

С. В. Михайлицын
И. Н. Зверева
М. А. Шекшеев

СВАРОЧНЫЕ И НАПЛАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ



УДК 621.791
ББК 34.641
М69

Михайлицын, С. В.

М69 Сварочные и наплавочные материалы : учебник / С. В. Михайлицын, И. Н. Зверева, М. А. Шекшеев. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2020. – 228 с. : ил., табл.
ISBN 978-5-9729-0402-0

Даны сведения о современных сварочных и наплавочных материалах, материалах для пайки и напыления: электродах, проволоках сплошного сечения и порошковых, лентах, прутках, стержнях, неплавящихся электродах, порошках, флюсах и защитных газах. Описаны требования к компонентам покрытий электродов, методы подбора и расчёта их состава, технология производства штучных электродов и порошковых проволок. Показан путь выбора материалов для создания качественных изделий с помощью сварки, наплавки, пайки и напыления.

Для обучающихся в магистратуре и бакалавриате по направлению «Машиностроение» по профилю «Оборудование и технология сварочного производства», а также молодых специалистов, изобретателей и ученых.

УДК 621.791
ББК 34.641

ISBN 978-5-9729-0402-0

© С. В. Михайлицын, И. Н. Зверева, М. А. Шекшеев, 2020
© Издательство «Инфра-Инженерия», 2020
© Оформление. Издательство «Инфра-Инженерия», 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	6
Глава 1. Введение. История развития теории и практики производства сварочных материалов. Классификация электродов в соответствии с ГОСТами.....	7
§ 1.1. Введение.....	7
§ 1.2. История развития теории и практики производства сварочных материалов	8
§ 1.3. Классификация электродов в соответствии с ГОСТами	13
Глава 2. Виды покрытия, обозначения, характеристики, состав и назначение. Компоненты покрытий электродов.....	18
§ 2.1. Вид покрытия, обозначения, характеристики, состав и назначение	18
2.1.1. Электроды с кислым покрытием	18
2.1.2. Электроды с рутиловым покрытием.....	20
2.1.3. Электроды с целлюлозным покрытием.....	21
2.1.4. Электроды с основным покрытием	23
§ 2.2. Компоненты электродных покрытий	24
Глава 3. Методика подбора и расчёта компонентов покрытий. Порядок расчёта состава покрытий	28
§ 3.1. Методика подбора и расчёта компонентов покрытий.....	28
§ 3.2. Порядок расчёта состава покрытий	31
3.2.1. <i>Формирование состава шлаков при плавлении электрода</i>	31
Глава 4. Группы электродов – их марки, характеристики, механические свойства, области применения, технологические особенности сварки (наплавки), условные обозначения и соответствие электродов зарубежным стандартам.....	38
§ 4.1. Электроды для сварки углеродистых и низколегированных конструкционных сталей	38
4.1.1. Электроды с различными видами покрытия	39
4.1.2. Электроды различных типов	49
4.1.3. Обозначение электродов согласно стандартам.....	56
§ 4.2. Электроды для сварки легированных конструкционных сталей повышенной и высокой прочности	60
§ 4.3. Электроды для сварки теплоустойчивых сталей	64
§ 4.4. Электроды для сварки высоколегированных коррозионностойких сталей и сплавов	68
§ 4.5. Электроды для сварки высоколегированных жаростойких и жаропрочных сталей и сплавов	81
4.5.1. Электроды для сварки никелевых сплавов	87
§ 4.6. Электроды для сварки специализированных сталей	90
§ 4.7. Электроды для сварки разнородных сталей и сплавов	91

§ 4.8. Электроды для наплавки.....	98
4.8.1. Классификация электродов для наплавки	106
§ 4.9. Электроды для сварки и наплавки чугуна	107
§ 4.10. Электроды для сварки цветных металлов	113
4.10.1. Электроды для сварки алюминия и его сплавов.....	116
4.10.2. Электроды для сварки меди и её сплавов.....	116
4.10.3. Электроды для сварки никеля и его сплавов	119
§ 4.11. Электроды для резки металлов.....	120

Глава 5. Оборудование и технология изготовления покрытых электродов. Цеха для изготовления покрытых сварочных (наплавочных) электродов. Испытания (аттестация) электродов (на примере электродов общего назначения).....	122
§ 5.1. Цеха для изготовления покрытых сварочных (наплавочных) электродов	122
5.1.1. Поставка и складирование сырьевых материалов	123
5.1.2. Входной контроль и порядок запуска материалов в производство.....	123
5.1.3. Подготовка компонентов покрытия	124
5.1.4. Волочение катанки.....	129
5.1.5. Рубка стержней.....	131
5.1.6. Приготовление жидкого стекла из силикатной глыбы	132
5.1.7. Составление сухой шихты	134
5.1.8. Приготовление замесов обмазочной массы.....	136
5.1.9. Опрессовка электродов.....	138
5.1.10. Сушка и прокалка электродов.....	144
5.1.11. Упаковка, маркировка, транспортирование электродов	148
§ 5.2. Испытания (аттестация) электродов	151

