

Г.Г. ЧЕРНЫШОВ

МАТЕРИАЛЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СВАРКИ ПЛАВЛЕНИЕМ И ТЕРМИЧЕСКОЙ РЕЗКИ

УЧЕБНИК

*Рекомендовано
Федеральным государственным учреждением
«Федеральный институт развития образования»
в качестве учебника для использования
в учебном процессе образовательных учреждений,
реализующих программы начального
профессионального образования*

*Регистрационный номер рецензии 305
от 16 июня 2009 г. ФГУ «ФИРО»*



Москва
Издательский центр «Академия»
2012

УДК 621.791(075.32)
ББК 30.61я722
Ч-497

Рецензент —

начальник лаборатории сварки ОАО «Российская самолетостроительная
корпорация «МиГ», д-р техн. наук, проф. *В.В.Овчинников*

Чернышов Г.Г.

Ч-497 Материалы и оборудование для сварки плавлением и термической резки : учебник для нач. проф. образования / Г.Г.Чернышов. — М. : Издательский центр «Академия», 2012. — 240 с.

ISBN 978-5-7695-6773-5

Приведены данные о сварочных материалах и оборудовании для дуговой, плазменной, электрошлаковой и газовой сварки. Рассмотрены особенности оборудования для механизированной сварки и резки и специальные установки для перемещения деталей при сварке. Содержит сведения, необходимые для аттестации сварщиков и специалистов сварочного производства.

Учебник может быть использован при освоении профессионального модуля ПМ.02 «Сварка и резка деталей из различных сталей, цветных металлов и их сплавов, чугунов во всех пространственных положениях» (МДК.02 по профессии 150709.02 «Сварщик».

Для учащихся учреждений начального профессионального образования.

УДК 621.791(075.32)
ББК 30.61я722

*Оригинал-макет данного издания является собственностью
Издательского центра «Академия», и его воспроизведение любым способом
без согласия правообладателя запрещается*

© Чернышов Г.Г., 2012
© Образовательно-издательский центр «Академия», 2012
© Оформление. Издательский центр «Академия», 2012

ISBN 978-5-7695-6773-5

Сварка относится к необходимым технологическим процессам при создании разнообразных конструкций. Широкие технологические возможности сварки обеспечили ее применение для получения неразъемных соединений в атомной энергетике и радиоэлектронике, при производстве металлургического, химического и энергетического оборудования, различных трубопроводов, строительных и других конструкций, а также при изготовлении и ремонте судов, автомобилей, самолетов и космических аппаратов.

В России Г. В. Рихман, проводивший исследования в Петербургской академии наук, еще в 1753 г. предсказал возможность использования «электрических искр» для плавления металлов. В 1802 г. профессор Санкт-Петербургской медико-хирургической академии В. В. Петров получил электрическую дугу и указал возможные области ее практического применения.

В 1882 г. русский ученый-инженер Н. Н. Бенардос предложил способ электродуговой сварки металлов неплавящимся угольным электродом. Им были разработаны дуговая сварка в защитном газе и дуговая резка металлов.

В 1888 г. русский инженер Н. Г. Славянов предложил производить сварку плавящимся металлическим электродом. Его деятельность была связана с развитием металлургических основ электрической дуговой сварки, разработкой флюсов для воздействия на состав металла шва и созданием первого генератора для дуговой сварки.

В середине 1920-х гг. исследования процесса сварки и ее внедрение в производство проводили во Владивостоке, Москве, Ленинграде и Киеве.

В 1924—1935 гг. применяли в основном ручную сварку электродами с тонкими ионизирующими (меловыми) покрытиями. В эти годы были изготовлены первые отечественные котлы и корпуса нескольких судов.

В 1935—1939 гг. начали использовать толстопокрытые электроды, стержни которых получали из легированной стали, что обе-

спечило более широкое применение сварки в промышленности и строительстве.

В 1940-х гг. была разработана сварка под флюсом, использование которой позволило повысить производительность процесса и качество сварных соединений, а также механизировать производство сварных конструкций.

В начале 1950-х гг. получила распространение электрошлаковая сварка, благодаря чему снизились затраты на изготовление крупногабаритных деталей из литых и кованных заготовок для оборудования тяжелого машиностроения.

