

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет
Кафедра «Порошковая металлургия, сварка и технология материалов»

Урбанович Н.И.

Сварочные материалы

Электронный учебно-методический комплекс для студентов специальности 1
– 36 01 06 «Оборудование и технология сварочного производства»

Минск ◊ БНТУ ◊ 2019

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) по учебной дисциплине «Сварочные материалы» предназначен для обеспечения комплектом учебной и методической документации образовательного процесса студентов, обучающихся по специальности 1-36 01 06 «Оборудование и технология сварочного производства».

Целью ЭУМК является формирование у студентов профессиональных компетенций в объеме требований образовательного стандарта, развитие знаний и навыков в области сварочных материалов, используемых в сварочном производстве. Сварочные материалы выполняют очень важную технологическую и металлургическую функции, именно они главным образом обеспечивают не только возможность прохождения процесса сварки в реальных условиях производства, но и получение качественного изделия.

Основная теоретическая часть ЭУМК содержит лекции по каждому разделу учебной программы и включает: основные виды сварочных материалов, их строение, свойства и способы получения; стандартные требования к материалам, условные обозначения; особенности прохождения металлургических процессов при сварке с применением различных сварочных материалов; влияние сварочных материалов на производство работ и качество сварных соединений; применяемые в Республике Беларусь отечественные и зарубежные промышленные марки сварочных материалов, основные характеристики, области и особенности применения; действующие в Республике Беларусь стандарты на сварочные материалы (всего 51 час лекционных занятий).

Теоретический раздел, кроме конспекта лекций, включает в себя иллюстрации, схемы, таблицы и фотографии с целью обеспечения наглядности и усвоения материала.

Практическая часть включает четыре методических указания к выполнению лабораторных работ.

Раздел контроля знаний содержит перечень вопросов к экзамену по курсу «Сварочные материалы».

Вспомогательный раздел содержит учебную программу по тематике учебной дисциплины.

ЭУМК по учебной дисциплине «Сварочные материалы» в полном объеме соответствует образовательному стандарту. Использование студентами данного ЭУМК позволит получить полные, целостные знания и навыки, соответствующие современному уровню развития промышленности и науки в данной области знаний.

Содержание

Раздел 1. Роль сварочных материалов в сварочном производстве	6
Тема 1.1. Введение	6
Тема 1.2. Значение сварочных материалов в сварочном производстве	12
Раздел 2. Защитные газы для дуговой сварки	20
Тема 2.1. Инертные защитные газы	20
Тема 2.2. Активные газы, общая характеристика	25
Тема 2.3. Смеси газов.....	29
Раздел 3. Сварочные проволоки и прутки	38
Тема 3.1. Стальная сварочная проволока	38
Тема 3.2. Сварочная проволока из алюминия и алюминиевых сплавов	50
Тема 3.3. Сварочная проволока и прутки из меди и сплавов на медной основе	53
Тема 3.4. Сварочная проволока из титана и титановых сплавов	58
Тема 3.5. Прутки для наплавки и проволока наплавочная	62
Раздел 4. Покрытые металлические электроды	68
Тема 4.1. Строение покрытого электрода. Виды покрытий	68
Тема 4.2. Классификация покрытых электродов	84
Тема 4.3. Электроды для сварки углеродистых и низколегированных конструкционных сталей с временным сопротивлением разрыву до 60 кгс/мм ² (590 МПа)	105
Тема 4.4. Электроды для сварки легированных конструкционных сталей с временным сопротивлением разрыву свыше 60 кгс/мм ² (590 Мпа) и теплоустойчивых сталей.....	115
Тема 4.5. Электроды для сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами и разнородных сталей	129
Тема 4.6. Электроды для сварки чугуна	139
Тема 4.7. Электроды для сварки цветных металлов.....	144
Тема 4.8. Электроды для наплавки поверхностных слоев.....	149
Тема 4.9. Электроды для подводной сварки и резки металлов	155
Тема 4.10. Подготовка электродов к сварке	160
Раздел 5. Сварочные флюсы	169

Тема 5.1 Общие сведения о способах сварки с использованием флюса. Классификация флюсов.....	169
Тема 5.2. Флюсы для дуговой механизированной сварки сталей.....	174
Тема 5.3. Флюсы для дуговой электрошлаковой и газовой сварки цветных металлов	179
Раздел 6. Порошковые проволоки и ленты	185
Тема 6.1. Характеристика порошковых проволок. Конструкция, классификация и типы	185
Тема 6.2. Порошковая проволока для сварки низкоуглеродистых и низколегированных сталей.....	192
Тема 6.3. Порошковые проволоки для сварки легированных и высоколегированных сталей, чугуна и специального назначения	201
Тема 6.4. Порошковые проволоки и ленты для наплавки	208
Раздел 7. Неплавящиеся электроды.....	214
Тема 7.1. Общие сведения о дуговой сварке и резке с использованием неплавящихся электродов. Электроды из углеродистых веществ.....	214
Тема 7.2. Вольфрамовые электроды.....	217
Раздел 8. Горючие газы.....	220
Тема 8.1. Общие сведения о процессах газопламенной обработки металлов	220
Тема 8.2. Ацетилен и заменители ацетилена	226
Лабораторная работа № 1	232
Лабораторная работа № 2.....	242
Лабораторная работа № 3	249
Лабораторная работа № 4.....	259
Перечень вопросов к экзамену по дисциплине "Сварочные материалы"	274
Учебная программа по дисциплине "Сварочные материалы"	277

Раздел 1. Роль сварочных материалов в сварочном производстве

Тема 1.1. Введение

История сварочных электродов неразрывно связана с историей развития сварки и сварочных технологий. Впервые электрод был использован в экспериментах, связанных с исследованием свойств электрической дуги (в 1802 профессором В.В. Петровым). В 1882 году русский изобретатель Николай Николаевич Бенардос предложил использовать электрическую дугу, горящую между угольным электродом и металлической деталью, с целью соединения металлических кромок.

Почти одновременно с Н. Н. Бенардосом работал другой крупнейший российский изобретатель — Николай Гаврилович Славянов, много сделавший для развития дуговой сварки. Он критически оценил изобретение Бенардоса и внес в него существенные усовершенствования, касающиеся в первую очередь металлургии сварки. Николай Гаврилович заменил неплавящийся угольный электрод металлическим плавящимся электродом-стержнем, сходным по химическому составу со свариваемым металлом. Другим важным достижением Славянова считается использование расплавленного металлургического флюса, защищающего сварочную ванну от окисления, выгорания металла и накопления в сварном соединении вредных примесей серы и фосфора.

В 1904 году швед Оскар Кьельберг основал в Гётеборге фирму «ESAB». Деятельность предприятия была связана с применением сварки в судостроении. В результате собственных исследований и наблюдений О. Кьельберг изобрел технологию сварки покрытыми плавящимися электродами. Покрытие стабилизировало горение электрической дуги и защищало зону дуговой сварки. В 1906 году им был получен патент «Процесс электрической сварки и электроды для этих целей». Именно использование покрытых плавящихся электродов дало повод к развитию и использованию сварочных технологий в различных отраслях производства.

В 1911 году англичанин А. Стромелгер существенно улучшил электродное покрытие. Предложенное им покрытие состояло из асбестового шнура, пропитанного силикатом натрия. Этот шнур наматывался на металлический стержень. Поверх этого покрытия ещё наматывалась тонкая алюминиевая проволока. Такая структура электродного покрытия обеспечивала защиту сварочной ванны и металла сварного шва от атмосферного воздуха за счет образования шлака. Алюминий использовался в качестве раскислителя и обеспечивал удаление кислорода. Под названием «Квази-арк» эти электроды распространились по Европе и Америке.

В октябре 1914 года С. Джонсу был выдан британский патент на метод получения электрода, покрытие которого наносилось методом опрессовки. Металлический стержень проталкивался через фильтру одновременно с шихтой, ложившейся на стержень.

В 1917 году американские ученые О. Андрус и Д. Стреса разработали новый тип покрытия электродов. Стальной стержень был обернут бумагой, приклеенной силикатом натрия. В процессе сварки такое покрытие выделяло дым, защищая сварочную ванну от воздействия воздуха. Также было отмечено, что бумажное покрытие обеспечивало моментальное зажигание электрической дуги с первого касания и стабилизировало её горение.

В 1925 году англичанин А. О. Смит использовал для улучшения качества электродного покрытия порошкообразные защитные и легирующие компоненты. В то же время французские изобретатели О. Саразен и О. Монейрон разработали покрытие электродов, в составе которого были использованы соединения щелочных и щелочноземельных металлов: полевой шпат, мел, мрамор, сода. Благодаря низкому потенциалу ионизации таких элементов, как натрий, калий, кальций, обеспечивалось легкое возбуждение дуги и поддержание её горения.

Таким образом, за первую четверть XX века были разработаны конструкции плавящихся электродов для ручной дуговой сварки, методы их изготовления, обоснован состав покрытия. Электродные покрытия содержали специальные

компоненты: *газообразующие* — оттесняющие воздух из зоны сварки; *легирующие* — улучшающие состав и структуру металла шва; *шлакообразующие* — защищающие расплавленный и кристаллизирующийся металл от взаимодействия с газовой фазой; *стабилизирующие* — вещества с низким потенциалом ионизации. Дальнейшие разработки в области производства сварочных электродов были сконцентрированы на компонентах, входящих в состав покрытия, и электродной проволоке на промышленных методах производства.

Большое разнообразие электродов, а также принципов их классификации затрудняет разработку единой общепринятой системы классификации электродов. Марки электродов стандартами не регламентируются. Подразделение электродов на марки производится по техническим условиям и паспортам. Каждому типу электродов может соответствовать одна или несколько марок. Возможно то, что электрод не относится к маркам. Все сварочные электроды можно разделить на две группы, которые в свою очередь подразделяются на подгруппы (см. табл.1):

Таблица 1 – Классификация сварочных электродов

Неметаллические сварочные электроды	Металлические сварочные электроды		
	Неплавящиеся	Неплавящиеся	Плавящиеся
			Покрытые
<u>Графитовые</u> <u>Угольные</u>	<u>Вольфрамовые</u> <u>Торированные</u> (с торием-232) <u>Лантанированные</u> <u>Иттрированные</u>	<u>Стальные</u> <u>Чугунные</u> <u>Медные</u> <u>Алюминиевые</u> <u>Бронзовые</u> и другие	Использовались на ранних стадиях развития сварочных технологий. Сейчас применяются в виде непрерывной проволоки для сварки в среде защитных газов.

В мировой научно-технической литературе иногда смешивают два понятия: «сварочные материалы» и «материалы для сварки», что ведет к недоразумениям при сопоставлении статистических показателей. К первым относятся материалы, большая часть которых в процессе сварки переходит в состав металла сварного шва (для дуговой сварки это сплошные и порошковые проволоки, покрытые и другие плавящиеся электроды, флюсы), а вторые — это защитные активные и инертные газы и другие материалы, в том числе вспомогательные, которые принимают участие в обеспечении процессов сварки. Можно спорить об отнесении к сварочным материалам сварочных флюсов, но это сложившаяся у нас практика. Поэтому в дальнейшем мы будем использовать именно такое толкование термина «сварочные материалы», хотя в ряде стран национальная статистика учитывает именно «материалы для сварки», что следует иметь в виду при международных сопоставлениях соответствующих показателей.

В стоимостном объеме мирового рынка сварочной техники по оценке специалистов фирмы «ESAB» сварочные материалы составляли в 1996 г. 70 %, сварочное оборудование 30 %. К 2006 г. соотношение этих показателей соответственно было 45 и 55 %. В настоящее время можно считать, что стоимостный объем мирового рынка сварочных материалов составляет около половины всего объема рынка сварочной техники.

Мировой объем потребления сварочных материалов, который в 2011 г. составил 5946 тыс. т, в 2012 г. вырос на 4,2 % и достиг 6193 тыс. т. Рост мирового объема потребления сварочных материалов определялся темпами развития сварочного производства Китая, намного опережающего в этом отношении остальные регионы. На Китай в 2012 г. приходилось 51,7 % всего мирового потребления сварочных материалов (3200 тыс. т). Далекотстали страны ЕС — 8,9 % (550 тыс. т) и Северная Америка (США, Канада, Мексика) — 6,9 % (430 тыс. т). От 300 до 200 тыс. т в год потребляют Япония (283 тыс. т), АСЕАН (Ассоциация государств Юго-Восточной Азии) (280 тыс. т), Индия (270 тыс. т), Корея (240 тыс. т), страны СНГ (230 тыс. т),

Латинская Америка (210 тыс. т). Ближний и Средний Восток (190 тыс. т), Африка (150 тыс. т). Замыкают этот список регионов Тайвань (80 тыс. т) и прочие более мелкие страны с суммарным потреблением 70 тыс. т.

Экономико-статистический анализ мирового рынка, свидетельствует, что доля ручной дуговой сварки, составлявшая в 1965 г. в ведущих странах 80...90 %, за 25 лет снизилась вдвое и в 1990 г. была на уровне 35...45 %. Супероптимисты технического прогресса в сварочном производстве настаивали тогда, что за следующие 25 лет доля ручной дуговой сварки покрытыми электродами практически будет равна нулю или незначительно выше. Следует отметить, что на сегодня доля ручной дуговой сварки в Японии составляет 7,3 %, в Европейском Союзе (ЕС) — 8,9 %, в Южной Корее — 9,6 % и в Северной Америке (США, Канада и Мексика) — 10,3 %. В целом по миру доля ручной дуговой сварки постоянно снижается и в 2012 г. составляла 33,7 %, в основном за счет Китая (43,7 %), Индии (45 %), СНГ (44 %) и остальных стран, где доля ручной дуговой сварки составляет 22...52 %. Доля сварки в защитных газах в целом по миру составляет 44 %. Лидерами в использовании этого способа сварки являются ЕС (63,9 %), США (61,4 %), Тайвань (54,8 %) и Япония (49,5 %). Лидерами в использовании сварки порошковой проволокой являются Южная Корея (40 %), Япония (35,9 %) и США (22,1 %). В целом по миру сварка порошковой проволокой составила в 2012 г. 14 %. Автоматическая сварка под флюсом, которая в целом по миру составляет всего 7,9 % наплавленного при сварке металла, наиболее широко применяется в Украине (17,2 %), России (10,3 %), Китае (8,7 %) и в ЕС (8,1 %). За последние 40 лет доля автоматической сварки под флюсом практически стабильна, ее колебания составили: в ЕС от 6 до 8,1 %; в США от 9 до 6,2 %; в Японии от 9 до 7,3 %; в Украине от 20,7 до 17,2 %.

Успешно развивается сварочное производство и в Республике Беларусь. На его долю приходится больше 50% металла, перерабатываемого в Беларуси. Сварка позволяет соединять практически любые применяющиеся в промышленности материалы — металлы, пластмассы, керамику. Различные способы сварки плавлением можно встретить на любом предприятии

Республики. С помощью сварки изготавливаются многотонные БелАЗы и МАЗы, тракторы, троллейбусы, лифты, краны, скреперы, холодильники, телевизоры и другие изделия промышленности и товары народного потребления.

В сварочном производстве используется большая номенклатура сварочных материалов, в том числе: покрытые металлические электроды различных диаметров (2,0...5,0 мм), марок и назначения; сварочная проволока, в том числе: порошковая, различных диаметров (0,8...6,0 мм), марок и назначений; сварочные флюсы и припои; горючие (ацетилен, пропан-бутан, водород) и защитные (аргон, углекислый газ, азот) газы; вольфрамовые электроды.

Производство электродов в Республике Беларусь покрывает только одну треть потребности республики в электродах. В настоящий момент основными производителями электродов являются такие предприятия, как ООО «Ватра», Светлогорский завод сварочных электродов, ООО «ОЛИВЕР» завод «Свармет», ОАО «Гомельский завод пусковых двигателей». Следует отметить, что производство сварочных материалов, таких как порошковые проволоки, флюсы, сдерживаются в основном отсутствием своего сырья для их производства.

В заключение можно отметить, что сварка является базовой технологией во многих отраслях промышленности и строительстве. Для промышленно развитых стран характерна достаточно устойчивая динамика развития сварочного производства и сварочного рынка, которая определяется стабильным ростом потребления конструкционных материалов и расширением их сортамента, а также появлением на сварочном рынке новых прогрессивных материалов, технологий и оборудования для сварки и связанных с ней процессов.

Тема 1.2. Значение сварочных материалов в сварочном производстве

Что требуется в первую очередь для сварки?

Как и для любого технологического процесса: чтобы сам процесс протекал стабильно и им можно было управлять; чтобы по завершению процесса получить качественный результат. Применительно к дуговой сварке это положение можно сформулировать так. Для сварки нужно:

- устойчивое горение дуги;
- хорошее формирование шва;
- получение бездефектного сварного соединения с требуемыми эксплуатационными свойствами.

Что для этого технически требуется? Как минимум:

Подготовка к сварке основного металла.

Оборудование (источники питания сварочной дуги, горелка, электрододержатель, баллоны, провода и т.д.).

Сварочные материалы.

Все эти факторы исключительно важны, и без одного из них процесс дуговой сварки просто даже теоретически невозможен. И если оборудование играет хотя и очень важную, но чисто техническую роль (главным образом обеспечивает прохождение процесса – горение дуги), то именно сварочные материалы выполняют очень важную технологическую и металлургическую функции, именно они главным образом обеспечивают не только возможность прохождения процесса сварки в реальных условиях производства, но и получение качественного изделия.

Сварочные материалы – это материалы, непосредственно участвующие в процессе сварки, выполняющие технологические и металлургические функции, обеспечивающие возможность протекания стабильного процесса сварки и получения качественного сварного соединения с требуемыми свойствами.

Определяющая роль сварочных материалов подчеркивается наименованием основных видов и способов сварки плавлением. Это сварка

покрытым металлическим электродом, под флюсом, в CO₂, аргонодуговая, газовая, термитная сварка и др. {Термитная сварка, при которой используется энергия горения термитной смеси, т.е. экзотермическая реакция – реакция взаимодействия оксида и элемента с большей активностью (средством к кислороду). $Fe_2O_3 + 2Al = Al_2O_3 + 2Fe + Q$; $Q \approx 3000^\circ C$. Этой температуры хватает для сварки плавлением или давлением. Железо и оксид алюминия находятся в расплавленном виде и не смешиваются и разделяются по плотности.}

Именно сварочные материалы защищают зону сварки от вредного влияния окружающего воздуха, а также раскисляют, легируют и рафинируют жидкий металл сварочной ванны, позволяя сварному шву стать равноценным по свойствам основному металлу.

Разработка любого технологического процесса сварки заданной конструкции начинается с рационального выбора сварочного материала в зависимости от установленного способа сварки, типа и марки основного металла, конструктивных особенностей сварных соединений и, предъявляемых к ним требованиям, условий производства сварочных работ, экономических показателей. И только при правильном выборе сварочных материалов достигается высокая эффективность сварочных работ и получение качественного конкурентоспособного сварного продукта.

Следует отметить, что на сварочных материалах, как на главной структурной составляющей техпроцесса сварки, **экономия недопустима** по определению (как недопустима она, например, применительно к хирургическому инструменту при выполнении сложных жизненно важных операций). А сварщик – это своеобразный «хирург», накладывающий швы на чувствительный к нагреву металл, часто в полевых условиях, и обеспечивающий жизнедеятельность сварной конструкции. Тем более, что затраты на сварочные материалы не превышают 1,0-1,5% от всей стоимости сварной конструкции.

Давайте рассмотрим примеры рационального выбора сварочных материалов.

Сварку металлоконструкций из низкоуглеродистой стали обыкновенного качества, работающих при **статической нагрузке** (таких конструкций в строительстве большинство) можно выполнять электродами, как с рутиловым покрытием типа Э46 по ГОСТ 9467-75 марок МР-3, АНО-4, ОЗС-12, так и с основным покрытием типа Э42А марки УОНИ 13/45. Рекомендуется применять первый вариант, поскольку в этом случае значительно **снижается температура прокали** электродов перед сваркой, в несколько раз **повышается регламентируемая длительность хранения** прокаленных электродов на рабочем месте, допускается **сварка влажного металла**, плохо очищенного от ржавчины, оксидов, других загрязнений; сварка может производиться **переменным и постоянным током** при скорости ветра до 10 м/сек сварщиками более **низкой квалификации**, поскольку отпадает необходимость поддерживать короткую и предельно короткую длину дуги.

В случае же сварки ответственных конструкций из низкоуглеродистой конструкционной качественной стали, работающих в тяжелых условиях и подвергающихся **динамической нагрузке**, должны применяться электроды УОНИ 13/45, использование которых позволяет получать сварные швы с более высокими пластическими характеристиками и меньшей склонностью к образованию горячих трещин. Однако такие результаты можно получить при соответствующей прокалке электродов перед сваркой, хранить в термопеналах или с ограниченной продолжительностью, тщательной очистке до блеска основного металла, ведение процесса высококвалифицированным сварщиком короткой дугой, дугой постоянным током обратной полярности. Максимальная допустимая скорость воздушного потока – 6 м/сек. Кстати, такие же требования относятся к сварке всеми марками электродов с основным покрытием, в т.ч. Э46А, Э50А, Э55А, Э60 и т.д.

Здесь следует подчеркнуть, что сварка стыковых соединений из низкоуглеродистых сталей электродами типа Э50А (марок УОНИ 13/55, ТМУ-21У и др.) вместо электродов типа Э42А крайне нежелательна из-за значительного превышения прочностных характеристик металла шва по

отношению к свариваемому металлу, что серьезно снижает работоспособность сварной конструкции. В то же время при сварке соединений из низколегированных сталей с применением, как это и положено, электродов типа Э50А **корень шва** целесообразно выполнять менее «прочными» электродами типа Э42А, что уменьшает в условиях появления растягивающих напряжений риск образования в нем трещин. Такой риск возникает из-за большего участия в построении химического и структурного состава корневых слоев шва более легированного основного металла (доля участия основного металла в корне шва составляет около 50%) и, как следствие из-за увеличения их прочности и снижения пластических свойств.

Пример: РДС – в потолочном положении: материал есть, оборудование есть, можно сваривать. Внизу – все о'кей, процесс пошел, а в потолке – нужны хорошие электроды, позволяющие вести сварку, т.е. возможность в потолке определяет сварочный материал.

Пример: Сварка корня шва неповоротных стыков труб– нужны специальные электроды, например, LB-52U (Япония). Сварка корня шва является одним из основных и ответственных этапов выполнения сварного шва в целом. Особенно это относится к сварке стыковых соединений на весу, т.е. односторонней сварке с полным проплавлением кромок без использования подкладок. Такие соединения характерны для стыков труб газонефтепроводов, где к односторонним кольцевым швам предъявляются высокие требования по формированию обратного валика с правильным сечением. Получению качественного обратного валика способствует применение специализированных электродов с основным покрытием типа Э50А марок АНО-ТМ, LB-52U, ОК-53.70, FOX EV Pipe.

LB – фирма Kobe Stell (Япония), ОК – ESAB (Швеция).

Пример: Часто возникает необходимость в ремонте трубопроводов сетей водоснабжения и теплоснабжения, находящихся под остаточным давлением воды до 0,1 МПа. При возникновении сквозных дефектов сварку

приходится вести по слою воды. Такие работы эффективно обеспечиваются на низкоуглеродистых и низколегированных сталях электродами МГМ-50К.

Пример: Практически все сварщики и резчики ручную дуговую резку металла производят с использованием сварочных электродов общего назначения, т.е. электродов, предназначенных для сварки углеродистых и низколегированных конструкционных сталей – в основном электродами марок **MP-3** и **УОНИ 13/55**. Но стоит отметить, что в настоящее время существуют специализированные для дуговой резки электроды, обеспечивающие более высокое качество поверхности реза при повышенной скорости процесса. Стоимость их даже для некоторых марок ниже, чем электроды общего назначения. Эффект резки достигается за счет ввода в состав электродного покрытия особых материалов, в том числе кислородосодержащих, которые способствуют образованию на конце электрода глубокой втулки и создающих мощный направленный окислительный высокотемпературный поток, направленный на разрезаемый металл. Промышленностью предлагаются электроды для резки: **ОЗР-1, АНР-2, ЭЛЗ-Р-1, ОК 21.03**.

Таким образом, **сварочные материалы – это материалы непосредственно участвующие в процессе сварки и обеспечивающие возможность, как стабильного протекания самого процесса, так и получения качественного сварного соединения с требуемыми служебными характеристиками.**

К таким материалам относятся: защитные газы, сварочная проволока, плавящиеся и неплавящиеся электроды, флюсы, порошковая проволока.

Классификация сварочных материалов в связи с их большим разнообразием чрезвычайно затруднена и до настоящего времени не разработана. Некоторое представление о возможной их классификации при сварке плавлением для материалов можно представить следующим образом:

- участвующих в формировании состава металла сварных швов применяют **металлические материалы:** плавящиеся присадочные сплошного сечения (электродная проволока, покрытые металлические

электроды, пластинчатые и пластино-проволочные электроды для электрошлаковой сварки, присадочные катаные, волоченые ленты стержни и проволока), плавящиеся присадочные материалы трубчатого несплошного сечения и порошки (порошковые электродные проволоки, термитные смеси), плавящиеся присадочные материалы специального назначения (присадочные кольца, плавящиеся вставки в стыке); **неметаллические материалы:** активные флюсы, влияющие на химический состав шва (керамические флюсы для сварки, химически активные плавленые флюсы), химически активные защитные газы и газовые смеси;

- не участвующих в формировании состава металла шва применяют **неметаллические материалы:** химически неактивные (пассивные) флюсы, инертные защитные газы и их смеси, газы с химически активными добавками для очистки металла.

Задачи стабильного протекания процесса сварки и получения качественных соединений сварочные материалы решают путем выполнения, в общем случае, целого ряда **технологических и металлургических функций.**

Технологические функции (применительно к дуговой сварке):

1. Легкое возбуждение и устойчивое горение дуги;
2. Стабильное ведение процесса сварки с заданной техникой. (Под техникой выполнения сварных швов понимают выбор режимов сварки *и приемы манипулирования электродом*. Положение и перемещение электрода при сварке. В процессе сварки электроду сообщаются следующие движения:
 - поступательное по оси электрода в сторону сварочной ванны, при этом для сохранения постоянства длины дуги скорость движения должна соответствовать скорости плавления электрода;
 - перемещение вдоль линии свариваемого шва, которое называют скоростью сварки; скорость этого движения устанавливается в зависимости от тока, диаметра электрода, скорости его плавления, вида шва и других факторов;
 - перемещение электрода поперек шва для получения шва шире, чем ниточный валик, так называемого уширенного валика).

3. Правильное формирование сварных швов. (Равномерность формирования сварного шва по высоте и ширине. Внешний вид наплавленного металла или шва (мелкочешуйчатый или крупночешуйчатый), плавность перехода от наплавленного металла к основному, отсутствие подрезов, утяжин, прилипших брызг, неровных наплывов и т.д. Физические свойства образующихся шлаков также оказывают значительное влияние на процесс сварки и формирование сварного шва. Во всех электродных покрытиях при их плавлении плотность шлака должна быть ниже плотности металла сварочной ванны, что обеспечит его всплывание из сварочной ванны. Температурный интервал затвердения шлака должен быть ниже температуры кристаллизации металла сварочной ванны, иначе слой шлака не будет пропускать выделяющиеся из сварочной ванны газы. Шлак должен покрывать сварной шов по всей поверхности ровным слоем.

4. Заданную производительность процесса сварки. (Производительность процесса дуговой сварки оценивают по количеству расплавленного в единицу времени основного металла и количеству наплавленного металла. Количество наплавленного металла определяют, как увеличение массы конструкции после сварки по сравнению с массой до сварки).

Металлургические функции:

1. Защита зоны сварки, в которую входит сварочная ванна, зона дуги с проходящими через нее каплями и прилегающий к сварочной ванне, подогретый до высоких температур основной металл (ЗТВ) от воздуха, т.е. от O_2 , N_2 и влаги. (Например, при сварке в CO_2 осуществляется газовая защита, в Ar – газовая (титан), под флюсом – шлаковая, покрытыми электродами – газовая и шлаковая).
2. Раскисление – процесс удаления из жидкого металла кислорода и который выполняют только сварочные материалы.
3. Легирование – введение в жидкий металл специальных элементов для обеспечения качества шва или наплавленного слоя, придания ему потребительских свойств.

4. Рафинирование – очистка (улучшение) жидкого металла от вредных примесей (для сталей S и P).
5. Ограничение содержания водорода в расплавленном металле.

Раздел 2. Защитные газы для дуговой сварки

Тема 2.1. Инертные защитные газы

Главная задача – это защита расплавленного, а иногда и подогретого до высоких температур металла, зоны сварки от воздуха (от находящихся в воздухе газов, главным образом O_2 , N_2 , паров воды – H_2O). Но не только жидкой ванны, но ЗТВ, например, титана. При дуговой сварке такая защита в большинстве случаев создается истекающей из сопла горелки газовой струей. Защитный газ не только истекает из горелки, но и присутствует в камерах, например, заполненных аргоном. При сложной конструкции деталей местную защиту осуществить трудно, поэтому сварку ведут в защитной камере.

Идея защиты металла от воздуха путем подачи в зону сварки специально подобранного газа принадлежит **Бенардосу Н.И.** (1883 год – сварка в струе газов).

Промышленное применение: в 40-х годах США – вольфрамовым электродом в аргоне (Ar); 1948 г. – США – в аргоне плавящимся электродом; 1952 г. — плавящимся электродом в углекислом газе (CO_2) – Россия.

Преимущества сварки в защитном газе (по сравнению с РДС):

- 1) Более легкое ведение процесса сварки;
- 2) Высокая производительность (в 1,5–3 раза выше);
- 3) Возможность механизации и роботизации процесса;
- 4) Более широкая номенклатура свариваемых металлов;
- 5) Возможность обеспечения требуемых свойств сварных соединений.

Какие газы в основном применяются при сварке?

Ar – аргон;

He – гелий;

CO_2 – углекислый газ;

N_2 – азот;

O_2 – кислород;

H_2O – сухой пар, а также смеси:

По химической активности взаимодействия с металлом защитные газы принято разделять на две группы: 1) инертные и 2) активные.

Инертные газы.

Аргон (Ar) и Гелий (He) не образуют с другими элементами химических соединений. В большинстве металлов они практически нерастворимы.

Аргон (Ar) – газообразный чистый-поставляется по ГОСТ 10157 – 79 «Аргон газообразный и жидкий. Технические условия» двух сортов: высший (99,993 Ar %) и первый (99,973 Ar %). Аргон – газ без запаха, цвета и вкуса, не токсичен, не взрывоопасен, а при большой утечке можно почувствовать кислородную недостаточность. Атомный номер – 8. Газ тяжелее воздуха 1,784 кг/м³. Плотность газообразного аргона 1,662 кг/м³, а воздуха – 1,293 кг/м³. Атмосферный воздух содержит 0,93%. $T_{\text{кип}} = (-185,8^{\circ}\text{C})$; $T_{\text{пл}} = (-189,35^{\circ}\text{C})$.

В настоящее время аргон получают методом низкотемпературной ректификации воздуха с получением основных продуктов – кислорода и азота с попутным извлечением аргона. Производство осуществляется на мощных воздуходелительных установках, которыми комплектуются кислородные станции заводов черной металлургии или на специализированных заводах.

Хранится и транспортируется аргон в газообразном виде в стальных баллонах под давлением $15 \pm 0,5 \text{ МПа}$ (150 атм, кг/см²), т.е. в баллоне со стандартной водяной емкостью 40 л находится примерно 6,2 м³ газообразного аргона в пересчете на температуру 20⁰С и давлении 760 мм рт. ст. Возможна также транспортировка аргона в жидком виде в специальных цистернах или сосудах Дьюара с последующей его газификацией. Жидкий аргон – кипящая при низких температурах жидкость, которая может вызвать обморожение кожи, поражение слизистой оболочки глаза. При газификации жидкого аргона получается в два раза больше газообразного вещества, чем при заправке обычного стандартного баллона в сжатом виде. Баллоны для

хранения аргона высшего сорта окрашены в серый цвет, надпись зеленого цвета – «Аргон чистый».

В сварочном производстве широко используется в качестве защитной среды при сварке, резке и плавке активных и редкоземельных металлов и сплавов на их основе. Аргон высшего сорта предназначен для сварки коррозионно-стойких сталей и химически активных металлов (титана, циркония, ниобия) и сплавов на их основе. Аргон рекомендуется также для сварки неплавящимся электродом сплавов алюминия, магния и других металлов.

Под действием электрического тока аргон начинает испускать ровное сине-голубое свечение – используется при производстве люминесцентных ламп.

Гелий (He) – газообразный чистый – поставляют по техническим условиям. (ТУ 51-689-75) Содержание примесей в гелии высокой чистоты не более 0,005%. Газ без цвета и запаха. Атомный номер 2 – VIII группа. $T_{\text{кип}} - (-268,9^{\circ}\text{C})$; $T_{\text{пл}} - (-272,2^{\circ}\text{C})$. Легче воздуха. Плотность - 0,138 кг/м³. Воздух содержит 0,00046% He. На земле гелия мало, образуется при постоянном распаде α -радиоактивных материалов (α – частицы – это ядра атомов гелия). В связи с тем, что гелий в 10 раз легче аргона, расход гелия увеличивается в 1,5 – 3 раза. Поэтому можно порекомендовать к применению при сварке в потолочном положении или при поддуве в потолочном положении со стороны корня шва. Газ не ядовит, хорошо диффундирует через твердые тела. Гелий не образует химических соединений с большинством элементов. Получают из природных газов, естественно образующихся при распаде горных пород, содержащих уран, методом фракционной конденсации. В малом количестве – при получении кислорода и азота. Цвет баллона коричневый, надпись белого цвета.

Газ дорогой. Поэтому его применяют в основном при сварке химически чистых элементов и сплавов, а также сплавов на основе алюминия и магния. Гелий менее электропроводен, чем инертный газ аргон, и поэтому электрическая дуга в атмосфере дает более высокие температуры. Высокая

теплопроводность He, его химическая инертность и неспособность вступать в ядерную реакцию с нейтронами, позволяет использовать его для охлаждения реакторов. Жидкий He – самая холодная жидкость.

Гелий предотвращает появление кессонной болезни, так как он плохо растворим в крови, поэтому его используют как составную часть искусственного воздуха, подаваемого водолазам – замена азота. Газообразный He не токсичен, так как он физиологически инертен и не представляет опасности.

Так как гелий почти в 10 раз легче Ar, поэтому струя гелия менее плотно защищает металл. В связи с этим, обычно диаметр сопел горелок при защите струей гелия приходится брать больше, чем при аргоне, и его расход увеличивается в сравнении с аргоном в 2–3 раза. В случае потолочной сварки или необходимости дополнительной защиты швов, свариваемых в нижнем положении с обратной стороны (например, титана), гелий становится предпочтительнее аргона. Однако не только защитные свойства различны. Различны и характеристики дуги в этих газах. Напряжение дуги значительно выше, чем в Ar, значит больше проплавливающая способность. Для хромоникелевых сталей аустенитного класса поверхностное натяжение на границе металл–газ при сварке с гелием значительно ниже, чем в аргоне, что сказывается на формировании поверхности швов. Гелий дает более плавные переходы шва к основному металлу. В связи с изложенным, целесообразно применять Ar–He смеси.

Титан имеет высокую химическую активность, особенно при нагреве выше 400°C. Он при этой температуре вступает в химическое соединение с O₂, образуя ряд оксидов Ti₆O до TiO₂. С азотом (N₂) титан активно взаимодействует при температуре >500°C, образуя нитриды, повышающие прочность, но резко снижающие пластичность. Растворимость N₂ в жидком титане выше, что при резком охлаждении приводит к порам. Хотя титановые сплавы и не склонны к горячим трещинам, но они склонны к сильному укрупнению зерна в металле шва и ЗТВ. Теплопроводность у титана в 2,5 раза ниже, чем у углеродистой стали, поэтому, несмотря на его высокую

температуру плавления (1668°C), требуется меньше тепла. Титан находится в виде двух стабильных фаз, отличающихся строением кристаллической решетки. При нормальной температуре α -фаза с мелкозернистой структурой, при температуре 882°C – β -фаза с крупным зерном. Легирующие элементы могут стабилизировать α -фазу или β -фазу. Поэтому сплавы разделяют на 3 основные группы: α -, $(\alpha+\beta)$ - и β - сплав. Сплавы с β -структурой (BT15, BT22) свариваются хуже, склонны к росту зерен, трещинам.

Дуговую сварку ведут в среде аргона и в смесях аргон–гелий. С обратной стороны стыка устанавливают медные подкладные планки с канавкой, по которой также пропускают защитный газ.

Газ дает высокое напряжение дуги, т.е. мощность дуги. Применение гелия повышает глубину проплавления. При сварке используют смесь аргона с гелием.

Тема 2.2. Активные газы, общая характеристика

Углекислый газ - CO_2 (диоксид углерода; угольная кислота) в зависимости от температуры и давления может находиться в газообразном, жидком или твердом состоянии.

В газообразном состоянии диоксид углерода — широко распространенный в природе бесцветный газ, имеет слабый кисловатый запах и вкус, хорошо растворяется в воде и, образуя угольную кислоту H_2CO_3 , придает ей кислый вкус. В воздухе содержится 0,03% CO_2 . При нормальной температуре и давлении его плотность составляет 1,9768 кг/м³, а по отношению к плотности воздуха – 1,524.

Углекислый газ нетоксичен и невзрывоопасен, однако при концентрациях в воздухе более 5% он оказывает вредное влияние на здоровье человека. Поэтому следует опасаться его скапливания в слабопрветриваемых помещениях.

Жидкий диоксид углерода (угольная кислота) - бесцветная жидкость. При комнатной температуре она существует лишь при давлении более 5,85 МПа. При температуре ниже +11°C она тяжелее воздуха, а выше +11°C - легче. При испарении 1кг жидкого диоксида углерода образуется 509л газа. При давлении 0,53 МПа и температуре $T = -56,6^\circ\text{C}$ жидкий CO_2 превращается в твердое вещество, которое носит название сухой лед. Диоксид углерода достаточно термически устойчив, диссоциирует на оксид углерода и кислород только при температуре выше 2000 °C.

Углекислый газ получают в промышленности несколькими способами, из которых наиболее распространены следующие:

1) из газов, образующихся при брожении в процессе получения спирта, пива, расщеплении жиров. Отходящий газ в этих случаях представляет собой почти чистый углекислый газ и является дешевым побочным продуктом;

2) из отходящих газов химических производств, в первую

очередь синтетического аммиака и метанола. Отходящий газ содержит около 90% CO₂;

3) из дымовых газов промышленных котельных, сжигающих уголь, природный газ и другое топливо. Дымовой газ содержит 12-20% CO₂.