Глава 6. Сварочные и наплавочные проволоки, прутки, стержни, порошковые проволоки и ленты. Их классификация, обозначение, назначение и характеристика. Порошки для наплавки, неплавящиеся электроды. Оборудование и технология производства порошковых проволок и лент	163
§ 6.1. Сварочные и наплавочные проволоки, прутки, стержни, порошковые проволоки и ленты. Их классификация, обозначение, назначение и характеристика	163
6.1.1. Сварочная сплошная проволока	163
6.1.2. Проволока для наплавки.....	165
6.1.3. Сварочная проволока из алюминия и его сплавов	168
6.1.4. Сварочная проволока из меди и её сплавов	168
6.1.5. Прутки для наплавки.....	169
6.1.6. Сварочная порошковая проволока	170
6.1.7. Порошковая лента	178
§ 6.2. Порошки для наплавки, неплавящиеся электроды	180
6.2.1. Порошки для наплавки и напыления.....	180
6.2.2. Неплавящиеся электроды	181

§ 6.3. Оборудование и технология производства порошковых проволок и лент	183
---	-----

Глава 7. Порошки для напыления. Марки, состав, свойства, назначение и технологические особенности.....	186
--	-----

§ 7.1. Порошки для напыления. Марки, состав, свойства, назначение и технологические особенности	186
--	-----

7.1.1. Металлы и сплавы для напыления	191
---	-----

7.1.2. Композиционные материалы для напыления.....	191
--	-----

7.1.3. Самофлюсующиеся сплавы.....	193
------------------------------------	-----

7.1.4. Керамика.....	194
----------------------	-----

Глава 8. Флюсы сварочные. Керамические и плавные.	
--	--

Назначение, состав, марки, характеристика. Флюсы для электрошлаковой сварки. Флюсы для пайки	197
---	-----

§ 8.1. Флюсы сварочные. Керамические и плавные. Назначение, состав, марки, характеристика.....	197
---	-----

8.1.1. Классификация флюсов по способу изготовления.....	197
--	-----

8.1.2. Классификация флюсов по химическому составу	197
--	-----

8.1.3. Классификация флюсов по основности.....	198
--	-----

8.1.4. Классификация флюсов по химической активности	199
--	-----

8.1.5. Классификация флюсов по назначению	200
---	-----

8.1.6. Классификация флюсов по внешним характеристикам зёрен.....	200
--	-----

8.1.7. Керамические флюсы	201
---------------------------------	-----

8.1.8. Плавные флюсы.....	202
---------------------------	-----

8.1.9. Флюсы для сварки цветных металлов.....	205
---	-----

§ 8.2. Флюсы для электрошлаковой сварки.....	205
--	-----

§ 8.3. Флюсы для пайки.....	210
-----------------------------	-----

Глава 9. Защитные газы. Инертные и активные. Марки, назначение, характеристики	213
--	-----

§ 9.1. Инертные и активные газы. Марки, назначение, характеристики	213
---	-----

9.1.1. Аргон.....	213
-------------------	-----

9.1.2. Гелий.....	215
-------------------	-----

9.1.3. Углекислый газ.....	216
----------------------------	-----

9.1.4. Кислород.....	217
----------------------	-----

9.1.5. Азот.....	218
------------------	-----

9.1.6. Водород	220
----------------------	-----

9.1.7. Смесь газов.....	221
-------------------------	-----

Заключение	223
-------------------------	-----

Вопросы для самоконтроля	224
---------------------------------------	-----

Библиографический список.....	225
--------------------------------------	-----

ГЛАВА 1. ВВЕДЕНИЕ. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ ПРОИЗВОДСТВА СВАРОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ. КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРОДОВ В СООТВЕТСТВИИ С ГОСТАМИ ¹

§ 1.1. Введение

Сваркой называют технологический процесс, в результате которого достигается неразъёмное (сварное) соединение деталей из металлов и их сплавов и других материалов, например пластмасс и стекла, или разнородных материалов, например стекла и металла.

Способностью свариваться обладают все металлы. Соединение при сварке осуществляется за счёт межатомного взаимодействия путём сцепления атомов. Все существующие сварочные процессы разделяются на 2 группы: сварка плавлением и сварка давлением за счёт пластической деформации.

При сварке плавлением соединение деталей осуществляется за счёт свариваемых элементов – основного металла по кромкам и дополнительного (присадочного). Образуется сварочная ванна, в которой происходит перемешивание расплавленного металла.

Кроме собственно сварки, широкое применение находит наплавка – процесс нанесения расплавленного дополнительного (присадочного) металла на доведённую до плавления поверхность детали – основного металла.

Для расплавления металла используются разные источники нагрева, имеющие температуру не ниже 2000 °С. В зависимости от характера источника теплоты для нагрева и расплавления металла различают электрическую, химическую, литейную сварки плавлением.