С 1948 г. в промышленности начали применять ручную дуговую сварку неплавящимся электродом, а также механизированную и автоматическую сварку неплавящимся и плавящимся электродами в аргоне.

В 1950-х гг. был разработан процесс сварки сталей плавящимся электродом в углекислом газе, обеспечивающий высокое качество сварных соединений.

Газовая сварка, при осуществлении которой металл расплавляют теплотой горячей смеси газов, была разработана в конце XIX в. Наиболее широкое распространение получила газовая сварка с использованием ацетилена. В современных производственных процессах при выполнении заготовительных операций в цеховых условиях и монтаже широко применяется газотермическая резка.

Создание учеными в последние десятилетия XX в. новых источников энергии — концентрированных электронного и лазерного лучей — обусловило появление принципиально новых способов сварки плавлением (электронно-лучевой и лазерной сварки), используемых в промышленности.

Перспективными направлениями в сварочном производстве являются механизация и автоматизация сварочных процессов (переход от ручного труда сварщика к механизированному), а также комплексная механизация и автоматизация всех видов работ (заготовительных, сборочных и др.), связанных с изготовлением сварных конструкций, на базе поточных и автоматических производственных линий.

С развитием техники возникает необходимость сваривать детали толщиной от нескольких микрометров (в микроэлектронике) до десятков сантиметров и даже метров (в тяжелом машиностроении). Все чаще в сварных конструкциях применяют специальные стали, легкие сплавы и сплавы на основе тугоплавких металлов, а также неоднородные и композиционные материалы, в связи с чем

постоянно расширяется набор используемых видов сварки и составов сварочных материалов.

В условиях непрерывного усложнения конструкций и роста объема сварочных работ важную роль играет теоретическая и практическая подготовка квалифицированных рабочих-сварщиков.

В учебнике содержатся сведения о сварочных материалах, источниках питания дуги и оборудовании для ручной и механизированной сварки и резки с учетом перечня вопросов теоретического экзамена, проводимого при подготовке сварщиков.

СВАРОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

1.1. ЭЛЕКТРОДНЫЕ И ПРИСАДОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

1.1.1. Покрытые электроды для дуговой сварки и наплавки

Покрытый электрод — это плавящийся электрод для дуговой сварки, имеющий на поверхности покрытие, адгезионно связанное с его металлом. Электрод для ручной дуговой сварки (рис. 1.1) представляет собой стержень длиной L до 450 мм, изготовленный из сварочной проволоки, на поверхность которой нанесен слой покрытия 2. Конец 1 электрода на участке длиной $l = 20 \dots 30$ мм освобожден от покрытия в целях обеспечения электрического контакта при зажатии его в электрододержателе. Торец 3 другого конца электрода очищен от покрытия для обеспечения возможности возбуждения дуги.

Покрытие электрода представляет собой смесь веществ, предназначенную для усиления ионизации, защиты металла шва от

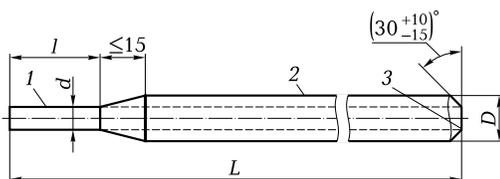


Рис. 1.1. Схема покрытого электрода:

1 — конец электрода, зажимаемый в электрододержателе; 2 — покрытие; 3 — торец; d , L — диаметр и длина стержня электрода; D — диаметр обмотки; l — длина участка электрода без покрытия

вредного воздействия воздуха и металлургической обработки металла сварочной ванны.

Основные компоненты электродных покрытий. В покрытие электрода вводят ионизирующие, газо- и шлакообразующие, легирующие, раскисляющие, связующие и формовочные материалы (компоненты).

Ионизирующие, или стабилизирующие, компоненты применяют для обеспечения устойчивого горения дуги. Они включают в себя элементы с низким потенциалом ионизации такие, как калий и кальций, которые содержатся в меле, полевоом шпате и граните, а также натрий.