Чистота диоксида углерода и содержание примесей регламентируется ГОСТ 8050-85 «Двуокись углерода газообразная и жидкая. Технические условия». Для сварки рекомендуется использовать двуокись углерода высшего и первого сорта. Пищевую двуокись допускается использовать для сварки при наличии осушителей газа, техническую - для сварки использовать не рекомендуется. Допустимое содержание некоторых примесей в CO₂ приведено в таблице 1.

Таблица 1. Характеристика двуокиси углерода различного назначения

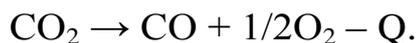
Марка двуокиси углерода	Сварочная, высший сорт	Сварочная, первый сорт	Пищевая	Техническая
Объемная доля CO ₂ , %	99,8	99,5	98,8	98,5
Доля воды, %	Нет	Нет	0,1	0,1
Содержание водяных паров, г/м ³	0,037	0,184	Не нормируется	Не нормируется

В баллон заливают 25 кг жидкой двуокиси углерода, которая хранится обычно при давлении 5-6 МПа. Емкость баллонов составляет 40 л. При испарении 25кг жидкой углекислоты образуется 12600 л газообразного CO₂. Баллон окрашен в черный цвет. Для отбора газа из баллона он должен быть оснащен подогревателем газа, редуктором и осушителем газа. При выходе CO₂ из баллона вследствие его расширения происходит адиабатическое охлаждение газа.

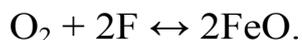
Сварка в CO₂ впервые предложена в СССР Любавским К.В. и Новожиловым Н.Н. в 1952 г.

Особенность сварки в углекислом газе заключается в том, что в

зоне высоких температур столба дуги углекислый газ диссоциирует по эндотермической реакции

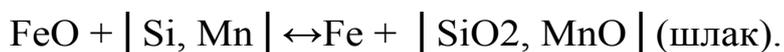


Образующийся в результате диссоциации и попавший в зону сварки кислород и CO_2 окисляют металл сварочной ванны по реакциям



При сварке углеродистых и низколегированных сталей в сварочной ванне протекают реакции окисления углерода, марганца, кремния и других элементов.

С целью подавления реакций окисления углерода, раскисления металла шва, удаления образующегося оксида железа FeO и предотвращения образования пор сварка в углекислом газе выполняется электродными проволоками марок СВ-08ГСА, СВ-08Г2С, СВ-10ГС, СВ-07ГСЮ и другими с повышенным содержанием марганца, кремния и алюминия. При взаимодействии Mn и Si с оксидом железа $-\text{FeO}$ происходит восстановление железа и образование шлака по реакции



O_2 – кислород, он тяжелее воды – $1,429 \text{ кг/м}^3$. $T_{\text{кип}} - (-183^\circ\text{C})$. Кислород используется при кислородной резке, а также применяется в смеси газов для сварки.

N_2 – азот – он легче воды, $1,251 \text{ кг/м}^3$. $T_{\text{кип}} - (-195,8^\circ\text{C})$. Применяют при сварке меди. Он не растворяется в Cu и не реагирует с ней. Тепловая мощность дуги при защите в N_2 выше, чем в Ar . Однако следует знать, что W -электроды являются нестойкими, если азот содержит 3-4% O_2 .

H_2 – водород – легче воздуха, $0,090 \text{ кг/м}^3$. При обычных условиях газ без цвета, запаха и вкуса. $T_{\text{кип}} - (-252,8^\circ\text{C})$. Используется в сварке редко, и то в качестве защитной газовой смеси и при атомно-

водородной сварке. Насыщение водородом сварочной ванны происходит на стадии капли. ГОСТ 3022-80 «Водород технический, ТУ». 3 марки – А (для сварки), Б и В (98,5 воздух, поры). А – 99,99% H_2 , Б – 99,95% H_2 . Взрывоопасен. С воздухом и кислородом образует взрывоопасную смесь. В смеси $2(H_2):1(O_2)$ – гремучий газ. Температура самовоспламенения 510 С. Хранят и транспортируют в стальных баллонах темно-зеленого цвета с красной полоской – 40 л под давлением – 15 МПа. Водород получают гидролизом воды. Водород является инертным газом для молибдена (Mo).

Тема 2.3. Смеси газов

В настоящее время с целью улучшения процесса сварки и качества сварного шва применяют защитные газы в виде их смесей. Инертные газовые смеси состоят, как правило, из аргона и гелия. Обладая большей плотностью, чем гелий, такие смеси лучше защищают сварочный металл от воздуха.

Для облегченного понимания иностранной переводной литературы, в частности, каталогов сварочного оборудования, **наиболее распространенными и общепринятыми** являются следующие **сокращения:**

MMA (Manual Metal Arc) или **MMAW** (Manual Metal Arc Welding) – ручная дуговая сварка штучными покрытыми электродами.

TIG (Tungsten Inert Gas) – дуговая сварка неплавящимся электродом в среде инертного защитного газа; чаще всего используется для указания на ручную сварку.

GTAW (Gas Tungston Arc Welding) – применение метода **TIG** при автоматической (роботизированной) сварке.

TIG–DG (Direct Gurrent) – метод **TIG** на постоянном токе.

TIG–AG (Alternating Gurrent) – метод **TIG** на переменном токе.

MIG (Metal Inert Gas) или **MIGW** (Metal Inert Gas Welding) – дуговая сварка плавящимся электродом в среде инертного газа с автоматической подачей присадочной проволоки.

MAG (Metal Active Gas) или **HAGW** – дуговая сварка плавящимся электродом (проволокой) в среде активного газа с автоматической подачей присадочной проволоки.

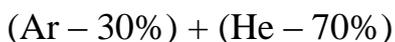
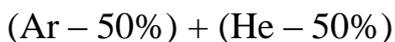
PAW (Plasma Arc Welding) – плазменная сварка сжатой дугой.

FCAW (Flus Cove Arc Welding) – дуговая сварка плавящейся порошковой пр.

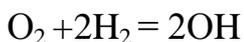
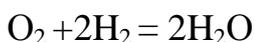
Особенно хорошими защитными свойствами обладает инертная газовая смесь, состоящая из (Ar – 70%) + (He – 30%). Плотность такой смеси близка к плотности воздуха. Сварка в смесях аргона и гелия позволяет получать

хорошее формирование швов, более глубокое проплавление, уменьшать разбрызгивание металла и увеличивать скорость сварки.

В практике находят применение смеси:



При сварке **W-электродом** используют смесь ($\text{Ar} + \text{H}_2$) – для сварки аустенитных сталей для снижения оксидирования, т.к. введение водорода в зону сварки может снизить в ней парциальное давление кислорода, тем самым уменьшить окисление металла за счет образования нерастворимых в металле паров воды и гидроксидов.



Водород используется в смеси только при сварке неплавящимся электродом, т.к. при сварке плавящимся электродом H_2 будет растворяться на стадии капли. Добавка H_2 обеспечивает более высокую температуру и сжатие дуги, что увеличивает проплавление, т. к. теплопроводность водорода выше, чем у аргона, поэтому концентрация тепла дуги увеличивается, ЗТВ – уменьшается. Повышается мощность горения дуги и формирование обратного валика. Например, при орбитальной сварке установками POLYSOUDE (ПОЛИСУД) (Франция). Смеси выпускаются по ТУ – $\text{Ar } 97^{\pm 0,3} + \text{H}_2 3^{\pm 0,3}$.

При сварке **плавящимся электродом** различных классов сталей смеси инертных и активных газов находят все более широкое применение в виду их технологических преимуществ:

- меньшей по сравнению с активными газами интенсивностью химического воздействия на металл сварочной ванны;
- высокой устойчивости дугового процесса;
- благоприятного характера переноса электродного металла через дугу.

Кислород при достаточно высоком содержании элементов раскислителей в переплавляемом дугой металле может вводиться в зону сварки для уменьшения вредного действия водорода, улучшения

формирования металла шва и переноса электродного металла. Как активный элемент кислород уменьшает поверхностное натяжение жидкого металла, тем самым способствуя образованию на конце электрода более мелких капель и их более равномерному направленному (струйному) переносу в сварочную ванну.

Плавыщ. электродом
(MAG); Смесь Ar + 2-3% O₂ применяется для сварки низкоуглеродистых и н/легированных сталей; O₂ – до 3%; O₂ уменьшает размер капель, снижается склонность к образованию пор; уменьшает поверхностное натяжение, являясь поверхностно-активным элементом.

Для сварки аустенитных сталей плавящимся электродом рекомендуется применять Ar с добавкой до 1% O₂. Такая газовая смесь обеспечивает устойчивый процесс сварки и вместе с тем слабо окисляет металл сварочной ванны. Интенсивно окисляя углерод в дуге и высокотемпературной зоне сварочной ванны, кислород позволяет снижать содержание углерода в металле шва до более низкого уровня, чем углекислый газ. Вследствие этого добавки к инертным газам кислорода предпочтительнее, чем добавки CO₂ при сварке ряда аустенитных и низколегированных перлитных сталей. Избыток O₂ в защитном газе может при недостаточном содержании элементов раскислителей в сварочной ванне (например, менее 0,17-0,20%Si) вызывать образование пор в металле швов вследствие окисления углерода при температурах кристаллизации металла. Повышение содержание кислорода (так же, как и CO₂) в защитном газе даже при достаточно высоком содержании элементов раскислителей в металле сварочной ванны увеличивает содержание кислорода в металле швов преимущественно в виде оксидных неметаллических включений, и как следствие снижает механические свойства.

В настоящее время сварка углеродистых и низколегированных сталей плавящимся электродом осуществляется в основном в окислительной защитной среде – углекислом газе и смесях аргона с углекислым газом и кислородом.

При сварке в окислительном защитном газе его способность вызывать поры в металле швов вследствие окисления углерода при температурах близких к температуре кристаллизации металла тормозится применением проволок с повышенным содержанием элементов раскислителей. В тоже время окислительный защитный газ эффективно тормозит образование пор путем уменьшения растворимости водорода в металле и интенсификации выделения из него водорода и азота вследствие протекания реакций окисления углерода при высокой температуре.

Оптимальные смеси аргона с углекислым газом и кислородом позволяют осуществлять процесс сварки с очень небольшим разбрызгиванием и получать швы с хорошим формированием, внешним видом и плавным переходом от металла шва к основному металлу. С учетом времени на зачистку швов сварка в таких смесях в ряде случаев может оказаться даже дешевле, чем сварка в CO_2 . При этом наименьшая стоимость обеспечивается при сварке в смесях.

Плаващ. электродом
(MAG); Смесь $\text{Ar} + (18-20\%)\text{CO}_2$; Смесь $86\%\text{Ar} + 12\%$

$\text{CO}_2 + 2\% \text{O}_2$ — для механизированной и автоматизированной сварки.

Преимущества сварки в смесях по сравнению со сваркой в CO_2 :

- повышает стабильность горения дуги и улучшает характер переноса электродного металла. Возможна сварка со струйным переносом металла и ведение импульсно-дугового процесса (как при сварке в аргоне);
- уменьшается разбрызгивание расплавленного металла (в 2-4 раза);
- улучшается формирование шва (при сварке в CO_2 невозможно получить однопроходные угловые швы с прямым или вогнутым профилем; выпуклость шва ухудшает работоспособность);
- почти не повышается склонность к образованию пор, вызываемых водородом, азотом;
- повышается a_H (КСУ), особенно при отрицательных температурах и δ -%, т.е. механические свойства.

Смеси (80±5%) Ar + (20±5%) CO₂ выпускает ОАО «Крион» – специализированное предприятие в Беларуси по выпуску продуктов разделения воздуха. В настоящее время предприятие расширило предел содержания CO₂ до 30%, а если CO₂ > 25% – процесс близок к сварке в чистом CO₂. 25% – это предел.

На БелАЗе в сварочных цехах применяют стационарный **смеситель** и используют для сварки смесь 82% Ar + 18% CO₂

Смеси CO₂ + O₂ – до 20%O₂ – История. Сейчас практически не применяют. Считается, что такие смеси обеспечивают более стабильные свойства, особенно в условиях большой влажности атмосферы. Кислород:

1. повышает стойкость против образования пор;
2. повышает глубину проплавления;
3. несколько улучшает формирование шва;
4. обеспечивает удаление брызг расплавленного металла, т.к. брызги окисляются и не прилипают к основному металлу.

Все газы и их смеси (кроме CO₂) поставляются в газообразном состоянии в баллонах 40 л; P = 150 МПа.

Существует международный стандарт EN ISO 14175 «Газы защитные для дуговой сварки» (раньше EN 439). Следует отметить, что аналогичный стандарт действует в России – ГОСТ Р ИСО 14175-2010 «Материалы сварочные. Газы и газовые смеси для сварки плавлением и родственных процессов». С 09.03.2011 г. введен в действие стандарт СТБ ISO 14175–2011 «Материалы сварочные, присадочные. Газы и газовые смеси для сварки плавлением и родственных процессов» (идентично ISO 14175:2008).

Газы и газовые смеси **классифицируются** по группам:

I – инертные газы и смеси инертных газов;

C – сильно окисляющие газы и газовые смеси (диоксид углерода, смесь диоксида углерода с кислородом)

M – смеси газов на основе Ar, содержащие CO₂, или O₂

Смеси газов (M-микст) разделены на группы:

M1 – смеси, содержащие до 5% CO₂, или O₂;

M2 - смеси, содержащие до 25% CO₂, или 10% O₂

M3 - смеси, содержащие до 50% CO₂, или 15% O₂

R - восстанавливающие газовые смеси (смесь аргона с водородом
($0,5 \leq H_2 \leq 15\%$))

N - малоактивный газ (азот);

O – кислород;

Z - газовые смеси, содержащие компоненты, не указанные в ГОСТ или имеющие химический состав, выходящий за пределы диапазонов, указанных в ГОСТ

Внутри каждой группы имеются подгруппы, обозначенные цифрами, которые конкретизируют состав смеси. Более подробная расшифровка индекатов приведена в таблице 1.

Таблица 1 –Классификация технологических газов для сварки
плавлением родственных процессов (из СТБ ISO 14175–2011)

Обозначение		Содержание компонентов в объемных долях %					
Главная группа	Под-группа	Окисляющий		Инертный		Восстанавливающий	Слабовступающий в реакцию
		CO	O ₂	Ar	He	H ₂	N ₂
I	1			100			
	2				100		
	3			Равновесное состояние ^{a)}	0,5≤He≤95		
M1	1	0,5≤CO ₂ ≤5		Равновесное состояние ^{a)}		0,5≤H ₂ ≤5	
	2	0,5≤CO ₂ ≤5		То же ^{a)}			
	3		0,5≤O ₂ ≤3	– « – ^{a)}			
	4	0,5≤CO ₂ ≤5	0,5≤O ₂ ≤3	– « – ^{a)}			
M2	0	5<CO ₂ ≤15		– « – ^{a)}			
	1	15<CO ₂ ≤25		– « – ^{a)}			
	2		3<O ₂ ≤10	– « – ^{a)}			
	3	0,5≤CO ₂ ≤5	3<O ₂ ≤10	– « – ^{a)}			
	4	5<CO ₂ ≤15	0,5≤O ₂ ≤30	– « – ^{a)}			
	5	5<CO ₂ ≤15	3<O ₂ ≤10	– « – ^{a)}			
	6	15<CO ₂ ≤25	0,5≤O ₂ ≤3	– « – ^{a)}			
M3	7	15<CO ₂ ≤25	3<O ₂ ≤10	– « – ^{a)}			
	1	25<CO ₂ ≤50		– « – ^{a)}			
	2		10<O ₂ ≤15	– « – ^{a)}			
	3	25<CO ₂ ≤50	2<O ₂ ≤10	– « – ^{a)}			
	4	5<CO ₂ ≤25	10<O ₂ ≤15	– « – ^{a)}			
C	5	25<CO ₂ ≤50	10<O ₂ ≤15	– « – ^{a)}			
	1	100					
	2	Основа	0,5≤O ₂ ≤30				

R	1			Равновесное состояние ^{a)}		$0,5 \leq H_2 \leq 15$	
	2			То же ^{a)}		$15 < H_2 \leq 50$	
N	1						100
	2			Равновесное состояние ^{a)}			$0,55 \leq N_2 \leq 5$
	3			То же ^{a)}			$5 < N_2 \leq 50$
	4			– « – ^{a)}		$0,5 \leq H_2 \leq 10$	$0,5 \leq N_2 \leq 5$
	5					$0,5 \leq H_2 \leq 50$	Равновесное состояние
O	1		100				
Z	Газовые смеси, содержащие компоненты, не внесенные в таблице или смеси с составом, выходящим за пределы указанных диапазонов ^{b)}						
^{a)} По данной классификации аргон может быть частично или полностью заменен гелием ^{b)} Две газовые смеси с одинаковой Z-классификацией не могут быть взаимозаменяемыми.							

Примеры условных обозначений газов и газовых смесей.

1. Газ диоксид углерода (CO₂):

Классификация: СТБ ISO 14175–C1.

2. Газ аргон:

Классификация: СТБ ISO 14175–I1.

3. Газовые смеси, содержащие 18% диоксида углерода в аргоне:

а) Классификация: СТБ ISO 14175–M21.

б) Условное обозначение газовой смеси, содеожажей 18%

CO₂: СТБ ISO 14175–M21 – ArC – 18

Примеры классификации

Пример 1. Газовая смесь, содержащая в качестве основного газа Ar, в качестве компонентов 6% CO₂ и 4% O₂:

Классификация: СТБ ISO 14175–M25

Условное обозначение: СТБ ISO 14175–M25 – ArCO – 6/4.

Пример 2. Газовая смесь, содержащая в качестве основного газа Ar, в качестве компонента 30% He:

Классификация: СТБ ISO 14175–I3

Условное обозначение: СТБ ISO 14175– I3 – ArHe – 30.

Раздел 3. Сварочные проволоки (сплошного сечения) и прутки

Тема 3.1. Стальная сварочная проволока

Сварочные проволоки (СП) – самый распространенный сварочный материал. Проволока участвует в большинстве способов сварки плавлением: РДС (стержни), в защитной среде, под флюсом, газовой сварке.

Сварочные проволоки используют при сварке сталей, Al, Cu, Ti и др. материалов и сплавов, а также для наплавки. Согласно ГОСТ 2601-84 «Сварка металлов. Термины и определения основных понятий»:

Сварочная проволока – проволока для использования в качестве плавящегося электрода либо присадочного металла при сварке плавлением.

Электродная проволока – сварочная проволока для использования в качестве электрода.

Присадочный металл – используется для введения в сварочную ванну в дополнение к основному металлу.

Присадочная проволока – сварочная проволока, используемая как присадочный металл, и не являющийся электродом.

Проволоки изготавливают по соответствующим ГОСТам и ТУ.

1. Стальные сварочные проволоки. ГОСТ 2246-70 «Проволока стальная сварочная. Технические условия», который распространяется на холоднотянутую сварочную проволоку из низкоуглеродистой, легированной и высоколегированной стали.

Согласно раздела ГОСТ-а «Марки и классификация»

По уровню легирования проволоку подразделяют на:

- низкоуглеродистую (кипящие, все кипящие) – 6 марок;
- легированную – 30 марок;
- высоколегированную – 39 марок.

(Проволока других марок, не содержащихся в ГОСТ может выпускаться по ТУ).

По назначению проволоку подразделяют на:

- для сварки (наплавки);

- для изготовления электродов (условное обозначение – Э).

Подразделение проволоки по назначению продиктовано более жесткими предельными отклонениями по диаметру для изготовления электродов.

По виду поверхности низкоуглеродистые и легированные проволоки подразделяют на:

- неомедненная + полирование (полирование не по ГОСТ, а по заказу, оно в 50-100 раз снижает контактное электросопротивление по сравнению с проволокой в смазке);

- омедненная – (О) – лучше контакт (ржавеет).

Пример условных обозначений:

Проволока 4 Св – 08А – Э ГОСТ 2246-70 – для изготовления электродов (Э), ($\Phi=4\text{мм}$);

Проволока 1,6 Св – 08Г2С – О ГОСТ 2246-70 – предназначена для сварки, с омеднением (О).

По требованию потребителя (т.е. по спецзаказу) проволока может изготавливаться из стали, выплавленной электрошлаковым (Ш) или вакуумно-дуговым (ВД) переплавом или в вакуумно-индукционных печах (ВИ) с целью ужесточения мер по содержанию вредных и посторонних примесей, введения ограничений по содержанию газов, металлических включений и др.

Пример условного обозначения: *Проволока 1,6 Св – 08ХГСМФА –ВИ – Э – О ГОСТ 2246-70*

Проволока изготавливается диаметром от 0,3 мм до 12 мм. ГОСТ регламентирует предельные отклонения по диаметру (См. таблицу 1). Проволока для электродов по ГОСТ начинается с Φ 1,6 мм. (См. СТБ EN 759-2002: Φ 1,6– 6 мм).

СТБ EN 759-2002 «Материалы присадочные металлические. Общие требования», идентичен EN 759: 1997 «Присадочные металлы. Технические условия поставки металлических присадочных материалов. Тип материалов, размеры, допуски и маркировка».

Таблица 1 Предельные отклонения по диаметру

Номинальный диаметр	Для сварки	Примечание
ø 1,2 мм	минус 0,09 мм	Для покрытых электродов такой диаметр не изготавливается
ø 3,0 мм	минус 0,12 мм	Для изготовления электродов минус 0,09 мм
ø 4,0 мм	минус 0,16 мм	Для изготовления электродов – минус 0,12 мм

Для высоколегированной проволоки, подвергаемой травлению, предельные отклонения по диаметру допускаются на 50% больше, допускаемых для низкоуглеродистой и легированной.

Овальность проволоки.

Овальность не должна превышать половины предельного отклонения по диаметру. Поверхность проволоки должна быть чистой и гладкой, без трещин, без плен, задигов и т.п.

На поверхности низкоуглеродистой и легированной проволоки допускаются следы мыльной смазки без графита и серы (до 0,05% от массы проволоки). Проволоки марок Св-08ГС, Св-08Г2С, Св-08ГСМТ и ряд других марок могут поставляться с омеднением и с не омедненной поверхностью.

Высоколегированная проволока должна поставляться в **травленном** состоянии или после термической обработки (т/о) в инертной атмосфере без всяких следов смазки.

При загрязнении или наличии на поверхности следов смазки или ржавчины проволоку подвергают очистке или прокалке при 180–200°С в течение 1,5–2 ч (для удаления смазки) с последующей очисткой.

Марка проволоки определяется химическим составом, указываемом в ее обозначении.

Низкоуглеродистая (н/угл) проволока **Св-08:**

C<0,10%; Mn 0,35–0,60; Si<0,03%; S<0,04%; P<0,04%; - кипящая

Св-08А: S<0,030%; P<0,03%, т.е. 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** сдвоенная буква А указывает на пониженное содержание фосфора и серы ($S < 0,02\%$; $P < 0,02\%$) по сравнению с проволокой марки **Св-08А**

При сварке в чистом CO_2 применяют **легированную проволоку Св - 08Г2С**, содержащую элементы раскислители:

$S \leq 0,025\%$; $P \leq 0,030\%$; $C - 0,05-0,11\%$; $Mn - 1,8-2,1\%$; $Si - 0,7-0,95\%$,

а для сварки в смеси $Ar + CO_2$:

Св-08ГС $\rightarrow C < 0,10\%$; $Mn - 1,4-1,7\%$; $Si - 0,60-0,83\%$.

В большинстве случаев использование проволоки сплошного сечения требует применения защитной среды – флюсовой или газовой защиты. Можно встретить рекомендации по использованию проволок марок Св-15ГСТЮЦА, Св-20ГСТЮА без дополнительной газовой защиты, т.е. данные проволоки относят к самозащитным. Действительно, высокое содержание элементов - раскислителей позволяет осуществить сварку без дополнительной защиты. Однако в ответственных случаях применять данную проволоку без защиты не рекомендуется.

Высоколегированная проволока

Кроме химического состава ГОСТ для некоторых высоколегированных марок регламентирует содержание **ферритной фазы** и **азота** в наплавленном металле. Например, в проволоке марки: Св-04Х19Н11МЗ содержание ферритной фазы $\alpha = 3-8\%$, а в проволоках марок Св-08Х16Н8М2 и Св-08Х18Н8Г2Б содержание α - фазы составляет 2-6%.

Чтобы стали обладали стойкостью против межкристаллитной коррозии, необходимо исключить или ослабить эффект выпадения карбидов хрома, т.е. стабилизировать исходные свойства стали. Стабилизировать можно: 1) закалкой после нагрева до 1050-1150С для перевода карбидов в твердый раствор с последующим быстрым охлаждением – но это сложно; 2) снижением содержания углерода до 0,02-0,05%- сложно из-за трудностей металлургического характера; 3) ферритообразующими присадками:

титаном, ниобием, хромом, молибденом, кремнием, ванадием, вольфрамом, алюминием.

Двухфазная структура аустенитно-ферритная обладает повышенной стойкостью к межкристаллитной коррозии, так как сплошность и непрерывность карбидной сетки нарушается, а скорость диффузии хрома в феррите выше, чем в аустените. Сложные карбида типа $Cr_{23}C_6$ имеют более низкую температуру растворения и переходят при нагревании в твердый раствор, в первую очередь, в ферритную фазу, т.к. скорость диффузии в феррите выше из-за типа кристаллической решетки (ОЦК), чем в аустените. (Легированный феррит имеет более высокую коррозионную стойкость, чем аустенит, но он менее жаростоек и окалиностоек.)

В ГОСТ также регламентируется содержание азота в проволоке, например, в проволоке марки Св-08АА – $N_2 \leq 0,008\%$; Св-08Г2С – $N_2 \leq 0,01\%$; а в Св-07Х19Н10Г2Б – $N_2 \leq 0,05\%$.

По ГОСТ 2246-70 в документации, сопровождающей сварочную проволоку, указывается полное ее обозначение, состоящее из 6 позиций:

например, **проволока 3 Св08ХСМФА-ВИ-Э-О ГОСТ 2246-70**, где

на первой позиции указывается диаметр проволоки;

на второй - марка;

на третьей - способ выплавки (ВД - вакуумно-дуговые печи; ВИ - вакуумно-индукционные печи; Ш - электрошлаковый переплав);

на четвертой позиции проставляется буква Э, если проволока предназначена для изготовления электродов;

на пятой проставляется буква О, если проволока выпускается с омедненной поверхностью,

на шестой - стандарт на сварочную проволоку.

Таким образом, выше представленное условное обозначение показывает, что это проволока сварочная диаметром 3мм, марки Св08ХСМФА, предназначенная для изготовления электродов, из стали, выплавленной в вакуумно-индукционной печи, с омедненной поверхностью.

В современных условиях производства сварочных работ, связанных с использованием импортной электродной проволоки, изготавливаемых в различных странах, которая производится по стандартам EN (Европейский комитет по стандартизации); ISO (Международная организация по стандартизации), AWS — стандарты США. В последние годы стандарты ISO и EN объединяются, получая названия EN ISO.

В соответствие с международными стандартами сварочные проволоки сплошного сечения, разделены на 4 группы, в зависимости от сталей, для которых они применяются, а значит и требований, которые к ним предъявляются.

Первая группа — углеродистые и низколегированные стали. Требования к сварочным материалам — обеспечить равнопрочность шва и основного металла. Обычно $\sigma_b=420-550$ МПа.

Вторая группа — низколегированные стали, работающие при повышенных температурах (теплоустойчивые). Требования к сварочным проволокам — обеспечить химический состав шва близкий к химическому составу, свариваемого металла по элементам, создающих теплоустойчивость — Cr, Mo; V.

Третья группа — низко- и среднелегированные высокопрочные стали. Требования к сварочным материалам — обеспечить высокую прочность шва, обычно $\sigma_b > 600$ МПа.

Четвертая группа — высоколегированные стали со специальными свойствами. Требование к проволоке — обеспечить для шва коррозионную стойкость, жаропрочность, жаростойкость, хладостойкость или другие свойства, характерные для конкретной стали.

Соответственно разделены на 4 группы и стандарты на сварочные проволоки.

EN ISO 14341 (ранее EN 440). Электродные проволоки для сварки в защитных газах низкоуглеродистых мелкозернистых сталей (В республике Беларусь СТБ EN 440).

EN ISO 21952 (ранее EN 12072). Электродная проволока для сварки в защитных газах легированных теплоустойчивых сталей (иногда переводят как термостойких сталей) (в республике Беларусь СТБ ISO 21952).

EN ISO 16834 (ранее EN 12534). Электродная проволока для сварки в защитных газах высокопрочных сталей (в республике Беларусь СТБ ISO 16834).

EN ISO 14343 (ранее EN 12072). Электродная проволока для сварки в защитных газах нержавеющей, жаростойких и др. сталей (в республике Беларусь СТБ ISO 14343).

Аналогичные стандарты ГОСТ Р ИСО 14341, ГОСТ Р ИСО 21952, ГОСТ Р ИСО 16834 и ГОСТ Р ИСО 14343 в отличие от ГОСТ 2246 дополнительно определяют требования по пределам механических свойств наплавленного металла шва и используемого защитного газа. При этом проволоку классифицируют на 2-е группы-**A** и **B** в зависимости от ее химического состава на основании требований европейских норм EN и американских AWS. Группа A классифицирует проволоку по пределу текучести и работе ударного разрушения наплавленного металла равной 47 Дж, а группа B- по временному сопротивлению разрыву и работе ударного разрушения равной 27 Дж.

В соответствии с данными стандартами обозначение проволоки содержит пять позиций, включающих как ее химический состав так и свойства наплавленного данной проволокой металла.

На первой позиции, после номера стандарта, обозначается способ сварки G — сварка в защитном газе.

На второй — обозначение предела текучести наплавленного металла, которое обеспечивает данная проволока. Например, 42 — предел текучести металла шва σ_T — 420МПа (Н/мм²).

На третьей позиции стоит цифра, обозначающая температуру испытаний (°C) шва на ударный изгиб, при которой работа удара не менее 47 Дж. Эта позиция характеризует пластичность металла шва, полученного данной проволокой. Чем ниже температура испытаний, при которой обеспечивается

стандартная работа на разрушение образца (47 Дж), тем выше пластичность. Температура, обозначенная индексами: Z — не регламентируется; A — +20⁰С, O — 0⁰С, 2 — -20⁰С, 3 — -30⁰С и т.д.

На четвертой позиции указывается защитный газ, для которого рекомендуется проволока: С — углекислый газ; М — (микст) — смесь газов. Цифры обозначают процентное содержание газов. Подробная структура обозначения газов приведена в стандарте ISO 14175-2011.

На пятой позиции указывается химический состав проволоки. Химический состав проволок и соответствующий им индекс приведены в таблице 2.

Таблица 2 –Химический состав электродных проволок

Индекс	Химический состав, %								
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Mo	Al	Ti и Zr
GO	любой другой согласованный состав								
G2Si1	от 0,06 до 0,14	от 0,50 до 0,80	от 0,90 до 1,30	0,025	0,025	0,15	0,15	0,02	0,15
G3Si1	от 0,06 до 0,14	от 0,70 до 1,00	от 1,30 до 1,60	0,025	0,025	0,15	0,15	0,02	0,15
G4Si1	от 0,06 до 0,14	от 0,80 до 1,20	от 1,60 до 1,90	0,025	0,025	0,15	0,15	0,02	0,15
G3Si2	от 0,06 до 0,14	от 1,00 до 1,30	от 1,30 до 1,60	0,025	0,025	0,15	0,15	0,02	0,15
G2Ti	от 0,04 до 0,14	от 0,40 до 0,80	от 0,90 до 1,40	0,025	0,025	0,15	0,15	от 0,05 до 0,20	от 0,05 до 0,25
G3Ni 1	от 0,06 до 0,14	от 0,50 до 0,90	от 1,00 до 1,60	0,020	0,020	от 0,80 до 1,50	0,15	0,02	0,15
G2Ni 2	от 0,06 до 0,14	от 0,40 до 0,80	от 0,80 до 1,40	0,020	0,020	от 2,10 до 2,70	0,15	0,02	0,15
G2Mo	от 0,08 до 0,12	от 0,30 до 0,70	от 0,90 до 1,30	0,020	0,020	0,15	от 0,40 до 0,60	0,02	0,15
G4Mo	от 0,06 до 0,14	от 0,50 до 0,80	от 1,70 до 2,10	0,025	0,025	0,15	от 0,40 до 0,60	0,02	0,15
G2Al	от 0,08 до 0,14	от 0,30 до 0,50	от 0,90 до 1,30	0,025	0,025	0,15	0,15	от 0,35 до 0,75	0,15
Суммарное содержание меди в проволоке с омедненной поверхностью не должно превышать 0,35%.									

Пример полного обозначения металла шва, сваренного конкретной проволокой:

EN ISO 14341- A- G46 3 M21 G3Si1 — где указан номер стандарта с классификацией по пределу текучести (А) сварки в защитных газах, при этом предел текучести металла шва — 460МПа, минимальная температура эксплуатации — (-30⁰С), сварка в смеси газов Ar+CO₂, применялась проволока G3Si1.

Существует также стандарты EN ISO 544 «Сварочные и присадочные материалы. Технические условия поставки» и EN 13479 «Общие требования к сварочным материалам». Аналогичные стандарты действуют в России и Белоруссии ГОСТ Р EN 13479-2010 и СТБ ISO 544-2010.

Некоторые марки проволок, выпускаемых по международным стандартам, приведены в таблице 3.

Таблица 3—**Марки и назначение проволок, выпускаемых по международным стандартам**

Марка Проволоки	Производитель	Химсостав	Аналог по ГОСТ 2246	Назначение
OK Aristorod-12.50	ESAB	G3Si1	Св08Г2С, Св08ГС	Сварка н/у сталей ISO 14341
OK Autrod-12.51	ESAB	G3Si1	Св08Г2С, Св08ГС	Сварка н/у сталей ISO 14341
OK Autrod-12.66	ESAB	G4Si1	Св08Г2С	Сварка н/у сталей ISO 14341
Bohler EMK-6	Bohler	G3Si1	Св08Г2С	Сварка н/у сталей ISO 14343
Bohler SKWAM	Bohler	Cr17Mo	Св02Х17М	Сварка нержавеющей сталей ISO 14343
OK Antrod 5356	ESAB	AlMgCz	СвАМг-5	Сварка алюминия EN ISO 18273
OK Tigrod 19, 82	ESAB	Ni60Cr22	—	Присадочные прутки для сварки чугуна в среде Ar EN ISO 18274
OK AristoRod 13.31	ESAB	Mn4Ni2CrMo	Св08ХН2М	Сварка низколегированных высокопрочных сталей ISO 16834
OK Tigrod 13.32	ESAB	CrMo5	Св10Х5М	Присадочный пруток для Tig сварки теплоустойчивых сталей ISO 21952
OK Autrod	ESAB	Cr25Ni20	Св13Х25Н18	Сварка

310				коррозионностойких сталей ISO 14343
ER 308L	Оливер	Cr20Ni10	Св01X19Н9	Сварка коррозионностойких сталей ISO 14343
EN 347LS	Оливер	Cr20Ni10	Св08X19Н10Г2Б	Сварка коррозионностойких сталей ISO 14343

Для производства сварочной проволоки первоначально на металлургическом заводе изготавливается так называемая «катанка» — проволока Ø6мм. Затем из нее путем последовательной протяжки через фильеры получается сварочная проволока требуемого диаметра. После этого на проволоку обычно наносится омеднение. Тонкое медное покрытие выполняет несколько функций. Во-первых, предохраняет проволоку от окисления и ржавчины; во-вторых, обеспечивает более качественный электрический контакт с токосъемником сварочной горелки; в-третьих, во время протяжки через фильеры на проволоке образуются микронадрывы, которые ухудшают её плавление во время сварки, нарушают процесс переноса. Омеднение позволяет улучшить качество поверхности проволоки. Необходимо отметить, что омедненная проволока не лишена недостатков. Наиболее слабым местом омедненной проволоки является прочность сцепления медного слоя с поверхностью. Во время подачи проволоки при контакте с подающими роликами и при прохождении через шланг горелки медное покрытие истирается и его остатки засоряют шланг. Это увеличивает трение и усилие, которое должен создать подающий механизм полуавтомата для проталкивания проволоки. В свою очередь это вызывает проскальзывание подающих роликов, что нарушает скорость подачи проволоки и режим ее плавления.

В последнее время вместо омеднения некоторые производители покрывают проволоку специальным химическим составом. Эту операцию иногда называют «полированием». Полирование позволяет устранить недостаток омеднения, обеспечить хорошую подаваемость проволоки, уменьшить износ наконечников, гарантировать стабильный процесс сварки

при низком разбрызгивании, защиту от коррозии (например, проволока AristoRod фирмы ЭСАБ).

Маркировка, упаковка и хранение

Моток. По ГОСТ каждый моток должен быть плотно перевязан мягкой проволокой не менее чем в 3-х местах. Мотки проволоки одной партии допускается связывать в бухты до 80 кг или более по согласованию с потребителем.

На каждый моток (бухту, катушку, кассету) проволоки крепят металлический ярлык, на котором должны быть указаны: наименование или товарный знак предприятия-изготовителя; условное обозначение проволоки; номер партии, клеймо технического контроля.

Варианты упаковки

1. Каждый моток (бухта, катушка) проволоки диаметром 0,5 мм и менее должен быть обернут в водонепроницаемую двухслойную упаковочную бумагу или мешки из бумаги и упакован в плотный деревянный ящик или другую тару (металлическую, картонную, пластмассовую).

2. Каждый моток (бухта, катушка) проволоки диаметром свыше 0,5 мм должен быть обернут слоем бумаги, затем слоем полиэтиленовой пленки, нетканых материалов или ткани из химических волокон;

3. допускается упаковывать проволоку в полиэтиленовую пленку без бумаги, а высоколегированную проволоку в нетканые материалы и ткани из химических волокон без бумажного подслоя;

4. допускаются другие виды упаковки или без упаковки.

По СТБ EN 759 присадочные материалы должны быть упакованы предприятием-изготовителем так, чтобы при выполнении установленных требований к транспортировке и хранению была обеспечена достаточная защита против коррозии и разрушения.

Межгосметиз (АО «Межгосметиз – Мценск» входит в состав Lincoln Electric с 2010 года) проволоку диаметром 0,8–1,6 мм упаковывает в:

Проволочная катушка Ø 300 мм – 15-18 кг.

Еврокассеты Ø 200 мм – 5 кг. (пластмассовые катушки).

Бочка (Ариадна) – 250 кг.

Каждая катушка (кассета) герметично упакована в полиэтиленовый чехол с укладкой силикогеля и картонные коробки.

СТБ ЕН 759–2002 «Материалы присадочные металлические. Общие требования» (белорус.). Идентично EN 759: 1997 «Присадочные металлы. Технические условия поставки металлических присадочных материалов. Тип материалов, размеры, допуски и маркировка».

