от марки электрода по таблице 8.

Масса наплавленного металла определяется по справочнику или рассчитывается по формуле

$$G_H = F_H \cdot L \cdot \rho, \quad (26)$$

где F_H – площадь наплавки (поперечное сечение разделки шва, включая его усиление), см;

L – длина шва, см;

ρ – плотность металла, для стали ρ = 7,8 г/см^3.

Расчёт G_H – при наплавочных работах производится по формуле

$$G_H = F_{нп} \cdot H \cdot \rho, \quad (27)$$

где $F_{нп}$ – площадь наплавляемой поверхности, см^2,

H – требуемая высота наплавляемого слоя, см.

При наплавке нужно предусмотреть припуск на последующую механическую обработку наплавленных поверхностей в пределах 2 мм.

Время горения дуги, t, ч рассчитывается по формуле

$$t = \frac{G_H}{\alpha_H \cdot J_{CB}}. \quad (28)$$

Приближенно полное время сварки *T,* ч можно определить по формуле

$$T = \frac{t}{K_n}, \quad (29)$$

где t – время горения дуги, ч;

K_n – коэффициент использования сварочного поста, который можно принять для ручной сварки 0,5 – 0,55, а для механизированных способов сварки и наплавки 0,6 – 0,7.

Расход электродов для ручной сварки и наплавки можно определить, воспользовавшись данными таблице 8.

Расход электроэнергии A, кВт·ч на сварку заданной детали можно найти, установив по справочным материалам расход электроэнергии на 1 кг наплавленного металла. Более точно его можно рассчитать по формуле

$$A = \frac{u_Д \cdot J_{CB}}{\eta \cdot 100} \cdot t + \omega_0 \cdot (T - t), \quad (30)$$

где $u_Д$ – напряжение дуги, В (при сварке покрытыми электродами принять 22 – 28 В);

J_{CB} – сварочный ток, А;

η – КПД источника тока;

ω_0 – мощность, расходуемая источником тока при работе на холостом ходу, кВт;

t и T – время горения дуги и полное время сварки, ч.

Данные для определения значений η и ω_0 приведены в таблице 9.

Таблица 9 – КПД источника тока и мощность, расходуемая источником тока при работе на холостом ходу

Род тока	η	ω_0, **кВт**
Переменный	0,8 – 0,9	0,2 – 0,4
Постоянный	0,6 – 0,7	2,0 – 3,0

Дуговую сварку оценивают по *технологическим коэффициентам* $K_н$ *наплавки*, $K_р$ *расплавления* и $K_п$ *потерь*. Технологические коэффициенты при электродуговой сварке характеризуют экономическую эффективность и правильность выбора режима сварки. При установившемся режиме сварки плавление электрода под действием дуги происходит равномерно, поэтому количество расплавленного металла электрода $Q_р$, г, можно приближенно определить по следующей зависимости:

$$Q_р = K_р \cdot J_{CB} \cdot t, \quad (31)$$

где $K_р$ – коэффициент расплавления, определяемый экспериментально, г/(А·ч);

Тогда коэффициент расплавления равен

$$K_р = Q_р /(J_{CB} \cdot t). \quad (32)$$

Значения коэффициента $K_р$ зависят от материала электродного стержня и состава обмазки, покрывающей его поверхность, от рода и полярности тока и колеблются в пределах 8 – 14 г/(А·ч). При сварке на постоянном токе он несколько повышается. С повышением плотности тока $K_р$ изменяется незначительно. Это связано с тем, что при сварке на токе большей плотности скорость плавления электрода в основном увеличивается за счет подогрева стержня. Расплавленный металл электрода не полностью переносится в шов, часть его теряется на разбрызгивание, испарение и угар в процессе горения дуги.

Количество наплавленного на изделие металла $Q_н$, г, определяется по формуле

$$Q_н = K_н \cdot J_{CB} \cdot t, \quad (33)$$

откуда

$$K_н = Q_н /(J_{CB} \cdot t). \quad (34)$$

Коэффициент $K_н$ менее постоянен, чем коэффициент $K_р$, так как потери на разбрызгивание и угар зависят от многочисленных факторов. При сварке покрытыми электродами наплавки $K_н$ = 6 – 12 (г/А·ч).

