

## ВВЕДЕНИЕ

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

С помощью сварки соединяют между собой различные металлы, их сплавы, некоторые керамические материалы, пластмассы, стекла и разнородные материалы. Наибольшее применение сварка металлов и их сплавов находит при сооружении новых конструкций, изготовлении и ремонте различных изделий, машин и механизмов, создании двухслойных материалов. Сваривать можно металлы любой толщины. Прочность сварного соединения в большинстве случаев не уступает прочности основного металла. Сваривать швы можно в любых пространственных положениях.

Возникновение первых простейших методов сварки относится к началу периода освоения человеком металлов. Археологические музеи хранят образцы изделий, изготовленных с применением сварки в VIII–VII тыс. до н. э.

Прежде всего была освоена кузнечная сварка меди и некоторых ее сплавов с подогревом до 300–400 °С. В дальнейшем люди научились сплавлять небольшие куски металла и изготавливать изделия путем заливки металла в каменные или глиняные формы – так возникло искусство литья. Это привело к созданию литейной сварки: соединяемые детали помещали в форму, место соединения заливали жидким металлом. Позднее были найдены более легкоплавкие металлы, появился метод пайки, во многих случаях более удобный и производительный. Многовековой опыт и искусство древних мастеров довели сварку и пайку до высокой степени совершенства.

Лишь в II в. до н. э. началось освоение человеком железа – важнейшего металла современности. Широко используя железо, человек долго не мог его расплавлять из-за высокой температуры плавления. Трудом поколений мастеров был создан и доведен до совершенства способ кузнечной сварки железа. Раскаленное до «сварочного жара» железо еще не плавится, но становится мягким, пластичным и способно свариваться под большим давлением или под ударами молота: соединение происходит в твердом состоянии металла.

Революционную роль в развитии сварочной техники сыграли новые источники нагрева: мощные электрические токи, горючие газы, сжигаемые в технически чистом кислороде, и др. Они обеспечили концен-

трированный нагрев зоны сварки и получение весьма высоких температур, что позволило полностью модернизировать существующие способы сварки. При этом производительность сварки увеличилась в сотни раз.

Впервые мысль о возможности практического применения «электрических искр» для плавления металлов высказал в 1753 г. академик Российской академии наук Г. В. Рихман, выполнивший ряд исследований атмосферного электричества. В 1802 г. профессор Санкт-Петербургской военнохирургической академии В. В. Петров открыл явление электрической дуги, первым в мировой литературе описал электрическую дугу и ее свойства, в частности плавление металла, а также указал возможные области практического применения. Удивительна судьба этого открытия. Дуга В. В. Петрова дала старт грандиозной эстафете поисков, изобретений и открытий.

Электрическая дуга послужила основой создания мощных источников тока, прожекторной техники, развития электросварки, электрометаллургии и электроэнергетики. Электрический разряд назвал дугой английский ученый-химик Г. Дэви, который независимо от В. В. Петрова открыл ее спустя 10 лет. В 1812 г. в Лондоне вышла его книга «Элементы философии, химии», в которой он описал свои опыты с дугой. Во время экспериментов, которые проводил Г. Дэви, электроды были расположены параллельно Земле, ее магнитное поле притягивало электрический разряд, и он принимал форму огненного мостика дуги. В 1849 г. американец К. Стэт получил патент на соединение металлов с помощью электричества. Однако этот патент не был реализован на практике.

Дуговая сварка как промышленный способ соединения металлов была изобретена в России. В 1882 г. Н. Н. Бенардос предложил способ прочного соединения и разъединения металлов с помощью электрического тока. Он практически осуществил способы сварки и резки металлов электрической дугой угольным электродом. Ему также принадлежит много других важных изобретений в области сварки (способ контактной и шовной сварки, спиралешовные трубы, порошковая проволока и др.). 6 июля 1885 г. Н. Н. Бенардос подал заявку в Департамент торговли и мануфактур на выдачу привилегии на его изобретение «Способ соединения и разъединения металлов непосредственным действием электрического тока», названное им «Электрогегест». В Петербурге было организовано общество «Электрогегест» по эксплуатации и внедрению изобретения Н. Н. Бенардоса и открыты показатель-

ная мастерская и небольшой завод для производства сварочных работ по способу Н. Н. Бенардоса. Ученый получил патент на изобретение способа дуговой сварки «Электрогефест» во Франции, Англии, Германии. Электрическая сварка получила дальнейшее развитие в работах Н. Г. Славянова. 17 марта 1888 г. он подал заявку на получение привилегии на изобретение «Электрическая отливка металлов».

Способ Н. Г. Славянова отличается от способа Н. Н. Бенардоса тем, что металлический стержень одновременно является и электродом, и присадочным металлом. Это позволило разработать устройства для механизированной подачи электрода в дугу и тем самым механизировать процесс сварки. Н. Г. Славянов разработал технологические и металлургические основы дуговой сварки. Он применил флюс для защиты металла сварочной ванны от воздуха, предложил способы наплавки, горячей сварки чугуна, организовал электросварочный цех. Н. Г. Славянов получил патенты на свои изобретения во Франции, Германии, Англии. В 1892 г. в Петербурге была издана его книга «Электрическая отливка металлов» – первый в мире научный труд, в котором описывалась дуговая сварка.

В настоящее время дуговая сварка получила большое распространение для практического использования в различных сферах промышленности.

**Цель работы:** изучить маркировку и назначение электродов для ручной электродуговой сварки и наплавки.

**Материалы и оборудование:** рабочее место электросварщика, сварочная проволока, электроды, стенды, плакаты, справочная литература.

**Задание:** 1. Ознакомиться с методическими указаниями к лабораторной работе.

2. Изучить метод классификации (обозначения) электродов для ручной электродуговой сварки и наплавки. Изучить классификацию и характеристики представленных в лаборатории электродов.

3. Составить отчет о лабораторной работе.

## 1. РУЧНАЯ ДУГОВАЯ СВАРКА

Ручная дуговая сварка (рис. 1) – дуговая сварка, при которой возбуждение дуги, подача электрода и его перемещение проводятся вручную. При этом способе сварку выполняют штучными покрытыми электродами. Покрытый электрод представляет собой металлический стержень с нанесенным на его поверхность покрытием (обмазкой). Покрытие электродов готовят из порошкообразной смеси различных компонентов. Его назначение – повысить устойчивость горения дуги, провести металлургическую обработку сварочной ванны, обеспечить защиту расплавленного металла от атмосферных газов и улучшить качество сварки. Сварной шов образуется за счет расплавления металла свариваемых кромок и плавления стержня электрода. При этом сварщик вручную выполняет два основных технологических движения: подачу покрытого электрода в зону сварки по мере его расплавления и перемещение дуги вдоль свариваемых кромок.