При электрической сварке плавлением источником теплоты служит электрический ток. Электрическая сварка плавлением подразделяется на дуговую сварку, при которой нагрев и плавление металла осуществляются за счёт энергии, выделяемой дуговым разрядом; электрошлаковую сварку, при которой нагрев и плавление металла осуществляются за счёт теплоты, выделяемой током, проходящим через расплавленный флюс (шлаковую ванну); электронно-лучевую сварку, при которой энергия, расходуемая на нагрев и плавление металла,

¹ ГОСТ 9466-75, ГОСТ 9467-75, ГОСТ 10051-75, ГОСТ 10052-75.

получается за счёт интенсивной бомбардировки основного металла в месте соединения быстродвижущимися в вакууме электронами.

Присадочный металл и другие вещества, используемые при сварке плавлением с целью получения непрерывного, неразъёмного соединения, удовлетворяющего определённым требованиям, принято называть *сварочными материалами*.

К *сварочным материалам* относят: сварочную проволоку, присадочные прутки, порошковую проволоку, плавящиеся покрытые электроды, неплавящиеся электроды (угольные, графитовые, вольфрамовые); различные флюсы; защитные активные (CO_2) и инертные (аргон, гелий и пр.) газы.

Указанные материалы должны обеспечивать требуемые геометрические размеры и свойства сварного шва; хорошие технологические условия ведения процесса сварки; высокую производительность и экономичность процесса; необходимые санитарно-гигиенические условия труда при их производстве и сварке.

При электрической дуговой сварке электрический ток от источника питания поступает в зону сварки при помощи сварочных материалов: электродов для ручной дуговой сварки и наплавки, сварочных и наплавочных порошковых проволок, проволок сплошного сечения.

§ 1.2. История развития теории и практики производства сварочных материалов

Первым видом электрической сварки плавлением по времени возникновения является дуговая сварка металлов, созданная в 1882 г. русским изобретателем Николаем Николаевичем Бенардосом (1842–1905 гг.). В своём изобретении он использовал идею профессора Василия Владимировича Петрова (1761–1834 гг.), который ещё в 1802 г. открыл явление электрической дуги и указал на возможность её применения для плавления металлов. Основное внимание Н. Н. Бенардос сосредоточил на разработке способа сварки неплавящимся (угольным) электродом, применив его главным образом для наплавочных и ремонтных работ.

В конце XIX века русский инженер Николай Гаврилович Славянов (1854–1897 гг.) довёл до промышленного применения сварку плавящимся стальным электродом, разработал принципы защиты зоны сварки от вредного влияния азота и кислорода воздуха.

Серьёзным стимулом дальнейшего развития дуговой сварки плавящимся электродом явилась разработка шведским инженером О. Кельбергом в 1907 г. способа стабилизации дугового разряда и защиты зоны сварки от окружающего воздуха за счёт специальных

веществ, наносимых на поверхность электродного стержня в виде покрытия. Это обеспечило резкое повышение качества сварных соединений. В 1917 г. американские инженеры О. Андрус и Д. Стрес изобрели электрод, стержень которого обёрнут полоской бумаги, приклеенной жидким натриевым стеклом (канторским клеем). При сгорании бумаги образовывались газ и дым, которые улучшали защиту зоны сварки. Присутствие в дуговом разряде ионов натрия повышало стабильность горения дуги. Это и другие технические усовершенствования привели к появлению в 1928 г. на мировом рынке толстопокрытых электродов. С тех пор ручная дуговая сварка покрытыми электродами является ведущим способом сварки плавлением.

Развитие дуговой сварки определяет организация производства сварочных электродов. В самые первые годы Советской власти в нашей стране использовали голые стальные электроды для сварки только малоответственных конструкций из углеродистых сталей. Централизованное производство электродов отсутствовало, потребители их изготавливали сами: мягкую стальную проволоку диаметром 2...6 мм разрезали на прутки (обычно 400 мм) и правили.

В 20-е годы XX столетия получили распространение электроды с тонким (ионизирующим) покрытием для ремонтных работ и изготовления простых изделий. Для ионизирующей обмазки применяли тонкоизмельчённый мел, который размешивали в воде, содержащей 25...30 % жидкого стекла, и получали пасту. Пруток проволоки обмакивали в такую пасту, покрывая его тонким слоем обмазки. Отношение массы покрытия к общей массе электрода не превышало 2 %. После просушки обмазка обладала достаточной прочностью. Стабильность горения дуги при сварке такими электродами была удовлетворительной, но малое количество покрытия не влияло на изменение физико-химических свойств металла шва, как и при сварке голой проволокой. Централизованно тонкие электроды изготавливали лишь несколько предприятий.

Расширение объёма применения дуговой сварки и возможность её использования для производства ответственных конструкций стали реальностью только с разработкой и организацией выпуска толстопокрытых электродов. В 1936–1937 гг. в составе Сварочного комбината был создан первый отечественный электродный завод.