Поверхность присадочных материалов не должна иметь загрязнений и дефектов, которые могут оказать неблагоприятное воздействие на процесс сварки и механические свойства наплавленного металла (металлического шва)

Тема 3.2. Сварочная проволока из алюминия и алюминиевых сплавов

ГОСТ 7871-75 определяет химический состав 14 марок проволоки диаметром от 0,8 до 12,5 мм, изготовленной из алюминия и его сплавов. Проволока бывает тянутой или прессованной (Проволоку марки СВАК10 изготавливают только прессованной). Ряд регламентируемых диаметров, отличается от стальной проволоки: 0,8; 0,9; 1,0; 1,12; 1,25; 1,4; 1,6; 1,8...11,2; 12,5 мм. Увеличение минимального диаметра алюминиевой проволоки связано с низкой температурой плавления. Проволоку изготавливают в нагартованном состоянии. По согласованию изготовителя с потребителем проволоку могут изготавливать и других диаметров, а также в отожженном состоянии. Марка проволоки СВА99 показывает процентное содержание алюминия в проволоке (99,99%Al), остальное занимают примеси, а в проволоке СВА97 процентное содержание алюминия в проволоке (99,97%Al), остальное примеси. При обозначении сплавов на основе алюминия используют буквы Mg – магний; К – кремний; Мц – марганец, Т – титан. Стандартом регламентирован химический состав следующих марок сварочной проволоки из алюминия: СВА99, СВА97, СВА85Т; СВА5 (*в химическом составе проволок Al не менее 99,5%, остальное Fe (0,2÷0,3%), Si (0,10÷0,25%)*); проволоки из сплавов марок СВАМц; СВАМг3; СВАМг5; Св1557; СВАМг6; СВАМг61; СВАМг63; СВАК5; СВАК10; Св1201.

Примеры условного обозначения проволоки:

Проволока тянутая (В) из алюминиевого сплава СВАМц в нагартованном состоянии (Н) диаметром 5,00 мм в бухте (БТ)

Проволока В.СВАМц.Н 5,00 х БТ ГОСТ 7871-75

То же, диаметром 4,00 мм на катушке (БР)

Проволока В.СВАМц.Н 4,00 х БР ГОСТ 7871-75

Проволока тянутая (В) из алюминиевого сплава марки СВАМг5 в отожженном состоянии (М) диаметром 4,00 мм в бухте (БТ)

Проволока В.СВАМг5.М 4,00 х БТ ГОСТ 7871-77

Проволока прессованная (П) из алюминиевого сплава марки СвАК10 в нагартованном состоянии (Н) диаметром 5,00 мм в бухте (БТ)

Проволока П.СвАК10.Н 5,00 х БТ ГОСТ 7871-75

По способу производства алюминиевые сплавы классифицируют на 2 группы: литейные и деформируемые (плиты, полосы, трубы, листы и т.п.).

Наиболее распространенными литейными алюминиевыми сплавами являются сплавы **АК12**(АЛ2 – *старое обозначение сплава*)*; **АК9ч** (АЛ4) и **АК7ч** (АЛ9), содержащие соответственно 10–13; 8–10,5 и 6–8% кремния. Сварку изделий из этих сплавов применяют при исправлении дефектов литья (заварку дефектов литья из силуминов можно производить проволокой СвАК5) и для соединения литых деталей с деформируемыми(например для соединения литых деталей с деформируемыми, например АЛ9ч с АМг6, можно с использованием присадочного материала СвАМг6).

Деформируемые алюминиевые сплавы подразделяют на термически неупрочняемые и термически упрочняемые. В сварных конструкциях получили распространение технически чистый алюминий марок АД, АД1 и др. Термически не упрочняемые сплавы, например, марки АМц (1,0-1,3Mn); АМг3 и АМг6 (соответственно 3,2-3,8 и 5,8-6,8 Mg) и др., а также термически упрочняемые сплавы - это марка АД31, обладающая повышенной пластичностью и коррозионной стойкостью, системы А1—Mg—Si, содержащий (0,45-0,9 Mg и 0,2-0,6% Si); и сплав 1915 (4,0-5,0 Zn и 1,0-1,8% Mg) и др.

Термически упрочняемые сплавы типа дюралюминия Д16 (3,8-4,9 Cu и 1,2-1,8 Mg) в ответственных конструкциях, изготавливаемых сваркой плавлением, не применяют вследствие высокой склонности металла к образованию горячих трещин из-за низкой деформационной способности сварных соединений.

Овальность проволоки не должна выводить ее размеры за предельные отклонения по диаметру, например, для Φ 1,0мм предельные отклонения по диаметру составляют 0,06мм

В связи с тем, что оксидная пленка алюминиевых, а особенно алюминиево-магниевых проволок адсорбирует водород (влагу), вызывающий пористость швов (особенно при аргонодуговой сварке), такая проволока должна проходить поверхностную химическую обработку, после чего она должна иметь блестящую поверхность. Проволока должна иметь чистую поверхность без плен, трещин, закатов, вмятин, расслоений и резких перегибов.

Проволоку с химически обработанной поверхностью наматывают на катушки. Проволока на катушках должна состоять из одного отрезка. Допускается стыковая сварка проволоки одной плавки. Проволоку без химической обработки поверхности (не обрабатывают по согласованию с заказчиком) наматывают в бухты. Катушку с проволокой помещают в полиэтиленовый мешок вместе с силикогелем, который герметизируется при влажности воздуха менее 20% в течении 30 минут после химической обработки. Затем катушки упаковывают в картонные, пластмассовые или деревянные ящики.

Допускается прессованная проволока в виде прямолинейных отрезков длиной от 1 до 2,5 м.

Проволоки в бухтах и пучках подлежат консервации и упаковке. Их перевязывают, заворачивают и укладывают в плотные дощатые ящики.

Гарантийный срок хранения проволоки с химически обработанной поверхностью **1 год** с момента изготовления.

Тема 3.3. Сварочная проволока и прутки из меди и сплавов на медной основе

ГОСТ 16130-90 «Проволока и прутки из меди и сплавов на медной основе сварочные. Технические условия» определяет 17 марок тянутых (холоднодеформируемых) сварочных проволок и 5 марок тянутых и прессованных прутков из меди и сплавов на медной основе диаметром от 0,8 до 8,0 мм (0,8; 1,0; 1,2; ... (через 0,2) 2,0; 2,5; 3,5... (через 0,5) 8,0).

Прутки выпускаются диаметром 6,0 и 8,0 мм.

Сварочная проволока изготавливается из сплавов марок, приведенных в таблице 1.

Таблица 1 – Марки сварочные проволоки

Материал сварочной проволоки	Марка
Медь	М1 М1р МСр1
Сплав медно-никелевый	МНЖКТ5-1-0,2-0,2 МНЖ5-1
Бронза безоловянная	БрКМц3-1 БрАМц9-2 БрХ0,7 БрХНТ БрНЦр БрАЖМц10-3-1,5
Бронза оловянная	БрОЦ4-3 БрОФ6,5-0,15
Латунь	Л63 ЛО60-1 ЛКБО62-0,2-0,04-0,5 ЛК62-0,5

В таблице 2 представлены марки сварочных прутков.

Таблица 2 – Марки сварочных прутков

Материал сварочных прутков	Марка
Медь	М1р М2р
Латунь	ЛМц58-2 ЛЖМц59-1-1 ЛОК59-1-0,3

Химический состав сварочной проволоки и прутков из сплавов марок БрНЦр, БРХ0,7, МСр1, БрХНТ, ЛК62-0,5, ЛКБО62-0,2-0,04-0,5 и ЛОК59-1-0,3 должен соответствовать приведенному в таблице 3; марок М1, М1р, М2р - ГОСТ 859, марок БрКМц3-1, БрАМц9-2, БрАЖМЦ10-3-1,5 - ГОСТ 18175, марок БрОЦ4-3, БрОФ6,5-0,15 - ГОСТ 5017, марок Л63, ЛМц58-2, ЛЖМц59-1-1, ЛО60-1 - ГОСТ 15527, марок МНЖ5-1, МНЖКТ5-1-0,2-0,2 - ГОСТ 492.

(Например, ГОСТ 859 распространяется на медь, изготавливаемую в виде катодов, слитков и полуфабрикатов. ГОСТ 18175-Бронзы безоловянные, обрабатываемые давлением, марки. ГОСТ 15527-Сплавы медно-цинковые, обрабатываемые давлением, марки.).

Таблица 3 – Химический состав сварочной проволоки

Марка сплава сварочной проволоки и прутков	Основные компоненты, %						
	Медь	Никель	Кремний	Олово	Цинк	Хром	Прочие элементы
БрНЦр	Остальное	0,3-0,6	-	-	-	-	Цирконий 0,040-0,080
БРХ0,7 МСр1	Остальное	-	-	-	-	0,40-1,00	-
	Остальное	-	-	-	-	-	Серебро 0,800-1,200
БрХНТ	Остальное	0,5-0,8	-	-	-	0,15-0,35	Титан 0,050-0,150
ЛК62-0,5	60,05-63,5	-	0,30-0,70	-	Остальное	-	-
ЛКБО62-0,2 - 0,04-0,5	60,5-63,5	-	0,10-0,30	0,30-0,70	Остальное	-	Бор 0,03-0,10
ЛОК59-1-0,3	58,0-60,0	-	0,20-0,40	0,70-1,10	Остальное	-	-

Продолжение табл. 3

Марка сплава сварочной проволоки и прутков	Примеси, %, не более												
	Мышь- як	Сви- нец	Же- лезо	Сурь- ма	Вис- мут	Фос- фор	Цинк	Крем- ний	Маг- ний	Оло- во	Сера	Про- чие эле- мен- ты	Всего
БрНЦр	-	0,005	0,06	-	-	0,005	0,005	0,03	0,002	-	-	-	0,2
БрХ0,7	-	0,005	0,06	-	-	0,005	0,007	0,03	0,002	-	-	-	0,3
МСр1	0,010	0,010	0,05	0,005	0,002	-	-	-	-	0,05	0,01	Кис- лород 0,070	0,3
БрХНТ	-	0,005	0,06	-	-	0,005	0,025	0,03	0,002	-	-	-	0,2
ЛК62-0,5	-	0,080	0,15	0,005	0,002	-	-	-	-	-	-	-	0,5
ЛКБО62-0,2- 0,04-0,5	-	0,080	0,15	-	-	-	-	-	-	-	-	Алю- мини- ний 0,050	0,5
ЛОК59-1-0,3	0,01	0,100	0,15	0,010	0,003	0,010	-	-	-	-	-	-	0,3

Например, **сварочная проволока изготавливается из меди марок:**

- **М1** (99,96% Cu, 0,0005% P);
- **М1р** (99,9% Cu, 0,002-0,012% P – *раскислена фосфором*);
- **МСр1** (серебро 0,8-1,2%).

Из **сплавов**, например, медно-никелевого марок

- **МНЖКТ5-1-0,2-0,2**; (Ni (5); К_c (1); К–Si (0,2); Т–Ti (0,2)).
- **МНЖ5-1**: Ni (5%); Fe (1%).

Из **Бронз** безоловянистых, например, марки **•БрКМц3-1**.

Бронз оловянистых **•БрОЦ4-3** (О–олово 4%, Ц–цинк 3%, остальное медь).

Латуней марок **Л63** (63% Cu, остальное Zn); **ЛК62-0,5** (62% Cu, 0,5% Si, остальное Zn).

Сварочные прутки изготавливают 5 марок (М1р, М2р, ЛМц58-2, ЛЖМц59-1-1, ЛОК59-1-0,3) немерной длины от 1 до 5 метров согласно заказу.

Поверхность проволоки и прутков должна быть чистой и гладкой, без трещин и расслоений. Бухта проволоки и прутков, а также пучки прутков обертывают нетканым материалом по нормативно-технической

документации и связывают не менее чем в 2-х местах проволокой. Хранят в крытом помещении на стеллажах или поддонах с защитой от механических воздействий, воздействий влаги и активных химических веществ. К каждому мотку или бухте, барабану, пучку должен быть прикреплен фанерный или металлический ярлык, на каждую катушку должна быть наклеена этикетка с указанием товарного знака или наименования и товарного знака предприятия-изготовителя; условного обозначения проволоки или прутков.

Примеры условных обозначений:

Проволока сварочная, твердая, диаметром 2,0 мм, в мотках, из сплава марки БрОЦ4-3:

Проволока сварочная ДКРХТ 2,0 БТ БрОЦ4-3 ГОСТ 16130-90;

Пруток сварочный, прессованный, диаметром 6,0 мм, немерной длины, из сплава марки ЛОК59-1-0,3:

Пруток сварочный ГКРХМ 6,0 НД ЛОК 59-1-0,3 ГОСТ 16130-90.

Условные обозначения проставляются по схеме:

Проволока сварочная	ГД	КР	Х	Т	2,0	БТ	<u>БрОЦ4-3</u>	ГОСТ 16130-90
Способ изготовления Г – горячедеформированная (прессованная) Д – холоднодеформированная (тянутая)								
Форма сечения КР – круглая								
Точность изготовления (В примере стоит Х – значит данные отсутствуют)								
Состояние Мягкое – М; твердое – Т								
Размер – диаметр								
Длина Мотки (бухты) – БТ прутки Катушки – КТ немерной Барабаны – БР длины – НД								
Марки								
Обозначение стандарта								

В Приложении I ГОСТ указано рекомендуемое назначение проволоки и прутков.

Приложение I

Марка материала	Назначение
M1, M1p	Для автоматической сварки в среде инертных газов, под флюсом и газовой сварки неответственных конструкций из меди, а также изготовление электродов для сварки меди и чугуна
M2p	Для газовой сварки конструкций общего назначения из меди
MCp1	Для газовой сварки ответственных и электротехнических конструкций из меди
MНЖКТ5-1-0,2-0,2	Для ручной, полуавтоматической сварки в защитных газах медно-никелевых сплавов, медно-никелевых сплавов и меди с бронзой, латунью и сталью (углеродистой, легированной и коррозионностойкой), а также наплавки на сталь
MНЖ5-1	Для изготовления электродов для сварки медно-никелевого сплава между собой и латунью и алюминиево-марганцевой бронзой
БрКМц3-1	Для ручной сварки в защитных газах нежестких конструкций из меди и автоматической сварки меди под флюсом
БрАМц9-2	Для ручной сварки в защитных газах алюминиево-марганцевой бронзы, мышьяковистой латуни, меди и медно-никелевого сплава с алюминиево-марганцевой бронзой; ручной и механизированной наплавки на сталь
БрХ0,7, БрХНТ, БрНЦр	Для ручной аргодуговой сварки бронз
БрХ0,7	Для автоматической сварки хромовой бронзы под флюсом
БрАЖМц10-3-1,5	Для изготовления электродов для сварки алюминиево-железной бронзы и автоматической наплавки бронзы под флюсом
БрОЦ4-3	Для ручной сварки в защитных газах меди; механизированной сварки под флюсом меди и латуни
БрОФ6,5-0,15	Для ручной сварки в защитных газах оловянно-фосфористой бронзы и оловянных бронз
Л63, ЛС60-1 ЛК62-0,5	Для газовой сварки латуни и наплавки на углеродистую сталь
ЛКБО62-0,2-0,04-0,5	
ЛОК59-1-0,3	
ЛМц58-2	
ЛЖМц59-1-1	

Тема 3.4. Сварочная проволока из титана и титановых сплавов

ГОСТ 27265-87 «Проволока сварочная из титана и титановых сплавов. Технические условия» определяет состав 11 марок проволоки диаметром от 1,0 до 7,0 мм, изготовленной из титана и его сплавов. Ряд регламентируемых диаметров, отличающихся от стальной: (от $\varnothing 0,8 \div 7,0$) 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0; 5,0; 6,0; 7,0. Диаметры проволоки выпускаются в зависимости от марки сплава, например, такие марки ВТ20-1св, ВТ20-2св выпускаются диаметром от 0,8 до 7,0мм, а проволока СП15 – от 2,5 до 5,0мм. В зависимости от марки сплава проволоку изготавливают в пределах размеров, приведенных в таблице 1.

Таблица 1– Диаметр проволоки для разных её марок

Марка сплава	Диаметр проволоки, мм
ВТ1-00св ОТ4-1св ОТ4св	От 1,0 до 7,0 включ.
2В ПТ-7Мсв	От 1,2 до 7,0 включ.
ВТ2св ВТ6св СПТ-2	От 1,6 до 7,0 включ.
ВТ20-1св ВТ20-2св	От 0,8 до 7,0 включ.
СП15	От 2,5 до 5,0 включ.

Пример условного обозначения проволоки диаметром 4,0 мм из титанового сплава марки ОТ4-1св выглядит следующим образом:

Проволока ОТ4-1св 4,0 ГОСТ 27265-87

Титан и его сплавы сваривают дуговым способом в среде защитных газов Ar-дуг. W-электродом TIG и MIG, гелий и автоматической под

флюсом, а также ЭШС. Наиболее широко применяют аргонодуговую сварку W-электродом TIG и плавящимся электродом MIG, гелий.

Большая химическая активность Ti и его сплавов при высоких температурах > 300-400° и особенно в расплавленном состоянии по отношению к O₂, N₂, H₂ затрудняет сварку. Наиболее частыми дефектами являются поры и холодные трещины. Основной причиной является выделение H₂ из твердого раствора с охрупчиванием титана и возникновением в шве больших внутренних напряжений.

Проволоку изготавливают из титана марки BT1-00св и титановых сплавов марок BT2св, 2В, ПТ-7Мсв, ОТ4св, ОТ4-1св, СПТ-2, BT6св, BT20-1св, BT20-2св, СП15 с химическим составом в соответствии с таблицей 1

Таблица 2 – Химический состав проволок из титана и титановых сплавов

Марка сплава	Химический состав, %												Сумма прочих примесей
	Основные компоненты						Примеси, %, не более						
	Титан	Алюминий	Марганец	Молибден	Ванадий	Цирконий	Кремний	Железо	Углерод	Кислород	Азот	Водород	
BT1-00св	Основная	Не более 0,20	-	-	-	-	0,08	0,15	0,05	0,12	0,03	0,003	0,10
BT2св	То же	2,0-3,0	-	-	-	-	0,10	0,15	0,05	0,12	0,04	0,003	0,30
2В	"	1,5-2,5	-	-	1,0-2,0	-	0,10	0,20	0,07	0,12	0,04	0,002	0,30
ПТ-7Мсв	"	1,8-2,5	-	-	-	2,0-3,0	0,10	0,15	0,05	0,12	0,03	0,002	0,30
ОТ4св	"	3,5-5,0	0,8-2,0	-	-	Не более 0,30	0,12	0,30	0,10	0,15	0,05	0,006	0,30
ОТ4-1св	"	1,5-2,5	0,7-2,0	-	-	Не более 0,30	0,12	0,30	0,10	0,15	0,05	0,006	0,30
СПТ-2	"	3,5-4,5	-	-	2,5-3,5	1,0-2,0	0,10	0,15	0,05	0,12	0,04	0,003	0,30
BT6св	"	3,5-4,5	-	-	2,5-3,5	-	0,10	0,15	0,05	0,12	0,04	0,003	0,30

BT20-1св	"	2,0-3,0	-	0,5-1,5	0,5-1,5	1,0-2,0	0,10	0,15	0,05	0,12	0,04	0,003	0,30
BT20-2св	"	3,5-4,5	-	0,5-1,5	0,5-1,5	1,0-2,0	0,10	0,15	0,05	0,12	0,04	0,003	0,30
СП15	"	3,0-5,5	-	2,0-3,5	2,0-3,5	1,0-2,0	0,15	0,30	0,10	0,15	0,05	0,006	0,3

В обозначаемых марках цифры и буквы не расшифровываются, т.к. они условные. Химический состав определяют по ГОСТ согласно данной марки.

Для предохранения шва от загрязнения H_2 применяют сварочную или присадочную проволоку, предварительно подвергнутую вакуумному отжигу. Содержание H_2 в такой проволоке не превышает 0,002-0,0004%. Обязательным условием качественного соединения при сварке плавлением является надежная защита от газов атмосферы не только сварочной ванны, но и остывающих участков шва и зоны ЗТВ вплоть до температуры $400^\circ C$. Все сварные детали и узлы после сварки должны подвергаться ТО в вакуумных печах. Плотность титана = $4,1 \text{ г/см}^3$, $T_{пл} = 1668^\circ C$, коэффициент теплопроводности (γ) – в 4 раза меньше, чем у Fe, удельное электросопротивление (ρ) в 6 раз больше, чем у Fe, O_2 хорошо растворим в α -титане, H_2 растворяется и образует TiH_2 (гидрат титана, поры, холодные трещины). При температурах выше $500^\circ C$ титан легко окисляется, при температурах $600-700^\circ C$ поглощает O_2 , N_2 , CO, CO_2 .

Чрезвычайно высокая химическая активность расплавленного титана требует при плавке или сварке плавлением применение вакуума или защитной атмосферы инертных газов.

Проволоку изготавливают в травленном и дегазированном состоянии.

Поверхность проволоки должна быть чистой и светлой без цветов побежалости, темных пятен и непотравов. На поверхности проволоки из сплавов марок BT20-1св и BT20-2св допускаются мелкие надрывы с темными непотравами.

На поверхности проволоки допускаются мелкие надрывы, риски и закаты глубиной, не превышающей приведенных в ГОСТ.

Проволоку наматывают в бухты с наружным диаметром не более 900 мм.

Проволока в бухте не должна иметь слипшихся друг с другом витков и изгибов менее 100°.

Допускается волнистость проволоки, связанная с отжигом бухт. К каждой бухте крепится ярлык с указанием: товарного знака или товарного знака и наименования предприятие-изготовителя, условного обозначения проволоки, номера партии и плавки, клейма технического контроля, номера бухты, обозначения настоящего стандарта.

Каждая бухта проволоки должна быть плотно перевязана мягкой титановой проволокой не менее чем в трех местах. Бухта должна быть упакована в чистую бумагу и сверху обернута нетканым материалом. Допускается бухту обертывать полотном, клееным из синтетических волокон, или полиэтиленовой пленкой толщиной от 100 до 200 мкм по ГОСТ 10354-82 без предварительной упаковки в бумагу.

Бухты проволоки должны храниться в крытых складских помещениях защищенными от механических повреждений и действия активных химических реагентов.

Тема 3.5. Прутки для наплавки и проволока наплавочная

ГОСТ 21449-75 «Прутки для наплавки. Технические условия» распространяется на прутки, предназначенные для наплавки износостойкого слоя на детали машин и оборудования, работающие в условиях воздействия абразивного изнашивания, ударных нагрузок, коррозии, эрозии при повышенных температурах или в агрессивных средах.

Пруток предназначен для ручной и аппаратной наплавки деталей машин и механизмов, работающих в условиях гидроабразивного износа, трения «металл-металл», с высокими динамическими нагрузками при температуре от 700°С и выше. Срок службы деталей, наплавленных стеллитами (стеллит – сверхтвердый сплав на основе кобальта и хрома с добавками вольфрама и/или молибдена; сормайт – высокоуглеродистый и высокохромистый сплав на основе железа с содержанием никеля и кремния) увеличивается в среднем в 4 раза. Для кобальтовых стеллитов характерны высокая коррозионная стойкость против влияния атмосферы, морской воды, кислот и щелочей. А так же его используют для восстановления лопаток турбин, колес роторов, деталей шламовых насосов, деталей запорной арматуры, клапанов и седел двигателей внутреннего сгорания, штампов и режущего инструмента (в том числе зубьев рамных пил, зубьев ковшей экскаваторов).

В зависимости от химического состава прутки для наплавки изготавливают следующих марок: Пр-С27(тип ПрН-У45Х28Н2СВМ), Пр-В3К(тип ПрН-У10ХК63В5), Пр-В3К-Р(тип ПрН-У20ХК57В10).

Область применения прутков для наплавки указана ниже в таблице 1.

Таблица 1 – Область применения прутков

Марки	Тип	Применение
Пр-С27	ПрН-У45Х28Н2СВМ	Для наплавки деталей, работающих в условиях интенсивного абразивного изнашивания с умеренными ударными нагрузками и при температуре до 500 °С
Пр-В3К	ПрН-У10ХК63В5	Для наплавки деталей, работающих в условиях абразивного изнашивания, эрозии, нагрева до 750 °С, воздействия химически активных сред, ударных нагрузок и трения металла по металлу
Пр-В3К-Р	ПрН-У20ХК57В10	Для наплавки зубьев дереворежущих рамных пил, режущего инструмента, а также деталей, работающих в условиях абразивного изнашивания, эрозии, нагрева до 800 °С, воздействия химически активных сред и трения металла по металлу

Химический состав прутков для наплавки должен соответствовать нормам, указанным в таблице 2.

Таблица 2 – Химический состав прутков

Марки	Химический состав, % по массе					
	Основные элементы					
	Основа	Углерод	Хром	Кремний	Марганец	Никель
Пр-С27	Железо	3,3-4,5	25,0-28,0	1,0-2,0	1,0-1,5	1,5- 2,0
Пр-В3К	Кобальт	1,0-1,3	28,0-32,0	2,0-2,7	-	0,5-2,0
Пр-В3К-Р	То же	1,6-2,0	28,0-32,0	1,2-1,5	0,3-0,6	0,1-2,0

Марки	Химический состав, % по массе					
	Основные элементы			Примеси, не более		
	Вольфрам	Молибден	Сурьма	Сера	Фосфор	Железо
Пр-С27	0,2-0,4	0,08-0,15	-	0,07	0,06	-
Пр-ВЗК	4,0-5,0	-	-	0,07	0,03	2,0
Пр-ВЗК-Р	7,0-11,0	-	0,02-0,1	0,07	0,03	3,0

Прутки для наплавки изготавливают в виде литых прутков со шлифованной или необработанной поверхностью. Прутки из сплава марок Пр-ВЗК-Р и Пр-ВЗК диаметром 4 и 5 мм изготавливают шлифованными, галтованными или обработанными корундом. Размеры прутков для наплавки должны составлять от 300 до 500мм.

Твердость наплавленного слоя должна соответствовать указанной в таблице 3.

Таблица 3 – Твердость наплавленного металла

Марка	Твердость HRC ^э , не менее
Пр-С27	53,5
Пр-ВЗК	41,5
Пр-ВЗК-Р	47,5

Наплавку прутками производят восстановительным пламенем в один слой с последующим шлифованием наплавленного слоя абразивным инструментом из зеленого карбида кремния; при этом толщина наплавленного слоя после шлифования должна быть не менее 1,5 мм. В качестве флюса используют прокаленную буру.

Прутки для наплавки заворачивают в упаковочную водонепроницаемую бумагу по ГОСТ 8828-89, битумную бумагу по ГОСТ 515-77, бумагу или полиэтиленовую пленку по ГОСТ 10354-82 и укладывают в деревянные ящики типа П-1 по ГОСТ 2991-85. Масса брутто ящика не должна превышать 50 кг.

Наплавочная проволока.

ГОСТ 10543–98 «Проволока стальная наплавочная. Технические условия» регламентирует 21 марку стальной наплавочной проволоки диаметром от 0,8 до 8 мм. Ограничение максимального диаметра до 8 мм связано с необходимостью снижения доли участия основного металла в металле шва и сохранения более высоких характеристик наплавочного валика при минимальном количестве слоев. Обозначается марка проволоки аналогично с ГОСТ 2246 и указывает химический состав материала. Наплавочные проволоки изготавливают 3-х групп: из углеродистой (Нп-30, Нп-40, Нп-85); легированной (Нп-40Г, Нп-30Х5 и т.д.); высоколегированной (Нп-20Х14, Нп-40Х13), где

Нп – наплавочная. Цифры за индексом указывают в сотых долях содержание углерода. Цифры, следующие за буквенными обозначениями хим. элемен. указывают среднюю массовую долю элемента. Отсутствие цифр указывает на то, что содержание элемента $\leq 0,5\%$.

Условное обозначение: **проволока 1,2 Нп-30ХГСА ГОСТ 10543-98,**

где индекс Нп и номер стандарта говорят о том, что проволока предназначена для наплавочных работ. Буква А в конце марки показывает понижение содержания S и P (например, Нп-50ХФА).

Наплавочные проволоки используются лишь для получения поверхностей с особыми свойствами (твердость, коррозионная стойкость и т.д.) и для изготовления покрытых электродов, предназначенных для наплавочных работ. Проволока выбирается в зависимости от твердости наплавленного металла и области ее применения. Рекомендации по выбору марки проволоки даны в приложении А данного ГОСТ 10543. Для

сравнительной оценки проволок в странах Европейского Союза приведены их условные обозначения по DIN 8555 (приложение Б).

Норма DIN 8555 классифицирует все сварочные материалы, применяемые в восстановлении без разделения на технологии. Обозначения электродов этого типа состоит из пяти членов (все берется из таблиц):

- Метод сварки (наплавки);
- Тип наплавленного металла (присадочного металла);
- Метод исполнения сварочного материала;
- Степень твердости наплавленного материала;
- Свойства наплавленного металла.

Условное обозначение стальной проволоки:

по ГОСТ 10543

по DIN 8555

Нп-30

UP1-GZ-200-P

<p>Проволока из углеродистой стали, предназначенная для наплавки с твердостью наплавленного металла HB 160-220</p>	<p>Проволока типа 1(т.е. химический состав наплавленного или присадочного металла: нелегированная до 0,4%С или низколегированная до 0,4%С и максимально до5% легирующих добавок Cr, Mn, Mo и Ni вместе), полученная волочением (GZ). При процессе сварки под флюсом (UP позволяет получить наплавленный ударопрочный (P) металл твердостью $175 \leq HB \leq 225$)</p>
--	---

На поверхности проволоки не допускается ржавчина, рванина, плены, окалина. На поверхности горячекатаной проволоки $\Phi 7,8\text{мм}$ окалина допускается. Поверхность холодотянутой для проволоки без термической обработки (б/т.о) должна быть чистой, гладкой, для т/о-оксидированной.

Следы мыльной смазки (без графита, серы) на поверхности проволок допускается, кроме высоколегированной. Высоколегированная проволока изготавливается с травленной поверхностью.

Проволока должна быть смотана в мотки или намотана на катушки или барабаны.

Каждый моток, катушка, барабан должны состоять из одного отрезка, допускается стыковая сварка проволоки одной плавки. Мотки проволоки одного диаметра и одной партии допускается связывать в бухты массой ≤ 80 кг.

Упаковывается в водонепроницаемую бумагу или битумную, затем в полимерную пленку с последующей обвязкой проволокой.

Раздел 4. Покрытые металлические электроды

Тема 4.1. Строение покрытого электрода. Виды покрытий

Ручная дуговая сварка покрытыми электродами (РДС) благодаря своей универсальности, простоте и надежности занимает значительное, а порой и ведущее положение в производстве сварочных работ. В передовых промышленно развитых странах объем работ с применением РДС составляет 20-25 % от общего объема, в странах СНГ – 70-80%.

РДС выгодно отличается от других способов сварки плавлением своей **универсальностью, простотой и надежностью.**

РДС имеет целый ряд неоспоримых преимуществ по сравнению с другими способами сварки:

1. **Универсальность** заключается в том, что РДС можно использовать при изготовлении, монтаже и ремонте рядовых, ответственных и особо ответственных конструкций (металлоконструкций, оборудования, трубопроводов) в строительстве, промышленности, судостроении, нефтехимии, авиастроении, коммунальном хозяйстве и т.д.

РДС можно использовать для всех свариваемых сталей и сплавов, для цветных металлов – Al, Cu, Ni и их сплавов; чугуна, арматурных сталей для железобетонных конструкций.

РДС можно сваривать:

- практически весь диапазон толщин и соединений из стали (1...300 мм);
- швы любой протяженности;
- во всех пространственных положениях сварки (нижнем, вертикальном, горизонтальном, потолочном);
- в помещении и на открытой площадке при неблагоприятных погодных условиях: пониженной температуре, ветре, атмосферных осадках;

- на высоте, в труднодоступных местах, замкнутых пространствах (под водой).

2. **Простота** заключается в том, что для осуществления процесса из оборудования нужно только стандартный источник питания сварочной дуги и простой электрододержатель (вилка), провода–кабели.

Для обслуживания оборудования требуется только электрик и то – «подключил и забыл». Проще не бывает. **Все дело – в электроде!**

3. **Надежность** работы обеспечивается

- простой схемой процесса и оборудования;
- возможностью легкого перемещения оборудования и быстрого осваивания новых условий работы (не надо тщательно проверять все подсоединения).
- возможность визуального наблюдения и контроля процесса сварки и быстрого исправления технологических отступлений и нарушений (по зазору, по сварочному току ($I_{св}$)), по ветру – дугу длиннее, короче (например, вызванные некачественной подготовкой и сборкой конструкций под сварку, приведшей к чрезмерно большому отклонению зазора между свариваемыми кромками по длине стыка).

И все эти преимущества РДС можно реализовать только при правильном применении **качественно изготовленных электродов** с высокими **сварочно-технологическими свойствами**. Все зависит от электрода - от инструмента сварщика. Кстати, электродами можно осуществлять процесс дуговой резки любого металла.

Недостаток РДС: 1) невысокая производительность по сравнению с механизированными способами (в CO_2 , порошковой проволокой и др.) - ниже в 2-3 раза; 2) необходимость достаточно высокой квалификации сварщика.

Много сил было затрачено на повышение производительности.

Следует отметить, что для повышения производительности разработаны электроды, у которых в состав покрытия вводится железный

порошок (до 40% от массы покрытия), при этом коэффициент расплавления может увеличиться в 1,5–2 раза. Однако такие электроды могут использоваться только в нижнем положении.

Значительное увеличение производительности можно получить при использовании электродов **повышенного диаметра** при одновременном увеличении силы $I_{св}$. При сварке изделий большой толщины для швов в нижнем положении следует использовать электроды максимально возможных диаметров.

Также с целью повышения производительности два или несколько электродов (**пучком**) с качественным покрытием связывают в двух-трех местах по длине тонкой проволокой, а оголенные от покрытия концы прихватывают сваркой. Схема представлена на рисунке 1. Через электрододержатель ток подводится одновременно ко всем электродам. Дуга возбуждается на том электроде, который ближе к свариваемому изделию. По мере проплавления дуга переходит от одного электрода к другому. При таком методе электрод нагревается значительно меньше, что позволяет работать при больших токах. Например, при трех электродах диаметром 3 мм допустимый сварочный ток достигает 300 А. Потери металла на угар и разбрызгивание не возрастают, при этом производительность сварки повышается в 1,5–2 раза. Коэффициент наплавки электродов увеличивается, так как стержни электродов все время подогреваются теплотой дуги. В применении этого метода есть одна особенность: **пучком** электродов невозможно обеспечить хороший провар корня разделки шва. Поэтому приходится предварительно одиночным электродом проваривать корень разделки, а затем уже производить сварку шва пучком электродов. Этот метод дает высокую производительность при наплавочных работах.

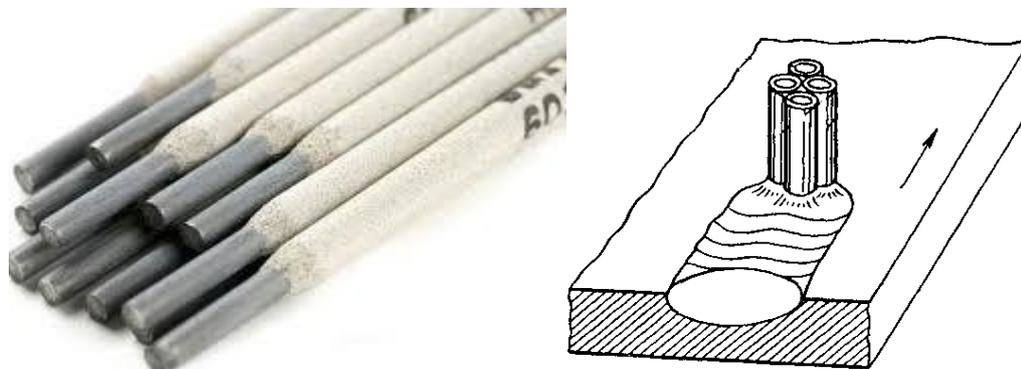


Рисунок 1 - Схема сварки пучком электродов

Эффективность электродов большого диаметра используется при сварке **лежачим электродом**. Схема сварки лежачим электродом представлена на рисунке 2. Для этого в разделку стыкового или в угол таврового соединения укладывают электрод длиной 500–1200 мм с толстой обмазкой. На него накладывают массивный медный брусок. Между бруском и электродом можно проложить бумагу. Угольным электродом зажигают дугу, которая уходит под бруском, и образуется сварной шов. Выгодно применять в труднодоступных местах и при большом количестве длинных швов на изделии.

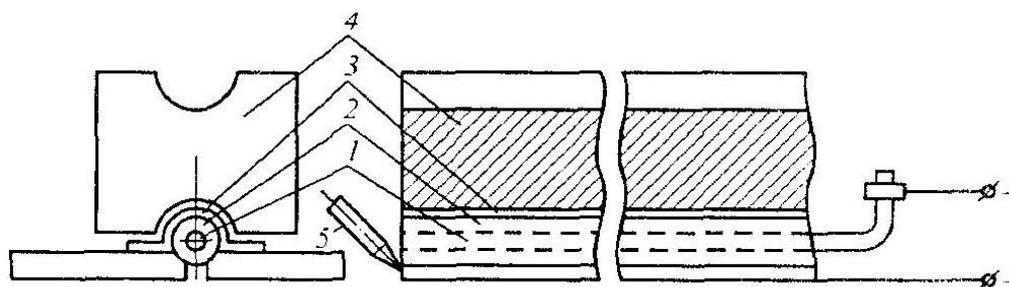


Рисунок 2 - Схема сварки лежачим электродом:

1 - электрод; 2 - обмазка; 3 - полоска бумаги; 4 -- брусок; 5 - угольный стержень

Другой способ повышения производительности – **сварка наклонным электродом**. Схемы данных способов представлены на рисунке 3.

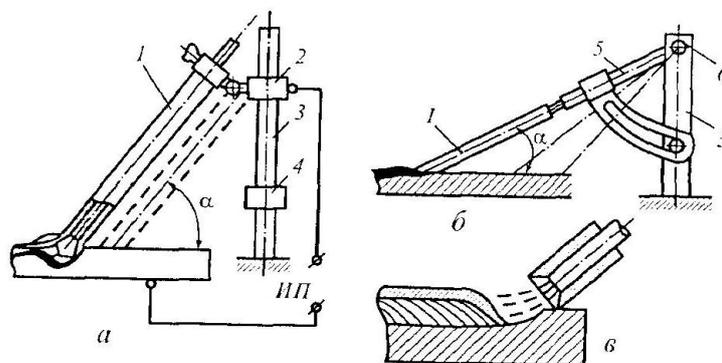


Рисунок 3 - Схема сварки наклонным электродом:

а - с постоянным углом наклона; б - с переменным углом наклона; в - ручная сварка с опиранием электрода; 1 - электрод; 2 - обойма;

3 — стойка; 4 - упор; 5 - оправка; б - шарнир

Электрод 1 с толстой обмазкой закрепляют в зажиме с обоймой 2, которая под действием собственной массы перемещается по стойке 3 до упора 4. После зажигания дуги электрод плавится, обойма 2 опускается по стойке 3, электрод перемещается, сохраняя постоянный угол наклона α к поверхности изделия. Можно также сваривать наклонным электродом с переменным углом α . В этом случае электрод 1 устанавливают в оправке 5, соединенной со стойкой 3 шарниром 6. Укорачиваясь при сварке, электрод поворачивается, конец электрода перемещается по свариваемому изделию. В обоих вариантах электрод в процессе сварки опирается на изделие перед сварочной ванной и стержень электрода изолируется от изделия выступающим краем обмазки-козырьком. На этом же основан способ ручной сварки с опиранием электрода, который можно считать разновидность сварки наклонным электродом.