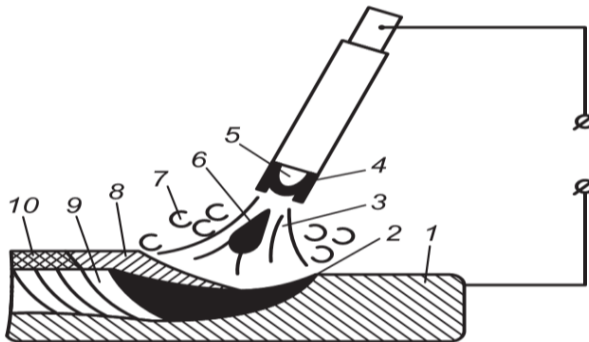


Рис. 1. Схема ручной дуговой сварки покрытым электродом:  
1 – основной металл; 2 – сварочная ванна; 3 – дуга; 4 – электродное покрытие; 5 – электрод; 6 – капли электродного металла; 7 – газовая защита; 8 – жидкая шлаковая пленка; 9 – шов; 10 – шлаковая корка

## 2. ЭЛЕКТРОДЫ ДЛЯ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ СТАЛЕЙ И НАПЛАВКИ

### 2.1. Назначение электродов

Прочность и надежность сварного соединения и шва, а следова-

тельно, и всей сварной конструкции в целом прежде всего зависит от применяемых электродов при соблюдении установленной технологии сварки.

При выборе электродов для проведения сварочных работ всегда следует предусматривать получение свойств металла шва не ниже свойств основного металла.

Электроды оценивают по устойчивости горения дуги, плавлению, защите металла сварочной ванны, пригодности для сварки в различных пространственных положениях, качеству формирования сварного шва, степени загрязнения окружающей среды (газы, пылевидные частицы), возможности обеспечения высокой производительности сварки, стойкости покрытия против механических повреждений (осыпание, скалывание).

Основные технологические свойства электродов определяются следующими показателями: род тока (постоянный, переменный); полярность (прямая, обратная) постоянного тока; рекомендуемая сила сварочного тока для электродов разных диаметров; коэффициент наплавки; степень перехода металла стержня в сварной шов. Технологические свойства электрода зависят от химического состава металла электродного стержня, состава и качества нанесения электродного покрытия.

Ручная дуговая сварка осуществляется плавящимися электродами (рис. 2), которые представляют собой стержни диаметром  $d_s$ , длиной  $L$  от 250 до 450 мм, покрытые специальной обмазкой (диаметр электрода с покрытием  $D$ ). Один конец электрода на длине  $l$  примерно 20–30 мм не имеет покрытия. В этом месте он крепится в электрододержателе. Электрод включается в цепь сварочного тока и при сварке расплавляется в дуге. Электродный стержень выполняет роль присадочного металла.

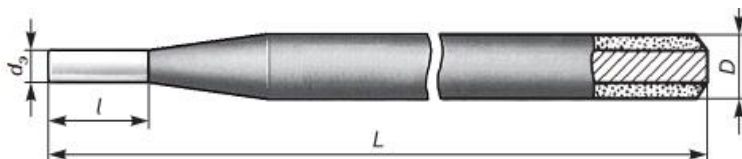


Рис. 2. Покрытый электрод для ручной дуговой сварки:  
 $d_s$  – диаметр стержня электрода;  $D$  – диаметр обмазки электрода;  $L$  – длина электрода;  $l$  – длина электрода для крепления в электрододержателе

При сварке покрытым электродом, чтобы процесс сварки проходил

эффективно, должно обеспечиваться: устойчивое горение дуги, равномерное расплавление стержня и покрытия, надежная газовая защита дуги от воздействия воздуха, защита жидкого металла и равномерное покрытие ванны шлаком, необходимые металлургические процессы, получение металла шва требуемого химического состава и механических свойств, хорошее формирование шва, минимальные потери на угар и разбрызгивание, легкое удаление шлака после затвердевания, удобство выполнения швов в требуемых положениях, отсутствие токсичных выделений и др.

Для обеспечения этих требований при изготовлении электродов необходимо правильно подбирать проволоку для стержней и состав электродного покрытия. Покрытие должно быть достаточно прочным и не осыпаться при транспортировке и сварке.

## **2.2. Сварочные проволоки**

Свойства свариваемого (основного) металла зависят от его состава и структуры. Для того чтобы сварное соединение было равнопрочным основному металлу, необходимо получить структуру металла шва, аналогичную структуре свариваемого металла. Этого можно достичь путем подбора соответствующего химического состава металла шва, используя металлические присадочные материалы, специальные электродные покрытия и флюсы.

Сварочную проволоку применяют при изготовлении штучных плавящихся электродов для ручной дуговой сварки, а также как присадочный материал для различных способов механизированной и автоматической дуговой сварки плавлением.

Стальная сварочная проволока разделяется на низкоуглеродистую, легированную и высоколегированную. ГОСТ 2246-70 предусматривает 77 марок стальной сварочной проволоки разного химического состава: 6 марок из низкоуглеродистой стали; 30 марок из легированной стали; 41 марку из высоколегированной стали (табл. 1). В стандарте указаны технические условия на маркировку, упаковку, транспортировку и хранение проволоки.

Стальную сварочную проволоку, предназначенную для всех видов механизированной и автоматической сварки плавлением и для изготовления покрытых электродов, по ГОСТ 2246-70 выпускают следующих диаметров: 0,3; 0,5; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0 и 12,0 мм.

Проволока диаметром до 3 мм применяется для механизированной сварки в защитных газах; 1,6–6,0 мм – для ручной сварки покрытыми электродами; 2–5 мм – для автоматической сварки под флюсом; проволока больших диаметров – для наплавочных работ.

Таблица 1. Марки проволоки для изготовления электродов по ГОСТ 2246-70

Тип	Марки
Низкоуглеродистая	Св-08, Св-08А, Св-08АА, Св-08ГА, Св-10ГА и Св-10Г2
Легированная	Св-08ГС, Св-12ГС, Св-08Г2С, Св-10ГН, Св-08ГСМТ, Св-15ГСТЮЦА (ЭП439), Св-20ГСТЮА, Св-18ХГС, Св-10НМА, Св-08МХ, Св-08ХМ, Св-18ХМА, Св-08ХНМ, Св-08ХМФА, Св-10ХМФТ, Св-08ХГ2С, Св-08ХГСМА, Св-10ХГ2СМА, Св-08ХГСМФА, Св-04Х2МА, Св-13Х2МФТ, Св-08Х3Г2СМ, Св-08ХМНФБА, Св-08ХН2М, Св-10ХН2ГМТ (ЭИ-984), Св-08ХН2ГМТА (ЭП-111), Св-08ХН2ГМЮ, Св-08ХН2Г2СМЮ, Св-06НЗ, Св-10Х5М
Высоколегированная	Св-12Х11НМФ, Св-10Х11НВМФ, Св-12Х13, Св-20Х13, Св-06Х14, Св-08Х14ГНТ, Св-10Х17Т, Св-13Х25Т, Св-01Х19Н9, Св-04Х19Н9, Св-08Х16Н8М2 (ЭН-377), Св-08Х18Н8Г2Б (ЭП-307), Св-07Х18Н9ТЮ, Св-06Х19Н9Т, Св-04Х19Н9С2, Св-08Х19Н9Ф2С2, Св-05Х19Н9Ф3С2, Св-07Х19Н10Б, Св-08Х19Н10Г2Б (ЭИ-898), Св-06Х19Н10М3Т, Св-08Х19Н10М3Б (ЭИ-902), Св-04Х19Н11МЗ, Св-05Х20Н9ФБС (ЭИ-649), Св-06Х20Н11МЗТБ (ЭП-89), Св-10Х20Н15, Св-07Х25Н12Г2Т (ЭГ1-75), Св-06Х25Н12ТЮ (ЭП-87), Св-07Х25Н13, Св-08Х25Н13БТЮ (ЭП-389), Св-13Х25Н18, Св-08Х20Н9Г7Т, Св-08Х21Н10Г6, Св-30Х25Н16Г7, Св-10Х16Н25АМ6, Св-09Х16Н25М6АФ (ЭИ-981А), Св-01Х23Н28М3Д3Т (ЭИ1-516), Св-30Х15Н35В3Б3Т, Св-08Н50 и Св-06Х15Н60М15 (ЭП-367)

Примечания:

1. Условные обозначения марок проволоки состоят из индекса Св (сварочная) и следующих за ним цифр и букв.