Не вся мощность дуги используется для наплавки металла, так как неизбежны потери ее на излучение, конвективный теплообмен с окружающей средой, с испаряющимся и разбрызгиваемым металлом, вынос теплоты нагретыми газами, на плавление электродного покрытия и др. Потери металла, равные разности количеств расплавленного металла электрода $Q_р$ и металла, образующего шов, $Q_н$ оценивают коэффициентом потерь $K_п$, который определяют по формуле

$$K_n = (Q_p - Q_н)/Q_н \quad (35)$$

Коэффициент K_n зависит от стабильности режима сварки и особенностей отрыва и переноса капель через дуговой промежуток.

Выбор основного сварочного оборудования, к которому относятся источники питания, питающие дугу, полуавтоматы и автоматы, производится по приложению 1 после определения параметров режима сварки (наплавки).

При этом необходимо соблюдать условие использования мощности оборудования с наибольшим эффектом.

Метод контроля выбирается из условий работы узлов. Они испытывают ударные и знакопеременные нагрузки. Выбранный метод должен обеспечить возможность выявления скрытых дефектов (трещин, непроваров и др.), опасных с точки зрения концентрации напряжений. Кроме того, он должен быть точен по оценке качества, прост, экономичен и безопасен.

Во избежание многократных повторных ремонтов следует предусматривать оценку износостойкости наплавленного слоя, величину которого, в первую очередь, определяет его твёрдость. Для определения твёрдости наплавленного металла на крупных деталях используются переносные приборы Польди и Шора.

2.2. Полуавтоматическая сварка (наплавка) в углекислом газе проволокой сплошного сечения

При сварке в углекислом газе применяют следующие виды подготовки кромок свариваемых элементов:

1) при толщине листов 1 – 2 мм – I-образную (без скоса кромок), зазор в стыке 0 – 1 мм, сварка односторонняя (см. рисунок 21, *а*);

2) при толщине листов 3 – 12 мм – I-образную, зазор в стыке 0 – 15 мм, сварка двусторонняя (см. рисунок 21, *в)*;

3) при толщине листов 14 – 24 мм –V-образная, под углом 40 ± 5°**,** притупление кромок 2 – 3 мм, зазор в стыке 0 – 1,5 мм, сварка многопроходная с подваркой корня шва (см. рисунок 21, *г*).

Выбор диаметра электродной проволоки осуществляется, как и при выборе диаметра электрода при ручной дуговой сварке:

Толщина листов, мм	1 – 2	3 – 6	6 – 24 и более
Диаметр электродной проволоки $d_э$, мм	0,8 – 1,0	1,2 – 1,6	2,0

Сварка в углекислом газе выполняется легированной проволокой сплошного сечения (обычно это кремнемарганцовистая: Св0,8ГС, Св10Г2С и др.).

Расчёт сварочного тока *А* при сварке проволокой сплошного сечения производится по формуле

$$J_{СВ} = \frac{\pi \cdot d^2_э \cdot a}{4}, \quad (36)$$

где a – плотность тока в электродной проволоке, А/мм^2 (при сварке в CO_2 a = 110 – 130 А/мм^2);

$d_э$ – диаметр электродной проволоки, мм.

Автоматизированные способы сварки позволяют использовать значительно большие плотности тока по сравнению с ручной сваркой. Это объясняется

меньшей длиной вылета электрода.

Процесс сварки в углекислом газе на постоянном токе прямой полярности отличается меньшей глубиной проплавления основного металла, но при этом снижается устойчивость дуги и возрастает склонность наплавленного металла к образованию пор. Поэтому наплавку в углекислом газе предпочтительно вести на обратной полярности.

Напряжение дуги и расход углекислого газа выбирают в зависимости от сварочного тока (таблица 10).