Газообразующие компоненты служат для создания газовой защиты зоны дуги и сварочной ванны. К ним относятся органические вещества (крахмал, пищевая мука, декстрин и др.), а также неорганические — обычно карбонаты (мрамор CaCO_3 , магнезит MgCO_3 и др.). Газовая защита образуется в результате разложения органических веществ при температуре выше 200°C и карбонатов при температуре примерно 900°C . Эти процессы и выделение газов происходят на торце электрода. При обычном составе электродных покрытий на каждый грамм металла электродного стержня выделяется $90 \dots 120 \text{ см}^3$ газа, содержащего углекислый газ CO_2 , угарный газ CO , водород H_2 и кислород O_2 . При этом обеспечивается достаточно надежное оттеснение воздуха из зоны сварки и попадание очень небольшого количества азота в металл шва ($0,02 \dots 0,03 \%$).

Шлакообразующие компоненты вводят для образования жидких шлаков. В качестве шлакообразующих используют следующие руды и минералы: ильменит, рутил, полевой шпат, кремнезем, гранит, мрамор, плавиковый шпат и др. В состав шлакообразующих входят оксиды CaO , MgO , MnO , FeO , Al_2O_3 , SiO_2 , TiO_2 , Na_2O , плавиковый шпат CaF_2 и др. Жидкий шлак, покрывая расплавленный металл электродных капель и сварочной ванны, химически взаимодействует с ним, раскисляет металл шва и связывает оксиды в легкоплавкие соединения. В то же время происходит легирование металла шва элементами, содержащимися в шлаке.

Легирующие компоненты предназначены для повышения механических характеристик металла шва, придания ему жаро- и износостойкости, коррозионной стойкости и других свойств. Легирующими элементами служат хром, марганец, титан, ванадий, молибден, никель, вольфрам и др. Их вводят в покрытие в составе ферросплавов и в виде чистых металлов.

Раскисляющие компоненты служат для восстановления части расплавленного металла, находящегося в составе оксидов. К ним

относятся элементы, имеющие большее, чем железо (при сварке сталей) сродство с кислородом и другими элементами, оксиды которых требуется удалить из металла шва. Большинство раскислителей вводятся в электродное покрытие в виде ферросплавов.

Связующие компоненты применяют для связывания порошковых составляющих покрытия в однородную вязкую массу, которая должна крепко удерживаться на стержне электрода при опрессовке и образовывать прочное покрытие после сушки и прокалки. В качестве связующих чаще всего используют водные растворы натриевого ($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$) или калиевого ($\text{K}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$) жидкого стекла.

Формовочные компоненты (бентонит, каолин, декстрин, слюда и др.) — вещества, придающие обмазочной массе лучшие пластические свойства.

Некоторые материалы в покрытии выполняют несколько функций. Так, например, мрамор является одновременно стабилизирующим, шлако- и газообразующим компонентом, а ферросплавы — легирующими и раскисляющими компонентами.

Покрытие электродов оказывает существенное влияние на весь процесс сварки. Покрытие должно плавиться равномерно, без чрезмерного разбрызгивания, отделения кусков и образования козырька, препятствующего нормальному плавлению электрода. Состав покрытия обуславливает и такие важные технологические характеристики электродов, как род и полярность сварочного тока, возможность сварки в различных пространственных положениях или определенным способом (сварка опиранием, наклонным электродом и т.д.). Состав покрытия электродов и свойства образующихся шлаков влияют на силу тока, рекомендуемого для сварки.

Для получения высококачественных сварных швов покрытие электрода должно удерживаться на металлическом стержне и быть сплошным до полного использования электрода, чтобы обеспечить необходимую защиту зоны сварки. Поэтому температура нагрева металлического стержня, определяемая силой сварочного тока, ко времени окончания расплавления электрода не должна превышать 500°C , а при наличии покрытий, содержащих органические вещества, — 250°C .

При плавлении всех видов электродных покрытий плотность шлака должна быть ниже плотности жидкого металла, что позволяет шлаку всплывать на поверхность сварочной ванны. Температурный интервал затвердевания шлака должен быть ниже температуры кристаллизации металла сварочной ванны для обеспечения пропускания выделяющихся из нее газов. Наилучшими

свойствами при сварке обладают шлаки, температура плавления которых составляет 1 100...1 200 °С.