2. Цифры, следующие за индексом Св, указывают среднее содержание углерода в сотых долях процента.

3. Химические элементы, содержащиеся в металле проволоки, обозначены следующими буквами: А – азот (N) (только в высоколегированных проволоках); Б – ниобий (Nb); В – вольфрам (W); Г – марганец (Mn); Д – медь (Cu); М – молибден (Mo); Н – никель (Ni); С – кремний (Si); Т – титан (Ti); Ф – ванадий (V); Х – хром (Cr); Ц – цирконий (Zr); Ю – алюминий (Al).

4. Цифры, следующие за буквенными обозначениями химических элементов, указывают среднее содержание элемента в процентах. После буквенного обозначения элементов, содержащихся в небольших количествах, цифры не проставлены.

5. Буква А на конце условных обозначений марок низкоуглеродистой и легированной проволоки указывает на повышенную чистоту металла по содержанию серы и фосфора. В проволоке марки Св-08АА двоякая буква А указывает на пониженное содержание серы и фосфора по сравнению с проволокой марки Св-08А.

Марка проволоки 4Св-08Х20Н9Г7Т означает: диаметр проволоки – 4 мм; проволока сварочная; содержит 0,08 % углерода, 20 % хрома, 9 % никеля, 7 % марганца, 1 % титана.

### 2.3. Назначение покрытий электродов

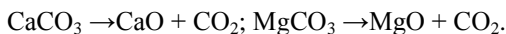
Электродные покрытия должны обеспечивать стабильность горения сварочной дуги и получение металла шва с заранее заданными свойствами (прочность, стойкость к высоким температурам и др.).

Электродные покрытия выполняют ряд функций.

**Стабилизация горения дуги** достигается снижением потенциала ионизации воздушного промежутка между электродом и свариваемой деталью. Для устойчивого горения дуги в покрытие вводят вещества (солищелочных металлов, калиевое и натриевое жидкое стекло и др.), содержащие элементы с низким потенциалом ионизации (калий, натрий).

**Газовая защита** зоны сварки и расплавленного металла создается при сгорании газообразующих веществ и предохраняет расплавленный металл от воздействия кислорода и азота. Газообразующие вещества входят в покрытие в виде неорганических соединений (мрамор ( $\text{CaCO}_3$ ), магнезит ( $\text{MgCO}_3$ ) и др.) и органических соединений (древесная мука, целлюлоза, крахмал и др.)

Минералы – мрамор и магнезит – при температуре около 900 °С разлагаются с образованием углекислого газа, который тяжелее воздуха и поэтому вытесняет его из зоны горения дуги, что обеспечивает газовую защиту:



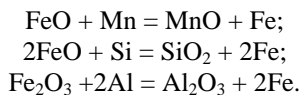
Органические вещества – мука, крахмал, декстрин – диссоциируют (распадаются) при температуре около 200 °С:



Обычно 10 г расплавленного электрода выделяет 1000–1500 см<sup>3</sup> защитного газа, что обеспечивает достаточно надежное оттеснение воздуха из зоны сварки.

**Раскисление металла** сварочной ванны обеспечивается элементами, обладающими большим сродством с кислородом, чем железо, и связывающими кислород. К ним относятся кальций, алюминий, титан, кремний, марганец, хром и др. Эти элементы, находясь в расплавлен-

ном металле сварного шва, легче вступают в химические соединения с кислородом и, будучи сами нерастворимыми в стали или имея ограниченную растворимость, в виде оксидов всплывают на поверхность сварочной ванны:



Большинство раскислителей входят в покрытие не в чистом виде, а в виде ферросплавов (ферромарганца (FeMn), ферросилиция (FeSi) и др.). Алюминий как раскислитель вводится в покрытие в виде порошка (пудры).

**Шлаковая защита** служит для защиты расплавленного металла от воздействия кислорода и азота воздуха путем образования шлаковых оболочек на поверхности капель электродного металла, переходящих через дуговой промежуток, и для создания шлакового покрова на поверхности расплавленного металла сварочной ванны и шва. Шлаковое покрытие уменьшает скорость охлаждения и кристаллизацию металла шва, способствует выходу из него газовых пузырьков и неметаллических включений. Шлакообразующими компонентами покрытий являются: титановый концентрат (состоит из 40–45 %  $\text{TiO}_2$  (оксид титана), до 30% FeO (оксида железа), марганцевые руды (пирролизит ( $\text{MnO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) (63,2% Mn), браунит ( $\text{Mn}_2\text{O}_3$ ) (69,5 % Mn), гаусманит ( $\text{Mn}_3\text{O}_4$ ) (72 % Mn) и др.), каолин «белая глина» ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), мрамор ( $\text{CaCO}_3$ ), мел ( $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ ), кварцевый песок ( $\text{SiO}_2 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{MgO}$ ), полевой шпат, гранит (по данным Р. Дэли химическая формула, отражающая процентное соотношение элементов, имеет вид:  $\text{SiO}_2 - 70,18\%$ ;  $\text{Al}_2\text{O}_3 - 14,47\%$ ;  $\text{K}_2\text{O} - 4,11\%$ ;  $\text{Na}_2\text{O} - 3,48\%$ ;  $\text{CaO} - 1,99\%$ ;  $\text{FeO} - 1,78\%$ ;  $\text{Fe}_2\text{O}_3 - 1,57\%$ ;  $\text{H}_2\text{O} - 0,84\%$ ;  $\text{TiO}_2 - 0,39\%$ ;  $\text{MnO} - 0,12\%$ ;  $\text{MgO} - 0,88\%$ ;  $\text{P}_2\text{O}_5 - 0,19\%$ ) и др. В качестве шлакообразующих компонентов выступают оксиды:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{MgO}$ , а также галоген –  $\text{CaF}_2$ . Например, гранит содержит 70 %  $\text{SiO}_2$ , 20 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 5 %  $\text{CaO}$ .

**Легирование металла шва** придает специальные свойства наплавленному металлу (в основном повышает механические свойства, а также износостойкость, жаростойкость, сопротивление коррозии). Наиболее часто применяются такие легирующие компоненты, как хром, никель, молибден, вольфрам, марганец, титан и др. Легирование металла шва иногда производится специальной проволокой, содержащей нужные элементы. Чаще металл шва легируют введением специальных компонентов в виде ферросплавов или чистых металлов в по-

крытие электрода. Это требуется для возмещения выгоревших при сварке легирующих компонентов сталей.

**Закрепление покрытия на электродном стержне** осуществляют с помощью специальных веществ, которые называют связующими компонентами. Они скрепляют порошковые материалы покрытия в однородную массу.