Таблица 10 – Напряжение дуги и расход углекислого газа в зависимости от сварочного тока

Сила сварочного тока, А	50 – 60	90 – 100	150 – 160	220 – 240	280 – 300	360 – 380	430 – 450
Напряжение дуги, В	17 – 18	19 – 20	21 – 22	25 – 27	28 – 30	30 – 32	32 – 34
Расход CO_2, л/мин	8 – 10	8 – 10	9 – 10	15 – 16	15 – 16	18 – 20	18 – 20

При сварке на токах 200 – 250 А длина дуги находится в пределах 1,5 – 4,0 мм. С повышением скорости сварки расход CO_2 увеличивается для улучшения защиты сварочной ванны. Вылет электродной проволоки составляет 8 – 15 мм (уменьшается с повышением силы сварочного тока).

Скорость подачи электродной проволоки $V_{ПР}$, м/ч выбирается по справочным материалам или рассчитывается по формуле

$$V_{ПР} = \frac{4 \cdot \alpha_P \cdot J_{СВ}}{\pi \cdot d^2{}_Э \cdot \rho}, \quad (37)$$

где $\alpha_р$– коэффициент расплавления проволоки, г/(А·ч);

$J_{СВ}$ – сварочный ток, А;

$d_э$ – диаметр электродной проволоки, мм;

ρ – плотность металлов проволоки, г/см^3.

Для сварки в углекислом газе значение $\alpha_р$ может быть рассчитано по формуле

$$\alpha_P = 3{,}0 + 0{,}08 \cdot \frac{J_{СВ}}{d_Э}. \quad (38)$$

Скорость полуавтоматической сварки или скорость перемещения электрода при укладке отдельного слоя (валика) многослойного шва, см/с, определяется по формуле (25). При этом

$$\alpha_н = \alpha_р \cdot (1 - \psi), \quad (39)$$

где ψ - коэффициент потерь металла на угар и разбрызгивание (при сварке в CO_2 ψ = 0,10 – 0,15).

При наплавке скорость перемещения дуги при укладке отдельного валика можно рассчитать по формуле (25), если принять площадь поперечного сечения валика $F_{Н(С)}$ = 0,3 – 0,7 см^2.

Масса наплавленного металла, время горения дуги и время сварки

определяются по формулам (26) – (29); при этом K_n = 0,6 – 0,7.

Расход электродной проволоки сплошного сечения Q_{np}, кг рассчитывается по формуле

$$Q_{np} = G_H \cdot (1 + \psi). \quad (40)$$

Расход электроэнергии – см. формулу (30); выбор оборудования – приложения 1 и 2; выбор метода контроля – пункт 2.1.

2.3. Автоматическая сварка (наплавка) под флюсом проволокой сплошного сечения

При автоматической сварке под флюсом чаще всего применяют следующие виды подготовок кромок:

1) I-образная (без скоса кромок) – применяют при однопроходной и двухпроходной сварке. При однопроходной сварке её выполняют на остающейся стальной подкладке (см. рисунок 21, *б*) или при ручной подварке при соединении листов толщиной 14 – 12 мм. Зазор b_3 между кромками 2 – 3 мм. При двухпроходной сварке листов толщиной 14 – 60 мм сварку ведут по зазору b_3 между кромками 3 – 11 мм, который увеличивается с толщиной свариваемых листов;

2) V-образная со скосом кромок под углом 60 ± 5° (см. рисунок 21, *г*) – для листов толщиной 14 – 30 мм. Сварка выполняется по ручной подварке. Притупление кромок и зазор между ними 0 – 3 мм;

3) X-образная со скосом кромок под углом 60 ± 5° (см. рисунок 21, *е)*– для листов толщиной 20 – 60 мм и более.

Для сварки стали применяют сварочную проволоку по ГОСТ - 2246-93 (Св08, Св08ГА, Св10Г2, СвО8ГС, Св18ХГС, Св08ХМ, СвО8ХГ2С, Св08ХНМ).

Для наплавки используют наплавочную проволоку по ГОСТ10543-98. Значения твёрдости металла, наплавленного некоторыми марками проволоки, см. в приложении 3.

Расчёт силы сварочного тока – см. формулу (36). Плотность тока при автоматической сварке под флюсом изменяется в достаточно широком диапазоне (таблица 11). Рекомендуется при сварке для более глубокого проплавления использовать высокие значения плотности тока в электродной проволоке *(а* ≥40 – 50 А/мм^2), а при наплавке для снижения глубины проплавления – невысокие значения *(а*≤ 30 – 40 А/мм^2). Диаметр электродной проволоки желательно выбирать таким, чтобы он обеспечил максимальную производительность сварки (наплавки) при требуемой глубине проплавления. В таблице 11 приведено влияние силы сварочного тока и его плотности на глубину проплавления. Зависимость напряжения дуги от силы сварочного тока (флюс АН–348А) приведена в таблице 12.