В 30-е годы XX века усилиями отечественных исследователей были разработаны толстопокрытые электроды: в 1932 г. электроды марки ЛИМ Ленинградским институтом металлов, в 1934 г. электроды марки ВЭТ-26 Опытным заводом Всесоюзного электротехнического треста. В последующие довоенные годы разработаны электроды марок ОММ-1, ОММ-2, ОММ-3, ОММ-5, УОНИ-13.

Но рост выпуска электродов тормозила применяемая в те годы технология их изготовления методом ручного окунания (погружения).

При изготовлении электродов таким методом металлический стержень опускают в полужидкую обмазку и равномерно, медленно, в строго вертикальном положении вытягивают наружу со скоростью, обеспечивающей равномерное покрытие по длине электрода.

При индивидуальном способе изготовления обычно обмазывали одновременно 2 электрода. В зависимости от толщины покрытия, густоты и свойств обмазочных масс, покрытие наносили в один или два слоя. В последнем случае после первого погружения электроды подвергали промежуточной сушке.

При групповом способе изготовления применяли простейшие приспособления: стержни раскатывали на рифлёной доске, их концы закрепляли зажимами, затем стержни погружали в обмазочную массу.

После нанесения обмазки, электроды устанавливали в специальные стеллажи на 8...16 ч. для просушки, а затем прокаливали в течение 45...90 мин. в электрических печах.

Новые технические возможности открыл механизированный способ нанесения покрытия опрессовкой под давлением на специальных прессах. Первой отечественной машиной, изготовленной для электродной промышленности, явился горизонтальный пресс, разработанный сварочным комбинатом треста «Оргметалл».

В послевоенные годы в системе Министерства путей сообщения был создан Опытно-сварочный завод, специализированный на разработке и выпуске электродов для сварки легированных и высоколегированных сталей чугуна, цветных металлов, для наплавочных работ.

Различными организациями в нашей стране и за рубежом было разработано много марок электродов разнообразного назначения: ЦНИИТМАШ, НИИ судостроительной промышленности, Институт электросварки им. Е. О. Патона, кафедры сварки МАТИ, ЛПИ (и др. в СССР), фирмы «ЭСАБ» (Швеция), «Эрликон» (Швейцария), «АРКОС» (Бельгия) и др.

Централизованное производство сварочных электродов в нашей стране было начато в 1956 г. по специальному постановлению Совета Министров СССР. Потребовался пересмотр номенклатуры существующих электродов, создание новых более совершенных в металлургическом и гигиеническом аспекте марок, технологичных в условиях поточного производства с высокой степенью механизации. Разработанные в 60-е годы прошлого столетия рутиловые электроды марок ОЗС-4, АНО-4, МР-3 и в настоящее время являются базисными марками электродов общего назначения. Тогда же было создано специализированное оборудование

для производства электродов, ГИПРОМЕТИЗом (г. Ленинград) спроектированы и сооружены цеха большой мощности: 10, 25, и 60 тыс. т электродов в год. Была разработана технология производства электродов методом опрессовки в непрерывном потоке.

Технология изготовления электродов методом опрессовки следующая:

- компоненты покрытий электродов измельчают до грануляции менее 400 мкм, смешивают шихту всухую, а затем с определённым количеством жидкого стекла, получая обмазочную массу;
- обмазочную массу, при необходимости, брикетируют в цилиндры и задают в обмазочный цилиндр пресса;
- сварочную проволоку диаметром 2...6 мм правят и рубят на стержни длиной 250...450 мм;
- готовые стержни задают в пресс последовательно при помощи подающего механизма;
- в обмазочной головке под давлением 800...900 атм встречаются обмазочная масса и металлические стержни, электроды со скоростью 500...800 шт/мин выходят через калибрующую втулку, размер которой равен диаметру покрытия, и попадают на поперечный транспортёр;
- на зачистной машине происходит очистка одного конца электрода под держатель (порядка 25 мм) с целью обеспечения электрического контакта и другого контактного торца для возможности возбуждения дуги посредством касания электродом изделия в начале процесса сварки;
- затем электроды проходят термообработку при температуре до 400 °С в зависимости от типа покрытия.

В конце тридцатых годов широкое развитие в нашей стране получила автоматическая дуговая сварка, когда советским учёным Евгением Оскаровичем Патеном (1870–1953 гг.) и руководимым им коллективом Института электросварки АН УССР была фундаментально разработана автоматическая сварка под флюсом. Это потребовало разработки и организации производства различных флюсов, как плавящихся, так и керамических.

Технология изготовления керамических флюсов сходна с технологией изготовления покрытий электродов. Сухие компоненты шихты замешивают на жидком стекле; полученную массу измельчают путём продавливания её через сетку на специальном устройстве типа мясорубки; сушат и прокаливают при тех же режимах, что электроды, а затем просеивают для получения зёрен определённого размера.

Плавленные флюсы представляют собой сплавы окислов и солей металлов. Процесс изготовления следующий: расчёт и подготовка шихты, выплавка флюса, грануляция, сушка после мокрой грануляции, просеивание. Плавление происходит в дуговых или пламенных печах. Из печи жидкий флюс выпускают при температуре около 1400 °С.