Чаще всего в качестве таких компонентов используют водные растворы силикатов натрия и калия, называемые натриевым ( $\text{Na}_2\text{SiO}_2$ ) или калиевым ( $\text{K}_2\text{SiO}_2$ ) жидким стеклом, а также желатин, пластмассы и др. После высыхания они скрепляют покрытие.

Пластические свойства покрытия обеспечивают формовочные добавки (пластификаторы) – каолин «белая глина» ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), декстрин «крахмал» ( $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$ )<sub>n</sub> и др. Некоторые материалы покрытия выполняют одновременно несколько функций. Например, мрамор является стабилизирующим, газозащитным и шлакообразующим компонентом.

С целью повышения производительности сварки в покрытие добавляют железный порошок, содержание которого может составлять до 60 % массы покрытия.

Электроды бывают тонкопокрытые (с тонким слоем обмазки), со средним по толщине слоем покрытия, толстопокрытые и с особо толстым покрытием.

Толстопокрытые электроды часто называют качественными электродами или электродами с качественной обмазкой. Некоторые из них имеют толщину слоя покрытия 3 мм.

Толщина слоя покрытия характеризуется отношением

$$D/d_s,$$

где  $D$  – диаметр электрода с покрытием (см. рис. 2);

$d_s$  – диаметр стержня (см. рис. 2).

Значения:  $D/d_s < 1,2$  – электроды с тонким покрытием;  $1,2 < D/d_s < 1,45$  – электроды с средним покрытием;  $1,45 < D/d_s < 1,8$  – электроды с толстым покрытием;  $D/d_s > 1,8$  – электроды с особо толстым покрытием.

## 2.4. Виды электродных покрытий

Электродные покрытия могут обеспечивать разную защиту. У одних преобладает газовая защита, у других – шлаковая. По-разному может осуществляться выведение из металла шва такого нежелатель-

ного элемента, как водород, за счет кислорода или за счет фтора. Различной может быть степень очищения металла шва от серы и фосфора.

Различают шесть видов электродных покрытий: **А, Б, Р, Ц, П** и смешанное.

**А – кислое покрытие** отличается тем, что в его состав входят образующие шлаковую защиту различные руды и материалы, содержащие большое количество кислорода. Например гематит, содержит 92 %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , гранит – 66–71 %  $\text{SiO}_2$ , 15–20 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и т. п.

Для удаления кислорода и восстановления железа из оксидов применяют ферросплавы, для газовой защиты вводят органические примеси – крахмал, декстрин. В сварочной ванне происходит активное окисление железа, она кипит, что способствует дегазации металла. Для этих покрытий невозможно легирование шва вследствие окисления легирующих элементов.

Сварка электродами с этим покрытием возможна на постоянном (прямой и обратной полярности) и переменном токах во всех положениях. Допускается сварка при небольшой ржавчине и окалине, однако в этом случае увеличивается разбрызгивание. Кроме того, металл шва склонен к образованию кристаллизационных трещин.

Вследствие применения ферромарганца выделяется значительное количество токсичных марганцевых соединений, что ограничивает использование таких покрытий.

Наиболее распространены электроды с кислыми покрытиями марок ОММ-5 и ЦМ-7.

**Б – основное покрытие** содержит фтористокальциевые соединения (плавиковый шпат, в котором более 75 %  $\text{CaF}_2$ , карбонаты кальция – мрамор, мел, в которых более 92 %  $\text{CaCO}_3$ ) и ферросплавы.

При расплавлении это покрытие выделяет большое количество углекислого газа, образующегося вследствие диссоциации карбонатов. Кальций хорошо рафинирует металл шва, извлекая из него серу и фосфор. Фтор связывает водород в соединение  $\text{HF}$  и выводит его из шва. Содержание фтора ограничивают, поскольку он снижает устойчивость горения дуги.

Электроды с основным покрытием предназначены для сварки постоянным током обратной полярности во всех положениях. При сварке переменным током в покрытие добавляют более активные стабилизаторы – калиевое жидкое стекло ( $\text{K}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_n$ ), поташ ( $\text{K}_2\text{CO}_3$ ) (карбонат калия) и др.

Металл, наплавленный электродами с основным покрытием, обла-

дает высокими механическими показателями, особенно ударной вязкостью при положительных и низких температурах, не склонен к образованию горячих и холодных трещин, содержит минимальное количество кислорода и азота. Эти электроды применяют для сварки наиболее ответственных конструкций, а также для сварки деталей, имеющих большие сечения.

Недостатком основных покрытий является их повышенная склонность к образованию пор при увеличении длины дуги, наличии ржавчины на свариваемых кромках, а также при сварке непрокаленными (влажными) электродами.

Другой недостаток этих покрытий – пониженная устойчивость горения дуги, обусловленная наличием в покрытии фтора, обладающего высоким потенциалом ионизации. Поэтому сварку обычно производят постоянным током.

Сварка электродами с основным покрытием должна вестись короткой дугой и при хорошей очистке свариваемых кромок от ржавчины, окалины, масла и влаги во избежание образования пористости в швах.

Наиболее известны электроды марок с основными покрытиями УОНИ13/45, УОНИ13/55, ТМУ21 и др.

Широко используют электроды марки АНО11 с фтористо-кальциевым покрытием ( $\text{CaF}_2$ ). Они предназначены для сварки переменным и постоянным током ответственных конструкций из низкоуглеродистых, среднеуглеродистых и низколегированных сталей. Этими электродами можно сваривать швы в различных пространственных положениях, они обладают хорошими сварочно-технологическими свойствами (легкая отделяемость шлаковой корки, незначительные потери расплавленного металла на разбрызгивание). Вредных выделений при этом значительно меньше, чем при сварке электродами других марок с аналогичным покрытием. Металл сварного шва обладает высокой прочностью, пластичностью и ударной вязкостью.

**Р – рутиловое покрытие**, которое содержит 50 % рутилового концентрата в виде оксида титана ( $\text{TiO}_2$ ), а также карбонаты кальция – мрамор, тальк ( $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ ), мусковит ( $\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ ), магнезит, ферросплавы, целлюлозу ( $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$ )<sub>n</sub>. Газовая защита происходит за счет диссоциации материалов и органической составляющей. Раскисление и легирование металла шва обеспечивается ферросплавами.

Электроды с таким покрытием позволяют получить плотный металл сварного шва при наличии ржавчины на свариваемых кромках,

незначительное разбрызгивание электродного металла при сварке, они пригодны для сварки постоянным и переменным током во всех пространственных положениях, обеспечивают устойчивое горение сварочной дуги, обладают хорошими технологическими свойствами и применяются для сварки низкоуглеродистых сталей.

Наиболее распространены электроды марок с рутиловыми покрытиями АНО-4, АНО-21, АНО-24, ОЗС-4, МР-3.

**Ц** – **целлюлозное покрытие** содержит в основном оксицеллюлозу или аналогичные ей органические вещества, а также рутил и ферросплавы. Это покрытие при расплавлении выделяет много защитного газа и небольшое количество шлака, необходимого для процесса раскисления. Электроды с таким покрытием пригодны для сварки во всех пространственных положениях постоянным током и употребляются в основном для сварки первого слоя стыков трубопроводов. Основным недостатком – повышенное разбрызгивание электродного металла при сварке.

Наиболее известны электроды марок с целлюлозными покрытиями ВСЦ-4, ВСЦ-4А.