В соответствии с характером зависимости вязкости шлака от температуры различают «длинные» и «короткие» шлаки. «Длинные» шлаки, у которых переход от жидкого состояния к твердому происходит при значительном изменении температуры, при прочих равных условиях хуже обеспечивают формирование шва. Вязкость расплава «коротких» шлаков быстро возрастает с понижением температуры, и кристаллизовавшийся шлак препятствует стеканию металла шва, находящегося еще в жидком состоянии, при сварке в различных пространственных положениях. Получение «коротких» шлаков обеспечивают электроды с основным покрытием. Чем меньше вязкость шлака, тем больше его подвижность, физическая и химическая активность, поэтому химические реакции и физические процессы растворения оксидов и солей протекают в нем быстрее. Кислые шлаки обычно бывают очень вязкими и «длинными», причем вязкость возрастает с повышением кислотности.

Затвердевшие шлаки должны иметь небольшое сцепление с металлом, коэффициенты линейного теплового расширения шлака и металла должны быть разными для обеспечения более легкого отделения шлака от шва.

Изготовление покрытых электродов. Процесс изготовления включает в себя ряд операций по подготовке проволоки, компонентов покрытия, сухой смеси компонентов (шихты) и обмазочной массы, а также нанесение ее на стержень с последующей сушкой и прокалкой электродов для получения необходимой прочности покрытия.

Рассмотрим основные операции при изготовлении покрытых электродов. Сварочную проволоку, поставляемую в бухтах, подвергают правке на специальных станках и рубке на стержни определенной длины. При этом проверяют длину стержней, стрелу прогиба, волнистость и т.д. Стержни очищают и закладывают в контейнеры для подачи к электрообмазочным прессам.

Компоненты покрытия после сушки при определенной для каждого из них температуре (с учетом того, что, например, CaCO_3 при температуре 650 °С начинает диссоциировать) проходят контроль влажности и поступают на грубое и среднее дробление, после чего тонко измельчаются в шаровых мельницах.

Измельченные ферросплавы подвергают пассивированию, т.е. выдержке во влажной атмосфере или замачиванию водой (подкисленным перманганатом калия KMnO_4 или хромпиком $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$),

при котором на их поверхности образуется оксидная пленка, предотвращающая возможное преждевременное взаимодействие ферросплавов с жидким стеклом при изготовлении обмазочной массы.

Из подготовленных компонентов покрытия приготавливают сухую шихту согласно рецептуре и тщательно перемешивают ее, контролируя равномерность перемешивания и влажность.

Жидкое стекло, используемое как связующее вещество в электродном производстве, получают из так называемой силикатной глыбы (т.е. силиката натрия $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$ или калия, не содержащего воды), разваривая ее в автоклаве с подачей воды или пара.

Из подготовленной сухой смеси материалов путем смешения ее с жидким стеклом до определенной консистенции приготавливают обмазочную массу.

Покрытие наносят на электроды опрессовкой на специальных прессах. Электродные стержни специальным механизмом проталкиваются через фильеру обмазочной головки, в которую при давлении 70...90 МПа выжимается обмазочная масса. Электрод, полностью покрытый обмазочной массой, выталкивается из обмазочной головки и попадает на транспортер зачистной машины, оборудованной устройством для зачистки торца электрода и снятия с другого его конца покрытия на участке длиной 20...30 мм.

С конвейера электроды укладываются на специальные рамки и затем сушатся на воздухе в течение 18...24 ч или в сушилке при температуре до 100 °С в течение 3 ч, после чего их подают на прокалку, режим которой зависит от состава покрытия (наличие органических соединений, ферросплавов и т.д.). В результате сушки и прокалки содержание влаги в покрытии снижается с 3,0...3,5 до 0,1...0,3 %, и покрытие приобретает довольно высокую прочность.

После прокалки электроды подвергают контролю и упаковывают в пачки массой 3...8 кг. На пачку наклеивают паспорт электрода, где указывают наименование или товарный знак предприятия-изготовителя, условное обозначение электродов, номер партии, дату изготовления, область применения, особые условия выполнения сварки или наплавки, допустимое содержание влаги, режим повторного прокаливания, рекомендуемый режим сварки и массу электродов в пачке или коробке.

Виды электродных покрытий. В ГОСТ 9466—75* «Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки сталей и наплавки. Классификация и общие технические требования» регламентированы размеры электродов, толщина и виды покрытий,

условные обозначения, общие технические требования, правила приемки и методы испытаний.

Различают следующие виды покрытий для электродов: А — кислое; Б — основное; Ц — целлюлозное; Р — рутиловое; П — прочие виды. Покрытие смешанного вида имеет соответствующее двойное обозначение. Если в покрытии содержится более 20 % железного порошка, то к обозначению вида покрытия добавляют букву Ж.