При сухом способе грануляции флюс выливают в металлические формы, после остывания отливку дробят в валках до крупности 0,1...3 мм, затем просеивают. При мокром способе грануляции, выпускаемый из печи тонкой струёй жидкий флюс направляют в бак с проточной водой. Высушенную при температуре 250...350 °С массу дробят и просеивают до нужного размера.

В конце 40-х годов XX века получил промышленное применение способ сварки в защитных газах, когда были изысканы пригодные для массового применения газы (гелий и аргон в США, углекислый газ – в СССР).

Это привело к бурному развитию производства сварочной проволоки, в том числе углеродистой, высоколегированной и легированной, как правило, волочением катанки после горячей прокатки.

В начале 50-х годов прошлого века была разработана порошковая проволока, представляющая собой трубчатую или сложного сечения проволоку, заполненную порошкообразным наполнителем, по составу близким покрытию сварочного электрода, с отношением его массы к массе металлической оболочки в пределах 15...40 %. Порошковая проволока позволяет создавать газовую и шлаковую защиту металла сварочной ванны от воздуха, обеспечивать легирование металла шва и его очистку от вредных примесей. Порошковая проволока – универсальный сварочный материал, пригодный для сварки сталей практически любого легирования, для наплавки слоёв с особыми свойствами. В некоторых случаях порошковые проволоки применяют с дополнительной защитой (флюсом или углекислым газом).

При изготовлении порошковой проволоки в специальное формирующее устройство подаётся мягкая лента, где она деформируется в виде раскрытого сверху жёлоба, в который из расположенного бункера с помощью питателя сыпается предварительно смешанная порошкообразная шихта. Последующее формирующее устройство, загибая верхние края жёлоба вокруг порошкообразной сердцевинки, создают проволоку большой протяжённости. Затем при помощи фильер проволока деформируется до нужного диаметра.

В последние годы порошковую проволоку изготавливают из пластичной трубки, которую предварительно заполняют порошковым наполнителем, а затем путём волочения через несколько фильер уменьшают до диаметра примерно 1 мм.

§ 1.3. Классификация электродов в соответствии с ГОСТами

В отечественной сварочной технике принята система классификации электродов, облегчающая их выбор. Эта классификация установлена государственными стандартами на электроды:

- 1) *ГОСТ 9466-75* «Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки сталей и наплавки. Классификация, размеры и общие технические требования»;
- 2) *ГОСТ 9467-75* «Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки конструкционных и теплоустойчивых сталей. Типы»;
- 3) *ГОСТ 10052-75* «Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами. Типы»;
- 4) *ГОСТ 10051-75* «Электроды покрытые металлические для ручной дуговой наплавки поверхностных слоёв с особыми свойствами. Типы».

Электроды для сварки и наплавки цветных металлов и чугуна соответствуют техническим условиям на каждую марку электродов и ГОСТ 9466-75 (размеры и общие технические требования).

Основным является **ГОСТ 9466-75**: в соответствии с его требованиями электроды классифицируют по маркам, назначению, типам, толщине электродного покрытия, видам покрытия, допустимым пространственным положениям сварки (наплавки), характеристикам сварочного тока.

В сварочной технике различные электроды известны главным образом по своим *марочным* наименованиям, которые устанавливают технической документацией организаций-разработчиков и изготовителей. В нашей стране по принятой практике в буквенном обозначении марки электродов в закодированном виде, как правило, представлено наименование организации-разработчика:

- ОЗС, ОЗЛ, ОЗН – ООО «Московский опытный сварочный завод СпецЭлектрод» (МОСЗ);
- АНО, АНВ – Институт электросварки им. Е. О. Патона АН Украины;
- ЦТ, ЦЛ – ЦНИИТМаш;
- электроды серии ЭНТУ – МВТУ им. Н.Э. Баумана.

Для ряда электродов приняты другие принципы обозначения – ЭА (электроды аустенитного класса).

В цифровой части марочного названия указывают обычно порядковый номер разработки – электроды серий ОЗС, ОЗЛ, АНО, АНВ, ЦЛ, ЦТ (например, ОЗС-4, ОЗЛ-36, АНО-4 и т. д.). В электродах серии

УОНИ-13 последующие цифры указывают или прочностной класс металла шва в кгс/мм² (МПа), или марку проволоки, из которой изготовляют электроды. В электродах серии ЭА в цифровой части обозначена марка проволоки.

По назначению электроды подразделяют:

- для сварки углеродистых и низколегированных конструкционных сталей с временным сопротивлением разрыву до 590 МПа (60 кгс/мм²) – У (условное обозначение);
- для сварки легированных конструкционных сталей с временным сопротивлением разрыву до 590 МПа (60 кгс/мм²) – Л;
- для сварки легированных теплоустойчивых сталей – Т;
- для наплавки поверхностных слоёв с особыми свойствами – Н.