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

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

При выборе покрытий электродов учитывают возможность получения требуемых механических и других свойств металла шва. Каждому типу электрода может соответствовать несколько марок, которые различаются составом покрытия.

## 2.5. Типы электродов по назначению

Металлические электроды для дуговой сварки сталей и наплавки изготовляют в соответствии с ГОСТ 9466-75. По назначению они подразделяются на следующие группы.

**У** – для сварки углеродистых и низколегированных конструкционных сталей с временным сопротивлением разрыву до 600 МПа. ГОСТ 9467-75 предусматривает девять типов электродов: Э38, Э42, Э42А, Э46, Э46А, Э50, Э50А, Э55, Э60 (табл. 2).

Цифры в обозначениях типов электродов для сварки конструкционных сталей означают гарантируемый предел прочности металла шва. Пример обозначения электродов: Э42А – тип электрода (Э – электрод)

трод для дуговой сварки; 42 – минимальное гарантируемое временное сопротивление металла шва, кг/мм<sup>2</sup>; А – гарантируется получение повышенных пластических свойств металла шва).

Таблица 2. Характеристики типов электродов группы У

Тип электрода	Механические свойства при нормальной температуре					Содержание в наплавленном металле, %	
	металла шва или наплавленного металла			сварного соединения, выполненного электродами диаметром менее 3 мм			
	Временное сопротивление разрыву $\sigma_B$ , кгс/мм <sup>2</sup>	Относительное удлинение $\delta$ , %	Ударная вязкость КС, кгс·м/см <sup>2</sup>	Временное сопротивление разрыву $\sigma_B$ , кгс/мм <sup>2</sup>	Угол загиба, град	серы	фосфора
	Не менее						
Э38	38	14	3	38	60	0,040	0,045
Э42	42	18	8	42	150		
Э46	46	18	8	46	150		
Э50	50	16	7	50	120		
Э42А	42	22	15	42	180	0,030	0,035
Э46А	46	22	14	46	180		
Э50А	50	20	13	50	150		
Э55	55	20	12	55	150		
Э60	60	18	10	60	120		

**Л** – для сварки легированных конструкционных сталей с временным сопротивлением разрыву свыше 600 МПа. ГОСТ 9467-75 предусматривает 5 типов: Э70, Э85, Э100, Э125, Э150 (табл. 3).

**Т** – для сварки легированных теплоустойчивых сталей. ГОСТ 9467-75 предусматривает 9 типов: Э-09М, Э-09МХ, Э-09Х1М, Э-05Х2М, Э-09Х2М1, Э-09Х1МФ, Э-10Х1М1НФБ, Э-10Х3М1БФ, Э-10Х5МФ (табл. 4).

Обозначения типов электродов **Т** состоят из индекса Э (электроды для дуговой сварки) и следующих за ним цифр и букв. Две цифры, следующие за индексом, указывают среднее содержание углерода в наплавленном металле в сотых долях процента. Химические элементы, содержащиеся в наплавленном металле, обозначены следующими буквами: Б – ниобий, Г – марганец, М – молибден, Н – никель, С – кремний, Ф – ванадий, Х – хром. Цифры, следующие за буквенными обозначениями химических элементов, указывают среднее содержание элемента в процентах. При этом кремний и марганец считают основными химическими элементами, если их среднее содержание в

наплавленном металле превышает 0,8 %. При среднем содержании основного химического элемента в наплавленном металле менее 0,8 % чисто за буквенным обозначением химического элемента не указывают.

Таблица 3. Характеристики типов электродов группы Л

Тип электрода	Механические свойства при нормальной температуре металла шва или наплавленного металла			Содержание в наплавленном металле, %	
	Временное сопротивление разрыву $\sigma_B$ , кгс/мм <sup>2</sup>	Относительное удлинение $\delta$ , %	Ударная вязкость $KC_2$ , кгс·м/см <sup>2</sup>	серы	фосфора
Э70	70	14	6	0,030	0,035
Э85	85	12	5		
Э100	100	10	5		
Э125	125	8	4		
Э150	150	6	4		

Таблица 4. Характеристики типов электродов группы Т

Тип электрода	Механические свойства при нормальной температуре			Содержание в наплавленном металле, %	
	Металла шва или наплавленного металла			Серы	Фосфора
	Временное сопротивление разрыву $\sigma_B$ , кгс/мм <sup>2</sup>	Относительное удлинение $\delta$ , %	Ударная вязкость $KC_2$ , кгс·м/см <sup>2</sup>		
Не менее				Не более	
Э-09М	45	18	10	0,030	0,030
Э-09МХ	46	18	9	0,025	0,035
Э-09Х1М	48	18	9	0,025	0,035
Э-05Х2М	48	18	9	0,020	0,030
Э-09Х2М1	50	16	8	0,025	0,035
Э-09Х1МФ	50	16	8	0,025	0,030
Э-10Х1М1НФБ	50	15	7	0,025	0,030
Э-10Х3М1БФ	55	14	6	0,025	0,030
Э-10Х5МФ	55	14	6	0,025	0,035

**В** – для сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами. ГОСТ 10052-75 предусматривает 49 типов: Э-12Х13, Э-06Х13Н, Э-10Х17Т, Э-12Х11НМФ, Э-12Х11НВМФ, Э-14Х11НВМФ, Э-10Х16Н4Б, Э-08Х24Н6ТАФМ, Э-04Х20Н9, Э-07Х20Н9, Э-02Х21Н10Г2, Э-06Х22Н9, Э-08Х16Н8М2, Э-08Х17Н8М2, Э-06Х19Н11Г2М2, Э-02Х20Н14Г2М2, Э-02Х19Н9Б, Э-08Х19Н10Г2Б, Э-08Х20Н9Г2Б, Э-10Х17Н13С4, Э-08Х19Н10Г2МБ,

Э-09Х19Н10Г2М2Б, Э-08Х19Н9Ф2С2, Э-08Х19Н9Ф2Г2СМ,  
 Э-09Х16Н8Г3М3Ф, Э-09Х19Н11Г3М2Ф, Э-07Х19Н11М3Г2Ф,  
 Э-08Х24Н12Г3СТ, Э-10Х25Н13Г2, Э-12Х24Н14С2, Э-10Х25Н13Г2Б,  
 Э-10Х28Н12Г2, Э-03Х15Н9АГ4, Э-10Х20Н9Г6С, Э-28Х24Н16Г6,  
 Э-02Х19Н15Г4АМ3В2, Э-02Х19Н18Г5АМ3, Э-11Х15Н25М6АГ2,  
 Э-09Х15Н25М6Г2Ф, Э-27Х15Н35В3Г2Б2Т, Э-04Х16Н35Г6М7Б,  
 Э-06Х25Н40М7Г2, Э-08Н60Г7М7Т, Э-08Х25Н60М10Г2,  
 Э-02Х20Н60М15В3, Э-04Х10Н60М24, Э-08Х14Н65М15В4Г2,  
 Э-10Х20Н70Г2М2В, Э-10Х20Н70Г2М2Б2В (табл. 5).