У электродов с *кислым покрытием* (А) шлакообразующую основу составляют железные (гематит Fe_2O_3) и марганцевые (MnO_2) руды, а также кремнезем SiO_2 . Газовая защита расплавленного металла осуществляется органическими компонентами, сгорающими в процессе плавления электрода с выделением CO_2 , CO и H_2 . В качестве раскислителя в покрытие вводят ферромарганец. Образующиеся кислые шлаки не содержат CaO и не очищают металл от серы и фосфора. В состав наплавленного металла входит много растворенного кислорода (до 0,12 %), водорода (до 15 см^3 в 100 г металла) и неметаллических включений, в результате чего швы обладают невысокой стойкостью к образованию горячих трещин и пониженной ударной вязкостью (КС).

Данные электроды непригодны для сварки сталей, легированных кремнием и другими элементами, так как они интенсивно окисляются и возможно образование пор. При сварке выделяется токсичная пыль, содержащая оксиды марганца и кремния, и наблюдается повышенное разбрызгивание металла.

Достоинствами таких электродов являются стабильное горение дуги на постоянном и переменном токе, а также при ее случайном удлинении; возможность сварки в различных пространственных положениях; отсутствие пор при наличии на свариваемых поверхностях окалина или ржавчины; довольно большая скорость плавления; высокая проплавливающая способность.

Электроды с *основным покрытием* (Б) имеют шлакообразующую основу, состоящую из карбонатов (мрамор, мел, магнезит) и фторидов кальция, например плавикового шпата CaF_2 . Газовая защита расплавленного металла обеспечивается углекислым газом и оксидом углерода, образующимися при диссоциации карбоната кальция в процессе нагрева и плавления покрытия. В качестве раскислителей покрытие электрода может содержать ферромарганец, ферросилиций, ферротитан и ферроалюминий. Легирование осуществляется марганцем и кремнием при переходе их из ферромарганца и ферросилиция в сварочную ванну, что придает со-

единению высокую прочность. Кроме того, для легирования в покрытие могут вводиться металлические порошки.

Наличие в покрытии большого количества соединений кальция, хорошо связывающих серу и фосфор с выделением их в шлак, обеспечивает высокую чистоту наплавленного металла.

При высоких температурах плавиковый шпат разлагается с выделением атомарного фтора, который связывает водород в устойчивую, не растворимую в металле молекулу HF. В результате наплавленный металл содержит незначительное количество водорода (4... 10 см³ в 100 г наплавленного металла).

Применение в покрытии активных раскислителей (титан, алюминий и кремний) обеспечивает низкое содержание кислорода в металле шва (менее 0,05 %). Поэтому наплавленный металл мало склонен к старению, стоек к образованию кристаллизационных трещин и имеет улучшенные пластические свойства при низких температурах.

Сварочно-технологические свойства электродов с основным покрытием хуже, чем у электродов с покрытиями других видов. Образование большого числа отрицательных ионов фтора при плавлении покрытия приводит к уменьшению проводимости дугового разряда и снижению устойчивости горения дуги. Кроме того, для стабильного плавления электродного покрытия требуется более высокая температура. Поэтому сварку электродами с основным покрытием осуществляют на постоянном токе обратной полярности. Для сварки на переменном токе необходимы электроды, у которых в покрытии содержится дополнительное количество ионизирующих элементов (например, калия) или электроды со специальным двухслойным покрытием.

Наличие влаги, масла, окалина или ржавчины на свариваемых кромках и влаги в покрытии, а также увеличение длины дуги приводят к образованию пор в металле шва. Перед сваркой необходимо прокалить электроды при температуре 350... 400 °С в течение 1 ч.

Для получения высококачественных швов следует строго соблюдать требования по подготовке свариваемых деталей и выдерживать технологический режим процесса сварки.

Электроды с основным покрытием, иногда называемым фтористо-кальциевым, предназначены для сварки ответственных конструкций из углеродистых, низколегированных и легированных сталей.

Электроды с *целлюлозным покрытием* (Ц), содержащие много (до 50 %) органических составляющих (целлюлоза, травяная мука

и т.п.) для образования большого количества газов, предназначены для сварки ответственных конструкций из низколегированных сталей в любых пространственных положениях. В качестве шлакообразующих применяют рутил, карбонаты, алюмосиликаты и другие вещества. Иногда добавляют асбест $\text{CaO} \cdot 3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2$. Для раскисления наплавленного металла вводят ферромарганец.