Итак, электрод для РДС имеет следующее строение, чертеж которого представлен на рисунке 4.

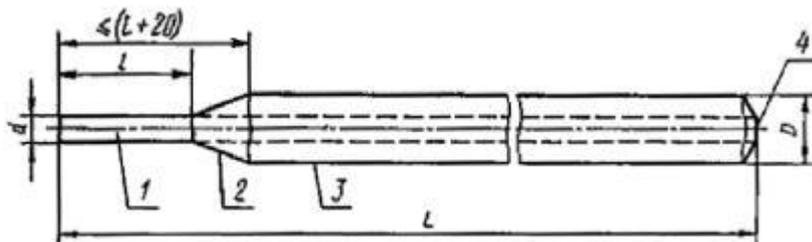


Рисунок 4 - Чертеж металлического покрытого электрода

1 – стержень; 2 – участок перехода; 3 – покрытие; 4 – контактный торец без покрытия

d – диаметр металлического стержня; D – диаметр электрода с покрытием. (Диаметр электрода определяется по диаметру стержня).

Электроды для РДС представляют собой стержни длиной до 450 мм, изготовленные из сварочной проволоки, на поверхность которого наносится слой покрытия различной толщины и состава.

Один из концов электрода на длине $l = 20 \div 30$ мм освобождают от покрытия для зажатия его в электрододержателе с целью обеспечения электрического контакта. Торцевого другого конца очищают от покрытия для возможности возбуждения дуги контактным методом. Допускается нанесение специального ионизирующего состава (слой графита) для облегчения первоначального поджига (возбуждения) дуги.

Металлический стержень изготавливается, как правило, из сварочной проволоки (или ленты), могут быть и литые прутки (для горячей сварки чугуна).

Электродное покрытие – это сложная, многокомпонентная система, состоящая из порошков различных материалов: минералов, руд и концентратов, ферросплавов, металлов и сплавов различных химикатов, силикатов и пр. Рационально подобранное сочетание указанных веществ в покрытии при участии металла электродного стержня выполняет **технологические и металлургические функции:**

- 1) обеспечение стабильного горения дуги;
- 2) хорошее формирование шва;
- 3) легкую отделяемость шлака;
- 4) защиту зоны сварки от воздуха;
- 5) раскисление;
- 6) легирование;
- 7) рафинирование и т.д.

В результате прохождения этих процессов покрытый электрод обеспечивает нормальное протекание процесса сварки, получение металла шва с заданными свойствами в специфических, очень жестких условиях сварки, т.е. высокой температуре сварочной ванны, малом времени существования металла в жидком состоянии, измеряемого несколькими секундами (2–10 сек), воздействии на расплавленный металл окружающей среды и т.д.

Основные составляющие электродного покрытия

В состав электродного покрытия входят следующие группы материалов и веществ, выполняющие определенные технологические и металлургические функции:

- 1) Стабилизирующие материалы, содержащие вещества, способствующие легкому возбуждению и стабильному горению дуги (K, Na, $K_2O - 0,46 \text{ эВ}$, K_2CO_3). Такими веществами являются химические элементы и их оксиды с малой работой выхода (р/в) и низким потенциалом ионизации (п/и), значения которых представлены в таблице 1.

Работа выхода – наименьшая энергия, которую нужно сообщить электрону для того, чтобы он смог преодолеть поверхностный потенциальный барьер.

Потенциал ионизации – это напряжение, которое необходимо приложить, чтобы оторвать электрон и сделать атом положительным ионом.

Таблица 1-Значения потенциала ионизации и работы выхода электронов некоторых химических элементов и их оксидов

K		Na		K ₂ O		Na ₂ O		Fe		F	
р/в	п/и	р/в	п/и	р/в	п/и	р/в	п/и	р/в	п/и	р/в	п/и
2,02эВ	4,3эВ	2,12эВ	5,11эВ	0,46эВ	-	1,8эВ	-	4,79эВ	3,9эВ	-	18,6эВ

В составе покрытия в требуемом количестве должны присутствовать компоненты, содержащие указанные вещества. Особенно это относится к электродам, предназначенным для сварки переменным током, в покрытиях которых в обязательном порядке находятся калийсодержащие материалы, среди которых следует отметить сухой остаток K-Na жидкого стекла, полевой шпат $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$; калиевую слюду $K_2O \cdot 3Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot 2H_2O$; поташ K_2CO_3 ($K_2CO_3 - K_2O + CO_2$).

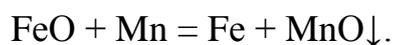
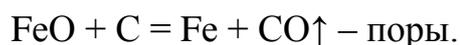
2) Газообразующие материалы, образующие при нагреве газовую фазу, защищающую зону сварки от воздушной атмосферы (мрамор – $CaCO_3 = CaO + CO_2$; магнезит – $MgCO_3 = MgO + CO_2$; доломит – $CaCO_3 \cdot MgCO_3$; целлюлоза. В 1916 г. – американцы наматывали на стержень бумагу; древесная мука, крахмал).

3) Шлакообразующие материалы – образуют при плавлении жидкий шлак с заданными физическими и металлургическими характеристиками. Шлак должен обладать определенной вязкостью, жидкотекучестью, плотностью, температурой плавления. Шлак должен раскислять, легировать, рафинировать. К шлакообразующим относятся:

- (рутиловый концентрат – TiO_2 ;
- ильменитовый концентрат – $TiO_2 \cdot FeO$;
- плавиковый шпат – CaF_2 ;

- кварцевый песок – SiO_2 ;
- полевой шпат – $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$;
- слюда – $\text{K}_2\text{O} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$;
- мрамор, каолин CaCO_3 , $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$;
- алюмосиликаты $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot m\text{SiO}_2$; тальк $3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$.

4) Раскислители – материалы, очищающие расплавленный металл от кислорода и оксидов. В качестве компонентов раскислителей чаще всего применяют ферросплавы, содержащие Mn, Si, Ti.



Раскислители (Ti, Al) можно вводить и через проволоку.

5) Легирующие материалы – специально вводимые в расплавленный металл для обеспечения качества шва и придания ему требуемых служебных свойств (FeMn, медный порошок, FeSi, FeV и т.д.).

б) Связующие материалы – связывающие и превращающие смесь порошкообразных компонентов покрытия в единую однородную массу. В качестве связующих применяются жидкие стекла ($\text{R}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$): натриевые ($\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$), натриево-калиевые (Na_2O [70%] + K_2O [30%]), калиево-натриевые (K_2O [70%] + Na_2O [30%]).

Как изготавливают электроды? Порошки определенного гранулометрического состава перемешивают, вводят связующие, наносят на стержень, сушат и прокаливают электроды.

После опрессовки и сушки связующие материалы надежно удерживают покрытие на стержне и обеспечивают прочность и влагостойкость. Иногда добавляют железный порошок для повышения производительности процесса сварки. Могут также содержаться пластификаторы – материалы, повышающие пластичность и опрессовочные свойства обмазочной массы: поташ, целлюлоза, кальцинированная сода.

Пример состава покрытия электрода МР-3.

•рутиловый концентрат – 50%,	•каолин – 5%,
•мрамор – 18%,	•Fe-Mn – 15%,
•тальк – 10%,	•целлюлоза – 2 %,
	•К-На стекло.

Материалы покрытия при изготовлении электродов и сварке не должны выделять в недопустимом количестве вредные вещества и не засорять сварочную ванну вредными примесями.

Виды покрытий

Покрытия электродов по металлургическому воздействию на металл сварочной ванны и, как следствие, на свойства металла шва, классифицируют на следующие основные виды: кислые, рутиловые, целлюлозные и основные.

Кислое (руднокислое) покрытие [А]

Основу этого вида покрытия составляют оксиды Mn, Fe и Si. При плавлении образуются шлаки с ярко выраженными окислительными свойствами. Газовая защита осуществляется органическими компонентами, например, крахмалом. В качестве раскислителя и легирующего компонента например вводят Fe-Mn. (Окислительные свойства – наплавленный металл содержит высокие концентрации кислорода в виде FeO).

МЭЗ-4		ЦМ-7	
Марганцевая руда MnO_2	24,5%	Гематит Fe_2O_3	33%
Кварцевый песок SiO_2	15%	Гранит $Al_2O_3 \cdot SiO_2$	32%
Титаномагнетитовая руда	30%	FeMn	30%
Селитра калиевая KNO_3	5%	Крахмал	5%
FeMn	21,5%	Na стекло	
Крахмал	4%		

Указанные в таблице электроды имеют посредственный уровень механических характеристик по δ и a_n .

Электроды с кислым покрытием отличаются малой склонностью к образованию пор; высокой проплавающей способностью.

Недостаток: высокая токсичность покрытия при сварке (по MnO_2).

До недавнего времени эти электроды были массовые – **ОММ-5** и **ЦМ-7**. Однако из-за большого количества оксидов железа и Mn в зоне сварки выделялось большое количество токсичных соединений в виде оксидов марганца. В настоящее время данные электроды практически не применяются. Им на смену (в 60-х годах) пришли электроды с рутиловым покрытием.

Рутиловое покрытие [Р]

Состоит преимущественно из рутилового концентрата TiO_2 с добавками **каолина** ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$), **полевого шпата** ($K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$), **слюды** ($K_2O \cdot 3Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot 2H_2O$), **талька** ($3MgO \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$) и других шлакообразующих компонентов. Для создания газовой защиты в покрытие вводят мрамор ($CaCO_2$), магнезит ($MgCO_3$) и целлюлозу.

В качестве раскислителя и легирующего вводят $FeMn$, но в меньшем количестве, чем в кислых электродах. Электроды обладают высокими сварочно-технологическими свойствами **во всех положениях** и малой склонностью к образованию пор. Металл сварного шва и наплавленного имеет стабильные механические свойства – **тип Э46**. В настоящее время их наиболее широко применяют в мире и в Республике Беларусь. Имеют отличное формирование шва, легкую отделяемость корки, мелкочешуйчатую поверхность.

Примерный состав покрытия электродов марки МР-3: TiO_2 – 50 %, мрамор – 18 %, тальк – 10 %, каолин – 5 %, $FeMn$ – 15 %, целлюлоза – 2 %, К-На – жидкое стекло.

Целлюлозное покрытие [Ц]

1916 г. – бумажная лента (США); целлюлоза +селитра (NaNO_3).

Содержит преимущественно органические составляющие для образования большого количества газов. В качестве шлакообразующей основы чаще всего используют рутиловый концентрат, титановый концентрат и др. компоненты (слюда, полевой шпат, тальк и др.). Раскислителем служит ферромарганец. Электроды этого вида имеют небольшую толщину покрытия и образуют мало шлака. Электроды имеют **ряд технологических преимуществ** по сравнению со многими другими видами: обеспечивают сварку во всех положениях, в том числе сверху вниз с высокой линейной скоростью, способствуют хорошему формированию обратной стороны шва стыковых соединений при односторонней сварке. Благодаря глубокому проплавлению целлюлозные электроды широко применяются для сварки первых корневых слоев стыковых соединений магистральных трубопроводов. **Недостатки:** отличаются повышенным разбрызгиванием, грубой поверхностью швов (грубочешуйчатая), высоким уровнем содержания водорода в металле швов, электроды чувствительны к перегреву при прокаливании.

Примерный состав покрытия электрода марки **ВСЦ-4М**: целлюлоза – 34%, рутиловый концентрат – 39%, тальк – 4%, FeMn – 10, доломит – 6%, слюда – 7%.

Для целлюлозных покрытий характерны **типы Э42– Э46**.

Основное покрытие [Б]

Основу этого вида покрытия составляет мрамор (CaCO_3), плавиковый шпат (CaF_2) и часто SiO_2 . В процессе нагрева мрамор диссоциирует с образованием CO_2 , создающим газовую защиту зоны сварки $\text{CaCO}_3 = \text{CaO} + \text{CO}_2$. В шлаке остается CaO и получается шлаковая система $\text{CaO} - \text{CaF}_2 -$

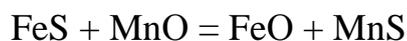
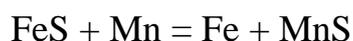
SiO₂. При этом в ней значительно много (60-70%) занимает CaO, являясь основным оксидом. Поэтому покрытие называется основным.

(Основные оксиды – это оксиды, гидраты которых являются основанием [Na₂O→NaOH; CaO→Ca(OH)₂; FeO→Fe(OH)₂]. CaO + H₂O = Ca(OH)₂ (ОН – основание).

Шлаковую базу составляет система CaO – CaF₂ – SiO₂, газовую защиту осуществляет CO₂.

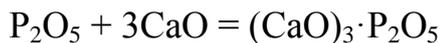
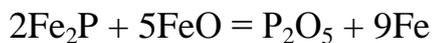
В качестве раскислителей обычно применяют Fe–Si (раскислитель Si), Fe–Mn (Mn), Fe–Ti (Ti), чистый Al. Для легирования могут вводиться различные ферросплавы и порошки чистых металлов. Шлаковая система в сочетании со значительным количеством активных раскислителей обеспечивает получение металла шва с низким содержанием кислорода, азота и водорода, а также низким содержанием вредных примесей (CaO связывает S, FeO→(P₂O₅) удаляет P, CaF₂ связывает H→HF; CaO + H₂O = Ca(OH)₂). Это позволяет получать швы с высокими механическими свойствами, высокой пластичностью при нормальных и повышенных температурных режимах, высокой сопротивляемостью образованию трещин.

Сера (S) нерастворима в Fe, находится в виде FeS (t_{пл} – 1193°C), с Fe образуют легкоплавкие эвтектики – 988°C).

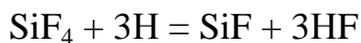
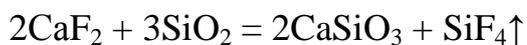


Фосфор растворяется в Fe и может находиться как в растворе, так и в виде легкоплавких эвтектик Fe₂P, Fe₃P. Так как растворимость в аустените фосфора меньше, чем в феррите, то опасность образования трещин у сталей с аустенитной структурой выше (высоколегированные стали).





CaF_2 связывает водород в $\text{HF}\uparrow$



CaO связывает серу и фосфор, переводя их в шлак.

Электроды с основным покрытием применяют для сварки ответственных и особо ответственных конструкций, работающих при отрицательных температурах и динамических нагрузках.

Примерный состав покрытия электродов марки **УОНИ – 13/55** (один из составов): мрамор – 54%; плавиковый шпат – CaF_2 – 15%; SiO_2 – 9%; Fe-Mn – 5%; Fe-Si – 5%; Fe-Ti – 12%; Na – жидкое стекло.

УОНИ – 13/45: Fe-Mn – 2% (75%-ый FeMn); Fe-Si – 3%.

УОНИ – 13/65: Fe-Mn – 7%; Fe-Si – 3%.

УОНИ – 13/85: Fe-Mn – 5%.

Но свои высокие свойства электроды могут реализовывать при более высокой культуре производства. Они не приемлют ржавчины на кромках – будут поры; не допускают сварку в не прокаленном виде – будут поры и трещины, не допускают изменения дуги – длинной дугой будут поры, требуется короткая дуга. Еще одна особенность – в основном сварка только на постоянном токе.

Покрyтия смешанного вида– это главная попытка объединения преимуществ рутиловых и основных электродов. По классификации ISO 2560: 2002 выделено также несколько видов смешанных покрытий (RC-рутилово-целлюлозный; RA-рутилово-кислый; RB-рутилово-основной).

К покрытиям смешанного вида можно отнести и покрытия, содержащие **ильменитовый концентрат**. Электроды с таким покрытием сейчас находят достаточно широкое применение. Фактически это рутилово-кислородное покрытие. Ильменит – $TiO_2 \cdot FeO$. (TiO_2 – рутил, FeO – оксид железа). Рутилово-основные (РБ). Рутилово-целлюлоза (РЦ). Например, электроды марки ОЗС-4И (РА, РА).

Электроды с ильменитовым покрытием по комплексу свойств уступают чисто рутиловым электродам.

Прочие покрытия [П] не вписываются ни в одну группу, ни в один вид. Это специальные покрытия. В основном для наплавки, для сварки под водой.

Электроды для сварки цветных металлов не стандартизованы и их производят по отдельным техническим условиям. Исключение - высоконикелевые электроды, которые применяются для сварки сплавов на железоникелевой и никелевой основах и высоколегированных сталей, вследствие чего они входят в ГОСТ 10052-75. В состав покрытия таких электродов входят Al–Li–Ti соли, Na_3AlF_6 – криолит, хлористые соли: NaCl, KCl, LiCl

Примеры марок электродов, которые применяются в течении многих лет, для сварки алюминия: ОЗАНА-1, ОЗАНА-2 –производитель «Спецэлектрод». Для сварки меди - МН-5, МНЖ 5-1, Комсомолец 100.

Марки устанавливают организация-разработчик и изготовитель, примеры буквенных обозначений которых представлены в ниже приведенной таблице.

Электроды серии:

ОЗС, ОЗЛ, ОЗН –	Московский опытно-сварочный завод
АНО, АНВ –	Институт электросварки имени Е.О. Патона

ЦТ, ЦЛ –	ЦНИИТ МАШ
ОК –	Фирма ESAB (Швеция)
ЛВ –	Фирма Kobe Steel (Япония)
Серии: Titan, Garant марок Anker, Optimal, Record – фирмы Kjellberg FinsterWalle (Германия)	
Серии: Overcord, Fincord марок Supercito, Spezial – фирмы Oerlikon (Швеция)	
ЭА – Электроды аустен. класса	

Тема 4.2. Классификация покрытых электродов

Только в Союзе выпускалось более 200 марок покрытых электродов для РДС сталей и сплавов. И большинство электродов отличаются друг от друга по целому ряду иногда весьма значительных признаков. Электроды для сталей и сплавов наиболее распространенная группа покрытых электродов. Поэтому именно на них разработан стандарт, определяющий технические требования на электроды - ГОСТ 9466-75. В 1976, 1988 и 1990 годах в него были внесены существенные коррективы. ГОСТ 9466-75 «Электроды покрытые металлические для РДС сталей и наплавки. Классификация, размеры и общие технические требования» регламентирует размеры, уровень сварочно-технологических свойств электродов, определяет требования к состоянию поверхности, прочности покрытия и содержанию влаги.

Так же **классифицирует** электроды по:

- Назначению: У, Л, Т, В, Н;
- Толщине: М, С, Д, Г;
- Видам покрытия: А, Б, Ц, Р, П;
- Допустимому пространственному положению сварки или направлению;
- Роду и полярности применяемого при сварке или наплавке тока.

Рассмотрим, какие должны быть сварочные электроды и начнем знакомиться с регламентируемыми размерами. На рисунке 1 представлен чертеж покрытого электрода.

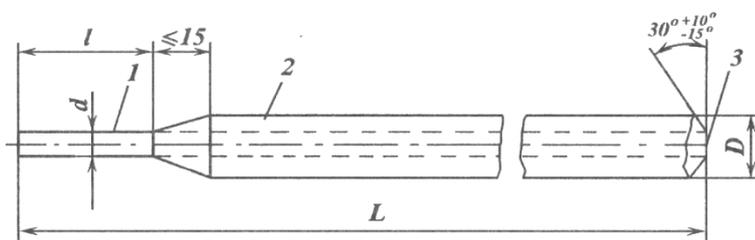


Рисунок 1— Чертеж покрытого электрода: 1-стержень; 2-покрытие; 3- контактный конец без покрытия; l – длина зачищенного от покрытия конца электрода 20–25 мм; d – диаметр электрода, определяемый диаметром стержня; L – номинальная длина электрода со стержнем из сварочной проволоки; D – диаметр покрытия, (l – для электрода для $\varnothing 1,6 \div 2,5 - 20$ мм; для $\varnothing 3 \div 8 - 25$ мм);

Диаметр d (\varnothing) электрода = 1,6 – 2,0 – 2,5 – 3,0 – 4,0 – 5,0 – 6,0 – 8,0 – 10,0 – 12,0.

Реально употребляемые диаметры электродов от 2,0 до 5,0 – будем рассматривать только их. Чем меньше диаметр d , тем меньше длина L .

Минимальная **длина** электродов со стержнем из низкоуглеродистой и легированной стали $\varnothing = 2,0$ мм – 250 мм; из высоколегированной стали – 200 мм.

Максимальная длина электродов для $\varnothing = 4,0$ и более – 450 мм со стержнем из низкоуглеродистой и легированной стали; 450 мм из высоколегированной стали, но часто ограничиваются длиной в 350 мм).

Чем определяется длина? Ограничивающим фактором силы сварочного тока является покрытие. Покрытие при сварке сильно нагревается и не выдерживает излишне высокой температуры нагрева стержня. Входящие компоненты преждевременно диссоциируют и разлагаются. Все зависит от температуры, при которой нагревается стержень и покрытие, и времени воздействия дуги. Температуру ограничивают за счет ограничения $I_{св}$, а время – его длиной. Чем короче, тем лучше. Но короткие надо часто менять. При указанных параметрах найден компромисс.

При сварке аустенитных сталей, т.е. высоколегированных, электроды короче, т.к. у длинных покрытие будет больше перегревается из-за более высокого у аустенитных сталей электрического сопротивления.

Количество теплоты, вводимое в электрод, постоянно проходящим через стержень электрическим током в единицу времени q_T , Дж/с равно:

$$q_T = I_{св}^2 \cdot \rho (L_{ст}/F_{ст}) \cdot t; \quad q_T = I^2 \cdot R \cdot t, \quad \text{где } t \text{ – время прохождения эл. тока.}$$

$R = \rho \cdot L / F_{ст}$ $\rho = R \cdot F_{ст} / L$ ($F_{ст}$ – площадь проводника, L – длина, R – сопротивление проводника).

Поэтому, если установить длину электрода из аустенитного стержня такую же, как из углеродистого, то покрытие будет перегреваться и становиться непригодным. По мере плавления электрода меняется характер и скорость расплавления стержня. Если увеличивается скорость расплавления

до 30%, трудно вести процесс сварки. (Вообще допускается повышение скорости расплавления стержня к концу электрода не более чем на 30%).

l – длина зачищенного от покрытия конца электрода.

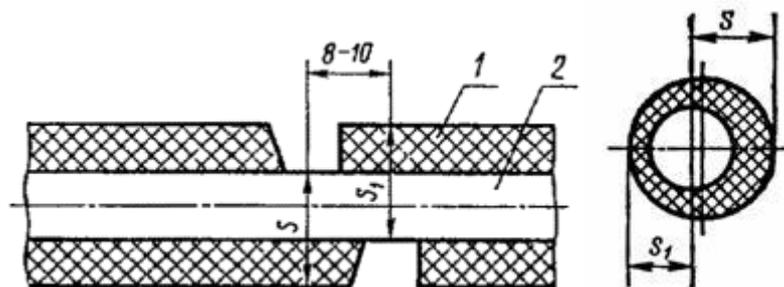
Для электродов $\varnothing 1,6 \div 2,5$ мм $l = 20$ мм; для $\varnothing 3,0$ мм и более $l = 25$ мм.

Форма зачистки покрытия со стороны контактного торца электрода – конусная, округлая, так, чтобы контактный торец был свободен от покрытия. На торец может быть нанесен слой ионизирующего вещества (Fe^+ графит + жидкое стекло).

Разнотолщинность – e . (правила приемки по ГОСТ 9466).

Параметр e (разнотолщинность) – разность толщины покрытия в диаметрально противоположных участках электрода – исключительно важная величина. Покрытие должно располагаться относительно стержня концентрично.

Разность толщины покрытия e определяют в трех местах электрода, смещенных относительно друг друга на 50 - 100 мм по длине и на $120^\circ \pm 15^\circ$ по окружности. Измерения в каждом месте производят микрометром в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 2, с погрешностью 0,01 мм. Величину (e) в миллиметрах вычисляют по формуле: $e = S - S_1$.



1-покрытие электрода; 2-стержень электрода

Рисунок 2 – Схема измерения разнотолщинности покрытия электрода

Так как основной причиной появления козырька является разнотолщинность покрытия, поэтому этот параметр жестко регламентируется и не должен превышать в зависимости от диаметра стержня электрода величин, указанных в таблице ГОСТ, например:

Для $\varnothing 2,0$ мм $e \leq 0,10$ мм; $\varnothing 3,0$ $e \leq 0,15$ мм; $\varnothing 4,0$ $e \leq 0,20$ мм.

Рассмотрим образование втулки на торце электрода (см. рисунок 3).

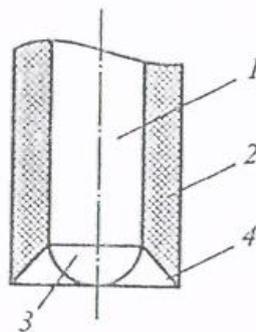


Рисунок 3 – Покрытый электрод с образовавшейся на на конце электрода втулкой: 1-металлический стержень; 2-покрытие; 3-торец оплавившегося стержня электрода; 4-втулка

Втулка образуется из покрытия на торце электрода из-за низкой теплопроводности и оказывает благоприятное воздействие на проплавляющую способность дуги вследствие большего воздействия направленных газовых потоков, защиту капель от воздуха. Но глубокая втулка (из-за магнитного дутья и неконцентричного покрытия) относительно стержня чувствительна к образованию козырька (из-за магнитного дутья и неконцентричного покрытия). Присутствие козырька мешает вести нормально сварку, особенно короткой дугой, при сварке корня шва.

Кроме указанных размеров и параметров стандартом регламентируются следующие технологические требования к электродам:

1. Уровень **сварочно-технологических свойств** – главный показатель для сварщика (требования к сварочно-технологическим свойствам см. пп. 3.13ГОСТ 9466):

- дуга должна легко возбуждаться и стабильно гореть;
- покрытие должно равномерно плавиться без образования козырьков;
- образующийся при сварке шлак должен обеспечивать правильное формирование шва и легко удаляться после охлаждения;
- в металле шва не должно быть трещин и поверхностных пор.

Допускаются внутренние поры и шлаковые включения на 100 мм шва в местах наибольшего скопления размером и в количестве, указанном в таблице 1, например, для диаметров 3 мм и 4 мм.

Таблица 1– Максимальные размеры и число внутренних пор и шлаковых включений в металле шва не должны превышать норм, указанных в таблице.

Диаметр электрода, мм	Максимальный линейный размер поры, шлакового включения	Количество штук в однопроходном шве на 100мм длины шва	Количество штук в многопроходном шве на 100мм длины шва
3,0	0,8 мм	3	5
4,0	1,0 мм	3	5

2. Состояние поверхности покрытия.

Покрытие должно быть прочным, плотным, без вздутий, пор, наплывов, трещин. Допускается в определенных количествах и размерах наличие вмятин, задиров, а также отдельных продольных трещин малой протяженности. Эти допускаемые дефекты не влияют на сварочно-технологические свойства электрода.

3. Прочность покрытия электрода.

Покрытие не должно разрушаться при падении на стальную плиту плашмя (для разных диаметров разная высота падения).

На каждый электрод, т.е. марку, должны быть **технические условия или ГОСТ**, где должны быть указаны: химический состав; коэффициент наплавки; механические свойства; расход электродов на количество наплавленного металла, *например, на 1 кг наплавленного металла в разных положениях*; содержание влаги в покрытии перед употреблением.

Электроды при их изготовлении сушат с целью удаления влаги и упаковывают. При хранении они могут набирать влагу. Электроды следует хранить в сухих отапливаемых помещениях при температуре не ниже +15°C в условиях, предотвращающих набирание ими влаги, механические повреждения. (Кусок покрытия взвешивают, прокаливают и снова взвешивают, чтобы определить содержание влаги).

Прокалка электродов

Температура прокалки:

С целлюлозным покрытием – 100°C;

Рутиловым покрытием – 150–180°C;

Основным (УОНИ) – 400–420°C, чтобы не было трещин.

Характеристики плавления электродов

Важным показателем плавления электрода является коэффициент наплавки (α_n , г/А·ч), определяющий производительность процесса сварки – это отношение массы металла, наплавленной за единицу времени горения дуги, отнесенное к единице силы сварочного тока.

$$\alpha_n = m_n / J_{св} \cdot t_0, \text{ г/А} \cdot \text{ч.}$$

Для электродов марки МР-3 $\alpha_n = 8 - 9$ г/А·ч.

Следует отметить, что α_n не всегда характеризует действительную производительность РДС, которая в значительной степени зависит также и от допускаемой для конкретной марки электрода силы сварочного тока. Более точным показателем эффективности процесса сварки и использованием того или иного электрода является производительность наплавки (Π_n , кг/ч)

$$\Pi_n = \alpha_n \cdot J_{св} / 1000, \text{ кг/ч}$$

Например, для электродов МР-3 $\Pi_n = \alpha_n \cdot J_{св} / 1000 = 8 \cdot 200 / 1000 = 1,6$ кг/ч.

Для электродов марки ОЗС-3, у которого $\alpha_n = 15$ г/А·ч (т.к. в покрытие входит порошок Fe) $\Pi_n = \alpha_n \cdot J_{св} / 1000 = 15 \cdot 230 / 1000 = 3,4$ кг/ч.

Расчет массы электродов, требуемой для наплавки 1 кг металла.

Расход электродов на 1 кг наплавления металла (технологический показатель для определения расхода электродов). Сколько килограммов

электродов надо сжечь, чтобы наплавить 1 кг металла? Масса электрода – масса стержня + масса покрытия (40%). В наплавленный металл идет в основном масса стержня + огарок (~ 50 мм стержня) + брызги расплавленного металла. И получается: для **МР-3** – 1,7 кг – это теоретически. В ТУ – 2,0 кг. Для наплавки 1 кг нужно 1,7 кг электродов. **ОЗС-3** – 1,3 кг (т.к. в покрытии 61% Fe-порошка, и он переходит в шов).

В соответствии с ГОСТ 9466-75 «Электроды покрытые металлические для РДС сталей и наплавки. Классификация, размеры и общие технические требования» все электроды для сварки сталей и сплавов **классифицируются** прежде всего **по назначению**:

- Для сварки углеродистых и низколегированных конструкционных сталей с временным сопротивлением разрыву σ_b до 60 кг·с/мм² (590 МПа). Условное обозначение этой группы – **У**.

- Для сварки легированных конструкционных сталей с временным сопротивлением разрыву σ_b свыше 60 кг·с/мм² (590 МПа) – **Л**.

(потом вы узнаете, а сейчас предварительно – (ранее среднелегированные)) – стали легированные одним или несколькими элементами при их суммарном содержании 2,5–10%, например (30 ХГСА). Они термообработанные.

- Для сварки теплоустойчивых сталей – **Т**.

- Для сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами (коррозионностойкие, жаростойкие, жаропрочные) – **В**.

- Для наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами (работающих в условиях абразивных, износо-ударных нагрузок, металлорежущих инструментов, штамповочных и др.) – **Н**.

По толщине покрытия

В зависимости от отношения D/d (D – диаметр покрытия, d – диаметр электрода, определяемый диаметром стержня) электроды **подразделяются**:

- С тонким покрытием ($D/d \leq 1,20$) – **М**.

- Со средним покрытием ($1,20 \leq D/d \leq 1,45$) – **С**.

- С толстым покрытием ($1,45 \leq D/d \leq 1,80$) – **Д**.

- С особо толстым покрытием ($D/d > 1,80$) – Г.

По видам покрытия электроды подразделяются:

- С кислым покрытием – А.
- С основным покрытием – Б.
- С целлюлозным покрытием – Ц.
- С рутиловым покрытием – Р.
- С покрытием смешанного вида – соответствующее двойное условное обозначение.
- С прочими видами покрытий – П.

Примечание: при наличии в составе покрытия железного порошка в количестве более 20% к обозначению вида покрытия следует добавлять букву **Ж**.

Кислое покрытие: основа – оксиды Mn (MnO), Fe (FeO , Fe_2O_3), Si (SiO_2). Шлак с явными окислительными свойствами. Газовая защита за счет органических компонентов (крахмал). Обеспечивает сварку на форсир. режимах, малая склонность к образованию пор, м/капельный перенос.

Рутиловое покрытие: рутиловый концентрат + каолин, плавиковый шпат, слюда и др. Газовая защита от мрамора ($CaCO_3$), магнезита ($MgCO_3$), целлюлозы. В качестве раскислителей и легирующих Fe-Mn (ферромарганец), но в меньшем количестве, чем в кислом покрытии. Высокие сварочно-технические свойства и стабильные механические (МЗ-3: Рутил – 50%, мрамор – 18%, Fe-Mn – 15%, тальк – 10%, каолин – 5%, целлюлоза – 2%).

Основное покрытие: основа $CaCO_3 - SiO_2 - CaF_2$. Значительное место CaO – основной оксид. Газовая защита – CO_2 . Раскислители Fe-Mn, Fe-Si, Fe-Ti. Легирование различными Fe-сплавами. Низкое содержание O_2 , N_2 и H_2 в наплавленном металле шва с высокой пластичностью, механическими свойствами. Стойкое к холодным и горячим трещинам. Сварка ответственных и особо ответственных конструкций. (УОНИ 13/55: мрамор – 54, CaF_2 – 15, SiO_2 – 9, Fe-Mn – 5, Fe-Si – 5, Fe-Ti – 12, Na – жидкое стекло.

Целлюлозное покрытие: целлюлоза – защитный газ, шлак – рутил, немного мрамора, талька и пр. Все положения + сверху–вниз, высокая проплавливающая способность, хорошее формирование образующегося валика, но повышенное разбрызгивание, грубочешуйчатая поверхность сварного шва, высокий водород (электроды марки ВСЦ – 4М, целлюлоза – 34, рутил – 39, Fe-Mn – 10 и др.).

По допустимым пространственным положениям сварки или наплавки электроды подразделяются (у положения сварки есть еще положение *сверху–вниз, снизу-вверх*):

- 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**.

Часто на пачках и в справочной литературе положения сварки обозначают графически (см.рисунок 4).

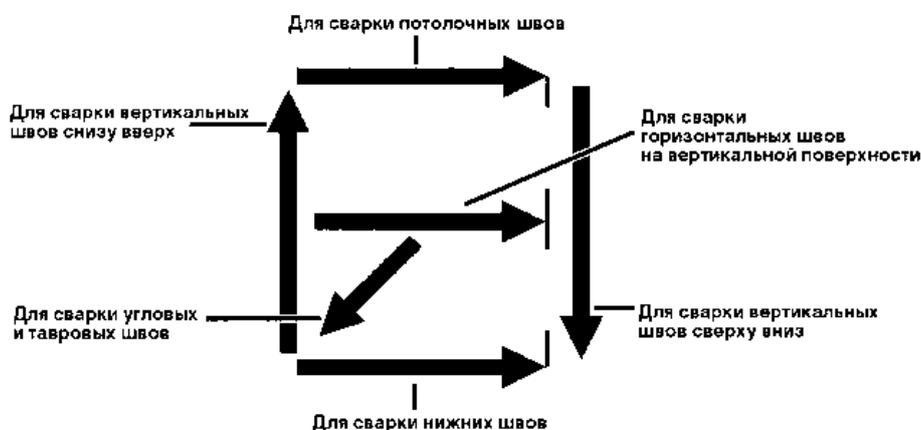


Рисунок 4 Графическое изображение пространственных положений сварки и наплавки

По роду и полярности применяемого при сварке или наплавке тока, а также по номинальному напряжению холостого хода, используемого источника питания сварочной дуги переменного тока частотой 50 Гц, электроды подразделяются в соответствии с таблицей 2.

Таблица 2– Подразделение электродов по роду и полярности применяемого при сварке или наплавке тока, а также по номинальному напряжению холостого хода, используемого источника питания сварочной дуги переменного тока частотой 50 Гц

Рекомендуемая полярность постоянного тока (обозначение)	Напряжение холостого хода источника переменного тока, И х.х.
Только постоянный ток обратной полярности (0)	–
Рекомендуемая полярность постоянного тока*	
Любая (1) Прямая (2) Обратная (3)	50±5
Любая (4) Прямая (5) Обратная (6)	70±10
Любая (7) Прямая (8) Обратная (9)	90±5

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

Если в условном обозначении на пачке электродов, например:

$$\frac{\text{Э42-УОНИ-13/45-3,0-УД}}{\text{Е412(5)-Б20}}$$

в числителе стоит 0 (ноль), то это значит, что данные электроды предназначены для сварки **только** на постоянном токе обратной полярности.

Е 412(5) – группа индексов, указывающих характеристики наплавленного металла.

Если в условном обозначении, например, стоит 6

$$\frac{\text{Э46-МР-3-3,0-УД}}{\text{Е430(3)-Р26}}$$

то это говорит о том, что эти электроды могут работать и на переменном токе при номинальном напряжении холостого хода трансформатора 70 В (6) и на постоянном токе с рекомендуемой обратной полярностью.

Сварочная дуга может устойчиво гореть либо только на постоянном токе, либо на переменном и постоянном токе. Если дуга устойчиво горит на переменном токе, то на постоянном токе она будет гореть устойчиво тем более, так и электроды. Есть электроды устойчиво и стабильно работающие только на постоянном токе (с основным покрытием – УОНИ), есть на переменном и постоянном токе (с рутиловым покрытием МР-3). Если сварка осуществляется электродами на постоянном токе, то она может выполняться **по трем вариантам** (в зависимости от марки электрода и условий производства сварочных работ).

- 1) Сварка может выполняться на прямой полярности, когда электрод подключен к отрицательному полюсу (-).
- 2) Сварка может выполняться на обратной полярности, когда электрод подключен к положительному полюсу (+).
- 3) Сварка может выполняться на любой полярности.

Например, электроды марок **УОНИ** работают на обратной полярности; **LB-52U** (Япония, фирма KOBЕ Steel, фирма ESAB, Швеция) – на обратной полярности, а корень шва – на прямой; **BÖULER FOX CEL** – работают в положении сверху вниз, корень – прямая полярность, остальное на обратной; **МР-3** – переменный ток + обратная полярность; **МР-4** – переменный ток + прямая полярность; **АНО-4** – переменный ток + любая полярность.

Ток и правильная полярность – крайне важно, так как от этого зависит устойчивость горения дуги, разбрызгивание, проплавление, форма шва.