Таблица 5. Характеристики некоторых типов электродов группы В

Тип электрода	Механические свойства при нормальной температуре металла шва или наплавленного металла			Содержание в наплавленном металле, %	
	Временное сопротивление разрыву $\sigma_B$ , кгс/мм <sup>2</sup>	Относительное удлинение $\delta$ , %	Ударная вязкость $K_{CV}$ , кгс·м/см <sup>2</sup>	Серы	Фосфора
Э-12Х13	60	16	5	0,030	0,035
Э-06Х13Н	65	14	5	0,030	0,035
Э-04Х20Н9	55	30	10	0,018	0,030
Э-06Х22Н9	65	20	-	0,020	0,030
Э-04Х10Н60М24	60	15	-	0,025	0,025
Э-08Х14Н65М15В4Г2	55	20	10	0,018	0,020
Э-10Х20Н70Г2М2Б2В	65	25	-	0,015	0,020

Обозначения типов электродов **В** состоят из индекса Э (электроды для дуговой сварки) и следующих за ним цифр и букв. Две цифры, следующие за индексом, указывают среднее содержание углерода в наплавленном металле в сотых долях процента. Химические элементы, содержащиеся в наплавленном металле, обозначены следующими буквами: А – азот, Б – ниобий, В – вольфрам, Г – марганец, Д – медь, М – молибден, Н – никель, С – кремний, Т – титан, Ф – ванадий, Х – хром. Цифры, следующие за буквенными обозначениями химических элементов, указывают среднее содержание элемента в процентах. После буквенного обозначения элементов, среднее содержание которых в наплавленном металле составляет менее 1,5 %, цифры не проставлены. При среднем содержании в наплавленном металле кремния до 0,8 % и марганца до 1,6 % буквы С и Г не проставлены.

**Н** – для наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами. ГОСТ 10051-75 предусматривает 44 типа: Э-10Г2, Э-11Г3, Э-12Г4,

Э-15Г5, Э-16Г2ХМ, Э-30Г2ХМ, Э-35Г6, Э-37Х9С2, Э-70Х3СМТ, Э-80Х4С, Э-95Х7Г5С, Э-65Х11НЗ, Э-24Х12, Э-20Х13, Э-35Х12Г2С2, Э-35Х12В3СФ, Э-100Х12М, Э-120Х12Г2СФ, Э-300Х28Н4С4, Э-320Х23С2ГТР, Э-320Х25С2ГР, Э-350Х26Г2Р2СТ, Э-225Х10Г10С, Э-08Х17Н8С6Г, Э-09Х16Н9С5Г2М2ФТ, Э-09Х31Н8АМ2, Э-13Х16Н8М5С5Г4Б, Э-15Х15Н10С5М3Г, Э-15Х28Н10С3ГТ, Э-15Х28Н10С3М2ГТ, Э-200Х29Н6Г2, Э-30В8Х3, Э-80В18Х4Ф, Э-90В10Х5Ф2, Э-30Х5В2Г2СМ, Э-65Х25Г13НЗ, Э-105В6Х5М3Ф3, Э-90Х4М4ВФ, Э-10М9Н8К8Х2СФ, Э-10К15В7М5Х3СФ, Э-10К18В11М10Х3СФ, Э-110Х14В13Ф2, Э-175В8Х6СТ, Э-190К62Х29В5С2 (табл. 6).

Таблица 6. Характеристики некоторых типов электродов группы Н

Тип электрода	Твердость, HRC <sub>3</sub>		Содержание в наплавленном металле, %	
	без термической обработки после наплавки	после термической обработки	Серы	Фосфора
			Не более	
Э-10Г2	22,0-30,0	–	0,030	0,040
Э-11ГЗ	29,5-37,0	–	0,030	0,040
Э-350Х26Г2Р2СТ	59,0-64,0	–	0,035	0,040
Э-09Х16Н9С5Г2М2ФТ	–	30,5-36,0	0,030	0,035
Э-190К62Х29В5С2	41,5-51,5	–	0,035	0,040

Обозначения типов электродов **Н** состоят из индекса Э (электроды для ручной дуговой сварки и наплавки) и следующих за ним цифр и букв. Две или три цифры, следующие за индексом, указывают среднее содержание углерода в наплавленном металле в сотых долях процента. Химические элементы, содержащиеся в наплавленном металле, обозначены следующими буквами: А – азот; Б – ниобий, В – вольфрам, Г – марганец, К – кобальт, М – молибден, Н – никель, Р – бор, С – кремний, Т – титан, Ф – ванадий, Х – хром. Цифры, следующие за буквенными обозначениями химических элементов, указывают среднее содержание элемента в процентах. После буквенного обозначения химических элементов, среднее содержание которых в наплавленном металле составляет не более 1,5 %, цифры не проставлены. При среднем содержании в наплавленном металле кремния до 0,8 % и марганца до 1,0 % буквы С и Г не проставлены.

## 2.6. Типы электродов по толщине покрытия

По толщине покрытия в зависимости от отношения диаметра элект-

трода с покрытием  $D$  к диаметру стального стержня  $d$ , различают электроды (см. рис. 2): М – с тонким покрытием; С – со средним покрытием; Д – с толстым покрытием; Г – с особо толстым покрытием.

**Тонкое покрытие электродов** обеспечивает только устойчивое горение дуги при сварке. Такие электроды применяют для сварки неответственных конструкций из низкоуглеродистых сталей, поскольку небольшое количество образующихся газов и шлаков не дает надежную защиту сварочной ванны.

**Среднее покрытие электродов** обеспечивает устойчивое горение сварочной дуги и получение сварных соединений, обладающих высокими механическими свойствами. Эти электроды используют для сварки ответственных конструкций различного назначения.

**Электроды с толстым покрытием** создают при сварке газовую и шлаковую защиту, стабилизируют дугу, раскисляют расплавленную ванну металла, легируют наплавленный металл, формируют сварной шов. Такие электроды в зависимости от назначения подразделяют на электроды для сварки конструкционных, легированных сталей и для наплавки.

**Электроды с особо толстым покрытием** используют для высокопроизводительной сварки.

Газовая защита наплавленного металла от кислорода и азота воздуха зависит от качества электродного покрытия. Например, если при сварке голым электродом содержание кислорода и азота в шве составляет соответственно 0,221 и 0,11 %, то при сварке электродами УОНИ-13/45 их содержание уменьшается до 0,02 и 0,025 %.

Электродные покрытия влияют на механические свойства металла шва. Наиболее высокие механические свойства (временное сопротивление, относительное удлинение, ударная вязкость) металла шва достигаются при использовании электродов с толстыми покрытиями.

Масса толстых электродных покрытий составляет 30–40 % массы электродного стержня. Для приготовления обмазочной пасты к сухой смеси добавляют 30 % водного раствора жидкого стекла. Повысить производительность сварки можно введением в покрытие электродов железного порошка. В зависимости от процентного содержания железного порошка в обмазке (5–50%) коэффициент наплавки увеличивается в 1,5–2 раза.

Наиболее простая тонкая обмазка для электродов – мел, цементированный жидким стеклом. В состав тонкого покрытия могут быть введены гранит, соединения кальция в виде природных минералов, полевой шпат, а также мел, мрамор и другие компоненты.

Вещества, входящие в состав покрытия, вместе с электродным стержнем при сварке плавятся и испаряются, активно насыщая дуговой воздушный промежуток электрическими зарядами – электронами и ионами.