При сварке на торце электрода с целлюлозным покрытием образуется конусная втулка из нерасплавившегося покрытия, что способствует появлению направленного потока газов, который обеспечивает отгеснение жидкого металла из-под дуги и более глубокое проплавление основного металла.

Такие электроды используют для сварки с высокой скоростью (достигающей 25 м/ч) корневого слоя шва неповоротных стыков трубопроводов методом опирания сверху вниз, что обеспечивает получение хорошей обратной стороны шва, а значит, отсутствует необходимость подварки шва изнутри.

У электродов с *рутиловым покрытием* (Р) шлакообразующую основу составляют рутиловый концентрат, содержащий до 45 % рутила TiO_2 ; алюмосиликаты — слюда $\text{K}_2\text{O} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, полевой шпат $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$, каолин $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и др.; карбонаты — мрамор CaCO_3 и магнезит MgCO_3 . Газовая защита расплавленного металла обеспечивается введением органических соединений (до 5 %) и разложением карбонатов. Наплавленный металл раскисляется и легируется ферромарганцем (10... 15 %).

Поскольку окислительная способность рутилового покрытия меньше, чем кислого, количество марганца в нем ниже и его гигиенические характеристики гораздо лучше. Содержание оксидов марганца в аэрозоле при сварке в 3—5 раз меньше, чем у кислого покрытия. По качеству наплавленного металла такие электроды занимают промежуточное положение между электродами с кислым и основным покрытиями.

Электроды с рутиловым покрытием обладают хорошими сварочно-технологическими свойствами: обеспечивают формирование качественного шва с плавным переходом к основному металлу, малое разбрызгивание расплавленного металла, легкую отделимость шлака, стабильное горение дуги на постоянном и переменном токе, а также сварку в любых пространственных положениях.

Металл шва в этом случае мало склонен к образованию пор при колебаниях длины дуги, при сварке по окисленной и загрязненной поверхности. Наплавленный металл соответствует по химическому составу полуспокойной или спокойной стали.

Для повышения коэффициента наплавки в рутиловые покрытия часто вводят порошок железа. При содержании железа в покрытии, не превышающем 35 % его массы, электроды можно использовать для сварки в различных пространственных положениях. Электроды с покрытием, содержащим 50...65 % железного порошка, предназначены для высокопроизводительной сварки при нижнем положении швов большой протяженности на изделиях толщиной 10...20 мм. Электроды с рутиловым покрытием применяют для сварки металлоконструкций и трубопроводов из углеродистых и низколегированных сталей с временным сопротивлением разрушению $\sigma_b < 490$ МПа.

К электродным покрытиям смешанного вида относят кислородо-целлюлозные (АЦ), рутилово-основные (РБ) — рутилово-карбонатные или карбонатно-рутиловые, кислородо-рутиловые (АР), рутилово-целлюлозные (РЦ) и другие покрытия.

Электроды с кислородо-целлюлозным покрытием (ОМА-2) предназначены для сварки на постоянном и переменном токе тонколистовых конструкций (толщиной 1...3 мм) из углеродистых и низколегированных сталей.

Электроды с кислородо-рутиловым ильменитовым покрытием (содержащим ильменит $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$) служат для сварки конструкций из углеродистых сталей в любых пространственных положениях на постоянном и переменном токе.

Электроды с рутилово-основным покрытием применяют для сварки оборудования из углеродистых и низколегированных сталей с $\sigma_b < 490$ МПа, когда предъявляются повышенные требования к пластичности и ударной вязкости металла сварных швов.

Кроме рассмотренных имеются специальные электродные покрытия — гидрофобные, а также покрытия для сварки и наплавки цветных металлов и их сплавов.

Гидрофобные покрытия предназначены для выполнения сварочных работ в особо влажных условиях: при повышенной влажности атмосферы, под водой и т. д. В них добавляют до 10 % специальных гидрофобных полимеров, которые в процессе полимеризации заполняют поры между частицами покрытия и перекрывают пути для проникновения влаги в его внутренние слои.