Для обеспечения легкого зажигания сварочной дуги и ее стабильного горения нужен источник питания сварочной дуги с определенным напряжением. Оно называется напряжение холостого хода. **U х.х.** – это напряжение на зажимах (выходных клеммах) источника питания дуги при разомкнутой сварочной цепи. Естественно, чем больше **U х.х.**, тем лучше для дуги, но хуже человеку, опасно. Низкое **U х.х.** – человеку хорошо, а дуге плохо. Нашли компромисс – для РДС – не более 100 В. Чаще всего 60-80 В – более безопасно. При этом величина компромиссных напряжений особенно

важна для сварки переменным током, при котором для горения дуги условия хуже, чем для сварки постоянным. И если $U_{x.x.}$ достаточно для устойчивого процесса сварки переменным током, то дуге постоянным тем более. Поэтому для оценки возможностей применения электродов устанавливают минимальное значение $U_{x.x.}$ – только для переменного тока, как наиболее от него зависящее.

Теперь вернемся к классификации по роду тока, полярности и напряжению ($U_{x.x.}$). Для наглядности ниже приведена таблица 3 из ГОСТ 9466.

Таблица 3– Подразделение электродов по роду и полярности применяемого при сварке или наплавке тока, а также по номинальному напряжению холостого хода, используемого источника питания сварочной дуги переменного тока частотой 50 Гц (другой вариант таблицы 2)

Рекомендуемая полярность постоянного тока	Напряжение холостого хода источника переменного тока, В		Обозначение
	Номин.	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 и наплавки только на постоянном токе обратной полярности.

Например, для электродов марки УОНИ 13/55 необходим постоянный ток– 0; для МР-3 – $U_{x.x.}$ - 70 В (60-80), если на постоянном токе, то на обратной полярности – 6; МР-4 – $U_{x.x.}$ - 50 В (45-55), на постоянном токе на прямой полярности – 2; BÖULER FOX - $U_{x.x.}$ > 70 В; ОК 74.70 – $U_{x.x.}$ - 75 В; ОК 53.70 - $U_{x.x.}$ – 60 В.

Если электроды горят не от 70 В, а от 80 В, то не потому, что они плохие, они просто другие. У них лучше какие-то другие свойства. Не бывает и у электродов, чтобы в одном типе или марке было все лучшее. Но при

производстве РДС это надо учитывать. В первую очередь род тока, потом напряжение. Взяли МР-3 и хотите работать на переменном токе при $U_{x.x.} = 50 \text{ В}$ (45-55), замечаете что дуга зажигается и горит плохо, но не потому, что они плохие, они предназначены для более высокого $U_{x.x.}$ Взяли МР-4 – все хорошо.

Электроды еще подразделяются **на типы** в соответствии с ГОСТ 9467-75 «Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки конструкционных и теплоустойчивых сталей. Типы», ГОСТ 10052-75 «Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами. Типы» и ГОСТ 10051-75 «Электроды покрытые металлические для ручной дуговой наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами. Типы».

Еще подразделяются **на марки**

По техническим условиям или стандартам каждая марка электродов должна иметь технические условия (ТУ), лучше, если будет стандарт.

Типы и конкретные марки промышленных марок будем изучать со следующих занятий. А сейчас:

Условное обозначение электродов

Для оперативного пользования ГОСТ 9466-75 предусматривает определенный порядок и форму условного обозначения сварочных покрытых электродов на этикетках, маркировке коробок, пачек и ящиков с электродами, а также во всех видах документации (кроме конструкторской).

В обозначении электродов для легированных сталей с $\sigma_b > 60 \text{ кг}\cdot\text{с}/\text{мм}^2$ группа индексов обозначает химический состав наплавленного металла, а также минимальную температуру, при которой ударная вязкость (КС) металла шва составляет $\geq 3,5 \text{ кгс}\cdot\text{м}/\text{см}^2$. Для теплоустойчивых сталей группа индексов включает два индекса. Первый индекс указывает минимальную температуру для КС, второй – максимальную температуру, при которой регламентирована длительная прочность. Структура условного обозначения на этикетках и маркировках приведена на рисунках 5 и 6.

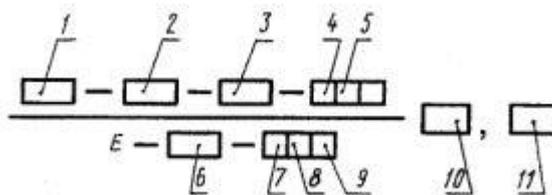


Рисунок 5. Структура условного обозначения покрытого электрода:

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

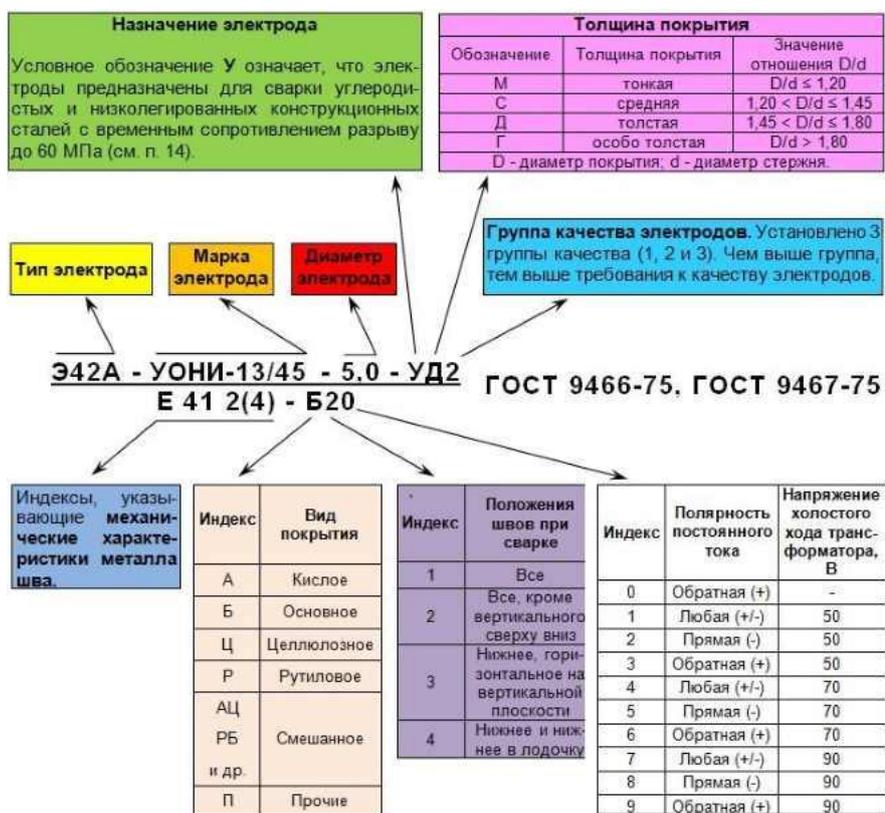


Рисунок 6 – Структура условного обозначения покрытого электрода и его расшифровка

В условном обозначении электродов для сварки углеродистых и низколегированных сталей с $\sigma_b \leq 60 \text{ кг} \cdot \text{с} / \text{мм}^2$ после буквы Е тире не ставят.

В современных условиях производства сварочных работ, связанных с использованием электродов, изготавливаемых в различных странах, необходимо знание основных систем классификации и кодирования сварочных электродов по международным и зарубежным стандартам.

Международные стандарты на покрытые электроды

В Евросоюзе все сварочные электроды (как и проволоки) разделены на четыре группы в зависимости от назначения. Для каждой группы существует отдельный стандарт:

1. EN ISO 2560-2002 (ранее EN 499). Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки нелегированных мелкозернистых сталей.

2. EN ISO 18275-2005 (ранее EN 758). Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки высокопрочных сталей.

3. EN ISO 3580-2004 (ранее EN 12535). Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки теплоустойчивых сталей.

4. EN ISO 3581-2003 (ранее EN1600). Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки коррозионностойких и жаростойких сталей.

Существует определенная корреляция Европейской классификации электродов и стандарта ГОСТ 9466. Первая группа электродов (ISO 2560) обозначается в стандарте ГОСТ 9466 буквой У, вторая группа (ISO 18275) — буквой Л, третья группа (ISO 3580) — буквой Т, четвертая группа (ISO 3581) — буквой В. Таким образом можно провести определенную аналогию между некоторыми марками отечественных и импортных электродов.

Стандарты, идентичные Европейским, существуют и действуют в России и Беларуси. Для первой группы сталей ГОСТ Р ИСО 2560, СТБ ISO 2560; для второй группы ГОСТ Р ИСО 18275, СТБ ISO 18275; для третьей — ГОСТ Р ИСО 3580, СТБ ISO 3580, для четвертой группы сталей ГОСТ Р ИСО 3581; СТБ EN 1600.

Обозначение электродов по стандартам ISO отличается от ГОСТ 9466. Следует отметить, что стандарты ISO допускают два варианта классификации и обозначения одного и того же электрода.

EN ISO 2560 — допускает классификацию и обозначение по пределу текучести (система А стандарта) или по временному сопротивлению разрыву (система В стандарта).

EN ISO 3581 – допускает классификацию и обозначение по номинальному составу (система А) и по системе легирования (система В).

В стандарте EN ISO 3580 разрешается классификация и обозначения по химическому составу (система А) и по пределу прочности и химическому составу (система В).

Пример обозначения электрода по EN ISO 2560 (СТБ ISO 2560, ГОСТ Р ISO 2560) в системе А:

EN ISO 2560A-E 46 3 1Ni B 54 H5

E — символ покрытого электрода

46 — предел текучести наплавленного металла — 460 МПа.

3 — минимальная температура эксплуатации минус 30С (при работе удара 47Дж).

2Ni — содержит от 0,6 до 1,2% никеля

B — основной тип покрытия

5 –Номинальный переход металла электрода в шов и род тока

4 – положение при сварке

H5 — содержание водорода 5мг/100г. шва.

Для более подробной расшифровки обозначения электродов необходимо пользоваться соответствующими стандартами.

В каждую из перечисленных групп электродов входит достаточно большое количество марок, отличающихся в определенных пределах свойствами, составом покрытия, устойчивостью горения дуги и другими параметрами.

Система кодирования электродов для РДС по ГОСТ 9466, 9467.

Электроды типа Э50А по ГОСТ 9467 марки УОНИ 13/55 диаметром 4 мм для сварки углеродистых и низколегированных сталей с толстым покрытием с установленной по ГОСТ 9467 группой индексов, указывающих характеристики наплавленного металла и металла шва с основным покрытием для сварки во всех положениях, кроме вертикального сверху вниз.

$$\frac{\text{Э50А-УОНИ-13/55-4,0-УД}}{\text{Е514-Б20}} \text{ ГОСТ 9466-75, ГОСТ 9467-75,}$$

где в группе (Б20) цифра 2 указывает, что сварку данными электродами можно вести во всех положениях, кроме вертикального сверху вниз; в группе индексов Е514 первые две цифры показывают минимальное значение σ_b (52 кгс/мм²), а третий индекс характеризует минимальные значения показателей δ (%) и температуру (Т°С) (-30°С) при которой, δ имеет значение $\geq 20\%$, а КСВ составляет $\geq 3,5$ кгс·м/см². Если показатели КСВ и Т соответствуют различным индексам, то третий индекс устанавливается по минимальному значению δ , а в группу индексов вводится четвертый дополнительный, указываемый в скобках. Например, Е514(5), где наплавленный металл и металл шва имеют $\text{КСВ} \geq 3,5$ кгс·м/см² при температуре минус 40 °С.

Если будет стоять, например, группа (Р22), то это обозначает, что электроды имеют рутиловое покрытие и гарантируется качество при работе ими на прямой полярности для всех положений, кроме вертикального сверху вниз;

Структура условного обозначения в документации на электроды:

Марка → **диаметр** ГОСТ 9466-75

Пример:

Электроды МР-4 – 3,0 ГОСТ 9466-75

Примеры условных обозначения электродов

Примеры условных обозначений:

Электроды типа Э42А по ГОСТ 9467-75, марки УОНИИ-13/45, диаметром 3,0 мм, для сварки углеродистых и низколегированных сталей У, с толстым покрытием Д, с установленной по ГОСТ 9467-75 группой индексов, указывающих характеристики наплавленного металла и металла шва, 43 2(5), с основным покрытием Б, для сварки во всех пространственных положениях 1 на постоянном токе обратной полярности 0:

$$\frac{\text{Э42А - УОНИИ - 13/45 - 3,0 - УД}}{\text{Е 43 2(5) - Б10}} \text{ ГОСТ 9466 - 75, ГОСТ 9467 - 75}$$

- на этикетках или в маркировке коробок, пачек и ящиков с электродами;

Электроды УОНИИ-13/45-3,0 ГОСТ 9466-75 - в документации.

Электроды типа Э-09Х1МФ по ГОСТ 9467-75, марки ЦЛ-20, диаметром 4,0 мм, для сварки легированных теплоустойчивых сталей Т, с толстым покрытием Д, с установленной по ГОСТ 9467-75 группой индексов, указывающих характеристики наплавленного металла и металла шва, 27, с основным покрытием Б, для сварки во всех пространственных положениях 1 на постоянном токе обратной полярности 0:

$$\frac{\text{Э - 09Х1МФ - ЦЛ - 20 - 4,0 - ТД}}{\text{Е - 27 - Б10}} \text{ ГОСТ 9466 - 75, ГОСТ 9467 - 75}$$

- на этикетках или в маркировке коробок, пачек и ящиков с электродами;

Электроды ЦЛ-20-4,0 ГОСТ 9466-75 - в документации.

Электроды типа Э-10Х25Н13Г2Б по ГОСТ 10052-75, марки ЦЛ-9, диаметром 5,0 мм, для сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами В, с толстым покрытием Д, с установленной по ГОСТ 10052-75 группой индексов, указывающих характеристики наплавленного металла и металла шва, 2075, с основным покрытием Б, для сварки в нижнем, горизонтальном на вертикальной плоскости и вертикальном снизу вверх положениях 3 на постоянном токе обратной полярности 0:

$$\frac{\text{Э - 10Х25Н13Г2Б - ЦЛ - 9 - 5,0 - ВД}}{\text{Е - 2075 - Б30}} \text{ ГОСТ 9466 - 75, ГОСТ 10052 - 75}$$

- на этикетках или в маркировке коробок, пачек и ящиков с электродами;

Электроды ЦЛ-9-5,0 ГОСТ 9466-76 - в документации.

Электроды типа Э-11ГЗ по ГОСТ 10051-75, марки ОЗН-300У, диаметром 4,0 мм, для наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами Н, с толстым покрытием Д, с установленной по ГОСТ 10051-75 группой индексов, указывающих характеристики наплавленного металла, 300/33-1, с основным покрытием Б, для наплавки в нижнем положении 4 на постоянном токе обратной полярности (0):

$$\frac{\text{Э - 11ГЗ - ОЗН - 300У - 4,0 - НД}}{\text{Е - 300/33 - 1 - Б40}} \text{ ГОСТ 9466 - 75, ГОСТ 10051 - 62}$$

- на этикетках или в маркировке коробок, пачек и ящиков с электродами;

Электроды ОЗН-300У-4,0 ГОСТ 9466-75 - в документации.

Упаковка, маркировка, транспортирование и хранение

Упаковка. ГОСТ 9466-75 регламентирует 5 различных вариантов упаковки электродов в коробки или пачки. Основные из них, которые широко применяют на практике, следующие:

- * в герметизируемые пластиковые коробки (пеналы);
- * в коробки из коробчатого картона толщиной не менее 0,8 мм;
- * в коробки из коробчатого картона толщиной не менее 0,7 мм с последующим герметичным упаковыванием каждой коробки в полиэтиленовую пленку толщиной 0,1-0,2 мм или в полиэтиленовую термоусадочную пленку;
- * в пачки, завернутые в двухслойную упаковочную бумагу или мешочную влагопрочную бумагу или в равноценную им по характеристикам;
- * в пачки, завернутые в оберточную бумагу, с последующим упаковыванием каждой пачки в герметичную оболочку из полиэтиленовой пленки толщиной 0,1-0,2 мм.

Лучший вариант упаковки – это в герметичные пластмассовые пеналы или в герметичную оболочку из полиэтиленовой пленки. Но это не спасает от обратного насыщения электродного покрытия влагой (*об этом позже!*).

Масса электродов в коробке или пачке не должна превышать

3 кг для электродов \varnothing до 2,5 мм;

5 кг для электродов \varnothing 3,0–4,0 мм;

8 кг для электродов \varnothing 5 мм и более.

Коробки или пачки с электродами должны быть упакованы по одному из следующих вариантов:

- * в ящиках из картона, где масса брутто упаковочных мест не должна превышать 32 кг;
- * в ящики из древесноволокнистых плит толщиной 4 мм \leq 50 кг;
- * для деревянных ящиков с влажностью древесины не более 22% \leq 80 кг;

* для многооборотных ящичных металлических поддонов и крупногабаритных деревянных ящиков – 1100 кг;

С согласия изготовителя и потребителя могут быть установлены другие виды упаковки, предотвращающие возможность увлажнения и повреждения покрытия электродов.

Маркировка. На каждой коробке или пачке с электродами должна иметься **этикетка** или **маркировка**, содержащая следующие данные:

- наименование или товарный знак предприятия-изготовителя;
- условное обозначение электродов;
- номер партии и дату изготовления;
- область применения электродов;
- режимы сварочного тока в зависимости от диаметра электродов и положения сварки или наплавки;
- особые условия выполнения сварки или наплавки;
- механические и специальные свойства металла шва, наплавленного металла или сварного соединения, не указанные в условном обозначении электродов;
- допустимое содержание влаги в покрытии перед использованием электродов;
- режим повторного прокаливания электродов;
- массу электродов в коробке или пачке.

Транспортная маркировка – по ГОСТ 14192. При этом наносят манипуляционные знаки «Хрупкое. Осторожно!» и «Беречь от влаги!», а на одну из боковых поверхностей каждого ящика наклеивают этикетку (см. выше).

Каждая партия электродов должна сопровождаться сертификатом, удостоверяющим соответствие электродов требованиям данного стандарта и стандартами или технических условий на электроды данной марки. В сертификате указывают:

- наименование или товарный знак предприятия-изготовителя;
- условное обозначение электродов;

- номер партии и дату изготовления;
- массу нетто партии в килограммах;
- марку проволоки электродных стержней с указанием обозначения стандарта или технических условий;
- фактический химический состав наплавленного металла;
- фактические значения показателей механических и специальных свойств металла шва, наплавленного металла или сварного соединения, являющихся приемосдаточными характеристиками электродов конкретной марки.

Транспортировка. Электроды транспортируют любыми видами транспорта крытыми транспортными средствами в соответствии с правилами перевозок, действующими на конкретном виде транспорта.

При перевозке железнодорожным транспортом электроды, упакованные в деревянные ящики, транспортируются в крытых вагонах повагонными и мелкими отправлениями, а электроды, упакованные в ящики из картона и древесноволокнистых плит – в универсальных контейнерах. При этом деревянные ящики формируют в пакеты по ГОСТ 26663. Допускается использование плоских поддонов одноразового применения по ГОСТ 26381 или подкладок из деревянных брусков сечением не менее 50 x 50 мм.

Хранение. Электроды следует хранить в сухом отапливаемом помещении при температуре $\leq +15^{\circ}\text{C}$ в условиях, предохраняющих их от загрязнений, увлажнений и механических повреждений.

Тема 4.3. Электроды для сварки углеродистых и низколегированных конструкционных сталей с временным сопротивлением разрыву до 60 кгс/мм² (590 МПа)

Электроды этой группы часто называют электродами общего назначения (в отличие от электродов специального назначения, предназначенных для сварки сталей и сплавов с особыми свойствами: коррозионностойкие, жаропрочные и пр., для сварки цветных металлов и пр.).

Электроды общего назначения предназначены, главным образом, для сварки различного рода конструкций из конструкционных материалов, где главная характеристика материала и сварных соединений – прочность и другие механические свойства, как правило, σ_B , σ_T , δ , a_H (КС).

Поэтому электроды общего назначения нацелены на получение сварных соединений, независимо от рода конструкций, с определенными, заранее заданными механическими свойствами, и **не рассчитаны на получение соединений со служебными свойствами** (хотя некоторые марки электродов общего назначения вследствие своих индивидуальных особенностей могут иметь дополнительные, выходящие из общих рамок области применения, например, для сварки в условиях низких температур, динамических нагрузок).

Электроды общего назначения составляют основную массу изготавливаемых и применяемых в производстве электродов. Если в СНГ в 1999 году было изготовлено 213 тыс. т электродов, то на только электроды общего назначения падает более 95% от общего объема выпуска электродов, т.к. основная масса сталей в СНГ – низкоуглеродистые и низколегированные. Это в основном электроды с рутиловым, ильменитовым (в последнее время) и основным покрытием. При этом доля рутиловых и ильменитовых электродов занимает от электродов общего назначения главенствующее место и составляет около 80%.

Электроды для сварки углеродистых и низколегированных конструкционных сталей в соответствии с ГОСТ 9467-75 «Электроды

покрытые металлические для ручной дуговой сварки конструкционных и теплоустойчивых сталей. Типы классифицируются на типы, при этом основным показателем, позволяющим относить электроды к тому или иному типу, является σ_B и другие механические свойства, т.к. для конструкции главное – прочность и другие механические характеристики.

Для этой группы электродов ГОСТом 9467-75 определено 9 типов. Прежде всего это: Э38, Э42, Э46, Э50, Э55 и Э60. Э – электрод. Цифры 38...60 – минимальные значения временного сопротивления разрыву $\text{кг}\cdot\text{с}/\text{мм}^2$ металла шва или наплавленного металла или сварного соединения, выполненного электродами данного типа в соответствии после сварки, без т/о.

Если электрод относится к типу Э46, то σ_B не менее $46 \text{ кгс}/\text{мм}^2$. Но тип определяет не только σ_B , но и другие механические свойства и даже содержание S и P в наплавленном металле.

S и P – это самые вредные для стали элементы, оказывающие крайне неблагоприятное влияние на свойства металла шва и сварного соединения, т.е. на сварную конструкцию. S – повышает склонность к горячим трещинам, P – то же самое + резко снижает ударную вязкость.

$$\text{Ударная вязкость } a_H(\text{КСУ, V, T}) = \frac{\text{работа удара}}{\text{площадь}}; \frac{\text{кгс}\cdot\text{м}}{\text{см}^2}; \text{ Дж}/\text{см}^2$$

характеризует сопротивление стали хрупкому разрушению. Например,

тип	σ_B	α°	$\delta, \%$	$a_H(+20^\circ\text{C})$	S	P
Э42	≥ 42 (410 МПа)	≥ 150	≥ 18	$\geq 8 \text{ кг}\cdot\text{с}/\text{см}^2$ (80 Дж/см ²)	$\leq 0,04\%$	$\leq 0,045\%$
Э46	≥ 46 (450 МПа)	≥ 150	≥ 18	$\geq 8 \text{ кг}\cdot\text{с}/\text{см}^2$	$\leq 0,04\%$	$\leq 0,045\%$
Э50	≥ 50 (490 МПа)	≥ 120	≥ 16	$\geq 7 \text{ кг}\cdot\text{с}/\text{см}^2$	$\leq 0,04\%$	$\leq 0,045\%$

Примечание: Для сварочного соединения, выполненного электродами Ø 3,0 мм

Но электроды, относящиеся к заданным типам, не всегда позволяют получать сварные соединения, равноценные свойствам основного металла,

например, в условиях динамических нагрузок и низких температур. Кроме того, оно имеет достаточно высокую склонность к трещинам. Следовательно, нужны еще и другие электроды, отвечающие высоким требованиям. И такие электроды есть. И чтобы их как-то выделить ввели еще 3 типа электродов – Э42А, Э46А, Э50А.

Электроды, относящиеся к этим типам, должны обеспечивать более высокие пластические свойства металла шва или наплавленного металла и меньшее содержание S и P (и как следствие меньшую склонность к образованию горячих трещин). В таблице 1 представлены для сравнения механические свойства металла шва и наплавленного металла, полученные электродами типов Э42 и Э42А,

Таблица 1 – Механические свойства металла шва и наплавленного металла, полученные электродами типов Э42 и Э42А

	σ_b	α , град	δ	a_n	S	P
Э42	≥ 42 (410 МПа)	≥ 150	≥ 18	≥ 8 кг·с/см ² (80 Дж/см ²)	$\leq 0,040\%$	$\leq 0,045\%$
Э42А	≥ 42 (410)	≥ 180	≥ 22	≥ 15 кг·с/см ² (150 Дж/см ²)	$\leq 0,030\%$	$\leq 0,035\%$

Следует отметить, что электроды типа Э42А, Э46А, Э50А – это электроды с основным покрытием, позволяют получать более качественные сварные соединения только при полном соблюдении более высоких технологических требований. (Ничто в природе и в жизни просто так не дается). Например, обязательно требуется более тщательная очистка кромок, высокотемпературная проковка перед сваркой, сварка короткой дугой.

Электроды типов Э55 и Э60 также имеют содержание S и P – 0,03% и 0,035% соответственно. В таблице 2 представлены значения механических свойств металла шва и наплавленного металла, полученного электродами типа Э60.

Таблица 2 - Механических свойств металла шва и наплавленного металла, полученного электродами типа Э60

	σ_b	α	δ	a_H	S	P
Э60	≥ 60	120	≥ 18	≥ 10	0,030%	0,035%

Все электроды с основным покрытием менее технологичны при сварке.

Пока все в старой системе, хотя сейчас в литературе и ТУ дают значения механических свойств в новой системе.

	σ_b	δ	a_H
Э50А	490 МПа	$\geq 20\%$	$\geq 130 \text{ Дж/см}^2$

$$1 \text{ кг} = 9,8 \text{ Н}$$

$$9,8 \approx 10; \text{ МПа} = 1 \text{ н/мм}^2$$

Основные марки электродов, применяемые в настоящее время в промышленности и строительстве

Ранее широко применяли электроды с меловым (тонкое покрытие) покрытием (стабилизирующим) Сварка электродом с меловой обмазкой хотя и делала возможным сваривание металла в принципе, но не обеспечивала защиту расплавленной ванны от атмосферных газов. Швы, выполненные такими электродами, имели содержание азота в 50 раз, кислорода в 5-10 раз больше, чем основной металл. При этом содержание углерода в наплавленном металле уменьшалось в 4 раза. Все это делало возможным использования меловых электродов только для сварки неответственных конструкций. Эти электроды предназначались для сварки во всех положениях неответственных конструкций, работающих при нормальной температуре в условиях статических нагрузок. Ими работали на переменном и постоянном токе, дугой возможно короткой. Сушка 15-25°C – 3-4 часа. Эти электроды относятся к типу Э34. Металл шва и наплавленный имеет следующие значения механических свойств: $\sigma_b \geq 34 \text{ кг}\cdot\text{с/мм}^2$; $\delta > 6\%$; $a_H - 5-25 \text{ кг}\cdot\text{с/см}^2$; $\alpha \geq 30^\circ$. Химический состав наплавленного металла (% по массе): С – 0,03, Mn

$\sim 0,18$, $Si \leq 0,03\%$, $S \leq 0,030\%$, $P \leq 0,035\%$, $O_2 - 0,129$, $N_2 - 0,135$. Выпуск электродов с многокомпонентными покрытиями, обеспечивающими вместе со стабилизацией дуги и защиту сварочной ванны от атмосферных газов, начался в СССР только в 1935 году.

[Э38] – ЛКИ–1П (Ленинградский кораблестроительный ин-т) – покрытие прочное рутилово-основное для подводной сварки и «мокрым способом», конструкций из н/у стали. Постоянный ток, обратная полярность, переменный ток – $U_{х.х.} - 70 \pm 10В$.

[Э42] – АНО–6, АНО–6М – рудно-кислое, ильменитовый концентрат. Сварка конструкций из нержавеющей стали. Все положения кроме «сверху–вниз». Постоянный и переменный ток. $U_{х.х.} \geq 50В$. (Электроды неважные, в настоящее время практически не изготавливаются и не применяются). $T_{пр} - 150 \div 180^{\circ}C - 0,5$ ч.

ЭПС –АН1 (опытный завод сварки металлов) – кислое, ильменитовое, для подводной сварки, «мокрым способом» конструкций из н/у сталей. Постоянный и переменный ток – $U_{х.х.} - 70 \pm 10В$. (Строительство и ремонт портовых сооружений, ремонт судов, трубопроводов и т.п. (аварийно-спасательные работы).

[Э46]

<p>Рутиловые – сварка ответственных конструкций из низкоуглеродистой стали. Постоянный и переменный ток. Все положения кроме верт. «сверху–вниз». $T_{пр} - 150 \div 180^{\circ}C - 1,5-2$ ч. У всех $\alpha_n - 8 - 8,5$ г/А·ч, $TiO_2 \cdot FeO$ – рутиловый концентрат.</p>		
MP-3↓	АНО-4↓	ОЗС-12↓
$U_{х.х.} - 70 \pm 10В$	$U_{х.х.} - 50 \pm 5В$	$U_{х.х.} - 50 \pm 5В$

ОЗС-3 (опытный завод сварки мет.) – $U_{х.х.} - 70 \pm 10В$. $\alpha_n - 15$ г/А·ч.- электроды с рутиловым покрытием и железным порошком.

MP-3 – Санкт-Петербург;

MP-3 Плазма торговой марки Континент (Светлогорский завод сварочных электродов).

MP-3Б – Беларусь Континент.

MP-3 Оливер Линкольн Электрик.

АНО-4, ОЗС-12, АНО-21 – Оливер, рутиловое покрытие.

АНО-4, MP-3Д – ильментовое покрытие. Рутила в них нет. Кислые. Для сварки конструкций из низкоуглеродистой стали. Постоянный и переменный ток. Все положения кроме «сверху–вниз», но в потолочном практически невозможно. Хуже рутиловых. $T_{пр} - 150\div 180^{\circ}\text{C} - 40$ мин.

MP-3С – СпецЭлектрод.

Omnia 46 – американские рутилово-целлюлозные электроды Линкольн Электрик. Они могут сваривать при $U_{х.х} - 50\text{В}$ все положения, в т. ч. сверху–вниз, предназначены для сварки ответственных конструкций из н/у сталей. Температура прокали ($T_{пр}$) $100\pm 10^{\circ}\text{C} - 0,5-1$ ч. Линкольн Электрик купила завод Межгосметиз (г. Мценск Орловской обл.), который выпускает продукцию по рецептуре американской фирмы, в частности Omnia.

АНО-21 ($\varnothing 2,0-3,0$ мм), **АНО-33** (или 36; институт электр. Патона), **ЛЭЗMP-3С** (Лосиноостр-электр. завод),

OK 46.00 (шведские электроды Оскар Кельвин),

AV-31 (латвийская фирма) – электроды с рутилово-целлюлозным покрытием для сварки ответственных конструкций из низкоуглеродистых сталей во всех положениях, в т.ч. сверху вниз. $T_{пр} = 100\pm 10^{\circ}\text{C} - 0,5-1$ ч. Электроды отличаются высокими сварочно-технологическими свойствами.

Böhler Fox Cel – электроды с целлюлозным покрытием. Постоянный ток обратной полярности. Можно использовать для корневого шва на прямой полярности. Отличное формирование обратного валика. Во всех положениях. Целлюлозное покрытие дает влагу от $2\div 7\%$. Хранение в закрытых металлических банках. Прокалка не допускается.

[Э50] МГМ-50К рутилово-целлюлозные. Все как у рутилово - ильментовых. Все положения, кроме сверху-вниз + рекомендуется (и это подтверждено практикой) для ремонтной сварки трубопроводов, сетей водоснабжения и теплосбережения, поскольку позволяет вести качественную

сварку по слою воды, загрязненных, плохо очищенных от ржавчины поверхностей. $T_{пр} = 100 \pm 10^\circ\text{C} - 1 \text{ ч.}$

Низколегированные конструкционные стали можно считать вполне пригодными для дуговых способов сварки. К низколегированным сталям относят стали, легированные одним или несколькими элементами при суммарном их содержании не более 5%, при этом содержание одного элемента не превышает 2%. Эти стали не относятся к группе металлов, обладающих повышенной склонностью к образованию холодных и горячих трещин. Вместе с тем, необходимо отметить, что при повышенном содержании легированных элементов и особенно углерода, в стали проявляется чувствительность к образованию мартенсита (закалочных структур).

[Э55] УОНИ-13/55У основные + ЛЭЗ (ЛЭЗУОНИ - 13/55У) сварка стержней аппаратуры и рельсов из углеродистой и низколегированной стали (Ст 5, 18Г2С, 25ГС и др.). Могут быть использованы для сварки стальных металлоконструкций. Сварка постоянным током обратной полярности во всех положениях, кроме «сверху–вниз». Особенности сварки как у всех электродов типа УОНИ (см. далее). $T_{пр} = 300 \div 350^\circ\text{C} - 1-1,5 \text{ ч.}$ Применяется мало.

[Э60] УОНИ-13/65 – основные. Сварка металлоконструкций до 630 МПа из углеродистых и низколегированных сталей. Особенности сварки как у всех электродов типа УОНИ

МТГ-03 – основные. Сварка трубопроводов. Сварка постоянным током обратной полярности во всех положениях, кроме вертикального «сверху–вниз». Особенности сварки как у всех электродов типа УОНИ.

ОК 74.70 (шведские электроды Оскар Кельвин) – постоянным и переменным током обратной полярности. $U_{х.х.} > 75\text{В}$. Все положения кроме вертикального «сверху–вниз». $T_{пр} = 300 \div 350^\circ\text{C} - 1-1,5 \text{ ч.}$

Электроды типов с буквой А (Э42А, Э46А, Э50А)

Электроды имеют основное покрытие, обеспечивают получение наплавленного металла и металла шва с более высокими пластическими

характеристиками по относительному удлинению ($\delta, \%$), ударной вязкости ($a_{н,}$) углу изгиба (α) и более высокой стойкостью против образования горячих и холодных трещин. Отличается меньшим содержанием в наплавленном металле S, P, O₂ и H₂, но более высокой склонностью к образованию пор водородного и азотного происхождения.

Особенности сварки:

1. Высокотемпературная прокалка электродов перед сваркой (в общем случае 300–350°C – 1–1,5 ч., при сварке сталей, склонной к образованию холодных трещин, 400–420°C – 2–2,5 ч), хранение прокаленных электродов в условиях, предотвращающих их от увлажнения.

2. Требуется очистка кромок свариваемых деталей до металлического блеска.

3. Сварка только короткой (0,5–0,7 d_{эл}) и предельно короткой дугой (опиранием). Как правило, сварку ведут постоянным током обратной полярности во всех положениях кроме вертикального «сверху–вниз».

Теперь все электроды будут называться УОНИИ–13.

[Э42А] – УОНИ–13/45; УОНИИ–13/45 сварка ответственных конструкций из углеродистых и низколегированных сталей. При сварке сталей с $\sigma_{в}$ до 400 МПа используют для выполнения корня шва. Можно применять для сварки сталей с более высокой $\sigma_{в}$. Электроды дают мягкий пластичный шов.

[Э46А] УОНИИ–13/45R – под этой маркой выпускает МГМ (Межгосметиз). R – электроды изготавливаются под надзором Российского Морского Регистра Судоходства. **УОНИИ–13/45P** – выпускает ЗАО «Электр. завод», Санкт-Петербург. Сварка ответственных конструкций из углеродистых и низколегированных сталей с $\sigma_{в}$ до 450 МПа (например, 09Г2С). Можно применять для сварки сталей с более высокой $\sigma_{в}$. Самая большая группа электродов этого класса А.

[Э50А] УОНИ-13/55; УОНИИ-13/55 – сварка ответственных конструкций из углеродистых и низколегированных сталей с $\sigma_{в}$ до 510 МПа.

Возможно применение для сварки низколегированных сталей с σ_b до 590 МПа (16Г2АФ). Температура прокалики 360–400°С 2 часа.

ЛЭЗ УОНИ–13/55С – имеет специальное основное покрытие; мягкое горение, легкое отделение шлака.

ТМУ–21У – Сварка ответственных конструкций, гл. образом трубопроводов из углеродистых и низколегированных сталей энергетического оборудования тепловых и атомных станций. Электроды \varnothing 2,5 мм – для сварки корневых слоев трубопроводов. Преимущества по сравнению с УОНИ 13/55:

- имеет лучшую отделяемость шлаковой корки;
- допускает сварку в узкой разделки с углом разделки кромок 15° (при зазоре до 8-10 мм на остающей подкладке). Легче удаляется шлак из жидкого металла. Имеет лицензию Госатомнадзора РФ. $T_{пр} = 360-400^{\circ}\text{C} - 1-1,5 \text{ ч.}$

АНО-ТМ – сварка неповоротных стыков нефтегазопроводов из углеродистых и низколегированных сталей с σ_b до 510 МПа постоянным и переменным током ($U_{х.х.} \geq 70\text{В}$). Характеризуется качественным формированием обратного валика шва с плавным переходом к основному металлу. Сварка корневого шва – стали до 590 МПа. Обратная полярность; корневого шва – прямая. $T_{пр} = 390 \pm 10^{\circ}\text{C} - 1 \text{ час.}$ (*Аналог, рецептура позаимствована с LB-52U, Япония*).

МТГ–01К – \varnothing 2,5 мм, 3,0 мм. Сварка корневого шва. Стыкового шва трубопроводов из углеродистых и низколегированных сталей с σ_b до 590 МПа. Сварка всех слоев шва трубопровода из углеродистых и низколегированных сталей с σ_b до 530 МПа. $T_{пр} = 360-400^{\circ}\text{C} - 1 \text{ ч.}$

МТГ–01К – \varnothing 4,0 мм. Сварка заполняющего шва и облицовочных слоев шва трубопроводов и металлических конструкций из углеродистых и низколегированных сталей с σ_b до 545 МПа.

LB-52U (Япония) – Сварка стыковых соединений металлических конструкций и односторонних стыковых соединений трубопроводов из сталей с σ_b до 50 кг/мм² (490 МПа) постоянным и переменным током.

(Корень шва – прямая полярность, остальное обратная полярность). $T_{пр}$ – 300-350°C – 0,5-1,5 ч.

OK-53.70 (Швеция, фирма ESAB) – односторонняя сварка трубопроводов и металлических конструкций. Постоянный ток обратной полярности и переменным током ($U_{х.х.} > 60В$). Корень шва – прямая полярность.

FOX EV PIPE – односторонняя сварка трубопроводов постоянным током обратной полярности. Корень шва – прямая полярность.

Conarc 52 (Линкольн Электрик, США – Lincoln Electric) – односторонняя сварка трубопроводов переменным и постоянным током.

Basic One (Линкольн Электрик, США) – сварка металлических конструкций и трубопроводов из углеродистых и низколегированных сталей с σ_b до 490 МПа постоянным током с повышенной производительностью ($\alpha_n = 10,5-12,5г/А.ч$). $T_{пр}$ – 350°C – 2-4 ч.