Подразделение электродов по *типам* – по ГОСТ 9467-75, ГОСТ 10051-75, ГОСТ 10052-75.

Обозначение *типов электродов* состоит из индекса «Э» (электроды для ручной дуговой сварки и наплавки) и следующих за ним цифр и букв. У электродов для сварки конструкционных сталей 2 или 3 цифры в обозначении указывают прочность металла шва в кгс/мм² (МПа). Для прочих электродов 2 или 3 цифры, следующие за индексом, указывают среднее содержание углерода в наплавленном металле в сотых долях процента. Химические элементы, содержащиеся в наплавленном металле, обозначены (как в сталях) следующими буквами: А – азот N₂, Б – ниобий Nb, В – вольфрам W, Г – марганец Mn, К – кобальт Co, М – молибден Mo, Н – никель Ni, Р – бор В, С – кремний Si, Т – титан Ti, Ф – ванадий V, Х – хром Cr. Цифры, следующие за буквенными обозначениями химических элементов, указывают их среднее содержание 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 Si до 0,8 % и Mn до 1,0 % буквы «С» и «Г» не проставлены.

Каждому типу электродов может соответствовать одна или несколько марок электродов.

ГОСТ 9467-75 стандартизовано 14 типов электродов для сварки конструкционных сталей в зависимости от требований к показателям прочности и пластичности металла шва:

- Э38, Э42, Э46, Э50 – для углеродистых и низколегированных конструкционных сталей с временным сопротивлением разрыву до 490 МПа;
- Э42А, Э46А, Э50А – для углеродистых и низколегированных конструкционных сталей с временным сопротивлением разрыву до 490 МПа, когда к металлу сварных швов предъяв-

ляются повышенные требования по пластичности и ударной вязкости;

- Э55, Э60 – для углеродистых и низколегированных конструкционных сталей с временным сопротивлением разрыву от 490 МПа до 590 МПа;
- Э70, Э85, Э100, Э125, Э150 – для легированных конструкционных сталей повышенной и высокой прочности с временным сопротивлением разрыву свыше 590 МПа.

Химический состав металла, наплавленного электродами для сварки конструкционных сталей, стандартом не нормируется, за исключением примесей (серы *S* и фосфора *P*): для электродов типа Э38, Э42, Э46, Э50 – не более 0,045 % *S* и 0,050 % *P*; для электродов других типов – не более 0,035 % *S* и 0,040 % *P*.

ГОСТ 9467-75 установлено также 9 типов электродов для сварки легированных теплоустойчивых сталей, для которых нормированы как механические свойства металла шва, так и химический состав наплавленного металла.

ГОСТ 10051-75 установлено 44 типа электродов для наплавочных работ. Для всех типов электродов стандартизован химический состав наплавленного металла и его твёрдость при комнатной температуре.

ГОСТ 10052-75 предусматривает 49 типов электродов для сварки коррозионно-стойких, жаропрочных и жаростойких высоколегированных сталей с различной структурой и ряда никелевых сплавов.

В соответствии с ГОСТ 9466-75 электроды подразделяются по *толщине покрытия* в зависимости от отношения диаметра покрытия (*D*) к диаметру электрода (*d*):

- с тонким покрытием ($D/d \leq 1,20$) – *M*;
- со средним покрытием ($1,20 < D/d \leq 1,45$) – *C*;
- с толстым покрытием ($1,45 < D/d \leq 1,80$) – *D*;
- с особо толстым покрытием ($D/d > 1,80$) – *G*.

Электроды подразделяются 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 снизу вверх – 3;
- для нижнего и нижнего в лодочку – 4.

По геометрическим *размерам* электроды подразделяются в соответствие с ГОСТ 9466-75 (таблицу 1.1).

ГОСТ 9466-75 предусматривается классификация электродов по характеристикам сварочного тока (роду и полярности), применяемого при сварке или наплавке, а также по номинальному напряжению холостого тока используемого источника питания дуги переменного тока частотой 50 Гц (таблица 1.2).

Таблица 1.1
Геометрические размеры электродов (мм)

Номинальный диаметр электрода, определяемый диаметром стержня, d	Номинальная длина электрода L (пред. откл. ± 3) со стержнем из сварочной проволоки		Длина зачищенного от покрытия конца l (пред. откл. ± 5)
	низкоуглеродистой или легированной	высоколегированной	
1,6	200 250	150 200 (250)	20
2,0	250 (300)	200 250 (300)	20
2,5	250 300 (350)	250 (300)	
3,0	300 350 (450)	300 350	25
4,0	350 450	350 (450)	
5,0 6,0 8,0	450	350 450	
10,0 12,0		30	
Примечания: 1. Размеры, указанные в скобках, применять не рекомендуется. 2. Допускается изготавливать электроды номинальным диаметром 3,15; 6,3 и 12,5 мм.			