Пары кальция и некоторых других элементов легко ионизируются. Благодаря этому дуга между электродом и сварочной ванной горит устойчиво, стабильно. Поэтому тонкие покрытия называют стабилизирующими, а также ионизирующими, так как они усиливают ионизацию дугового промежутка. Толщина стабилизирующего покрытия составляет 0,1–0,25 мм, а масса его – 1–5 % массы электродного стержня.

При сварке электродами с тонким покрытием образующееся при их плавлении количество газов и шлака очень мало и недостаточно для хорошей защиты расплавленного металла от вредного воздействия азота и кислорода воздуха. При сварке такими электродами выгорают углерод, марганец, кремний. В результате получается сварное соединение с низкими механическими свойствами.

Органические соединения, а также мрамор, мел, известняк, входящие в обмазку электрода, разлагаются под действием высокой температуры вблизи торца электрода. Образующиеся при этом газы нагреваются, расширяются, оттесняя окружающий воздух.

Шлак образуется за счет химического взаимодействия металла сварочной ванны с компонентами электродного покрытия (полевым шпатом, марганцевой рудой, кварцевым песком, мелом, мрамором и др.). Температура плавления шлака достигает примерно 1200 °С. Незначительная его вязкость способствует хорошему формированию сварного шва. Шлаки не имеют строго определенной температуры плавления. С увеличением температуры шлака его вязкость постепенно снижается и он переходит в жидкое состояние. При понижении же температуры вязкость шлака постепенно возрастает и он затвердевает.

## **2.7. Типы электродов по допустимым пространственным положениям**

По допустимым пространственным положениям (рис. 3) при сварке и наплавке электроды делят на следующие группы:

- 1-я – включает все положения;
- 2-я – все положения, кроме вертикального «сверху вниз»;
- 3-я – нижнее, горизонтальное на вертикальной плоскости и вертикальное «снизу вверх»;
- 4-я – нижнее положение и нижнее «в лодочку».

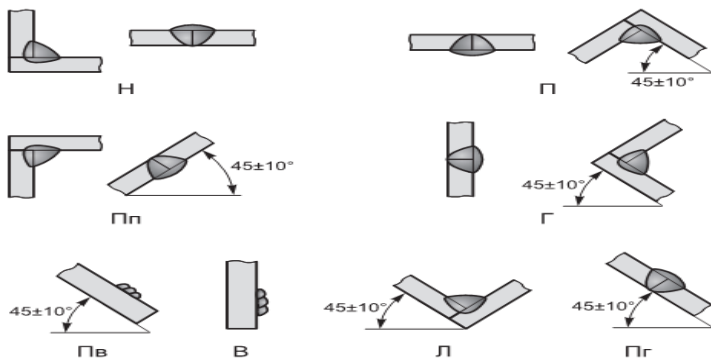


Рис. 3. Обозначение сварных швов по их положению в пространстве:

Н – нижние; П – потолочные; Пп – полупотолочные; Г – горизонтальные; Пв – полувертикальные; В – вертикальные; Л – «в лодочку»; Пг – полугоризонтальные

## 2.8. Типы электродов по роду и полярности тока

По роду и полярности тока, а также по номинальному напряжению холостого хода используемого источника питания сварочной дуги переменного тока электроды подразделяют на группы от 0 до 9 (табл. 7).

Таблица 7. Типы электродов по роду и полярности тока

Рекомендуемая полярность постоянного тока	Напряжение холостого хода источника переменного тока, В		Обозначение
	Номинальное	Предельное отклонение	
Обратная	–	–	0
Любая	50	±5	1
Прямая			2
Обратная	70	±10	3
Любая			4
Прямая			5
Обратная	90	±5	6
Любая			7
Прямая	90	±5	8
Обратная			9

Примечание. Цифрой 0 обозначают электроды, предназначенные для сварки или наплавки только на постоянном токе обратной полярности.

Прямая полярность – полярность, при которой электрод присоединяется к отрицательному полюсу источника питания дуги, а объект

сварки – к положительному.

Обратная полярность – полярность, при которой электрод присоединяется к положительному полюсу источника питания дуги, а объект сварки – к отрицательному.

## 2.9. Типы электродов по группам индексов, указывающих характеристики наплавленного металла и металла шва

В условном обозначении электродов для сварки углеродистых и низколегированных конструкционных сталей с временным сопротивлением разрыву до 60 кгс/мм<sup>2</sup> группа индексов, указывающих характеристики наплавленного металла и металла шва, устанавливается согласно ГОСТ 9467-75 (табл. 8).

Таблица 8. Характеристики наплавленного металла и металла шва

Группа индексов	Минимальные значения показателей механических свойств наплавленного металла и металла шва при нормальной температуре			Минимальная температура, при которой ударная вязкость металла шва и наплавленного металла $\alpha_{H45}$ (при испытании образцов типа IX по ГОСТ 6996-66) составляет не менее 3,5 кгс·м/см <sup>2</sup> , $T_X$ , °C
	Временное сопротивление разрыву $\sigma_B$		Относительное удлинение $\delta_5$ , %	
	Н/мм <sup>2</sup>	кгс/мм <sup>2</sup>		
1	2	3	4	5
37 0	370	38	При любом значении	При любом значении
41 0	410	42	Менее 20	Не регламентирована
41 1	410	42	22	+20
41 2	410	42	22	0
41 3	410	42	24	-20
41 4	410	42	24	-30
41 5	410	42	24	-40
41 6	410	42	24	-50
41 7	410	42	24	-60
43 0	430	44	Менее 20	Не регламентирована
43 1	430	44	20	+20
43 2	430	44	22	0
43 3	430	44	24	-20
43 4	430	44	24	-30
43 5	430	44	24	-40
43 6	430	44	24	-50
43 7	430	44	24	-60
51 0	510	52	Менее 18	Не регламентирована
51 1	510	52	18	+20
51 2	510	52	18	0

1	2	3	4	5
51 3	510	52	20	-20
51 4	510	52	20	-30
51 5	510	52	20	-40
51 6	510	52	20	-50
51 7	510	52	20	-60

Примечание. В группе индексов первые два индекса указывают минимальное значение показателя  $\sigma_B$ , а третий индекс одновременно характеризует минимальные значения показателей  $\delta_5$  и  $T_X$ . Если показатели  $\delta_5$  и  $T_X$  согласно табл. 8 соответствуют различным индексам, третий индекс устанавливается по минимальному значению показателя  $\delta_5$ , а в группу индексов вводится указываемый в скобках четвертый дополнительный индекс, характеризующий показатель  $T_X$  (табл. 9).

Таблица 9. Четвертый дополнительный индекс

Минимальная температура, при которой ударная вязкость металла шва и наплавленного металла $\alpha_{H45}$ (при испытании образцов типа IX по ГОСТ 6996-66) составляет не менее $3,5 \text{ кгс}\cdot\text{м}/\text{см}^2$ , $T_X^\circ\text{C}$	Индекс
Не регламентирована	0
+20	1
0	2
-20	3
-30	4
-40	5
-50	6
-60	7

### 3. СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ПОЛНОГО УСЛОВНОГО ОБОЗНАЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОДОВ ДЛЯ СВАРКИ УГЛЕРОДИСТЫХ И НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ

Обозначение электродов состоит из названия типа электрода, его марки, диаметра стержня, типа покрытия и номера ГОСТа (рис. 4).