Тема 4.4. Электроды для сварки легированных конструкционных сталей с временным сопротивлением разрыву свыше 60 кгс/мм² (590 Мпа) и теплоустойчивых сталей

Это весьма важная группа электродов, поскольку речь идет о сварке сталей повышенной и высокой прочности, из которой изготавливают облегченные и одновременно особо ответственные нагруженные конструкции в энерго - и химическом машиностроении, судо - и самолетостроении и т.п.

Сварка этой группы сталей сопряжена с рядом серьезных затруднений, обусловленных повышенной склонностью сталей к горячим и, особенно, холодным трещинам, а также трудностью получения равноценных сварных соединений.

Чувствительность к охрупчиванию конструкционных низколегированных и легированных сталей в первом приближении можно определить путем расчета углеродного эквивалента

$$C_{\text{экв}} = C + \text{Mn} / 6 + (\text{Cr} + \text{Mo} + \text{V}) / 5 + (\text{Ni} + \text{Cu}) / 15, \%$$

Если $C_{\text{экв}} > 0,4-0,45\%$ следует считать сталь чувствительной к образованию хрупких закалочных структур.

И в этом контексте правильный выбор электродов, как и другие параметры технологического процесса сварки, приобретают особенно актуальное значение.

Высокие механические свойства легированных сталей достигаются за счет соответствующим их легированием одним или чаще несколькими компонентами в количестве 2,5-10%, а также за счет надлежащей термической обработки, в основном, улучшения, т.е. закалки с последующим отпуском. (Кстати, по количеству легирующих элементов к легированным сталям относятся и некоторые марки теплоустойчивых сталей, но теплоустойчивые стали, вследствие их специфических особенностей, выделяют в отдельную группу.

Примеры марок легированных сталей: улучшаемая – **30ХГСА** 880°С - закалка, 540°С - отпуск; $\sigma_B > 1080$ МПа, высокопрочная – **30ХГСНА** 900°С - закалка, 260°С - отпуск; $\sigma_B > 1620$ МПа.

С целью получения равноценного сварного соединения необходимо проводить термообработку, но в зависимости от размеров сварной конструкции, ее деформируемости при высокотемпературном нагреве, назначению и предъявляемых к конструкции требований, наличия оборудования для термообработки, условий производства, сварные соединения из легированных сталей после сварки **могут подвергаться и не подвергаться термообработке.** (Термообработка в виде отпуска сварных соединений, связанных с устранением остаточных напряжений, в данном случае не рассматривается. Это отдельный вопрос. Отпуску для снятия напряжений могут подвергаться и соединения из низкоуглеродистых сталей).

В связи с этим, сварку конструкций из легированных сталей, в т.ч. РДС, производят по двум технологическим вариантам:

- с последующей после сварки термической обработкой;
- без последующей термической обработки.

От выбора технологических вариантов сварки легированных сталей во многом зависит в т.ч. и выбор электродов.

Электроды для сварки легированных сталей с последующей термической обработкой.

Сварку легированных сталей с последующей после сварки полной термической обработкой сварных соединений производят, как правило, при изготовлении ответственных и тяжело нагруженных конструкций, работающих в сложных эксплуатационных условиях.

Если позволяют габаритные размеры конструкции и обеспечиваются условия предупреждения деформаций при термообработке, то сварные соединения подвергаются полной термической обработке, т.е. закалке и отпуску. Это наилучшее решение. В случаях, когда (по только что обозначенным причинам) применять закалку нельзя, но улучшить механические свойства металла шва (а заодно и ЗТВ) необходимо,

применяют только отпуск, обычно высокотемпературный (600-650°C). Но это отдельно оговаривается решением, поскольку никакой отпуск сварных соединений по конечному результату, как правило, не может быть тождественен полной термической обработке (поскольку при отпуске при нагреве ниже температуры A_c , не происходит полной перекристаллизации металла). В большинстве случаев, только после полной термообработки сварные соединения становятся равноценными основному металлу по всему комплексу физико-механических свойств, но, естественно, при обязательном условии, что и сварной шов – как часть сварного соединения – после термообработки также будет равноценен основному металлу, а это возможно только при правильном выборе и применении покрытых электродов, поскольку металл шва, его химический состав и, как следствие, его свойства формируются при непосредственном участии сварочных материалов электродов.

Кроме σ_v ГОСТ 9467 на типы электродов регламентирует также и δ и a_H металла шва и наплавленного металла, а также предельное содержание серы и фосфора в наплавленном металле: $S \leq 0,03\%$, $P \leq 0,035\%$ – для всех типов электродов Э70–Э150.

Содержание других химических элементов, кроме S и P, т.е. химический состав наплавленного металла ГОСТом 9467-75 не регламентируется. Вместе с тем, требования к химическому составу наплавленного металла, как правило, присутствуют в нормативной документации на конкретную марку электродов, поскольку их необходимо учитывать при выборе электродов для сварки определенной марки стали применительно к определенному объекту. Ведь механические свойства металла шва, а, следовательно, и всего сварного соединения, особенно после термической обработки, определяются главным образом химическим составом металла шва, который в свою очередь определяется химическим составом основного металла и наплавленным присадочным металлом, т.е. электродом.

Это очень важно, особенно при сварке конструкций, работающих в экстремальных условиях. Если химический состав металла шва не будет соответствовать заданному, то показатели механических свойств сварного соединения по конкретной марке стали могут оказаться просто неудовлетворительными по σ_B , δ или a_H .

Примеры показателей механических свойств металла шва и наплавленного металла после соответствующей термической обработки, выполненного электродами типов Э70, Э85, и Э150 по ГОСТ 9467-75 приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Показатели механических свойств металла шва и наплавленного металла после соответствующей термической обработки, выполненного электродами типов Э70, Э85, и Э150 по ГОСТ 9467-75

Тип	σ_B кг·с/мм ² (МПа)	δ , %	a_H кгс·м/см ² (Дж/ см ²)	$S \leq 0,03$, $P \leq 0,035$ (Э50А – $a_H = 130$, $\delta = 20$)
Э70	70 (690)	14	6 (60)	
Э85	85 (830)	12	5 (50)	
Э150	150 (1470)	6	4 (40)	

Показатели механических свойств сварных соединений, выполненных электродами $\varnothing < 3,0$ мм, должны соответствовать требованиям ТУ на электроды конкретной марки.

Кстати в ТУ могут регламентироваться требования к механическим свойствам металла шва и наплавленного металла и сварного соединения не только после термической обработки, но и в состоянии после сварки (т.е. без термической обработки).

Все эти электроды рассматриваемых типов Э70–Э150 имеют покрытие основного вида, поэтому требуют соответствующего «культурного» (прокалка, очистка, кор. дуга) к ним отношения. Этому обязывает также и степень ответственности конструкций, которые свариваются этими электродами. Сварка выполняется постоянным током обратной полярности.

Некоторые промышленные марки электродов

УОНИ–13/85 – тип Э85 (применяются мало). (ЛЭЗ УОНИ–13/85)

Сварка ответственных и особо ответственных конструкций из легированных сталей с $\sigma_{\text{в}}$ до 830 МПа (не 30ХГСА, а вообще стали). Все положения, кроме *сверху–вниз*. Постоянный ток обратной полярности. Короткая и предельно короткая дуга, т.е. все как у УОНИ 13/55, $T_{\text{пр}} – 400-420^{\circ}\text{C} – 2-2,5 \text{ ч.}$

Сварка легированных сталей практически всегда сопряжена с повышенной склонностью к образованию холодных трещин.

Химический состав наплавленного металла (% по массе): С – 0,1-0,15; Мп – 1,5-2,3; Si – 0,5-1,0; Мо – 0,5-0,8.

Механические свойства металла шва после термической обработки (закалка $860^{\circ}\text{C} + \text{отпуск } 560^{\circ}\text{C}$) – по нормативам ТУ $\sigma_{\text{в}} = 940 \text{ МПа}$, $\delta – 15\%$, $a_{\text{н}} = 110 \text{ Дж/см}^2$.

В условном обозначении данных электродов в числителе стоит (Е-12Г2СМ-О – Б26).

ЛЭЗ НИАТ-3М – $\sigma_{\text{в}} = 880 \text{ МПа}$ (НИАТ-3М – ТИП Э85)

Сварка ответственных и особо ответственных конструкций из легированных сталей с $\sigma_{\text{в}}$ до 980 МПа (марок 30ХГСА, 30ХГСН, 25ХГСА и т.д.). Характеристики аналогичны УОНИ–13/85, но $T_{\text{пр}} – 450-500^{\circ}\text{C} – 2 \text{ часа.}$

Химический состав наплавленного металла (% по массе): С – 0,12-0,15; Мп – 1,2-1,5; Si – 0,2-0,5; Cr – 0,7-0,9; Мо – 0,3-0,5. В условном обозначении данных электродов в числителе стоит (Е-13Г1Х1М-О – Б20).

Механические свойства металла шва после термической обработки (закалка $900^{\circ}\text{C} + \text{отпуск } 510^{\circ}\text{C}$); $\sigma_{\text{в}} = 900 \text{ МПа}$, $\delta – 13\%$, $a_{\text{н}} = 100 \text{ Дж/см}^2$.

Пример выбора марки электрода:

Две марки электродов типа Э-85: УОНИ–13/85 и НИАТ–3М. Каждую марку электрода можно применять для сварки стали 30ХГСА. Более приемлема НИАТ–3М, а не УОНИ–13/85, не смотря на то, что УОНИ тоже относится к типу Э85. Так как химический состав наплавленного металла НИАТ–3М ближе к химическому составу стали 30ХГСА. В результате

металл шва будет иметь химический состав, который стабильно обеспечивает необходимые механические свойства после термической обработки. Так что при выборе марки электрода для сварки конкретной марки легированной стали надлежит обращать внимание не только на тип электрода, но и на химический состав полученного наплавленного металла.

ОЗШ-1 тип **Э100**. Сварка ответственных конструкций из легированных сталей с σ_b до 980 МПа. Все положения и режимы, как у УОНИ-13/85. $T_{пр} - 350-400^\circ\text{C} - 1,5-2,0$ ч.

Интересно отметить, что эти электроды $\varnothing 3,0, 4,0$ и $5,0$ мм можно использовать, как наплавочные (тип Э-16Г2ХМ по ГОСТ 10051-75).

Наплавка штампов для горячей штамповки HRC – 35-39 (без т/о).

Э100 - ОЗШ - 1 - Ф - ЛД
E - 16Г2Х1С1М1 - 0 - Б20

Электроды для сварки легированных сталей без последующей термической обработки

Ну а как же быть со сваркой ответственных конструкций без последующей термической обработки других видов и марок легированных сталей, в т.ч. с $\sigma_b > 800-850$ МПа? Ведь не всегда же можно при сварке некоторых, особенно крупногабаритных объектов в реальных условиях производства проводить термическую обработку.

Ручную дуговую сварку ответственных конструкций из всех видов легированных сталей, в т.ч. высокой прочности, особенно без последующей термической обработки, особенно при производстве ремонтных работ, выполняют специальными электродами, обеспечивающими получение металла шва с аустенитной структурой. Сварку выполняют без подогрева или с подогревом $100-120^\circ\text{C}$. Шов с такой структурой отличается высокой пластичностью и вязкостью, а получаемое сварное соединение имеет повышенную стойкость против образования холодных и горячих трещин (отсутствует в аустенитной структуре подвижность дифф. водорода – стр. 270 кн. Жизнякава).

(Такая структура металла шва характерна для сварных соединений, получаемых при сварке высоколегированных сталей, например, коррозионно-стойких сталей типа 12X18H10T. Сварку таких сталей мы будем рассматривать позже).

Недостатком получаемых по этой технологии сварных соединений является относительно низкие прочностные характеристики металла шва: σ_B составляет ≈ 590 МПа (60 кгс/мм²). Поэтому вариант сварки легированных сталей «аустенитными» электродами применяется в тех случаях, когда равнопрочность металла шва не является обязательным условием. При выполнении же швов, воспринимающих значительные расчетные нагрузки, увеличивают или катет сварного шва или периметр сварных швов при работе на срез, или толщину деталей в месте расположения сварных соединений.

Некоторые промышленные марки электродов:

Марка **ЭА-395/9** – ($\frac{\text{Э-11X15H25AM6-ЭА395/9-Ф-ВД}}{\text{Е-001-Б20}}$) электроды по ГОСТ 10052 для сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами (В) с толстым покрытием (Д) с группой индексов* (см. примечание) с основным покрытием (Б) и т.д. Сварка ответственных конструкций из легированных сталей повышенной и высокой прочности в термически упрочненном состоянии без последующей после сварки термической обработки. Сварку выполняют без подогрева или с подогревом. Температура 100-120°C на постоянном токе обратной полярности. $T_{\text{пр}} - 330-380^\circ\text{C}$ (не 200-280°C) – 2,0 ч.

Можно сваривать углеродистые и низколегированные стали со сталями аустенитного класса. Типичные свойства шва $\sigma_B = 690$ МПа, $\delta - 37\%$, $a_H = 210$ Дж/см². Структура чисто аустенитная стойкая против трещин из-за наличия молибдена типа 11X15H25AM6. Химсостав наплавленного металла: С – 0,09; Mn – 1,2; Si – 0,6; Ni – 25; Cr – 15,5; Mo – 5,4; N – 0,12; S – 0,007; P – 0,02.

* *Примечание.* В группе индексов **1-ый индекс** характеризует стойкость наплавленного металла к межкристаллитной коррозии (0 – данных нет; 2 – металл не склонен при испытании в зависимости от метода; 3, 4, 5); **2-ой индекс** указывает максимальную температуру, при которой регламентированы показатели длительной прочности наплавленного металла (0 – данные

отсутствуют; 1 – до 500°C и т.д.); **3-й индекс** указывает максимальную температуру, до которой допускается применение электродов при сварке жаростойких сталей (1 – до 600°C, 2 – 610-650 и т.д.); **4-й индекс** указывает содержание ферр. фазы).

Марка **НИАТ-5** – то же, в т.ч. сварка сталей марок 30ХГСА, 30ХГСНА. Тип Э – 11Х15Н25М6АГ2 по ГОСТ 10052. $T_{пр} – 330-350^{\circ}\text{C} – 1,0$ ч. Типичные механические свойства: $\sigma_b = 660$ МПа, $\delta – 39\%$, $a_n = 200$ Дж/см².

В таблице 2 представлены типичные механические свойства металла швов, полученных электродами **НИАТ-5** (шов без термообработки) и **НИАТ-3М** (шов после термообработки).

Таблица 2 – Типичные механические свойства металла шва

		σ_b , (МПа)	δ , %	a_n , Дж/ см ²
Сталь	30ХГСА зак. + отп.	1100	1,0	50
Марки электродов	НИАТ-3М	990	13	100 зак.+ отп. после сварки
	НИАТ-5	660	38	180 без т.о.

Условные обозначения электрода для сварки легированных сталей с $\sigma_b > 60$ кг·с·м/см². Например:

Э85-УОНИ-13/85-Ф-ЛД ГОСТ 9466-75, ГОСТ 9467-75
Е-12Г2СМ-0-Б20

Где 12Г2СМ – группа индексов, обозначающих характеристики наплавленного металла, указывающих среднее содержание основных химических элементов с погрешностью 1%. Фактически типичный химический состав наплавленного металла С – 0,12%, Мп – 1,9%, Si – 0,75%, Мо – 0,65%.

(В группе индексов перед последним индексом ставится тире (–); см. ГОСТ 9467-7 стр. 5 примечание к табл. 4). **0** – индекс, характеризующий min температуру, при которой a_n металла шва при испытании образцов типа IX по ГОСТ 6996-66 составляет не менее 3,5 кг·с·м/см² (35 Дж/ см²).

Мин. температура	Индекс
Не регламентировано	0
+20	1
0	2
-20	3
-30	4
-40	5
-50	6
-60	7

Теплоустойчивые стали – стали, длительно работающие при повышенных температурах – до 550-600°С. Эти стали используют при изготовлении энергетических и нефтехимических установок. В соответствии с условиями длительной работы под напряжением при достаточно высоких температурах теплоустойчивые стали должны обладать и обладают сопротивлением ползучести, длительной устойчивостью, стабильностью структуры и свойств во времени, жаростойкостью. Перечисленные свойства достигаются легированием сталей Cr, Mo (сталь 15 ХМ, 15Х5МА – сопротивляемость окислению до 600-650°С и др., работающие при температуре 450-550°С и легированием Cr + Mo + V (12Х1МФ, 15Х1М1Ф); 20ХМФА и др., работающие при температурах 550-600°С), т.е. специфические **характеристики теплоустойчивых сталей** определяются содержанием в сталях Cr, Mo и V.

То же самое имеет место и при РДС, когда металл шва сварочного соединения получает теплоустойчивые свойства за счет его легирования указанными элементами и это легирование осуществляется за счет покрытия. В покрытии находятся металлы, содержащие Cr (FeCr), Mo (FeMo), V (FeV) + FeTi, Fe-Si, Fe-Mn. Сварка в абсолютном большинстве случаев проводится с последующей термообработкой – обычно высокий отпуск. Термообработка проводится и для стабилизации и выравнивания структуры металла шва и (ЗТВ), а не только для снятия остаточного сварочного напряжения.

ГОСТ 9467-75 определено 9 типов электродов для сварки теплоустойчивых сталей. При этом главным показателем, по которому электроды относят к тому или иному типу, являются не механические свойства (прочность и др.), а химический состав наплавленного металла,

содержание в наплавленном металле в первую очередь Cr, Mo, V, т.е. именно они определяют теплоустойчивые характеристики стали. А механические характеристики ($\sigma_{в}$, δ , $a_{н}$) – это нужно, но это вторичный признак, но он, конечно, обязательно присутствует.

Типы электродов для сварки теплоустойчивых сталей, согласно ГОСТ 9467: Э – 09М; Э – 09МХ; Э – 09Х1М; Э – 05Х2М; Э – 09Х2М; Э – 09Х1МФ; Э – 10Х1М1НФБ; Э – 10Х3М1БФ; Э – 10Х5МФ.

Значение механических свойств установлено для металла шва и наплавленного металла после т/о по режимам, регламентированным ТУ или стандартом на электроды конкретных марок.

Электроды для сварки теплоустойчивых сталей

Теплоустойчивые стали – это стали, которые работают при повышенных температурах (550-600°C). Они при этих температурах обладают пониженной ползучестью, длительной прочностью. Эти стали легируют Cr, Mo, V (12Х1М1Ф, 12Х1МФ). Эти стали представляют низколегированные и легированные стали. Но вследствие вышеописанных свойств их выделяют в отдельную группу. Электроды для сварки теплоустойчивых сталей должны иметь тот же состав, что и стали. У этих сталей высокая склонность к холодным трещинам (P_c – параметр, характеризующий склонность стали к образованию холодных трещин; C_3 – углеродный эквивалент, определяющий чувствительность к охрупчиванию конструкционных низколегированных и легированных сталей). Если $P_c \geq 0,3$, то свариваемая сталь склонна к образованию холодных трещин.; если $C_3 > 0,40 - 0,45$ следует считать сталь чувствительной к образованию хрупких закалочных структур). Металлы должны проходить подогрев, а электроды прокалику.

Марки электродов: **ЦЛ-17** (покрытие основное; тип Э-10Х5МФ; стержни Св-10Х5М). Эти электроды предназначены для стали 15х5 М. Эти стали хорошо работают в агрессивных средах при температуре 450°C. Температура прокалки электродов 350-400°C. Подогрев стали для сварки составляет 250–400°C. Сварному соединению необходим высокий отпуск.

Если толщина сварного соединения выше 40 мм, отпуск производят, не давая остыть сварному соединению. Для сталей, работающих до температур 540°С, применяют электроды **ТМЛ-1У** (покрытие основное; тип Э-09Х1М), **ЦЛ-39** (покрытие основное; тип Э-09Х1МФ) – для сталей, работающих до температуры 585°С. Применяют электрод ЦЛ-39 только Ø 2,5 мм. Сварку ведут с предварит. и сопутствующим подогревом до 350–400°С.

Для энергетической промышленности применяют электроды **ЦУ-5**, выпускаемые только Ø 2,5 мм с покрытием основного типа повышенной толщины. (Котлоагрегаты, а также корневые швы стыковых соединений трубопроводов, работающих при температуре 400°С.

Если нельзя сделать высокий отпуск сварному соединению и подогреть, например, котел, применяют электроды марки **АНЖР-1** (типа нет, они выпускаются по ТУ), имеющей химический состав наплавленного металла (08Х24Н60М10Г2 – тип наплавленного металла). Их применяют для сварки теплоустойчивых сталей с высоколегированными высокопрочными сталями, а также сварка закаливаемых сталей без последующей термообработки и без предварительного подогрева при изготовлении и ремонте ответственных конструкций, работающих при температуре 550–600°С.

Зарубежные электроды, которые можно применять вместо АНЖР-1 – **ОК 92.45** (фирма ESAB, Швеция).

Условное обозначение на этикетках или в маркировке коробок пачек и ящиков с электродами

$$\frac{\text{Э-09Х1МФ-ЦЛ-20-4,0-ТД}}{\text{Е-27-Б10}} \text{ГОСТ 9466-75, ГОСТ 9467-75}$$

(Е-27 где 2 – температура при которой $a_n; \geq 35$ кгс·м/см; 7 – температура длительной прочности – до 580°С).

(P.S. В условном обозначении электродов для сварки легированных теплоустойчивых сталей группа индексов, указывающих характеристики наплавленного металла и металла шва должна включать два индекса. **Первый** – минимальную температуру, при которой a_n (КС) металла шва и наплавленного металла составляет ≥ 35 кг·с·м/см. **Второй** – индекс указывает максимальную температуру, при которой регламентированы показатели длительной прочности наплавленного металла и шва).

Электроды типа Э–09Х1МФ по ГОСТ 9467-75 марки **ЦЛ-20** Ø 4,0 мм для сварки легированных теплоустойчивых сталей с группой индексов, указывающей, что эти электроды должны обеспечить получение наплавленного металла и шва после т/о при испытании образцов по ГОСТ 6996 с a_n (КС) ≥ 35 кгс·м/см при температуре 0°С (2) и длительной прочностью наплавленного металла и шва до температуры 580°С (7), с основным покрытием, для сварки во всех пространственных положениях (1) на постоянном токе обратной полярности (0). **В документации: Электроды ЦЛ-20–4,0 ГОСТ 9466-75**

Узкоспециализированные электроды для сварки теплоустойчивых сталей

ГОСТ 9467-75 предусматривает 9 типов электродов для сварки таких сталей. Кроме представленных выше основных промышленных марок стандартизированных электродов большая группа узкоспециализированных электродов выпускается, в основном, для сварки энергетического оборудования по отраслевой документации (см. таблицу).

Электроды ЦУ-2ХМ (тип 09Х1М) предназначены для сварки оборудования из хромомолибденовых сталей марок 15ХМ, 20ХМ, 20ХМЛ, работающего при температурах до 540°С. Предел длительной прочности наплавленного металла после высокого отпуска за 100000 ч условного испытания при температуре 520°С составляет 137 МПа. Эти электроды применяют также для сварки основного слоя биметалла из сталей тех же марок.

Электроды ТМЛ-4В (тип Э-09Х1М) применяют для исправления дефектов в литых корпусных деталях турбин и паровой арматуры из сталей марок 20ХМЛ, 20ХМФЛ, 15Х1М1ФЛ, 12МХЛ, работающих при температуре до 565°С. Последующая термическая обработка отремонтированного участка не требуется.

Электроды ЦЛ-17 (тип Э-10Х5МФ) предназначены для сварки ответственных конструкций из хромомолибденовых и хромомолибденованадиевых сталей марок 15Х5М, 12Х5МА и 15Х5МФА, работающих в агрессивных средах при температуре до 450°С.

Сварку стыков трубопроводов из сталей 12МХ, 15ХМ, 12Х1МФ, 15Х1М1Ф, 20ХМФЛ, работающих при температуре до 540°С, а также элементов поверхностей нагрева из сталей 12Х1МФ, 12Х2МФСР и 12Х2МФБНв независимо от рабочей температуры производят электродами ТМЛ-1У (тип Э-09Х1М). Для выполнения стыков трубопроводов из теплоустойчивых перлитных сталей, работающих при температуре до 570°С, применяют электроды ТМЛ-3У и ЦЛ-20 (тип Э-09Х1МФ). Электроды ТМЛ-1У и ТМЛ-3У допускают осуществление сварки в узкие разделки.

Электроды марки ЦЛ-39, имеющие покрытие повышенной толщины и выпускаемые диаметром только 2,5 мм, предназначены для сварки элементов поверхностей нагрева котлоагрегатов, а также корневых слоев швов стыков толстостенных трубопроводов из сталей марок 12ХМФ и 15Х1М1Ф, эксплуатируемых при температуре до 585 С.

Таблица – 1 Основные характеристики электродов для сварки теплоустойчивых сталей (типичные значения)

Тип по ГОСТ 9467-75	Марка электрода	Химический состав наплавленного металла, %								Механические свойства металла шва при 20°C		
		C	Si	Mn	S	P	Mo	C ₂	V	$\sigma_{\text{в.МПа}}$	$\delta_5, \%$	KCU, Дж/см ²
Э-09Х1М	ТМЛ-4В	0,06	0,35	0,70	0,02	0,02	0,6	0,7	-	570	26	160
	ТМЛ-1У	0,09	0,25	0,70	0,018	0,020	0,48	0,90	-	530	19	120
	ЦУ-2ХМ	0,08	0,3	0,7	≤0,04	≤0,04	0,5	1,0	-	≥490	≥18	≥90
Э-09Х1МФ	ТМЛ-3У	0,08	0,25	0,75	0,020	0,023	0,50	0,9	0,18	570	17	175
	ЦЛ-20	0,08	0,3	0,8	≤0,035	≤0,035	0,6	1,0	0,2	590	≥16	≥120
	ЦЛ-39	0,09	0,3	0,75	0,020	0,25	0,55	1,1	0,2	560	20	120
Э-10Х5МФ	ЦЛ-17	0,09	0,17	0,6	0,014	0,021	0,44	4,7	0,26	585	22,5	185

Тема 4.5. Электроды для сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами и разнородных сталей

К высоколегированным сталям относятся сплавы металлов, содержание железа в которых более 45%, а суммарное содержание легирующих элементов не менее 10%, считая по верхнему пределу, при содержании одного из элементов не менее 8% по нижнему пределу. (Стали, где содержание железа не менее 45%, а суммарное содержание легирующих элементов $\geq 10\%$, относятся к **высоколегированным сталям**.)

Высоколегированные стали в зависимости от основных свойств подразделяются на **3 группы**:

1. Коррозионностойкие – стали, стойкие против химической и электрохимической коррозии.
2. Жаропрочные – стали, которые способны работать в нагруженном состоянии выше 550°C.
3. Жаростойкие (окалиностойкие) – стали, стойкие против разрушения поверхности выше 550°C.

Многие высоколегированные стали одновременно имеют все свойства. Легирующими компонентами в этих сталях является Cr и Ni. Эти стали имеют более низкую теплопроводность, большой коэффициент линейного расширения, поэтому они склонны к большим деформациям при сварке и напряжениям. Для сварки этих сталей есть ГОСТ 10052-75 «Электроды покрытые металлические для РДС высоколегированных сталей с особыми свойствами. Типы». В соответствии с ГОСТ электроды классифицируют по химическому составу наплавленного металла и механическим свойствам шва на 49 типов. Типы структур, которые возникают в высоколегированных сталях при охлаждении на воздухе с температуры 900°C представлены диаграммой Шеффлера (см. рисунок 1), которая была построена в 1949 году для листовой стали $\delta=12,7$ мм.

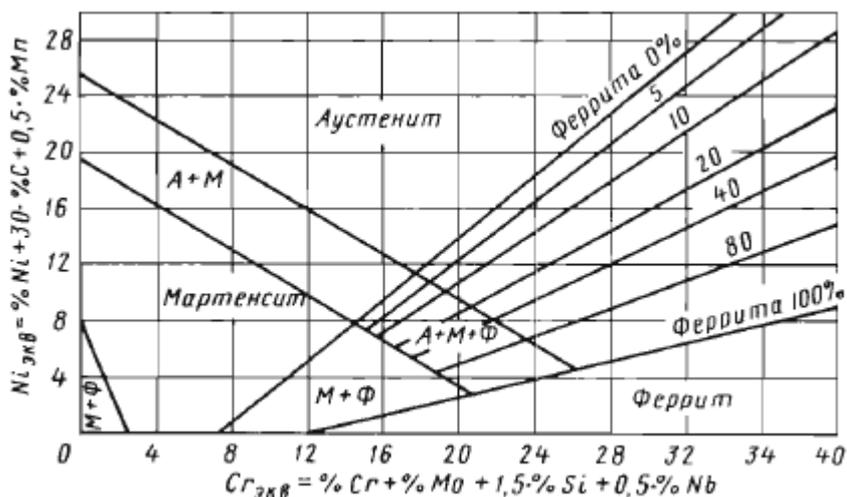


Рисунок 1 Структурная диаграмма Шеффлера для высоколегированных сталей

Как видно из диаграммы по структуре стали подразделяются на **классы**: мартенситный, мартенситно-ферритный, ферритный, аустенитный, аустенитно-ферритный и аустенитно-мартенситный.

По пригодности к сварке и общим ее особенностям высоколегированные стали можно условно разделить на две группы, связанные с системой легирования: **высокохромистые** и **хромоникелевые**.

Особенности сварки и рекомендуемая технология сварки высокохромистых сталей

К **высокохромистым** сталям относят железоуглеродистые сплавы с содержанием Cr от 10-30%. При концентрации углерода > 0,08% стали в зависимости от содержания хрома можно отнести:

- 1) к мартенситному классу (20X13, 30X13, 13X11H2B2MФ и др.);
- 2) к мартенситно-ферритному классу (12X13, 14X17H2, 15X12BHMФ и др.)
- 3) к ферритному классу (12X17, 08X17T, 15X25T).

Высокохромистые стали обладают малой пригодностью к РДС, т.к. они в основном имеют структуру мартенситную, мартенситно-ферритную и ферритную.

Особенности сварки мартенситного и мартенситно-ферритного класса в основном связаны с тем, что образование мартенситных структур в этих

сталях при охлаждении с высоких температур происходит в широком интервале скоростей охлаждения, перекрывающей интервал скоростей охлаждения металла, свойственный РДС. Таким образом, в ЗТВ в обязательном порядке будет присутствовать в значительном количестве мартенсит, и при наличии сварочных напряжений значительно увеличивает склонность к появлению холодных трещин. Этому способствует тот факт, что образующийся мартенсит имеет повышенную хрупкость.

Рекомендации для сварки высокохромистых сталей: малая q/v уменьшает зону мартенситного участка ЗТВ; подогрев 150-350°C снижает риск образования холодных трещин из-за снижения скорости охлаждения и получения более мягкой мартенситной структуры.

Рекомендуемая технология сварки. Сварку производят с использованием электродов, обеспечивающих химический состав, структуру и свойства близкими к показателям основного металла.

Например, электроды марки **ОЗЛ-46**, тип **Э-13X11Н2В2МФ** – предназначены для сварки жаропрочной стали **13X11Н2В2МФ** мартенситного класса, а электроды марки **УОНИ-13/НЖ/12X13** для сварки коррозионностойкой стали мартенситно-ферритного класса марки 12X13.

С целью снижения склонности к образованию холодных трещин электроды прокаливают при $T_{пр} = 350-400^\circ\text{C}$ в течение 1,5-2 часа. Электроды после прокалики должны храниться в закрытой таре (не более 2 часов) или термопеналах (в течение смены); пеналах-термосах (не более 4-х часов). Свариваемые изделия нагревают до температуры 150-350°C в зависимости от марки и толщины стали, типа св. соединения, температуры окружающего воздуха. Подогрев снижает риск образования холодных трещин из-за снижения скорости охлаждения и получения более мягкой мартен. Структуры. Сварку выполняют на режимах с малыми значениями погонной энергии ($q/v_{св}$).

Все сварные изделия подлежат термической обработке – отпуску 650-750°C для релаксации сварочных напряжений.

Для крупногабаритных изделий без термической обработки допускается применять электроды, обеспечивающие аустенитную структуру, что дает возможность избежать подогрев и термическую обработку (т/о). В качестве электродов могут быть использованы электроды для разнородных сталей **ЭЛ-395/9** и **НИАТ-5, ЦТ-10**. Но они не всегда обеспечивают равнопрочность, поэтому они могут быть рекомендованы для сварных конструкций, работающих при статических нагрузках.

Особенности сварки **ферритного класса**. Ферритная структура этих сталей не претерпевает структурно-фазовых превращений. Но при нагреве свыше 900°C в сталях происходит рост зерна, обуславливающее снижение пластичности и ударной вязкости ($10-15 \text{ Дж/см}^2$). Рост зерна особенно происходит **при больших погонных энергиях ($q/v_{св}$)**. Появление крупных зерен не восстанавливается при т/о. Охрупчивание происходит еще по причине выделения хрупкого интерметаллидного соединения Fe-C (σ -фазы) при 475°C при длительном нагреве в процессе сварки.

Рекомендуемая технология. Можно выполнять электродами, обеспечивающими ферритную и ферритно-аустенитную структуру. Более приемлемо обеспечивать ферритно-аустенитную структуру (ферритная может дать рост зерна). Например, для жаростойкой стали 15X25T используют электроды марки **ОЗЛ-6**, дающие ферритно-аустенитную структуру. Электроды перед сваркой подлежат прокалике $190-210^{\circ}\text{C}$ в течение 1-1,5 часа. Изделия из ферритной стали толщиной 8-10 мм рекомендуется сваривать с предварительным подогревом до температуры $150-200^{\circ}\text{C}$, что снижает уровень сварочных напряжений. До больших температур подогреть металл нельзя, так как может произойти рост зерна. Сварку ферритной стали выполняют электродами $\varnothing \leq 4,0 \text{ мм}$ на минимальных погонных энергиях.

Особенности сварки и рекомендуемая технология сварки хромоникелевых сталей

Высоколегированные хромоникелевые стали представляют собой железоуглеродистые сплавы, содержащие в качестве гл. легирующих

элементов **хром** – 10-27% и **никель** – 4-26%. В сталях присутствует Mo, Ti, V, Nb и др. Оборудование, изготовленное из коррозионностойких, жаростойких и жаропрочных сталей способно работать под большим давлением при температурах от минус (-196°С до 600°С) при наличии агрессивных сред.

Абсолютное большинство этих сталей можно отнести к аустенитному классу (марки 12X18H9T, 20X23H6 и др.), аустенитно-ферритному (15X18H12C4ТЮ, 20X23H13 и др.), аустенитно-мартенситному (09X15H8Ю, 07X16H9 и т.д.). По сравнению с высокохромистыми они более технологичны, у них лучшая свариваемость.

Особенности сварки хромоникелевых сталей. Они склонны к образованию **горячих трещин** и **ухудшению стойкости к межкристаллитной коррозии (МКК)**. Горячие трещины возникают в основном при сварке сталей аустенитного класса. Они могут появляться в металле шва и ЗТВ.

Причины: возникновение значительных растягивающих напряжений (низкая теплопроводность и линейная усадка) получением однофазной крупнокристаллической столбчатой структурой, загрязнением межзеренных границ элементами, способными образовывать легкоплавкие эвтектики P, S, последн. в присутствии никеля образуют эвтектику с температурой плавления 644°С. Основные способы уменьшения склонности к горячим трещинам – снижение концентрации S и P и устранение в шве крупнозернистой структуры.

Обладая коррозионной стойкостью, в сталях может развиваться МКК, обусловленный электрохимической неоднородностью, возникающей вследствие выделения при нагреве 500-900°С на участке ЗТВ, в сварном шве и в околошовной зоне, нагреваемой до 1200-1300°С, из пересыщенного раствора избыточных сред – карбидов хрома, ниобия(?), титана. Для борьбы с МКК в аустенитные стали вводят элементы стабилизаторы, которые предотвращают выделение карбидов хрома. Это **Ti, Nb**.

Поскольку подобное выделение карбидов хрома может иметь место в металле шва, например, в случае повторного нагрева при двусторонней сварке, при возобновлении сварки после смены электрода сварочную ванну тоже дополнительно легируют Ti и Nb.

Так же можно снизить вероятность МКК получением двухфазной мелкозернистой структуры, что увеличит удельную поверхность зерен и снизит концентрацию карбидов, т.е. изменит характер их расположения, а также способствовать их мелкодисперстности.

Выбор, хранение и подготовка электродов к сварке.

Главным критерием при выборе рациональных электродов является обеспечение требуемого комплекса сварочно-технологических свойств, а именно стойкости против образования горячих трещин, получение св. соединений со служебными характеристиками (механические свойства, коррозионностойкость, жаропрочность, жаростойкость).

Электроды марки **ОЗЛ-8, ЦЛ-11** должны обеспечить получение металла шва, лишенной крупнозернистой столбчатой структуры. Содержание S и P должно быть ограничено. Препятствие росту столбчатой структуры оказывает вторая фаза – феррит в количестве 2-10% в зависимости от марки электрода. Марки приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Некоторые марки электродов, предназначенных для сварки высоколегированных хромоникелевых сталей

Марка стали	Структурный класс стали	Основная группа стали	Рекомендуемая марка электрода с основным покрытием	Тип электрода по ГОСТ 10052-75 (содержание ферритной фазы, %)
12X18H9T	Аустенитный	Коррозионно-стойкая	ЦЛ-11, ОЗЛ-8	Э-08Х20Н9ГБ2 (2,0-10,0) Э-07Х20Н9 (2,0-8,0)
10X17H13M2H	То же	Коррозионно-стойкая	ЭА-400/10Т ЭА-400/10У	07Х18Н11М3Г2Ф* (2,0-8,0)
20Х23Н6	То же	Жаростойкая	ОЗЛ-6	Э-10Х25Н13Г2 (2,0-10,0)
37Х12Н8Г8МФБ	То же	Жаропрочная	ИМЕТ-10	Э-04Х10Н60М24
15Х18Н12С4ТЮ	Аустенитно-ферритный	Коррозионно-стойкая	ОЗЛ-3	14Х17Н13С4*
20Х23Н13		Жаростойкая	ОЗЛ-6	Э-10Х25Н13Г2
09Х15Н8Ю	Аустенитно-мартенситная	Коррозионно-стойкая	НИАТ-6	09Х16Н8М2СЮ*

** Тип химического состава наплавленного металла указан в соответствии с нормативной документацией на электроды*

С целью удаления влаги электроды прокаливают при $T_{пр} = 200-250^{\circ}\text{C}$, 1-1,5 ч. Выше $T_{пр}$ не нужна, т.к. эти стали не склонны к холодным трещинам (в аустенитной структуре диффузия водорода ограничена).

В общем случае сварку конструкций выполняют без подогрева. При температуре воздуха ниже (-10°C) можно осуществлять подогрев, чтобы температура металла не опускалась ниже 0°C .