Таблица 1.2

Классификация электродов по характеристикам сварочного тока

Рекомендуемая полярность постоянного тока	Напряжение холостого хода источника переменного тока, В		Обозначение
	номинальное	пред. откл.	
Обратная	—	—	0
Любая	50	±5	1
Прямая			2
Обратная			3
Любая	70	±10	4
Прямая			5
Обратная			6
Любая	90	±5	7
Прямая			8
Обратная			9
Примечание. Цифрой 0 обозначают электроды, предназначенные для сварки или наплавки только на постоянном токе обратной полярности			

Контрольные вопросы

1. Кто родоначальники сварочного производства?
2. Какие стандарты в России регламентируют производство электродов для ручной дуговой сварки и наплавки?
3. Дайте классификацию сварочных и наплавочных электродов в соответствии с российскими стандартами.

ГЛАВА 2. ВИДЫ ПОКРЫТИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, ХАРАКТЕРИСТИКИ, СОСТАВ И НАЗНАЧЕНИЕ. КОМПОНЕНТЫ ПОКРЫТИЙ ЭЛЕКТРОДОВ

Покрытие сварочных электродов предназначено для повышения устойчивости горения дуги при сварке, образования комбинированной газошлаковой защиты сварочной ванны, легирования и рафинирования металла сварного шва.

§ 2.1. Вид покрытия, обозначения, характеристики, состав и назначение

Покрытые металлические электроды для дуговой сварки, по их металлургическому воздействию на металл шва в сварочной ванне, в соответствии с ГОСТ 9466-75 классифицируют на следующие *виды*:

- с кислым (рудно-кислым) покрытием – *А*;
- основным покрытием (basic – основание) – *Б*;
- с целлюлозным покрытием – *Ц*;
- с рутиловым покрытием – *Р*;
- с покрытием смешанного вида – соответствующее двойное условное обозначение;
- прочими видами покрытий – *П*.

При наличии в составе покрытия железного порошка в количестве более 20 % к обозначению вида покрытия электрода следует добавлять букву *Ж*.

2.1.1. Электроды с кислым покрытием

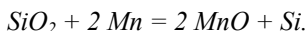
Электроды с кислым покрытием в настоящее время выпускаются в весьма малых количествах, к ним относят марки СМ-5, АМО-1 и др.

Покрытие состоит из большого количества окислов железа (Fe_2O_3) или марганца (MnO) и различных силикатов с высоким содержанием SiO_2 ; в покрытии может присутствовать также ильменит и титановый концентрат. Раскислителем обычно является ферромарганец. Газовая защита осуществляется введением органических компонентов, например, электродной целлюлозы в количестве до 5 %.

В результате диссоциации окислов железа или марганца, а также гигроскопической и конституционной воды, атмосфера дуги является окислительной. Шлак, образующийся при плавлении электрода, содержит большое количество окислов железа. Поэтому плавящийся металл при высокой температуре окисляется как за счёт атмосферы дуги, так и за счёт O_2 , переходящего из шлака.

Применяемый в качестве раскислителя *Mn* начинает окисляться в плавящемся покрытии при взаимодействии с окислами железа и частично за счёт O_2 атмосферы дуги. В жидкий металл *Mn* переходит в весьма умеренном количестве.

При высокой температуре процесса обычно происходит восстановление из SiO_2 небольшого количества *Si* (0,07...0,12 %) по реакции:



При таких высоких температурах протекает и реакция *C* и O_2 с образованием CO .

В хвостовой части ванны, имеющей сравнительно низкую температуру, восстановленный *Si* и *Mn*, перешедшие из покрытия, вступают в реакцию с O_2 , растворённым в жидком металле. В результате образуются включения SiO_2 и MnO , которые частично могут образовывать между собой химическое соединение $SiO_2 \cdot MnO$ с температурой плавления 1270 °С. Такие соединения способны укрупняться за счёт слияния нескольких молекул. Наплавленный металл оказывается значительно загрязнённым как крупными, так и мелкими включениями.

О количестве включений в металле, наплавленном электродами с кислым покрытием, можно судить по содержанию O_2 в сварочных швах, которое составляет 0,10...0,15 %. При комнатной температуре O_2 может находиться только в виде окислов (SiO_2 , FeO и MnO). Крупные включения могут иметь экзогенное происхождение, т. е. заносятся в жидкий металл из шлака. Наличие включений, особенно мелкодисперсных, существенно снижает характеристики сварных швов и в первую очередь ударную вязкость при низких температурах. При плавлении этих электродов выделяется большое количество вредных окислов марганца в зону сварки.

С энергетической точки зрения электроды с кислым покрытием имеют ряд преимуществ: характеризуются достаточно высокой скоростью расплавления, обеспечивают сварку на форсированных режимах. Они обладают также высокой проплавающей способностью. Электроды с кислым покрытием наиболее технологичны при сварке в нижнем положении, но могут быть использованы и для выполнения вертикальных и горизонтальных швов.

Эти электроды имеют, как правило, тип покрытия Э42 или Э46 и могут применяться для сварки, а также ремонтной сварки, металлоконструкций из низкоуглеродистых сталей, в том числе металла с повышенным содержанием серы в поверхностном слое, со следами окалины и коррозии.