Выбор рода тока см. пункт 2.1. Наплавку рекомендуется производить на постоянном токе прямой полярности при напряжении дуги 34 – 40 В.

Вылет электродной проволоки может быть в интервале 30 – 60 мм. Высокие его значения соответствуют большему диаметру электродной проволоки и силы тока.

Таблица 11 – Влияние силы сварочного тока и его плотности на глубину проплавления

Диаметр электродной проволоки, мм	**Глубина проплавления, мм**					
	3	4	5	6	8	10
2	200 64	300 104	350 127	400 143	500 157	600 200
3	300 43	350 50	400 57	500 71	625 89	750 107
4	375 29	425 36	500 40	550 44	675 53	800 64
5	450 23	500 26	550 28	600 31	725 37	825 42

Примечание. В числителе– сила сварочного тока, А; в знаменателе – плотность тока в электродной проволоке, А/мм.

Таблица 12 – Зависимость напряжения дуги от силы сварочного тока

Сила сварочного тока, А	180 – 30	300 – 400	500 – 600	600 – 700	700 – 850	850 – 1000
Напряжение дуги, В	32 – 34	34 – 36	36 – 40	38 – 40	40 – 42	41 – 43

Расчёт скорости подачи электродной проволоки – см. формулу (37).

Коэффициент расплавления электродной проволоки сплошного сечения при сварке под флюсом определяется по формулам:

для переменного тока

$$\alpha_P = 7{,}0 + 0{,}04 \cdot \frac{J_{CB}}{d_Э}; \qquad (41)$$

для постоянного тока прямой полярности

$$\alpha_p = 2 + \sqrt{\frac{J_{CB}}{d_э}}; \qquad (42)$$

для постоянного тока обратной полярности $\alpha_p = 10 - 12$ г/А·ч.

Расчёт скорости сварки V_{CB} (скорости перемещения электродной проволоки при укладке отдельного валика многопроходного шва) – см. формулу (25). При этом принять для расчёта $\alpha_н$ значение $\psi = 0{,}02 - 0{,}03$, см. формулу (39).

Расчёт скорости сварки – наплавки (перемещения электрода при укладке одного слоя валика) – см. формулу (25). При наплавке скорость сварки при укладке отдельного валика можно рассчитать, если принять площадь поперечного сечения одного валика, укладываемого за один проход, $F_{H(C)} = 0{,}3 - 0{,}7$ см^2.

Марка флюса выбирается в зависимости от химического состава основного металла и требований, предъявляемых к свойствам наплавленного металла. Наиболее часто употребляются флюсы АН348А или ОСЦ–45 в сочетании с проволокой Св08А. Толщина слоя флюса зависит от силы сварочного тока (таблица 13).

Таблица 13 – Зависимость толщины слоя флюса от силы сварочного тока

Сварочный ток, А	200 – 400	400 – 800	800 – 1200
Толщина слоя флюса, мм	25 – 35	35 – 45	45 – 60

Расчёт массы наплавленного металла, время горения дуги и время на сварку – см. формулы (26) – (29), при этом K_n = 0,6 – 0,7.

Расчёт расхода проволоки сплошного сечения – см. формулу (40), расчёт расхода электроэнергии – формулу (30), выбор оборудования – приложения 1 и 2, выбор метода контроля – пункт 2.1.

2.4. Полуавтоматическая сварка (наплавка) порошковой самозащитной проволокой

Для механизированной сварки открытой дугой без дополнительной защиты зоны сварки применяют специальные порошковые проволоки. Наиболее широкое применение нашли проволоки марок ПП–АН1 и ПП–АН3. Проволоки обеих марок обладают хорошими сварочно-технологическими свойствами, минимальной токсичностью газов и пыли, обеспечивают малое разбрызгивание металла, хорошее формирование шва и отделение шлаковой корки. Коэффициент наплавки проволоки ПП–АН1 $\alpha_н$ =12 – 13 г/(А·ч); ПП–АН3 $\alpha_н$ =13 – 17 г/(А·ч).