Сварку ведут электродами диаметром $< 4,0$ мм при малой погонной энергии ниточными валиками. При этом каждый последующий проход следует осуществлять после охлаждения металла ранее выполненной части шва до температуры $150-200^{\circ}\text{C}$, чтобы не выделялись карбиды от перегрева, снизились напряжения и не оплавливались границы зерен в околошовных участках, вызывая образование горячих трещин.

На электроды для сварки высоколегированных сталей существует стандарт ГОСТ 10052-75 «Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами. Типы». В соответствии с этим ГОСТ электроды для сварки высоколегированных сталей по химическому составу наплавленного металла и механическим свойствам шва классифицируют на **49 типов**.

Электроды для сварки высоколегированных сталей имеют покрытие главным образом основного типа (за рубежом много рутиловых), хотя сейчас появляются электроды с рутилово-основным типом.

Электроды для сварки разнородных сталей

Некоторые сварные конструкции с целью экономии дорогостоящих материалов или по техническим причинам изготавливают из разнородных по легированию и структуре материалов. Главная трудность сварки разнородных сталей, особенно сталей, относящихся к структурным классам, имеющим принципиально разный химический состав и физические свойства, связана с образованием в металле шва участков с резко отличающимися

характеристиками и содержанием легирующих элементов. В результате этого ухудшаются служебные свойства соединений с возможным разрушением сварных конструкций. Активации подобных негативных явлений может способствовать появление сварочных напряжений, вызванных разницей в коэффициенте линейного расширения свариваемых сталей. Исключительно важное, первостепенное значение при ручной дуговой сварке разнородных сталей приобретает вопрос выбора нужной марки электрода.

Сварка разнородных перлитных сталей

Перлитные стали – это углеродистые, низколегированные, легированные и большинство теплоустойчивых сталей.

При сварке разнородных сталей перлитного класса разного легирования следует использовать электроды, применяемые для сварки менее легированной стали. Вместе с тем, **режим сварки, включая подогрев, надлежит назначать близким к режимам сварки более легированной стали.**

Пример: 1) Сварка низкоуглеродистой стали + низколегированной стали (Ст20+10ХСНД) электродом типа Э42А (УОНИ-13/45) – электрод как для н/у стали + подогрев как для сварки низколегированных сталей. Режим для низколегированной стали.

2) Сварка низколегированной стали + теплоустойчивой стали (09Г2С + 12Х1МФ); электродом типа Э50А (УОНИ-13/55). Режим: подогрев 250-400°С + высокотемпературный отпуск. (09Г2С – $\sigma_b = 450$ МПа).

Для сварки теплоустойчивых сталей рекомендуется брать электроды такого же химического состава тип 09Х1МФ, но при сварке разнородных сталей берем электрод, как для сварки низколегированной стали УОНИ-13/55, но режим сварки, как для теплоустойчивых сталей, т. е. с обязательным подогревом.

Сварка перлитных сталей с аустенитными сталями

(аустенит – тв. раствор углерода в γ -Fe (911-1392°С).

При сварке такого сочетания сталей химическая, структурная и механическая неоднородности проявляются в наибольшей степени.

Качественная сварка **перлитных сталей с аустенитными** становится возможной при применении электродов, обеспечивающих получение наплавленного металла с устойчивой аустенитной структурой. Такими электродами являются электроды марки **ЭА-395/9, НИАТ-5 и ЦТ-10**, содержащие в наплавленном металле ~ 25% Ni. Температура прокалики 330-350°С 1-1,5 часа для НИАТ-5 и ЦТ-10 – тип по ГОСТ Э–11Х15Н25М6АГ2. ЭА-395/9 – тип без ГОСТ, т.е. тип наплавленного металла 11Х15Н25АМ6.

Ни в коем случае не допускается применение электродов, предназначенных для сварки коррозионностойких сталей, например типа ЦЛ-11, содержащих Ni всего 9% (ЦЛ-11 Э–08Х20Н9Г2Б).

Корневые слои швов, в которых доля участия достигает 50%, т.е. может быть много перлита и может привести к появлению малопластичных структур – мартенсита– и привести к трещинам, рекомендуется выполнять электродами с большим запасом аустенита, например, ОЗЛ-25Б, содержание Ni ~ 70% (тип Э–10Х20Н70Г2М2Б2В). В ряде случаев требуется также специальная технология сварки.

Некоторые наиболее распространенные типы и марки электродов, предназначенных для сварки различных сочетаний разнородных сталей и сплавов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Наиболее распространенные типы и марки электродов, предназначенных для сварки различных сочетаний разнородных сталей и сплавов

Группа сталей и сплавов	У	Л	Т	Ва	Вж	Н
Углеродистые и низколегированные стали У		Э-42А – Э100 ОЗЛ-27 ОЗЛ-28	Э-42А – Э50А	ОЗЛ-6 (ОЗЛ-6С) НИАТ-5 ЭА-395/9 НИИ-48Г	ОЗЛ-25Б	ЦТ-28 ОЗЛ-25Б
Легированные стали повышенной и высокой прочности Л	Э-42А – Э100 ОЗЛ-27 ОЗЛ-28		Э50А – Э85	НИАТ-5 ЭА-395/9		ЦТ-28 ОЗЛ-25Б
Теплоустойчивые стали Т	Э-42А – Э50А	Э50А – Э85		ЭА-395/9 АНЖР-1 АНЖР-2	АНЖР-1 АНЖР-2	ЦТ-28 ОЗЛ-25Б

Высоколегированные	Аустенитные Ва	ОЗЛ-6 (ОЗЛ-6С) НИАТ-5 ЭА-395/9 НИИ-48Г	НИАТ-5 ЭА-395/9	ЭА-395/9 АНЖР-1 АНЖР-2		ОЗЛ-25Б ИМЕТ-10	ОЗЛ-25Б
	Жаропрочные Вж	ОЗЛ-25Б		АНЖР-1 АНЖР-2	ОЗЛ-25Б ИМЕТ-10		ИМЕТ-10 ОЗЛ-25Б
Сплавы на никелевой основе Н		ЦТ-28 ОЗЛ-25Б	ЦТ-28 ОЗЛ-25Б	ЦТ-28 ОЗЛ-25Б	ОЗЛ-25Б	ИМЕТ-10 ОЗЛ-25Б	

Тема 4.6. Электроды для сварки чугуна

Вспомним, что такое чугун? **Чугун** – сплав железа с углеродом, с содержанием его свыше 2%. Это отличный дешевый материал, обладающий хорошими литейными свойствами, высоко износостойчивый, хорошо обрабатываемый. Но мало пригоден для сварки, точнее непригоден.

В сварных конструкциях не применяется. Сварка используется только при ремонте вышедшего из строя оборудования и устранения дефектов чугунных отливок. И все!

Находящийся в чугуне **C** не весь находится в растворенном состоянии. Значительная его часть присутствует в структуре чугуна в виде включений, состоящих из цементита (Fe_3C) – это белый чугун – и графита. Белый чугун – хрупкий, твердый, сварке плавлением совершенно не подвергается. С другими чугунами сварщикам в определенных пределах можно иметь дело.

Это **серый** чугун (с пластинч. графитом), **ковкий** чугун (с графитом хлопьевидной формы), **высокопрочный** чугун (с шаровидным графитом).

Основными причинами плохой свариваемости чугуна являются:

1) Высокая склонность к образованию трещин при сварке. Этому способствует появление в металле шва и ЗТВ при охлаждении после сварки твердых и хрупких закалочных структур – Fe_3C (цементит) и мартенсита. Происходит отбеливание чугуна, возникновение напряжений из-за большой величины усадки при кристаллизации и охлаждении.

2) Большая жидкотекучесть металла, что делает возможным проводить сварку только в нижнем положении.

Все-таки чугун сваривают и получают приемлемые результаты. Только за счет применения специальной технологии, специальных сварочных материалов, в т.ч. сварочных электродов.

Существуют два принципиально разных подхода к сварке чугуна, два принципиально разных технологических решения.

Горячую и холодную сварку выполняют в соответствии с положениями ГОСТ 30430-96 «Сварка дуговая конструкционных чугунов. Требования к технологическому процессу».

1. Горячая сварка чугуна

Предварительный (и/или сопутствующий) подогрев до температуры 600-700°C. Сварка ведется на больших токах с повышенной q/v , что позволяет создать большую по объему сварочную ванну (что благоприятно для выхода газов и неметаллических включений) с последующим очень медленным охлаждением (не более 50-100°C/ч), можно вместе с печью. В этом случае создается благоприятный для чугуна термический цикл сварки, способствующий получению малонапряженной структуры с включениями графита, лишенной закалочных образований.

Ручная сварка осуществляется электродами марок **ОМЧ-1** Ø 6,0; 8,0; 10 мм длиной 350 и 450 мм. В качестве стержней – чугунные прутки.

$J_{св}$ для Ø 8,0 – 350-450 А.

Горячая сварка позволяет получать металл шва с составом и свойствами, близкими к основному металлу. Но способ очень трудоемкий и не всегда возможен.

2. Холодная сварка

Если при горячей сварке – задача как можно больше разогреть металл и обеспечить медленное охлаждение, то при холодной сварке идеология совершенно противоположная – как можно меньше нагреть металл, не навредить ему. Не нагревая его так, чтобы в нем не могли произойти заметные структурные превращения. И если произойдут, то в очень узком участке ЗТВ. Это достигается сваркой на минимально возможных режимах с охлаждением металла после наложения каждого короткого (20-50 мм) валика. Это во-первых.

Во-вторых необходимо правильно подобрать присадочный металл, электрод. Получаемый при холодной сварке металл шва должен быть:

- пластичным и не создавать дополнительных существенных напряжений;
- не растворять С и не превращаться в хрупкую структуру, подобную чугуну.

Способностью давать такой металл шва обладают железо-никелевые сплавы (Fe+50% Ni), монели (медно-никелевые сплавы: Ni+28% Cu).

Поэтому в электродах для холодной сварки чугуна используется проволока, обеспечивающая при расплавлении сплавы указанных составов (при участии покрытия электродов).

Некоторые промышленные марки электродов.

Марка МНЧ-2. Медь–никель–чугун; монель-металл.

Ø 3,0 – 350 мм; Ø 4,0 – 350 мм; Ø 5,0 – 450мм. Сварка в нижнем и вертикальном положении, постоянный ток обратной полярности. Это будет относиться ко всем электродам для холодной сварки чугуна.

Состав покрытия МНЧ-2: мрамор 15%, магнезит (отожжен.) – 15%, доломит – 22%, CaF₂ – 20%, Fe-Mn – 10%, Fe-Si – 5%, графит – 13% = 100% (поташ – 0,5).

Проволока. Монель НМЖМ_ц – 28-2,5-1,5. T_{пр} = 370°C ±20.

Особые свойства – наплавленный металл обладает высокой чистотой при обработке резанием и коррозионной стойкостью, также достаточно высокой плотностью.

Область применения: заварка дефектов литья и ремонт.

- 1 – 1-ый слой в соединениях с высокими требованиями по плотности;
- 2 – когда требуется высокая чистота поверхности после механической обработки;
- 3 – заварка лопнувшей малонагруженной станины станка и подсобных конструкций;
- 4 – сварка новых и малоработавших чугунных водопроводных труб.

Сварка короткими валиками 20-30 мм с поваликовым охлаждением до температуры не выше 60°C с проковкой каждого валика.

J_{св} для Ø 3,0 – 70-110 А. Проковка снимает растягивающие напряжения. Прокалка перед сваркой – 190-210°C – 1 ч.

Марка ОЗЧ-2. Ø 3,0 – 350 мм; Ø 4,0 – 350 мм; Ø 5,0 – 450 мм. Наплавочный металл Cu – основа + Mn, Si, Ni.

Особые свойства – в сочетании с МНЧ-2 дает сварные соединения с повышенными требованиями по плотности и высокой технологичности при обработке резанием.

Область применения: заварка дефектов литья и ремонт

- когда требуется высокая прочность соединения и технологичны при обработке резанием;
- заварка трещин в корпусе нового или малоработающего редуктора или новых радиаторов.

Валик – 30-50 мм, $t_{\text{охл}} < 60^{\circ}\text{C}$, проковка непосредственно после отрыва дуги.

Прокалка электродов перед сваркой при температуре 190-210°C.

Электроды **ОЗЛ-25Б** - для заварки трещин в корпусе редуктора, работающего продолжительное время. Валик – 20-30 мм, $t_{\text{охл}} < 50^{\circ}\text{C}$.

Марка ОЗЧ-6. Ø 2,0 – 300 мм; Ø 2,5 – 300 мм; Ø 3,0 – 350 мм; Ø 4,0 – 350 мм; Ø 5,0 – 250 мм. Основа Cu + Mn, Si, Ni, Cr, В.

Особые свойства – Технологичны при сварке серого и ковкого чугуна при заварке сквозных дефектов на весу.

Область применения: обычно ремонт:

- сварка или ремонт тонкостенных конструктивных элементов;
- заварка трещин рубашек охлаждения блока цилиндров двигателя;
- заварка сколов и трещин в новых редукторах отопления.

Валик – 30-50 мм, $t_{\text{охл}} < 100^{\circ}\text{C}$, проковка. Прокалка электродов перед сваркой 200°C – 1 ч.

Марка ОЗЧ-3. Ø 2,5 – 5,0. Основа Ni = 95%.

Особые свойства – малая проплавляющая способность, хорошая чистота резанием.

Область применения: общая заварка дефектов литья, ремонт:

- заварка крупных дефектов – совместно с электродами ОЗЖН-1;
- заварка станины большой толщины из чугуна, последний и первый слой ОЗЧ-3 или МНЧ-2.

Валик – 30-50 мм, $t_{\text{охл}} < 60^{\circ}\text{C}$. Прокалка перед сваркой 250-280°C – 1 ч.

Марка ОЗЧ-4. Ø 2,5 – 5,0. Основа Ni + C, Mn, Si, Cr, Fe.

Особые свойства – малая проплавляющая способность. Обеспечивает получение наплавленного металла с повышенной износостойкостью в

условиях трения металла о металл, высокой технологич. при обработке резанием.

Область применения: облицовочная сварка и наплавка. Восстановление изношенных поверхностей деталей из чугуна. Первые слои – ЦЧ-4, последний – ОЗЧ-4. Валик длиной до 50 мм, $t_{\text{охл}} < 50^{\circ}\text{C}$, проковка. Прокалка перед сваркой $250-280^{\circ}\text{C} - 1$ ч. **Аналог** ОЗЧ-3, ОЗЧ-4 – **ОК 92.18**.

Отдельно отметим электроды **ЦЧ-4**.

Единственные электроды для холодной сварки на основе Fe, максимально приближенные к чугунам. Наплавленный металл легирован ванадием, образующим дисперсные карбиды. Обеспечивается высокая плотность сварного соединения, но недостаточная обрабатываемость, в связи с чем электроды применяют для обработанных нерабочих поверхностей. Электродами $\varnothing 3,0; 4,0; 5,0$ – сварка в нижнем положении на постоянном токе обратной полярности, возможна на переменном токе. Этими электродами выполняется настоящая сварка.

Область применения: лопнувшие станины станков, крышки люков и др. Существующие режимы СЭ валик 25-35 мм, $t_{\text{охл}} < 60^{\circ}\text{C}$.

Тема 4.7. Электроды для сварки цветных металлов

Электроды для сварки алюминия и его сплавов

Алюминий и его сплавы обладают малой плотностью ($2,7 \text{ г/см}^3$), высокой теплопроводностью [$\lambda \cdot (\text{Дж/см} \cdot \text{с} \cdot ^\circ\text{C}) - 2$; сталь н/у – $0,6$; медь – $3,9$] и электропроводностью, повышенной коррозионной стойкостью, малой температурой плавления ($T_{\text{пл}} \text{ Al} = 658^\circ\text{C}$).

Особенностью Al и его сплавов является легкая окисляемость. Это приводит к тому, что практически на их поверхности присутствует плотная тугоплавкая пленка оксида алюминия Al_2O_3 ($T_{\text{пл}} - 2050^\circ\text{C}$). Эта пленка, которая может образовываться и на поверхности сварочной ванны, нарушает стабильность процесса сварки, препятствует формированию шва, является источником несплавления и неметаллических включений в металл шва. Для получения качественных сварных соединений необходимо обеспечить защиту зоны сварки от попадания в нее кислорода воздуха и принять специальные меры, направленные на удаление оксидной пленки Al_2O_3 . При РДС это достигается путем введения в состав электродного покрытия хлористых и фтористых солей щелочных и щелочноземельных элементов (KCl , NaCl , LiCl , Na_3AlF_6 – криолит, NaF и др.).

В расплавленной системе эти материалы создают необходимые условия для стабильного горения дуги, защиты расплавленного металла от окисления и удаления оксидной пленки. Необходимо обязательное удаление поверхностной оксидной пленки Al химическим или механическим способами.

Промышленные марки электродов.

ОЗА-1 – сварка деталей из Al технической чистоты; $\varnothing 4,0$ и $5,0$ мм.
Нижнее и вертикальное положение.

Особенности сварки

1. Сварка деталей толщиной не менее 3-4 мм.

2. Очистка кромок от оксидов Al и загрязнений до металлического блеска.
3. При толщине >6 мм обязательный подогрев места сварки. 6-8 мм – 200°C; >10 мм – до 400°C (в зависимости от толщины).
4. Сварка короткой дугой практически без поперечных колебаний. $\varnothing 4,0$; $J_{св} - 100-120 \text{ А}$; Постоянный ток обратной полярности. Скорость сварки высокая, т.к. алюминиевый стержень расплавляется в 2-3 раза быстрее стального. Сварку следует выполнять непрерывно в пределах 1 электрода, т.к. при отрыве дуги поверхность кратера и торец электрода покрываются шлаковой малопробивной пленкой, препятствующей повторному зажиганию дуги.
5. Обязательное удаление шлака после завершения сварки горячей водой с применением щеток. Обязательная прокатка непосредственно перед сваркой $t_{пр} - 10-200^\circ\text{C} - 1 \text{ ч}$.

ОЗА-2 – заварка брака литья и наплавка деталей из Al-Si (силумин) сплава типа Al-4, Al-9, Al-11. Старое обозначение литейных алюминиевых сплавов АЛ4, АЛ9, АЛ11. Новое соответственно: АК9и (8-10,5% кремния), АК7и, АК11и. **Особенности сварки** те же, что и ОЗА-1.

ОЗАНА-1 – сварка и наплавка деталей из Al технической чистоты. Нижнее и вертикальное положение. **Особенности сварки** в принципе, такие же, что и у ОЗА-1. **Отличие:** подогрев перед сваркой при сварке изделий толщиной >10 мм – до температуры >200°C. Прокатка перед сваркой $t_{пр} - 150^\circ\text{C}$.

ОЗАНА-2 – заварка брака литья из Al-Si (силумин) сплава типа Al-4, Al-9, Al-11. **Особенности сварки** как и у ОЗАНА-1. ОЗАНА лучше, чем ОЗА. ОЗА – значит разбрызгивание, недостаточное качество формирования шва, затрудненная отделимость шлака.

Лучше электроды ИЭС им. Патона. УАНА-1; 2 – сварка, заварка брака литья, наплавка. **УАНА-1** предназначены для сварки изделий из Al и сплавов алюминия с марганцем. $\varnothing 3,0-3,15-4,0-5,0-6,3$.

УАНА-2 – для сварки изделий из сплавов магнием типа АД31, а также заварки дефектов литья из сплавов алюминия с кремнием типа АК9 и АК7и. Аналог для сварки про? АМг, АМц ОК 96.20 (ОК – фирмы ESAB, Швеция).

Электроды для сварки меди и ее сплавов

Медь обладает высокой тепло- и электропроводностью, что предопределяет применение предварительного нагрева и концентрированного источника нагрева; повышенной жидкотекучестью расплавленного металла, что затрудняет сварку меди в вертикальном, горизонтальном и потолочном положениях. Для нее характерна активность при взаимодействии с кислородом и водородом, что может явиться причиной образования пор в металле шва и микротрещин. Для предотвращения появления таких дефектов в сварных соединениях надлежит применять только хорошо раскисленную медь (содержание $O_2 < 0,03\%$). Активная окисляемость меди в жидком состоянии приводит к образованию Cu_2O , который при затвердевании дает с медью легкоплавкую эвтектику, что приводит к горячим трещинам. Высокая растворимость водорода, в особенности в жидком состоянии приводит к образованию пор и микротрещин. Причиной пор может являться и сам водород, и водяной пар. Поскольку реакция $Cu_2O + 2H_2 \leftrightarrow Cu + H_2O$ может происходить и в твердом состоянии, то образуемый пар, скапливаясь в микродефектах металла шва и создавая значительное давление, приводит к разрушению. Явление трещинообразования носит название «водородная болезнь». Трещины могут образовываться не только в металле шва, но и в ЗТВ, т.к. водород проникает из шва или непосредственно из атмосферы сварочной дуги $H_2 \leftrightarrow 2H$.

Сварку необходимо выполнять только хорошо прокаленными электродами, места сварки должны быть хорошо зачищены до металлического блеска с удалением оксидов, загрязнений, жиров и др.

При сварке **латуней** (сплав $Cu + Zn$) и **бронз** (сплав $Cu + Sn$ – олово или др. элементы: Al, Mn, Fe) возникают дополнительные затруднения. Сварка латуни усложняется интенсивным испарением цинка ($T_{кип} = 907^\circ C$), а это поры, изменение химического состава шва и отравление. Сварка бронз

характеризуется состоянием высокой хрупкости и малой прочности металла в нагретом состоянии. Бронзу сваривают главным образом при исправлении дефектов в литых изделиях.

Номенклатура промышленных марок электродов.

РДС находит применение в основном для соединений из меди. Сварка латуни и бронзы ограничена, что обусловлено наличием других более технологичных способов сварки (например, сварка в защитном газе N_2), а также малой номенклатурой специализированных промышленных марок покрытых электродов.

РДС и наплавка изделий из технической чистой меди марок М1, М2, М3 проводится покрытыми электродами «Комсомолец-100» – стержень из меди. Возможна сварка меди со сталью. Нижнее (и возможно горизонтально-вертикальное) положение, на графитовых или медных подкладках. Обеспечивают получение наплавленного металла с электропроводностью в пять раз меньшей, чем у чистой меди (из-за большого (~6%) легирования металла шва).

Особенности сварки:

1. Тщательная очистка места сварки (кромки и пр.).
2. Предварительный подогрев свариваемого изделия $\delta > 5$ мм до $T = 300-500^\circ C$ (в зависимости от толщины металла).
3. Сварка выполняется постоянным током обратной полярности. $\varnothing 4,0$; $J_{св} = 100-140$ А. Для электродов «Комсомолец» $J_{св}$ устанавливают из расчета 30-40 А на 1 мм диаметра электрода.
4. Сварка выполняется как для меди, так и меди со сталью. Прокалка электродов перед сваркой $T_{пр} = 160-200^\circ C - 1ч$.

Электроды АНЦ/ОЗМ – сварка и наплавка изделий из технической чистой меди, содержащей не более 0,01% O_2 , т.е. хорошо раскисленной меди. Возможна сварка меди со сталью. $\varnothing 4,0$ (350) – 5,0 (450).

Обеспечивают получение металла с высокой электропроводностью – не менее 60% от электропроводности технической чистой меди.

Особенности сварки:

1. Тщательная очистка кромок.
2. Сварка $\delta < 10$ мм без подогрева; $\delta > 10$ мм – подогрев 150-350°C.
3. Постоянный ток обратной полярности. \varnothing 4,0 – 220-300 А. Для электродов **АНЦ/ОЗМ-3** – 60-80 А на 1 мм диаметра электрода.
4. Сварку выполняют с небольшими поперечными колебаниями при его перпендикулярном расположении к поверхности свариваемого изделия. Прокалка перед сваркой $T_{пр} - 350-380^\circ\text{C} - 2$ ч.
5. **ОЗБ-2М** – сварка и наплавка бронз (в основном оловянисто-фосфористых и используемых в художественном литье). Заварка дефектов бронзового литья, а также наплавка на сталь и заварка дефектов чугунного литья. Возможна сварка и наплавка латуней.

\varnothing 3,0 и 4,0. Нижнее, горизонтальное и вертикальное положения. Прокалка перед сваркой $T_{пр} - 350^\circ\text{C} - 1$ ч.

Электроды для сварки никеля

ОЗЛ-32 – сварка изделий из никеля, наплавка коррозионно-стойких слоев на углеродистые и коррозионно-стойкие стали в аппаратуре, работающей в агрессивных средах, а также для сварки никеля с углеродистыми и хромоникелевыми сталями.

\varnothing 3,0 и 4,0. Сварка в нижнем и вертикальном положениях.

Особенности сварки:

Сварку производят ниточными швами, шириной не более $2d_э$. $J_{св} - 100-140$ А, \varnothing 3,0; $J_{св} - 140-180$ А, \varnothing 4,0. Электрод держат почти \perp к ванне, дугу обрывают постепенно, отводя на наплавленный металл.

Прокалка перед сваркой $T_{пр} - 190-210^\circ\text{C} - 1$ ч

Тема 4.8. Электроды для наплавки поверхностных слоев

Электроды для наплавки изготавливают и поставляют в соответствии с ГОСТ 9466-75 «Электроды покрытые. Общие технические условия» и специализированного ГОСТ 10051-75 75 «Электроды покрытые металлические для ручной дуговой наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами. Типы». Хотя в некоторых случаях для наплавочных работ также используют сварочные электроды, например, электроды, предназначенные для сварки высоколегированных сталей, для сварки разнородных сталей и сплавов. Следует отметить, что производство наплавочных работ требует применения специальной технологии, которая, в зависимости от химического состава и состояния основного и наплавочного металлов, может включать в обязательном порядке выполнение таких операций, как предварительный и сопутствующий подогрев, термическую обработку для получения заданных эксплуатационных свойств наплавленной поверхности.

Согласно ГОСТ 10051-71 электроды для наплавки по химическому составу наплавленного металла и твердости при нормальной температуре классифицированы на 44 типа (Тип Э–10Г2: Mn – 2,0-3,3%, S<0,030, P<0,07, HRC_c, без т/о 22,0-30,0).

Наплавленный металл многих электродов регламентируется техническими условиями предприятий-изготовителей.

Некоторые промышленные марки электродов.

I группа. Электроды для наплавки деталей из углеродистых и низколегированных сталей, работающих в условиях трения металла о металл и интенсивных ударных нагрузок (осей, валы, рельсы и др.)

ОЗН-400М – наплавка деталей из углеродистых и низколегированных сталей. Химический состав наплавленного металла (% по массе): C ≤ 0,13; Si – 1,0-2,5; Mn – 3,0-5,0. Нижнее положение, переменный и постоянный ток, обратная полярность. Ø 4,0 и 5,0 мм. Тип электрода - 15Г4С. Последующая

термическая обработка наплавленного металла не требуется. НВ-420. Прокалка перед наплавкой электродов. $T_{пр} - 300-320^{\circ}\text{C} - 1 \text{ ч.}$

II группа. Электроды для наплавки штампов холодной штамповки.

ОЗШ-3. Тип Э-37Х9С2 – наплавка обрезных и вырубных штампов холодной и горячей штамповки (с температурой нагрева рабочих поверхностей до 650°C , а также других быстроизнашивающихся деталей машин и механизмов). Нижнее положение, постоянный ток, обратная полярность. $\varnothing 3,0; 4,0$ и $5,0$ мм. Последующая термическая обработка не требуется. Типичная 56 HRC_3 . **Особенности наплавки:** наплавку производят в 1-4 слоя с предварительным подогревом до $T_n = 300-400^{\circ}\text{C}$. Прокалка электродов перед наплавкой. $T_{пр} - 340-350^{\circ}\text{C} - 1 \text{ ч.}$

III группа. Электроды для наплавки деталей, работающих в условиях преимущественно абразивного изнашивания.

T-590, Ротекс Н (Т-590). Тип Э-320Х25С2ГР (ГР – бор); $\varnothing 4,0$ и $5,0$ мм. Наплавка деталей, работающих в условиях преимущественно абразивного изнашивания с умеренными ударными нагрузками. Наплавка в нижнем и наклонном положениях, переменным и постоянным током прямой полярности. Последующая термическая обработка не требуется – 61 HRC_3 .

Особенности наплавки: наплавленный металл имеет склонность к образованию мелких трещин, не снижающих, однако, как правило, эксплуатационную стойкость наплавленных деталей. Во избежание выкрашивания не рекомендуется производить наплавку стальных деталей более чем в 2 слоя, а чугунных – в 1 слой. Для наплавки больших толщин нижние слои наплавляют электродом других марок, в зависимости от марки основного металла. Прокалка перед сваркой электродов. $T_{пр} 180-200^{\circ}\text{C} - 2 \text{ ч.}$

Под маркой Ротекс выпускаются наплавочные электроды, которые соответствуют ГОСТ и ТУ. То же самое практически, только другие ТУ. По ТУ 1272-004-41637695 98 выпускаются, например, наплавочные электроды марки Ротекс – Н60. Наплавка быстроизнашивающихся деталей горнодобывающих, строительных машин и другого оборудования, работающего в условиях интенсивного абразивного изнашивания и

значительных ударных нагрузок. Наплавка в нижнем, вертикальном и ограниченной потолочном положениях шва переменным током и постоянным током обратной полярности. Последующая термическая обработка не требуется – 62HRC₃.

IV группа. Электроды для наплавки деталей, работающих в условиях интенсивного абразивного изнашивания с ударными нагрузками.

ОЗН-6 (ЛЭЗ ОЗН-6) выпускаются по ТУ 14-168-69-88, типа по ГОСТ нет.

Химический состав наплавленного металла: С – 1%; Mn – 2,6%; Si – 3,7; Cr – 4,4%; В – 0,9%. Наплавка быстроизнашиваемых деталей горнодобывающих, строительных машин и др. оборудования.

Нижнее, вертикальное положение. Переменный ток и постоянный ток обратной полярности. Ø 3,0, 4,0 и 5,0 мм. Последующая термическая обработка не требуется – 62HRC₃.

Обеспечивают получение наплавленного металла с повышенной стойкостью к образованию трещин при многослойной наплавке и в условиях эксплуатации. (В отличие от электродов Т-590 и Т-620 (III группа), у которых наплавленный металл имеет склонность к образованию мелких трещин и количество наплавленных слоев ограничивается 2-мя. Прокалка перед наплавкой. T_{пр} – 340°C – 1 ч.

Под маркой Ротекс выпускаются наплавочные электроды, которые соответствуют ГОСТ и ТУ то же самое практически, только другие ТУ. Ту 1272-004-41637695-98. **Под маркой Ротекс** выпускаются наплавочные электроды, которые соответствуют ГОСТ и ТУ. Тоже самое практически, только другие ТУ. По ТУ 1272-004-41637695 98 выпускаются, например, наплавочные электроды марки Ротекс – Н60. Наплавка быстроизнашивающихся деталей горнодобывающих, строительных машин и другого оборудования, работающего в условиях интенсивного абразивного изнашивания и значительных ударных нагрузок. Наплавка в нижнем, вертикальном и ограниченной потолочном положениях шва переменным

током и постоянным током обратной полярности. Последующая термическая обработка не требуется – 62HRC₃.

ЭЛЗ-Н2 - Для наплавки быстроизнашивающихся деталей из низкоуглеродистых, углеродистых и высокомарганцевистой стали 110Г13Л, работающих при весьма значительных ударных нагрузках, или в условиях интенсивного абразивного изнашивания. Ток: Постоянный обратной полярности. **Технологические особенности наплавки:** наплавка может осуществляться не только в нижнем, но и в ограниченно наклонном положении. Наплавка производится по горячему слою способом поперечной горки.

Особые свойства: обеспечивают получение наплавленного металла с повышенной сопротивляемостью образованию трещин, как при многослойной наплавке, так и в условиях работы при значительных ударных нагрузках и интенсивном абразивном изнашивании. Твердость наплавленного металла, HRC 58-62 (без т/о)

V группа. Электроды для наплавки металлорежущего инструмента.

ОЗИ-5. Тип Э–10К18В1-1М10Х3СФ (К – Co; В – W; М – Mo; С – Si; Ф – V).
Наплавка металлорежущего инструмента (взамен сталей P18 и P6M5).

Нижнее положение. Постоянный ток обратной полярности. Ø 3,0, 4,0 и 5,0 мм. Без термической обработки – HRC₃ – 52. С термической обработкой (отпуск 600°C – 2 ч.) HRC₃ – 64.

Обеспечивает получение наплавленного металла с высоким сопротивлением смятию и истиранию при больших ударных нагрузках с температурой до 850°C. **Особенности наплавки:** наплавку производят в 1-3 слоя общей толщиной 2-6 мм или способом с предварительным подогревом до температуры 400-700°C. Прокалка перед сваркой. T_{пр} – 350°C – 1 ч.

VI группа. Электроды для наплавки изношенных деталей из высокомарганцевистых сталей типа Г13 и Г13Л.

ЦНИИН-4 тип Э–65Х25Г13НЗ. Ø 4,0. Наплавка изношенных участков и заварка дефектов литья железнодорожных крестовин и других деталей из

высокомарганцовистых сталей типа 110 Г13Л. Наплавка в нижнем положении. Постоянный ток обратной полярности. Термическая обработка не требуется. Типичный твер. $HRC_3 - 26$; после наклепа HB 450-500.

Стали 110Г13Л (литая): C – 0,9-1,0%; Mn – 11,5-15,0%; Si – 0,8-1,0; Cr < 1,0%; Ni < 1,0; Ca < 0,3%.

Наплавляются корпуса шаровых мельниц, щеки и др. детали, от которых требуется высокая износостойкость. В сварных конструкциях не применяются. **Особенности наплавки** – нижнее положение. Постоянный ток обратной полярности. Наплавку производят при минимально возможном разогреве деталей. $T_{пр} - 160-200^{\circ}C - 1$ ч.

VII группа. Электроды для наплавки уплотнительных поверхностей деталей фурнитуры, котлов, трубопроводов, нефтеаппаратуры и других энергетических установок, работающих при высоких давлениях (до 78 МПа) и температуре (до 570-600°C) – обеспечивает стойкость к задиранию, к коррозии.

ЦН-6Л тип Э–08Х17Н8СБГ. В нижнем положении (+). Подогрев до 300-400°C. Термическая обработка непосредственно после сварки (отпуск 725°C – 1ч.); $HRC_3 - 31$; $T_{пр} - 200-220^{\circ}C$.

ЦН-12М (температура до 600°C); нижнее положение (+) (29,5-45). Подогрев до 500-600°C. Термическая обработка непосредственно после сварки (отпуск 725°C – 1ч. – для перлитных сталей – $HRC_3 - 46$; отпуск 850°C – 1ч. – для аустенитных сталей – $HRC_3 - 46$).

В таблице 1 представлены наиболее распространенные марки электродов и основные области их применения.

Таблица 1– Наиболее распространенные марки электродов и основные области их применения

Марка электрода	Тип электрода по ГОСТ 10051-75 или тип наплавленного металла	Вид термической обработки после наплавки	Типичная твердость наплавленного металла HRC _Э	Область применения	Коэффициент наплавки и α_n г/А·2	Расход электродов на 1 кг наплавл. металла, кг	Род и полярность тока	Режим прокалки и перед наплавкой	Подогрев деталей перед наплавкой
ОЗН-400М	15Г4С2	–	НВ420	Наплавка деталей, работающих в условиях трения металла о металл (осей, валов, рельсов и др.)	10,5	1,8	Переменный, постоян. обр. полярности	300°С 1 ч.	–
ОЗШ-3	Э–37Х9С2	–	56	Наплавка штампов для холодной штамповки	9,5	1,7	Постоянный обр. полярности	350°С 1 ч.	300-400
ОЗШ-1	Э–16Г2ХМ	–	38	Наплавка штампов для горячей штамповки	8,5	1,4	То же	350°С 1,5 ч.	400-450
Т-590	Э–320Х25С2ГР	–	61	Наплавка деталей, работающих в условиях преимущественно абразивного изнашивания с умеренными ударными нагрузками	9,0	1,4	Переменный, постоян. прямой полярности	200°С 2 ч.	-
ОЗН-6	90Х5Г3С4Р	–	62	Наплавка деталей, работающих в условиях интенсивного абразивного изнашивания с ударными нагрузками	11,0	1,4	Переменный, постоян. обр. полярности	340°С 1 ч.	–
ОЗИ-5	Э10К18В11М10Х3СФ	Отпуск 600°С–2 ч.	64	Наплавка металлорежущего инструмента в наборе штампов для горячей штамповки в тяжелых условиях	10,5	1,6	Постоянный обр. полярности	350°С 1 ч.	400-700
ЦНИИН-4	Э–65Х25Г13М13	–	26	Наплавка изношенных деталей из высокомарганцовистых сталей типа 110Г13Л	10,5	1,5	То же	180°С 1 ч.	–
ЦН-6Л	Э–08Х17Н9СБГ	Отпуск 725°С–1 ч. с замедленным охлаждением до 200°С	31	Наплавка уплотнительных поверхностей арматуры для кранов, трубопроводов и нефтеаппаратуры	14,0	1,4	То же	140°С 1 ч.	300-400

Тема 4.9. Электроды для подводной сварки и резки металлов

В наше время сварка под водой используется все чаще. Такой вид сварки требуется для ремонта морского и речного транспорта, строительных работах (строительство мостов, дорог и т. д.) и гидротехнических работах. В основном для сварки используются электроды с большим слоем покрытия, иначе сваривание под водой не получится. Вес покрытия у электродов для сваривания под водой составляет 130-170% от массы стержня.

Мокрая подводная сварка ведется непосредственно в воде. При этом используется водонепроницаемый электрод. Электрическая дуга нагревает заготовку и электрод, при этом расплавленный металл переносится на заготовки за счет газового пузыря вокруг дуги. Газовый пузырь частично образуются от распада флюсового покрытия на электроде. Ток индуцирует перенос капель металла от электрода к обрабатываемой поверхности, что позволяет вести сварку. Шлаки на поверхности шва замедляют скорость охлаждения, однако быстрое охлаждение является одной из самых больших проблем в производстве качественной подводной сварки. При сварке применяются обычные источники питания с переменным или постоянным током. При этом желательно применять постоянный ток, сила которого варьируется в пределах 180 А – 220 А при напряжении дуги до 35 В.

Как вообще происходит сваривание под водой? Вот как: покрытия электродов образуют козырек, под которым дуга может спокойно гореть, при этом вытесняя воду под немалым давлением газов дуги. В основном электроды для сварки под водой имеют покрытие из парафина или лака целлулоида, который растворен в ацетоне. После высыхания первого слоя лака, его наносят еще в два слоя.

Парафинирование электродов таких видов происходит с помощью погружения стержней в расплавленный парафин. Если покрытие электрода создано вышеприведенным способом, то толщина покрытия для 4

миллиметрового стержня составит 0,8 мм, для 5 мм. – 1 мм., и для 6 мм – 1,2 мм.