Для сварки лежачим и наклонным электродами применяют специальные удлиненные (до 2 м) электроды диаметром до 8 мм с покрытием большей толщины.

Согласно ГОСТ 9466—75* по толщине покрытия в зависимости от отношения диаметров обмазки и стержня D/d (см. рис. 1.1) различают электроды с тонким покрытием ($D/d \leq 1,20$), име-

ющие обозначение М, со средним ($1,20 < D/d \leq 1,45$) — С, с толстым ($1,45 < D/d \leq 1,80$) — Д и с особо толстым ($D/d > 1,80$) — Г.

Классификация и условные обозначения электродов для сварки сталей. Покрытые электроды для ручной дуговой сварки классифицируют не только по виду и толщине покрытия, но и по виду металла, для сварки которого они предназначены, механическим свойствам металла шва и другим признакам.

Согласно ГОСТ 9466—75* в зависимости от назначения электроды подразделяются на следующие классы: для сварки углеродистых и низколегированных конструкционных сталей с $\sigma_b < 600$ МПа — У; для сварки легированных конструкционных сталей с $\sigma_b > 600$ МПа — Л; для сварки теплоустойчивых сталей — Т; для сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами — В; для наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами — Н.

ГОСТ 9467—75* «Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки конструкционных и теплоустойчивых сталей. Типы» устанавливает 14 типов электродов для сварки конструкционных сталей (табл. 1.1). В наименованиях типов этих электродов содержится буква Э, после которой приведено значение временного сопротивления, кгс/мм² (например, Э38, Э42, Э50, Э150). У электродов некоторых типов после цифр имеется буква А, что указывает на более высокие характеристики пластичности наплавленного металла. У таких электродов регламентированы механические характеристики, а также содержание серы и фосфора в наплавленном металле.

В зависимости от *требований к качеству электродов* — точности изготовления, состоянию поверхности покрытия, сплошности полученного данными электродами металла шва, содержанию серы и фосфора в наплавленном металле — электроды подразделяют на группы 1—3 (см. табл. 1.1).

По *допустимым пространственным положениям* сварки или наплавки электроды подразделяют на четыре вида, обозначаемых: для всех положений — индексом 1; для всех положений, кроме вертикального сверху вниз, — индексом 2; для нижнего, горизонтального на вертикальной плоскости и вертикального снизу вверх — индексом 3; для нижнего и нижнего «в лодочку» — индексом 4.

По *полярности постоянного тока*, применяемого при сварке или наплавке и *номинальному напряжению холостого хода* используемого источника питания сварочной дуги переменного тока частотой 50 Гц электроды подразделяют на виды, представленные в табл. 1.2.

Таблица 1.1. Характеристики металла шва, наплавленного электродами для сварки конструкционных сталей (по ГОСТ 9467—75*)

Типы электродов	Механические свойства при нормальной температуре				Предельное содержание в наплавленном металле, %						
	металла шва или наплавленного металла		сварного соединения, выполненного электродами диаметром менее 3 мм		серы			фосфора			
	$\sigma_{вт}$, МПа	δ_5 , %	КС, Дж/см ²	$\sigma_{вт}$, МПа	Угол изгиба, ...°			для групп электродов по ГОСТ 9466—75*			
	не менее				1	2	3	1	2	3	
Э38	380	14	30	380	60	0,045	0,040	0,035	0,050	0,045	0,040
Э42	420	18	80	420	150	0,045	0,040	0,035	0,050	0,045	0,040
Э46	460	18	80	460	150						
Э50	500	16	70	500	120						
Э42А	420	22	150	420	180						
Э46А	460	22	140	460	180	0,035	0,030	0,025	0,040	0,035	0,030
Э50А	500	20	130	500	150						

Таблица 1.2. Обозначения видов электродов в зависимости от полярности постоянного сварочного тока и напряжения холостого хода источника переменного тока

Рекомендуемая полярность постоянного тока	Напряжение холостого хода источника переменного тока, В		Обозначение электродов	Рекомендуемая полярность постоянного тока	Напряжение холостого хода источника переменного тока, В		Обозначение электродов	
	Номинальное	Пределы отклонений			Номинальное	Пределы отклонений		
Обратная	—	—	0	Любая	70	± 10	4	
				Прямая				5
				Обратная				
Любая	50	± 5	1	90	± 5	7		
Прямая			2			8		
Обратная			3			9		