Металл швов, выполненных проволокой ПП–АН1, по качеству соответствует металлу, наплавленному электродами типа Э46, а проволокой ПП–АН3 – электродами типа Э50. Сварку рекомендуется производить на постоянном токе обратной полярности. Режимы сварки самозащитными порошковыми проволоками приведены в таблице 14. Подготовка кромок под сварку выполняется так же, как и при сварке в CO_2.

Таблица 14 – Режимы сварки самозащитными порошковыми проволоками

Толщина свариваемых листов, мм	**Параметры режима**			
	***J*, А**	***U*, В**	**$V_{пр}$, м/ч**	**Вылет проволоки, мм**
Порошковая проволока ПП–АН1, $d_э$ = 2,8 мм				
3 – 6	200 – 240	24 – 25	100	15 – 20
8 – 12	250 – 300	25 – 27	120	15 – 20
14 – 20	300 – 350	26 – 28	170	20 – 25
Порошковая проволока ПП–АН3, $d_э$ = 3 мм				
5 – 10	360 – 380	25 – 28	140	15 – 20
10 – 15	420 – 450	26 – 29	170	20 – 25
15 – 20	460 – 490	29 – 32	210	25 – 30

Выбирая род тока (см. пункт 2.1), следует учитывать, что наплавку порошковыми проволоками рекомендуется производить на постоянном токе обратной полярности.

Расчёт скорости полуавтоматической сварки (наплавки) электродной проволокой при укладке отдельного валика при многослойной сварке (наплавке) выполняется по формуле (25).

Расчёт массы наплавленного металла, времени горения дуги, времени сварки – см. формулы (26) – (29), при этом K_n = 0,6 – 0,7.

Расход порошковой проволоки рассчитывается путем умножения массы наплавленного металла на коэффициент расхода, представляющий расход

проволоки в килограммах на 1 кг наплавленного металла (таблица 15).

Расчёт расхода электроэнергии – см. формулу (30), выбор оборудования – приложения 1 и 2, выбор метода контроля – пункт 2.1.

Таблица 15 – Коэффициент расхода порошковой проволоки

ПП – АН1	ПП – АН3	ПП – АН4	ПП – АН8
1,35	1,3	1,25	1,2

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Преимущества и недостатки сварки постоянным, переменным и выпрямленным током.
2. Схемы сварки постоянным, переменным и выпрямленным током.
3. Устройство сварочного трансформатора.
4. Марки сварочных электродов и их назначение.
5. Назначение и состав электродных покрытий.
6. Как расшифровать состав свариваемой стали и сварочной проволоки.
7. Маркировка химических элементов.
8. Крутопадающая и пологопадающая внешняя вольтамперная характеристика источника тока.
9. Порядок снятия вольтамперной характеристики трансформатора. Как получить режимы $J_{кз}$, $U_{хх}$, $J_{кор}$ и $J_{дл}$.
10. Зона рабочих токов $J_д$ и зона рабочих напряжений дуги $U_д$.
11. Угловые сварные соединения.
12. Основные и подварочные швы.
13. Порядок наложения сварочных швов.
14. Последовательность определения режима сварки.
15. Выбор диаметров электродов для наложения основного и подварочного швов.
16. Определение продолжительности сварки.
17. Определение массы наплавленного металла и расхода сварочных электродов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Материаловедение: Учебное пособие/Давыдова И. С., Максина Е. Л., 2-е изд. – М.: ИЦ РИОР, НИЦ ИНФРА-М, 2016. – 228 с.

2. Материаловедение и технология металлов: Учебник / Г.П. Фетисов, Ф.А. Гарифулин. – М.: НИЦ ИНФРА-М; Мн.: Нов. знание, 2014. – 397 с.