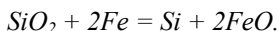
2.1.2. Электроды с рутиловым покрытием

К рутиловым электродам относят электроды марок АНО-4, АНО-6, АНО-14, АНО-21, ЦМ-9, ОЗС-4, ОЗС-12, ОЗС-32, НЭ-46 и др., к ильменитовым – АНМ-1, АНО-24, МЭЗ-103, ОЗС-21 и др.

Электроды с рутиловым покрытием обладают высокими сварочно-технологическими свойствами, обеспечивают получение швов с гладкими и плавными очертаниями во всех пространственных положениях.

Покрытие состоит из большого количества рутила (содержание $TiO_2 \approx 95\%$) или ильменита, алюмосиликатов (калиевая слюда, каолин, полевой шпат), умеренного количества карбонатов (мрамор, магнезит). Вместо рутила в покрытии может содержаться 45...50 % ильменита. В качестве легирующего и раскисляющего компонента используют ферромарганец. Газовая защита помимо карбонатов осуществляется целлюлозой, вводимой в покрытие электродов до 5 %. В качестве связующего вещества применяют калиево-натриевое или натриево-калиевое жидкое стекло. Атмосфера дуги является слабо окисленной за счёт кислорода, образующегося при диссоциации карбонатов ($CaCO_3 \rightarrow CaO + CO + \frac{1}{2}O_2$), разложении целлюлозы, диссоциации влаги покрытия (гигроскопической и конституционной).

Помимо окисления жидкого металла кислородом из атмосферы дуги окисление возможно в результате кремневосстановительного процесса, в связи с наличием в покрытии большого количества окислов (TiO_2 , SiO_2). Эта реакция протекает следующим образом:



Окислы железа частично переходят в шлак, частично растворяются в жидком металле.

Концентрация восстановленного кремния достигает 0,13...0,20 %, что заметно выше, чем при сварке электродами с кислым покрытием, а содержание O_2 обычно находится на уровне 0,04...0,07 %.

При высоких температурах восстановленный кремний и марганец, перешедший из покрытия, не вступают в реакцию с кислородом, который растворён в жидком металле. В этом случае возможна лишь реакция окисления углерода. По мере понижения температуры в реакцию с O_2 начинают вступать Si и Mn . При высокой концентрации восстановленного кремния ($Si \geq 0,20\%$) и пониженном содержании марганца ($Mn \leq 0,5\%$) в швах будут находиться, главным образом, мелкодисперсные включения окислов кремния, которые отрицательно влияют на пластические свойства швов.

Поэтому развитие кремневосстановительного процесса целесообразно ограничить содержанием Si до 0,13...0,15 %. Это обычно осуществляется введением в состав покрытия карбонатов ($CaCO_3$, $MgCO_3$), которые при плавлении покрытия разлагаются на CO_2 и окислы основного типа CaO и MgO .

Связывая в шлаке окислы кремния в прочные соединения $CaO \cdot SiO_2$ или $MgO \cdot SiO_2$, основные окислы понижают кислотность шлака, снижая тем самым, концентрацию восстановленного кремния. Если при этом содержание Mn в наплавленном металле будет находиться на уровне 0,6 %, то при снижении температуры хвостовой части сварочной ванны в ней одновременно будут образовываться как окислы Si , так и окислы Mn , которые, соединяясь, дают легкоплавкие соединения $SiO_2 \cdot MnO$, способные укрупняться, что снижает вредное влияние неметаллических включений.

В связи с пониженным содержанием O_2 в наплавленном металле и меньшим количеством окисных включений электроды с рутиловым покрытием по сравнению с кислым обеспечивают более высокие служебные характеристики сварных швов.

Электроды с рутиловым покрытием обладают высокими сварочно-технологическими свойствами. Они позволяют легко сваривать не только на постоянном, но и на переменном токе, практически во всех пространственных положениях, обеспечивают хорошее формирование сварных швов с гладкими и плавными очертаниями, лёгкое отделение шлака. Важной характеристикой является их сравнительно низкая токсичность при сварке.

Перечисленные особенности рутиловых электродов сделали их незаменимыми для сварки ответственных конструкций из углеродистых и низколегированных конструкционных сталей прочностью до 490 МПа (50 кгс/мм²).

На базе электродов с рутиловым покрытием разработаны высокопроизводительные электроды за счёт введения в покрытие железного порошка, являющегося дополнительным присадочным материалом, повышающим коэффициент наплавки.

2.1.3. Электроды с целлюлозным покрытием

К целлюлозным электродам относят электроды марок ВСЦ-4, ВСЦ-4А, ВСЦ-60 и др.

Покрытие электродов состоит из большого количества целлюлозы (40...45 %) для образования при сварке большого количества газов. Шлакообразующими являются рутил, тальк, асбест, иногда марганцевая руда или гематит. Для раскисления металла применяют