Существуют сотни марок штучных электродов. Однако только незначительное количество их широко используется в сварочном производстве. При выборе электродов учитывают возможность получения требуемых механических и других свойств металла шва. Каждому типу электрода может соответствовать несколько марок, которые различаются составом покрытия.

В технических условиях каждой марки электрода указаны характеристики покрытия, область применения электродов, марка стержня, рекомендуемое пространственное положение, технологические особенности, рекомендуемые электрический ток (постоянный, переменный) и полярность, диаметр сварочного тока, коэффициент наплавки, характеристика перехода металла стержня в сварной шов, механические свойства и химический состав наплавленного металла и др.

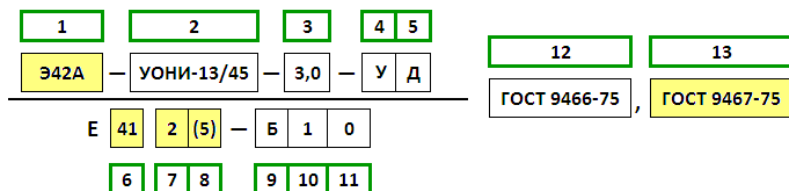


Рис. 4. Структурная схема полного условного обозначения электродов:

1 – тип электродов для сварки по ГОСТ 9467-75; 2 – марка электродов (подразделение электродов на марки – по стандартам или техническим условиям); 3 – диаметр электрода; 4 – индекс подразделения электродов по назначению; 5 – индекс обозначения толщины покрытия электродов; 6 – индекс минимального значения временного сопротивления разрыву ( $\sigma_v$ ); 7 – индекс минимального значения относительного удлинения ( $\delta_5$ ) и минимальной температуры ( $T_x$ ), при которой ударная вязкость металла шва и наплавленного металла составляет не менее  $3,5 \text{ кгс} \cdot \text{м}/\text{см}^2$ ; 8 – индекс дополнительный, характеризующий показатель  $T_x$  и вводимый, если  $\delta_5$  и  $T_x$  соответствуют разным индексам под поз. 7; 9 – индекс вида покрытия электродов; 10 – индекс допустимых пространственных положений сварки или наплавки; 11 – индекс рода применяемого тока, полярности постоянного тока и номинального напряжения холостого хода источника питания сварочной дуги переменного тока частотой 50 Гц; 12 и 13 – соответственно обозначение стандартов на классификацию, на типы электродов

Следовательно, приведенное обозначение на рис. 4 электрода можно расшифровать следующим образом:

- поз. 1 «Э42А» – тип электрода;
- поз. 2 «УОНИ-13/45» (универсальная обмарка научного исследовательского института № 13) – марка электрода;
- поз. 3 «3,0» – диаметр электрода – 3,0 мм;
- поз. 4 «У» – индекс подразделения электродов по назначению, для сварки углеродистых и низколегированных конструкционных сталей с временным сопротивлением разрыву до  $60 \text{ кгс}/\text{мм}^2$ ;
- поз. 5 «Д» – индекс обозначения толщины покрытия электродов, толстое покрытие;
- поз. 6 «Е41» – индекс минимального значения временного сопро-

тивления разрыву ( $\sigma_b$ ),  $\sigma_b \geq 410 \text{ Н/мм}^2$  (МПа) или  $42 \text{ кгс/мм}^2$ ;

поз. 7 «2» – индекс минимального значения относительного удлинения ( $\delta_5$ ) и минимальной температуры ( $T_X$ ), при которой ударная вязкость металла шва и наплавленного металла составляет не менее  $3,5 \text{ кгс} \cdot \text{м/см}^2$ ,  $\delta_5 \geq 22 \%$ ;

поз. 8 «(5)» – индекс дополнительный, характеризующий показатель  $T_X$  и вводимый, если  $\delta_5$  и  $T_X$  соответствуют разным индексам под поз. 7,  $T_X = -40 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

поз. 9 «Б» – индекс вида покрытия электродов, основное покрытие электродов;

поз. 10 «1» – индекс допустимых пространственных положений сварки или наплавки, для всех положений;

поз. 11 «0» – индекс рода применяемого тока, полярности постоянного тока и номинального напряжения холостого хода источника питания сварочной дуги переменного тока частотой 50 Гц, сварка или наплавка только на постоянном токе обратной полярности;

поз. 12 «ГОСТ 9466-75» – электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки сталей и наплавки;

поз. 13 «ГОСТ 9467-75» – электроды покрытие металлические для ручной дуговой сварки конструкционных и теплоустойчивых сталей.

#### **4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА**

1. Указать цель лабораторной работы.
2. Дать определение ручной дуговой сварке.
3. Указать основные характеристики электродов.
4. Дать описание входящих в обозначение электродов для сварки углеродистых и низколегированных конструкционных сталей критериев.

При защите отчета студент должен знать маркировку электродов для сварки углеродистых и низколегированных конструкционных сталей, быть готов к ответам на вопросы по изложенному в отчете материалу и на контрольные вопросы.

#### **5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Что называют ручной дуговой сваркой.
2. Назовите, кто и когда впервые применил электродуговую сварку плавящимся электродом.

3. Назовите назначение покрытий электродов.
4. Дайте расшифровку применяемых сварочных проволок для изготовления электродов.
5. Назовите виды электродных покрытий.
6. Назовите типы электродов, применяемых для дуговой сварки сталей и наплавки, по назначению.
7. Назовите типы электродов по толщине покрытия и их назначение.
8. Расшифруйте пример полного условного обозначения сварочного электрода по ГОСТ 9466-75.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лупачёв, В. Г. Ручная дуговая сварка : учеб. пособие / В. Г. Лупачёв. – 4-е изд., стер. – Минск : Выш. шк., 2014. – 416 с.
2. Новиковский, Е. А. Ручная электродуговая и газовая сварка металлов : учеб. пособие / Е. А. Новиковский. – Барнаул : АлтГТУ, 2013. – 106 с.
3. Крюковский, Н. Н. Производство электродов для дуговой сварки : учеб. пособие / Н. Н. Крюковский. – 2-е изд. – Москва : Машгиз, 1956. – 280 с.
4. Технология металлов и сплавов : учебник для вузов / П. И. Полухин [и др.]. – Москва : Высш. шк., 1977. – 464 с.
5. Справочник сварщика / под ред. В. В. Степанова. – Изд. 4-е. – Москва : Машиностроение, 1982. – 342 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
1. РУЧНАЯ ДУГОВАЯ СВАРКА .....	6
2. ЭЛЕКТРОДЫ ДЛЯ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ СТАЛЕЙ И НАПЛАВКИ .....	6
2.1. Назначение покрытых электродов .....	6
2.2. Сварочные проволоки .....	8
2.3. Назначение покрытий электродов .....	10
2.4. Виды электродных покрытий .....	12
2.5. Типы электродов по назначению .....	15
2.6. Типы электродов по толщине покрытия .....	19
2.7. Типы электродов по допустимым пространственным положениям .....	21
2.8. Типы электродов по роду и полярности тока .....	22
2.9. Типы электродов по группам индексов, указывающих характеристики наплавленного металла и металла шва .....	23
3. СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ПОЛНОГО УСЛОВНОГО ОБОЗНАЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОДОВ ДЛЯ СВАРКИ УГЛЕРОДИСТЫХ И НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ .....	24
4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА .....	26
5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ .....	26
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	28