3. Материалы и их технологии. В 2 ч. Ч. 1. [Электронный ресурс]: Учебник / В.А. Горохов, Н.В. Беляков, А.Г. Схиртладзе; Под ред. В.А. Горохова. – М.: НИЦ ИНФРА-М; Мн.: Нов. знание, 2014. – 589 с. [ЭБС ИНФРА-М]

4. Галимов Э.Р. Материаловедение для транспортного машиностроения: учебное пособие / Э.Р. Галимов, Л.В. Тарасенко, М.В. Унчикова [и др.]. – Электрон. дан. – СПб.: Лань, 2013. – 443 с.

5. Алексеев, Г.В. Виртуальный лабораторный практикум по курсу «Материаловедение»: учебное пособие / Г.В. Алексеев, И.И. Бриденко, С.А. Вологжанина. – СПб.: Лань, 2013. – 208 с.

6. Зорин Е. Е. Лабораторный практикум: электродуговая, контактная сварка и контроль качества сварных соединений: учебное пособие для среднего и высш. проф. образования / Е. Е. Зорин. – Санкт-Петербург: Лань, 2016. – 160 с.

7. Зорин Н. Е. Материаловедение сварки. Сварка плавлением: учебное пособие для среднего и высш. проф. образования / Н. Е. Зорин, Е. Е. Зорин. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2017. – 164 с.

8. Куликов В.П. Технология сварки плавлением и термической резки: учебное пособие для студ. высш. учебных заведений / В. П. Куликов. – Москва: НИЦ ИНФРА-М; Минск: Новое знание, 2016. – 463 с.

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

10. Дальский А.М. Технология конструкционных материалов/ А.М. Дальский и др. – М.: Машиностроение, 2004. – 512с.

11. Сварка и свариваемые материалы: Справочник в 3 т. / Под ред. В.Н. Волченко. – М.: Металлургия, 1997.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ....3
1. ОБЩИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ....4
1.1. Плавящиеся и неплавящиеся электроды, тепловая энергия сварочной дуги, источники нагрева электрода....4
1.2. Сварочные аппараты и их внешние вольтамперные характеристики....7
1.3. Конструкция сварочного трансформатора....10
1.4 Режим работы сварочного трансформатора....11
1.5 Стали и их свариваемость. Дефекты сварного соединения....13
1.6 Основные виды сварных соединений и металлургические процессы при сварке....16
1.7 Электроды для ручной дуговой сварки....19
1.8 Условные обозначения швов сварных соединений на чертежах....28
1.9 Технология ручной дуговой сварки....30
2. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СВАРКИ....32
2.1. Порядок расчета на примере ручной дуговой сварки....32
2.2. Полуавтоматическая сварка (наплавка) в углекислом газе проволокой сплошного сечения....40
2.3. Автоматическая сварка (наплавка) под флюсом проволокой сплошного сечения....42
2.4. Полуавтоматическая сварка (наплавка) порошковой самозащитной проволокой....44
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ....45
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК....45
ПРИЛОЖЕНИЯ....47

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Краткая техническая характеристика полуавтоматов и автоматов для дуговой сварки и наплавки

Тип	Сварочный ток, А		Напряжение, В		Назначение
	номинальный	**предел регулирования**	**номинальное рабочее**	**холостого хода**	
Трансформаторы передвижные (ПВ – 60 %)					для ручной сварки и наплавки
ТДМ-317 ТДМ-401 ТДМ-503	315 400 500	60 – 360 80 – 460 90 – 560	32,6 36,0 40,0	80 80 80	
Трансформаторы стационарные (ПВ – 100 %)					для автоматической сварки и наплавки
ТДФЖ-1002 ТДФЖ-2002	1000 2000	300 – 1200 600 – 2200	56 76	120 120	
Выпрямители с падающей внешней характеристикой (ПВ – 60 %)					для ручной сварки и наплавки
ВД-306 ВД-401	315 400	45 – 315 50 – 315	32 32	70 80	
Выпрямители с жёсткой внешней характеристикой (ПВ – 60 %)					для полуавтоматической сварки и наплавки в CO_2 и порошковой
ВДГ-303 ВС-600	315 630	50 – 315 100 – 630	40 50	60 90	
Выпрямители с универсальной внешней характеристикой					для ручной сварки и наплавки и полуавтоматической сварки в CO_2 и порошковой
ВДУ-506 ВДУ-601	500 630	50 – 500 60 – 630	50 56	80 92	
Преобразователи сварочные (ПВ – 60 %)					для ручной сварки и наплавки
ПД-305	315	45 – 350	32	90	

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Краткая техническая характеристика полуавтоматов и автоматов для дуговой сварки и наплавки

Тип	Источник питания (в комплекте)	Техническая характеристика				Назначение
		Номинальный сварочный ток, А	Электродная		Скорость сварки, м/ч	
			диаметр, мм	скорость подачи, м/ч		
Полуавтомат ПДГ-309 (А-547дм)	Выпрямитель ВС-ЗООБ	315	0,8 – 1,4	160 – 780	-	сварка и наплавка сплошной проволокой в
ПДГ-516	Выпрямитель ВДУ-506	500	1,2 – 2,0	100 – 960	-	то же
Полуавтомат ПДО-517 (А-765)	Выпрямитель ВДУ-506	500	1,6 – 2,0 (сплошная) 1,6 – 3,0 (порошковая)	120 – 720	-	сварка и наплавка сплошной проволокой в CO_2, порошковой проволокой открытой дугой
Автомат (тракторного типа) АДФ-1002	Трансформатор ТДФЖ-1002	1000	3 – 5	60 – 360	12 – 18	сварка под флюсом
Автомат (тракторного типа) АДФ-1202	Выпрямитель ВДУ-1201	1250	2 – 6	60 – 360	12 – 120	то же
Автомат (тракторного типа) АДГ-602	Выпрямитель ВДУ-601	630	1,2 – 3,0	120 – 720	12 – 120	сварка в CO_2

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Значения твердости наплавляемого металла

Марка проволоки	Твёрдость наплавленного металла	Наплавляемые изделия
Нп25 Нп45	НВ 160 – 220 НВ 170 – 230	оси, шпиндели, валы
Нп65 Нп80 Нп65Г	НВ 220 – 300 НВ 260 – 340 НВ 230 – 310	опорные ролики, оси, коленчатые валы, крестовины карданов
НП 30ХГСА	НВ 220 – 230	крановые колеса, валы
НП 50ХФА	HRC43 – 50	шлицевые и коленчатые валы
НП 40Х13	HRC45–52	детали транспортёров, опорные ролики экскаваторов
НП Г13Л	НВ 220 – 280	железнодорожные крестовины, зубья ковшей экскаваторов
НП Х20Н80	НВ 180 – 220	выходные клапаны двигателей

Примечание. При выборе марки проволоки для износостойкой наплавки необходимо исходить из требуемой твёрдости наплавленного металла и условий работы детали (прежде всего вида нагружения– знакопеременное, ударное).

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Принципы конструирования сварных металлоконструкций и профили сварных конструкций и их соединений

Общие принципы конструирования при проектировании сварных металлоконструкций:

- выбирать рациональные системы м схемы конструкций;
- правильно назначать вид материалов (сталей, цветных сплавов);
- добиваться необходимой прочности при минимальных затратах, что в значительной мере обеспечивает экономичность;
- по возможности использовать типовые схемы конструкций и профили элементов;
- применять экономические профили проката, а также гнутые и и штамповые элементы, трубчатые профили;
- использовать прогрессивные системыконструкций (оболочковые, с предварительным натяжением), предусматривать монтаж крупными блоками;
- предусматривать противокоррозийную защиту обхектов;
- параллельно с проетированием конструкций разрабатывать технологические методы ее изготовления, предусматривать возможность комплексной астоматизации и механизации производства, применения прогрессивных процессов дуговой и контактной сварки, а ткже специальных методов сварки (например, радиочастотной, взрывом, электрошлаковой и т.д.);
- учитывать особые свойства сварных соединений, устронять концентрацию напряжений, вести боррьбу с остаточными напряжениями, хрупкими разрушениямив процессе сварки, при необходимости предусматривать термическую обработку;
- при расчете учитывать силовые факторы, их сочетание, с использованием ЭВМ определять усилия в сложных статических неопределимых системах;
- при использовании дуговой сварки учитывать целесообразность укладки швов на горизонтальной плоскости с минимальныи числом кантовок и удобными подходамик швам, избегать концентацию большого числа швов в одном местие;
- разделку кромок под сварку предусматривать с учетом твебований ГОСТ8713-79 «Сварка под флюсом. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры», ГОСТ14771-76 «Дуговая сварка в защитном газе. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры», ГОСТ 5264-80 «Ручная дуговая сварка. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры»

Примеры профилей сварных конструкций и их соединений сооружений животноводческих ферм или закрытых помещений для выращивания рассады или теплолюбивых растений

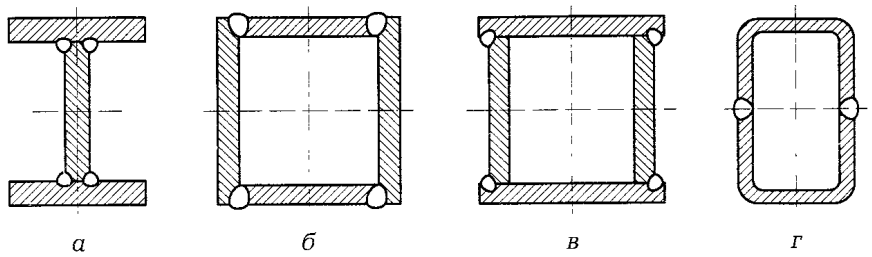


Рисунок 1. Профили сварных балок

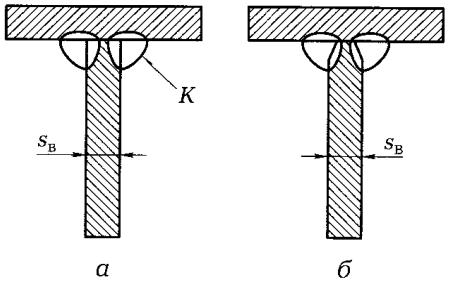


Рисунок 2. Поясные швы балок:
а – без подготовки кромок; б – с подготовкой кромок

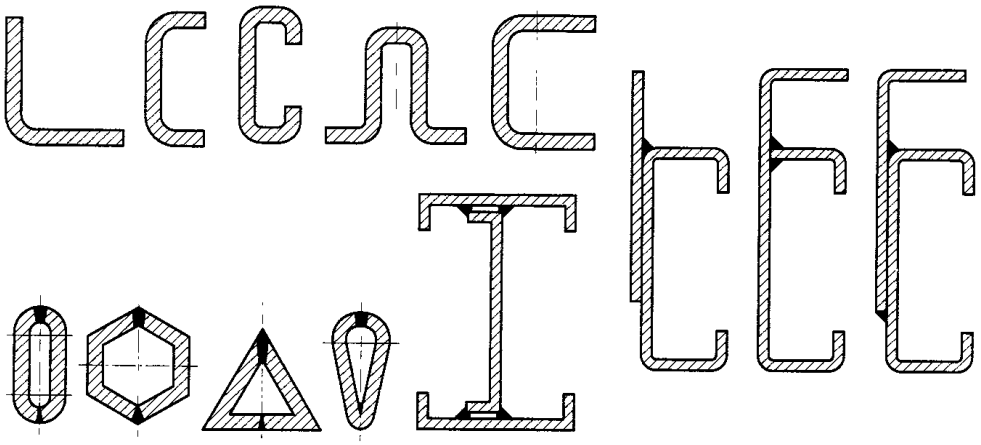


Рисунок 3. Поперечные сечения балок из гнутых профилей и штамповых профилей

Составители:
Перфилов Михаил Евгеньевич
Агафонова Екатерина Васильевна

ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА
ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ СВАРКИ

Учебно-методическое пособие по дисциплине
«Материаловедение и технология конструкционных материалов»

Редактор
Компьютерная верстка Е.В. Агафонова

Подписано в печать
Формат 60х84. $^{1}/_{16}$ Объем 3,7 уч.- изд. л., 5,6 усл. печ.л.
Тираж 100 экз. Бумага офсетная. Изд. № 2. Заказ №___

Отпечатано в издательстве НГАУ
630039, Новосибирск, ул. Добролюбова, 160, офис 106.
Тел. факс (383) 267-09-10. E-mail: 2134539@mail.ru