В С.-Петербургском государственном морском техническом университете совместно с АО «Электродный завод» разработаны электроды ЛКИ-1П для **подводной сварки** углеродистых и некоторых марок низколегированных сталей. Механические свойства соединений, получаемых сваркой электродами ЛКИ-1П: σ_b – 390 МПа; δ – 8%; a_n – 80 ДЖ/см². Покрытие водонепроницаемое.

Для сварки низколегированных сталей повышенной прочности в С.-Петербургском государственном морском техническом университете были разработаны электроды ЛКИ-2П оригинального состава (Патент 2071895 РФ). Основу газшлаковой композиции покрытия электрода составляют рутил и флюорит. Электродный стержень — проволока Св-10Х16Н25АМ6. Металл, наплавленный электродами ЛКИ-2П, имеет более высокие механические свойства по сравнению с металлом, наплавленным электродами марки ЭПС-А, которые также широко применяются для подводной сварки

В ИЭС им. Е. О. Патона была создана оригинальная газшлаковая композиция покрытия, позволившая разработать новый электрод марки ЭПС-АН1 для сварки под водой во всех пространственных положениях. Основной составляющей покрытия является рутил. Легирование и раскисление металла шва осуществляют марганцем и кремнием, их содержание в наплавленном металле не превышает, соответственно, 0,4 и 0,25%. Электроды ЭПС-АН1 обладают хорошими сварочно-технологическими свойствами и предназначены для сварки сталей с пределом текучести до 350 МПа под водой на глубине до 20 м. Внешний вид стыкового соединения, выполненного этими электродами, показан на рис. 1. Их использование позволяет обеспечить механические свойства металла шва на уровне класса «В» международного стандарта по подводной сварке ANSI / AWS D3 6



Рис. 1. Внешний вид стыкового соединения, выполненного электродом ЭПС-АН1

По сварочно-технологическим и механическим свойствам они превосходят электроды ЭПС-52 и ЛКИ-1П. Хорошие результаты получены при сварке электродами ЭПС-АН1 металлоконструкций имеющих слой воды на свариваемых поверхностях.

За рубежом покрытые электроды являются основными для сварки под водой. На рынок СНГ в настоящее время эти электроды поступают малыми партиями из-за их высокой стоимости (от 30 до 45 долларов США за 1 кг).

Востребованной категорией является продукция американской компании Broco. Компания BROCO выпускает две серии электродов для подводной сварки: недорогая серия EasyTouch для сварки углеродистой стали и серия SofTouch для выполнения сварки ответственных конструкций. Проведенные испытания электродов серии EasyTouch показали механические свойства сварного шва на уровне Э42 (популярной маркой является UW/EZ-2). Электроды серии SofTouch обеспечивают качество сварного шва, сравнимое со сваркой на поверхности для любых видов швов: горизонтальных, вертикальных, потолочных.

Электроды для резки металлов

В эту группу входят электроды, предназначенные для дуговой резки и удаления дефектных участков сварных соединений всех марок сталей (включая высоколегированные), чугунов, цветных металлов.

В состав покрытия специализированных для резки электродов входят компоненты, способствующие улучшению процесса (резки).

Образующаяся при горении дуги на торце электрода «втулочка» из покрытия и поток дополнительных формируемых «втулочкой» раскаленных **окислительных** газов существенно интенсифицируют удаление металла из полосы реза (по сравнению с резкой неплавящимся электродом). Эти газы носят окислительный характер и этим способствуют сгоранию некоторой части металла в составе покрытия, содержащего в большом количестве оксиды железа в виде гематита и оксилита и др. оксиды элементов.

В результате поверхность реза получается достаточно гладкой, образующаяся гладкая корка легко отделяется.

Резку выполняют с использованием обычного сварочного оборудования переменным или постоянным током.

На сегодняшний день промышленность выпускает такие марки электродов для резки металлов: ОЗР-1, ОЗР-2, ОЗР-1М (межгосметиз), Ротекс-Р. Ротекс-Р – награжден золотым знаком качества «Российская марка».

ООО Судиславский завод сварочных материалов «РОТЭКС»

Промышленные марки электродов для резки.

ОЗР-1М (МГМ ЛЭ). Резка проводится во всех положениях переменным и постоянным током любой полярности. . \varnothing 3,0, 4,0 и 5,0 мм; l – 350 мм.

\varnothing 4,0 – 200÷300А)УОНИ – 130÷160А). $T_{пр}$ – 70±10°C – 1 ч.

Скорость резания в/лег. толщиной 12 мм – 12 м/ч.

АНР-2. (ОГ 45 завод свар. матер.); \varnothing 4,0, 5,0, 6,0 мм; \varnothing 6,0 мм – $J_{св}$ 360÷420А. $T_{пр}$ – 130±10°C – 40 мин. Все положения, переменный и постоянный ток.

ЭЛЗ-Р-1. ЗАО эл. завод (С-Петербург). \varnothing 4,0 и 5,0. То же, кроме потолочного переменным и постоянным током.

ЛЭЗ 03Р-1. Ø 4,0, 5,0, 6,0 мм; Ø 6,0 мм – $J_{св}$ 360÷600А.

ОК21.03. Ø 4,0 – 200-300А; Ø 5,0 – 300-400 А.

Ротекс-Р (Завод по изготовлению электродов Ротекс-Р Краснодар, компания в Москве). Резка металла, в т.ч. стержневой арматуры строжка, прошивка отверстий, удаление дефектных участков сварных соединений и отливок, разделки свариваемых кромок и корня шва. Резка всех марок сталей, чугунов, Сu, Аl и их сплавов. Резка во всех пространственных положениях переменным и постоянным током прямой и обратной полярности.

Электроды дешевле отечественных свар. электродов. Скорость резки – для стали 08Х18Н9Т толщиной 12 мм – 12 м/ч.

Ø 3,0, 4,0, 5,0 мм; Ø 4,0 мм – $I_{сврезки} = 260÷300А$.

Обеспечивает чистый рез без грата и натеков. Резку проводят «углом вперед», совершая возвратно-поступательные движения. Прокалка – 170°С – 1 ч. Сертифицированы в РБ, РФ, Украине.

Тема 4.10. Подготовка электродов к сварке

Для начала давайте вспомним строение электродов. Электрод состоит из металлического стержня и имеет разные виды покрытий, например основное и кислотное. Независимо от вида покрытия электроды никогда не должны храниться во влажном помещении или промокать. По сути единственное, что нужно защищать от влаги так это покрытие. Со стержнем ничего не случится, потому что он изготовлен из специального сплава. Для качественной защиты электродов нужно хранить их в сухом часто проветриваемом помещении. Никогда нельзя допускать попадания влаги на покрытие, потому что после этого покрытие начнет разрушаться и впоследствии сварка этими электродами будет невозможна. Электроды должны находиться в помещении, в котором температура не опускается ниже, чем +15 градусов по Цельсию. Также они не должны подвергаться никаким механическим повреждениям или загрязнениям. Также электроды должны быть упакованы в герметические пластмассовые или металлические коробки. Однако их еще можно упаковывать в картонные коробки. При упаковке ГОСТ требует толщину стенки коробки не менее 0,7 мм. Поэтому для того чтобы обеспечить должную сохранность электродов их упаковывают в картонную упаковку, которая сверху покрыта полиэтиленовой пленкой.

Также следует помнить, что если электроды находились какое-то определенное время во влажном помещении или на них попала влага каким-нибудь другим способом, то их нужно проверить на содержание влаги и при необходимости прокалить.

Сварочные электроды, флюсы и порошковую проволоку перед выдачей в производство необходимо прокалить согласно режимам, приведенным в паспортах или технических условиях, разработанных предприятиями-изготовителями. Для наиболее распространенных

сварочных электродов, флюсов и порошковой проволоки рекомендуемые режимы прокаливания приведены в таблицах 1, 2 и 3.

Таблица 1 - Рекомендуемые режимы прокали и сроки годности наиболее распространенных сварочных электродов

Марка электродов	Температура в печи при загрузке электродов, °С, не более	Скорость подъема температуры, °С/ч	Температура прокали, °С	Время выдержки, ч	Охлаждение с печью при закрытых дверцах до температуры, °С	Охлаждение с печью при открытых дверцах до температуры, °С	Срок годности после прокали при хранении в помещениях, при температуре не ниже +18°С, влажности 60%, мес
АНО-3, АНО-4С, МР-3, ОЗС-4, ОЗС-12, ОЗС-17Н РБУ-4, ВП-8	100	100-150	180-200	1	150	100-120	5
ОЗЛ-6, ОЗЛ-8, ЗИО-8, ЭА-395/9, ЭА-400/10Т, НИАТ-5, ЦЛ-11, ЦТ-15, НВ-40, ЯФ-1, АНЖР-1, АНЖР-2, КТИ-5, КТИ-7, ОЗЛ-9А, АНВ-20, АНВ-17, ЦТ-26, ОЗЛ-17У, ОЗЛ-20, ЭА-898/19, ЭА-902/14, НЖ-13, СЛ-16	150	100-200	200-250	1	100	100-120	5
ЦЛ-20, ТМЛ-1, ХЗМ-1, ЦУ-2ХМ, УОНИ/10Х13, УОНИ13/45МХ, ЦЛ-38, ЦЛ-17, ЦЛ-14, ЦЧ-4	150	100-200	350-400	1	200	100-150	5
УОНИ-13/45, УОНИ-13/55, К-5А, АНО-11, ДСК-50, СМ-11, ТМУ-21У, ВП-4, ВП-6, УП-2/55, УП-2/45	150	100-200	350-400	1,5	200	100-150	5

Таблица 2 - Рекомендуемые режимы прокали и сроки годности наиболее распространенных сварочных флюсов

Марка флюса	Температура в печи при загрузке флюсов, °С, не более	Скорость подъема температуры, °С/ч	Температура прокали, °С	Время выдержки, ч	Охлаждение с печью при закрытых дверцах до температуры, °С	Охлаждение с печью при открытых дверцах до температуры, °С	Срок годности после прокали при хранении в помещениях, при температуре не ниже +18°С, влажности 60%, мес
ФЦ-5	150	100-200	250-300	5	200	100-120	15
ОСЦ-45М, ОСЦ-45, АН-348-А, АН-348-АМ, ФЦ-11, АН-8, АН-17, АН-18, АН-26С, ЗИО-Ф2	150	100-200	300-420	2	300	100-150	15
АН-43, АН-20П	150	100-200	380-450	2	300	100-150	15
АН-47	150	100-200	400-500	2	300	100-150	15
АНФ-6	150	100-200	500-600	1	300	100-150	15
АН-26П, АН-26СП	150	100-200	500-600	2	300	100-150	15
АНК-47, АН-42	150	100-200	630-660	2	300	100-150	-
КФ-16, НФ-18	150	100-200	700-750	5	300	100-150	-
АН-22	150	100-200	850-900	3,5	500	100-200	15
48-ОФ-6	300	100-200	900-930	5	500	100-200	-
48-ОФ-10	300	100-200	950-970	5	500	100-200	-

Примечание. Флюсы марок 48-ОФ-6 и 48-ОФ-10 после прокали должны храниться только в герметичной таре.

Таблица 3 - Рекомендуемые режимы прокалики и сроки годности наиболее распространенных порошковых проволок

Марка порошковой проволоки	Технические условия	Температура в печи при загрузке проволоки, °С, не более	Скорость подъема температуры, °С/ч	Температура прокалики, °С	Время выдержки, мин	Срок годности после прокалики при хранении в помещениях, при температуре не ниже +18°С, влажности 60%, мес
СП-2	ТУ 36-1830-74	100	100-200	150-200	60-90	1
СП-3	ТУ 36-2516-83	100	100-200	150-200	60-90	1
ПП-АНЗ	<u>ТУ 14-4-982-79</u>	100	100-200	230-250	120	1
ПП-АН8	ТУ 14-4-1059-80	100	100-200	230-250	120	3
ПП-АН9	ТУ 14-1116-81	100	100-200	230-250	120	3
ПП-АН10	ТУ 14-4-604-75	100	100-200	230-250	120	3
ПП-АН19С	ТУ 423-84ИЭС	100	100-200	230-250	120	1
ПП-АН19Н	ТУ 221-79ИЭС	100	100-200	230-250	120	1
ПП-АНВ1	ТУ 217-79ИЭС	100	100-200	230-250	120	3
ПП-АН42	ТУ 14-2-258-72	100	100-200	230-250	120	3

При сварке в цеховых условиях электроды необходимо хранить в специально отапливаемом помещении. Электроды с покрытием основного вида рекомендуется держать в термостатированных шкафах при температуре 60 - 80 °С. При сварке в полевых условиях электроды, независимо от вида покрытия, следует хранить в контейнерах (термопеналах) с электрическим

обогревом, где поддерживается температура 80 - 100 °С. Не рекомендуется хранить электроды в том же месте, где хранится или сушится рабочая одежда. Физико-химические изменения состояния покрытия, именуемые как старение, связаны с действием влаги, которая либо осталась в покрытии вследствие недостаточной прокалки электродов или адсорбирована из атмосферы. Старение проявляется в образовании белого налета на поверхности покрытия, ржавлении стального стержня и железного порошка, который входит в состав покрытия ряда марок электродов.

Белый налет - результат взаимодействия щелочи жидкого стекла с углекислым газом воздуха и образования карбонатов натрия и/или калия. Налет сам по себе не влияет на сварочно-технологические свойства большинства марок электродов, однако он может усилить поглощение влаги покрытием, а также уменьшить его механическую прочность из-за перехода образовавшихся гидратированных карбонатов из одной кристаллической формы в другую. Ржавление стержня снижает прочность покрытия, вызывая его отслаивание, а также может способствовать появлению пор в сварных швах. Поэтому электроды, предназначенные для сварки ответственных конструкций, имеющие на поверхности стержней следы ржавления, нельзя применять для сварки.

Определяющими факторами в поглощении влаги покрытием являются состав связующего (щелочного силиката) и температура прокалки электродов. Покрытия, изготовленные на калиевом или калиево-натриевом силикатном связующем, весьма интенсивно адсорбируют влагу, особенно в начальный период хранения. При использовании натриевого связующего темп поглощения и уровень адсорбированной покрытием влаги заметно ниже. Смеси натриево-калиевого связующего с примерным соотношением 70% натриевого и 30% калиевого жидких стекол обеспечивают стойкость покрытий к поглощению влаги на уровне натриевого силиката, а в определенных условиях и выше. Максимальная стойкость против адсорбции

покрытием атмосферной влаги достигается при использовании литиевых, а также натриево - и/или калиево-литиевых силикатных связующих.

Ниже на рисунке 1 представлены примеры упаковок электродов, выпускаемых предприятиями фирмы Lincoln Electric.

Электроды для ручной дуговой сварки с покрытием производства Lincoln Electric в оригинальной упаковке.

Упаковка может представлять собой:

A) картонные коробки во внешней картонной упаковке;

B) картонные коробки со слоем фольги во внешней картонной упаковке;

C) пластиковые (ПЭ) контейнеры с герметичной закрывающейся крышкой;

D) герметичные металлические тубусы (LINC CAN™) во внешней картонной упаковке;

E) герметичная вакуумная упаковка из фольги (MINI-PACK) во внешней картонной упаковке;

F) герметичная вакуумная упаковка из фольги (Sahara ReadyPack) во внешней картонной упаковке.



Рисунок 1 – Примеры упаковок электродов, выпускаемых предприятиями фирмы Lincoln Electric

Рекомендуемые виды упаковок для электродов разного назначения, выпускаемых предприятиями фирмы Lincoln Electric, представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Рекомендуемые виды упаковок для электродов разного назначения

Типы электродов	Тип упаковки					
	A	B	C	D	E	F
Углеродистая сталь	X	X	X	X		X
Низколегированная высокопрочная сталь		X		X		X
Низкотемпературная сталь с мелкозернистой структурой		X		X	X	X
Теплостойкая сталь		X				X
Нержавеющая сталь		X	X	X	X	X
Дуплексная и супердуплексная нержавеющая сталь		X				X
Электроды для сварки никелевых сплавов			X			X
Электроды для наплавки и восстановления геометрии			X			

Рекомендуемые условия хранения электродов в зависимости от вида упаковки и влажности следующие:

1. Электроды в картонных коробках необходимо хранить в помещениях с контролируемой влажностью и температурой воздуха.

Рекомендуемые условия хранения обычно следующие:

- температура 17-27°C при относительной влажности до 60%;
- температура 27-37°C при относительной влажности до 50%;
- коробки с электродами допускается хранить штабелями до 7 уровней.

2. Для электродов в пластиковых контейнерах требуются такие же условия хранения, как и в картонных.

3. На электроды в упаковке Linc-Can, Mini-Pack и Sahara ReadyPack требования относительно температуры и влажности не распространяются при условии, что упаковка не повреждена и сохраняет вакуум.

Рекомендуемые условия хранения обычно следующие:

электроды в Sahara ReadyPack и Mini-Pack в картонной внешней упаковке могут храниться штабелями до 7 ярусов;

для Linc Can во внешней упаковке число ярусов не должно превышать 5;

избегать повреждения упаковок Linc-Can и Sahara ReadyPacks и нагревания выше 60°C;

избегать повреждения упаковок Mini-Pack и нагревания выше 40°C;

Раздел 5. Сварочные флюсы

Тема 5.1. Общие сведения о способах сварки с использованием флюса.

Классификация флюсов

Сварочные флюсы – это вещества в виде порошка, гранул, пасты или газа (Для сварки меди и латуни применяют флюс газообразный, например, БМ-2 на основе метил-боратов, который автоматически подается в пламя горелки), вводимые в зону сварки для ее защиты от вредного воздействия окружающего воздуха и выполнения других металлургических и технологических функций.

Флюс используется главным образом при дуговой механизированной и автоматической сварке, электрошлаковой и газовой сварке многих металлов и сплавов. Наиболее распространенным способом сварки с применением флюса является дуговая автоматическая сварка под флюсом низкоуглеродистых, низколегированных, легированных и высоколегированных сталей.

Сварочные флюсы для дуговой сварки классифицируются по назначению, способу изготовления, химическому составу и др. признакам.

- **По назначению:** 1) для сварки различных видов и классов сталей; 2) для сварки цветных металлов (никеля, меди, титана, алюминия и их сплавов).

- **По способу изготовления:** на плавленные, керамические и плавленно-керамические. **Плавленные** флюсы получают путем сплавления компонентов шихты в электрических или пламенных печах с последующей грануляцией полученного расплава мокрым способом в воде и сухим дроблением застывшего шлака или распылением жидкой струи расплава воздушным потоком. Это основная группа флюсов применяется на практике.

Керамические флюсы производят в виде крупки, получаемой при смешении шихты определенного состава на связующем материале (чаще всего жидкого стекла) с последующей грануляцией и прокалкой при соответствующих температурах (400-900°С). Каждое зерно флюса состоит из прочно соединенных частичек отдельных компонентов сырья в строго

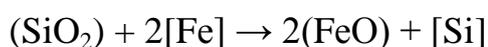
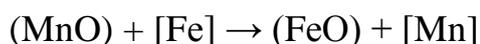
установленном соотношении. **Плавленно-керамические** флюсы включают оба способа приготовления.

В качестве сырьевых материалов для изготовления плавленных и керамических флюсов применяют различные руды, шпаты и карбонаты, химические соединения, отходы металлургического и химического производства, порошкообразные ферросплавы и металлы (кварцевый песок, мрамор, плавиковый шпат, марганцевый концентрат, рутиловый концентрат, глинозем, ферро-Si, ферро-Mn, ферро-Cr, Fe-порошок, Ni-порошок и пр.

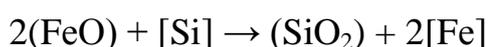
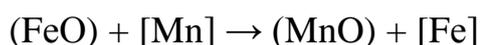
▪ **По химическому составу:** на **оксидные**, состоящие в основном из оксидов металлов (для сварки углеродистых и низколегированных сталей); **солевые**, состоящие из фтористых и хлористых солей (для сварки Al, Ti и др. активных металлов и их сплавов); **солеоксидные**, состоящие из фторидов и оксидов металла (для сварки легированных и высоколегированных сталей).

Технологические и металлургические функции флюсов в целом аналогичны функциям покрытия металлических электродов. Вместе с тем имеются отличительные особенности, например, связанные с прохождением, так называемых кремне-марганцево-восстановительных процессов, наблюдаемых при сварке с использованием флюса, содержащего MnO и SiO₂.

В высокотемпературной головной части сварочной ванны ($t = 2000\text{--}2200^\circ\text{C}$) между MnO и SiO₂ флюса и Fe активно протекают реакции



При снижении температуры (в хвостовой части ванны) направление реакции изменяется на противоположное



Оксиды Mn и Si уходят обратно в шлак, т.е. происходит процесс раскисления. Но реакция раскисления оказывается незавершенной из-за снижения скорости ее протекания, поскольку она проходит при более низких температурах, а также в связи с малой длительностью взаимодействия

металла и шлака в хвостовой части ванны. Получается избыток Mn и Si, что приводит к легированию сварочной ванны и, как следствие, металла шва. Учитывая в том числе и этот фактор, все флюсы используются только в комбинации с определенными марками проволоки, таким образом, следует выбрать систему флюс–проволока.

На плавленные флюсы имеется стандарт ГОСТ 9087-81 «Флюсы плавленные сварочные. Технические условия». Стандарт распространяется на флюсы, применяемые для механизированной и автоматической дуговой сварки сталей и наплавки, а также для электрошлаковой сварки (ЭШС) стали. ГОСТ регламентирует в т.ч. химический состав 23 марок флюсов, размер и цвет зерен.

Рекомендации по применению флюсов приведены в приложении 1.

Приложение 1.

Марка флюса	Назначение
АН-348-А, АН-348-АМ, АН-348-В, АН-348-ВМ, ОСЦ-45, ОСЦ-45М, ОСЦ-45П, ФЦ-9, АН-60, АН-65	Механизированная сварка и наплавка углеродистых низколегированных сталей углеродистой и низколегированной сварочной проволокой
АН-8	Электрошлаковая сварка углеродистых и низколегированных сталей и сварка низколегированных сталей углеродистой и низколегированной сварочной проволокой
АН-20С, АН-20СМ, АН-20П, АН-15М, АН-18	Дуговая автоматическая сварка и наплавка высоколегированных и среднелегированных сталей соответствующей сварочной проволокой
АН-22	Электрошлаковая сварка и дуговая автоматическая наплавка и сварка низколегированных и среднелегированных сталей соответствующей сварочной проволокой
АН-26С, АН-26СП, АН-26П	Автоматическая и полуавтоматическая сварка нержавеющей коррозионно-стойких и жаропрочных сталей соответствующей сварочной проволокой
АН-17М, АН-42, АН-43, АН-47	Дуговая сварка и наплавка углеродистых низколегированных и среднелегированных сталей повышенной и высокой прочности соответствующей сварочной проволокой

Флюсы упаковывают в бумажные мешки или специальные контейнеры.

Хранятся флюсы в крытых помещениях.

Перед употреблением плавленные и керамические флюсы прокаливают при температуре от 300 до 650°C 2 часа в зависимости от марки флюса.

Тема 5.2 Флюсы для дуговой механизированной сварки сталей

При сварке **низкоуглеродистых и низколегированных сталей** применяют плавленные и керамические флюсы, относящиеся к оксидной и солеоксидной группам. Одними из наиболее широко применяемых флюсов являются флюсы марок: **АН-348-А, АНК-47, АН-47.**

АН-348-А – по ГОСТ 9087-81-для сварки и наплавки низкоуглеродистых и низколегированных сталей. Можно применять для сварки меди и ее сплавов.

Это плавленный оксидный флюс. Размер зерен 0,35-4,0 мм, цвет от желтого до коричневого. Химический состав: SiO_2 – 41-44%; MnO – 34-38%; $\text{CaO} < 10\%$; $\text{MgO} < 7\%$; $\text{Al}_2\text{O}_3 < 6\%$; CaF_2 – 0,5-2,0%, S и P $\leq 0,12\%$. Относится к группе оксидных высококремнистых, высокомарганцовистых флюсов. Режим прокалки 350÷400°C, 2 часа.

Для сварки низкоуглеродистой стали Ст. 3 применяют проволоку Св-08, Св-08А; для низколегированных сталей (09Г2С, 10Г2С1) – проволоку Св-08ГА, Св-08Г2. (Для сварки Ст 3 с флюсом АН-348-А применять проволоку марки Св-08Г2С нельзя – произойдет легирование металла шва Si и Mn, что неблагоприятно скажется на механических свойствах и металл шва приобретает свойства закаливающейся стали.)

Сталь 10ХНДП – хромо-никель-фосфористая с медью низколегированная атмосферо-коррозионностойкая сталь применяется в строительстве. Для стали 10ХНДП – проволока Св-08Х1ДЮ.

Низколегированная сталь марки 16Г2АФ с флюсом АН-348-А + проволока Св-10НМА. В этой стали содержится 0,3-0,6% Si и Mn, поэтому легирование осуществляется по Mn и Si из флюса.

АН-47– ГОСТ 9087-81 для сварки н/легированных сталей обычной и повышенной прочности. Флюс плавленный. Состав флюса: SiO_2 – 28-32%; MnO – 14-18%; CaO - 13-17%; MgO -6,5-10%; Al_2O_3 – 9-13%; CaF_2 – 9-13%, TiO_2 -4-7%, ZrO_2 -1-2%, $\text{Fe}_2\text{O}_3 \leq 2$, S и P $\leq 0,05\%$. Относится к группе

солеоксидных флюсов. Используется в комбинации со сварочными проволоками марок Св-10Г2; Св-08ХМ (Для сварки стали 16Г2АФ лучше использовать проволоку Св-10НМА можно Св-08ХМ).

АНК-47 – ТУ ИЭС-20-82 керамический флюс для сварки низколегированных сталей повышенной прочности при повышенных требованиях к хладостойкости металла шва. Шлакообразующие оксиды флюса: MnO , CaO , CaF_2 , Al_2O_3 , SiO_2 , + добавки других компонентов, в т.ч. ферросплавы содержащие Mo и Cr . Используется в комбинации с проволоками; Св-08ХМ, Св-10НМА, Св-08ГА, Св-10Г2. Режим прокалки перед сваркой $630-660^{\circ}C$ – 2 часа.

При сварке **легированных и высоколегированных сталей** применяют плавленные и керамические флюсы, относящиеся к солеоксидной и солевой группам. Флюсы должны обладать малой химической (окислительной) активностью или даже быть пассивными по отношению к жидкому металлу и обеспечивать минимальное окисление легирующих элементов, поступающих в шов из основного и электродного металлов. В связи с этим такие флюсы содержат малое количество железа, марганца, кремния и титана.

АН-26С – ГОСТ 9087-81- для сварки коррозионностойких и жаропрочных хромоникелевых сталей (с применением соответствующих электродных проволок). Флюс плавленный. Состав флюса: SiO_2 – 29-33%; MnO – 2,5-4%; CaO – 4-8%; MgO -15-18%; Al_2O_3 – 19-23%; CaF_2 – 20-24%, $Fe_2O_3 \leq 1,5$, $C \leq 0,05$, $S \leq 0,1\%$ и $P \leq 0,1\%$. Относится к группе солеоксидных низкокремнистых, низкомарганцовистых флюсов. Используется в комбинации со сварочными проволоками Св-06Х19Н9Т, Св-01Х19Н9, Св-08Х19Н10Б. Режим прокалки перед сваркой $400^{\circ}C$, 2 часа.

Флюсы типа **ФЦК** (ТУ 108.3746.30-80, ТУ 27.50.09.039-2012) для сварки хромоникелевых коррозионностойких сталей. Флюс керамический. Состав флюса: $SiO_2 \leq 2\%$; CaF_2 – 77%, Al_2O_3 – 10%; NaF -5%; KCl -8%; $FeO \leq 0,2\%$; $S \leq 0,1\%$ и $P \leq 0,1\%$. Относится к группе солевых безкремнистых,

безмарганцовистых флюсов. При сварке под ним полностью отсутствуют кремне-марганцевосстановительные реакции. Из сварочной проволоки в шов практически полностью переходят все легирующие элементы. Используется в сочетании со сварочными проволоками марок Св-06Х20Н11МЗТБ; Св-05Х25Н12ТЮ; Св-08Х20Н9Т7Б. Режим прокаливания перед сваркой 750°С, 2 часа.

В соответствии со стандартом EN ISO 14174 (ГОСТ Р ИСО 14174-2010 «Материалы сварочные. Флюсы для дуговой сварки. Классификация») каждый флюс имеет свое обозначение, которое состоит из семи (из шести по ГОСТ Р ИСО) позиций:

- на первой позиции указывается способ сварки: S — дуговая, ES — электрошлаковая;

- на второй позиции — индекс определяющий способ изготовления флюса: F — плавный, А — керамический (агломерированный), М — смешанный флюс;

- на третьей позиции стоит индекс типа флюса по химическому составу, например: MS — марганцовисто-силикатный (кремнисто-марганцевый); CS — кальциево-силикатный и т.д.;

- на четвертой позиции цифра, обозначающая назначения флюса: 1 — сварка и наплавка низкоуглеродистых, низколегированных, теплоустойчивых сталей; 2 — сварка и наплавка высоколегированных нержавеющей сталей;

- на пятой позиции — индекс указывающий степень выгорания флюса при сварке (такой позиции по ГОСТ Р ИСО 14174-2010 не существует);

- на шестой - род тока при сварке: AC-переменный и постоянный ток; DC — только постоянный ток;

- на седьмой позиции индекс содержания диффузионного водорода.

Пример классификационного обозначения согласно ГОСТ Р ИСО 14174:

Флюс сварочный ISO 14174 – SFCS1ACH10, где флюс сварочный ISO 14174 - SFCS1 – обязательная часть классификационного обозначения.

Индексы в данном примере обозначают:

ISO 14174 – номер настоящего стандарта;

S – флюс для дуговой сварки;

F – плавленный флюс;

CS – тип флюса, характеризующий химический состав;

1 – область применения, класс флюса (флюсы данного класса предназначены для дуговой сварки и наплавки нелегированных и мелкозернистых сталей, высокопрочных сталей и стойких к ползучести сталей, т.е. теплоустойчивых);

AC – род тока;

H10 – уровень содержания водорода.

Флюс для дуговой сварки (S), плавленный (F), кальциево-силикатного типа (CS); с областью применения, соответствующей классу 1 (1), используемый для сварки на переменном токе (AC) и/или постоянном токе (DC) и позволяющем получать содержание диффузионного водорода не более 10 мл на 100 г наплавленного металла (H10).

Разработан также стандарт СТБ ISO 14174-2014 «Материалы сварочные присадочные. Флюсы для дуговой сварки под флюсом и электрошлаковой сварки. Классификация».

Существует также стандарт EN ISO 14171 (ГОСТ Р ИСО 14171-2010 «Материалы расходуемые при сварке. Проволочные электроды, трубчатые фитильные электроды и комбинации электрод/флюс для дуговой сварки под флюсом нелегированной и мелкозернистой стали. Классификация», СТБ ISO 14171-2011 «Материалы сварочные присадочные. Проволока электродная, порошковая электродная проволока и их комбинации с флюсом для дуговой сварки под флюсом нелегированных и мелкозернистых сталей. Классификация», в котором он устанавливает требования к классификации электродов в комбинации с флюсом и чистого наплавленного металла шва в состоянии после сварки и в условиях термообработки после сварки для дуговой сварки под флюсом нелегированных и мелкозернистых сталей с

минимальным пределом текучести до 500 МПа или с минимальным временным сопротивлением разрыву при растяжении до 570 МПа, также устанавливает требования к классификации по двум системам, одна из которых основана на пределе текучести и среднем значении работы удара в 47 Дж для чистого наплавленного металла, а другая - на временном сопротивлении разрыву при растяжении и среднем значении работы удара в 27 Дж для чистого наплавленного металла.), в котором приведена классификация комбинаций: сварочная проволока + флюс для дуговой сварки.

Тема 5.3. Флюсы для дуговой электрошлаковой и газовой сварки цветных металлов

Флюсы для дуговой сварки алюминия и его сплавов. К флюсам для сварки алюминия и его сплавов предъявляют следующие требования: химическая нейтральность или малая химическая активность по отношению к расплавленному металлу, легкоплавкость ($T_{пл} \text{ Al} - 650^{\circ}\text{C}$), малая плотность (плотность Al всего $2,7\text{г/см}^3$). Этим требованиям удовлетворяют флюсы солевой группы, состоящие из фторидов и хлоридов щелочных и др. металлов. Вместе с тем флюсы, построенные на основе фтористых и хлористых солей, отличаются высокой электрической проводимостью, что при сварке под флюсом, приводит к шунтированию дуги, сварочного тока слоем жидкого электропроводного шлака и переходу дугового процесса в электрошлаковый. А это резко снижает устойчивость процесса сварки со всеми вытекающими отсюда последствиями. Удовлетворительные результаты при сварке Al под флюсом получаются при использовании специальных керамических флюсов, в частности, марка **ЖА-64А**, который относится к солевому. Однако и в этом случае возникают большие трудности с получением качественного шва. Более прогрессивным оказался способ сварки по флюсу. Схема этого процесса исключает шунтирование дуги. Тонкого слоя флюса оказывается вполне достаточно для обеспечения надежной защиты сварочной ванны от атмосферы воздуха и удаления пленки оксида алюминия. Этому способствуют также и образующиеся при сварке пары флюса.

При сварке по флюсу алюминия и его сплавов, не содержащих магний, применяют плавленный флюс **АН-1А** ($\text{NaCl} - 20\%$; $\text{KCl} - 50\%$; $\text{Na}_3\text{AlF}_6 - 30\%$); для сварки алюминиево-магниевых сплавов (AlMg_3 ; AlMg_6) – плавненные флюсы **МАТИ – 10** и **АН – 4А**. Состав флюса **МАТИ – 10**: $\text{KCl} - 50\%$; $\text{BaCl}_2 - 48\%$; $\text{Na}_3\text{AlF}_6 - 2\%$. Марка сварочной проволоки

устанавливается в соответствии с общим положением выбора сварочных материалов для сварки Al и его сплавов.

Флюсы для дуговой сварки меди и ее сплавов. Вследствие небольшой химической активности меди и ряда ее сплавов при их сварке под флюсом применяют флюсы, используемые для сварки стали: **АН-348-А, АН-20, АН-26.**

И хотя интервал температур плавления перечисленных флюсов (1100 - 1250 °С) лежит выше температуры плавления меди и ее сплавов (900 - 1083 °С) при сварке под ним обеспечивается удовлетворительное формирование сварных швов. Для сварки чистой меди применяют проволоку из безкислородной или технической меди М1. Если к сварным соединениям не предъявляются требования высокой электропроводности и теплопроводности, то для повышения механических свойств и стойкости к образованию горячих трещин при сварке меди применяют бронзовые проволоки БрХ0,7; БрКМц3-1 и др.

Изготавливают сварочные флюсы на ОАО «Ижорский завод» электродно-флюсовое производство.

Флюсы для электрошлаковой сварки. По химическому составу флюсы для электрошлаковой сварки делятся на следующие группы:

- 1) высококремнистые марганцевые;
- 2) низкокремнистые марганцевые;
- 3) низкокремнистые безмарганцевые;
- 4) фторидные.

При электрошлаковой сварке кроме требований по надежной защите расплавленного металла, оптимального химического, и металлургического взаимодействия и обеспечения необходимых механических свойств сварного шва к флюсу предъявляются дополнительные требования: обеспечение устойчивого протекания электрошлакового процесса; герметизация полости шлаковой и сварочной ванны и предотвращение их протекания в зазор между изделием и ползунами.

Эти требования обеспечиваются соответствующим выбором значений электропроводности и вязкости флюсов.

В отличие от дуговой сварки устойчивость электрошлакового процесса не определяется наличием элементов с низким потенциалом ионизации. В данном случае выделение тепла осуществляется не дугой, а шлаковой ванной за счет прохождения через нее тока. Чем выше электропроводность флюса в жидком состоянии, тем более устойчивый процесс электрошлаковой сварки. Наилучшую устойчивость процесса при электрошлаковой сварке обеспечивают фторидные флюсы, которые являются наиболее электропроводными.

Для того чтобы флюс не вытекал в зазор между изделием и подвижным ползуном, он не должен быть слишком жидкотекучим. Однако при высокой вязкости расплавленного флюса и быстром его затвердевании при уменьшении температуры может происходить отжимание ползунов от свариваемых кромок. Поэтому вязкость расплавленного флюса должна быть оптимальна. Это достигается подбором флюсов, у которых не очень «короткий» шлак, т.е. вязкость которого медленно меняется при снижении температуры. С точки зрения этого требования фторидные флюсы наилучшие, т.к. имеют «короткий» шлак.

Для электрошлаковой сварки применяются как специальные флюсы, так и флюсы, использующиеся при дуговой сварке. Наиболее распространенными являются следующие.

Высокремнистые марганцевые - ФЦ-7, АН-348; низкремнистые марганцевые - АН-8, АН-22, ФЦ-21; низкремнистые безмарганцевые - АН-25, АН-9; фторидные - АНФ-5, АНФ-14.

По областям применения при электрошлаковой сварке сохраняются те же тенденции, что и при дуговой. Чем более легированная сталь, тем меньше оксидов SiO_2 и MnO и больше фторидов CaF_2 должно содержаться во флюсе.

Для начала электрошлакового процесса применяется флюс АН-25 электропроводный в твердом состоянии. При его отсутствии возможно начало сварки с дугового процесса, который после засыпки флюса и его расплавления прекращается и переходит в электрошлаковый вследствие шунтирования дуги расплавленным электропроводным флюсом.

Флюсы для газовой сварки цветных металлов.

Флюсы применяются не только при дуговой сварке плавящимся электродом и электрошлаковой сварке, но и при других технологических процессах сварочного производства. Так флюсы часто используются при пайке, при газовой сварке ряда металлов и сплавов, а также при кислородной резке некоторых металлов и сплавов. При сварке и пайке задачами, которые решаются применением флюсов, является удаление с поверхностей соединяемых металлов окислов и других загрязнений, мешающих получению необходимых свойств сварных или паяных швов. Флюсы для сварки и пайки применяются в виде тонкоизмельченных порошков. Особым видом флюсования является применение газообразных флюсов при газовой сварке (наплавке) и печной и пламенной пайке

Флюсы для сварки алюминия. При газовой сварке алюминия и его сплавов важное значение имеет состав флюса, поскольку он должен перевести тугоплавкую оксидную пленку (Al_2O_3) на поверхности алюминия в легкоплавкие шлаковые включения, которые образуют корку, защищающую шов. Марки и состав флюсов для сварки приведены в табл. 1

Таблица 1 – Содержание, %, компонентов флюсов для газовой сварки алюминия и его сплавов

Компо- нент	Марки флюсов						
	АФ-4А	АН-А201	ВАМИ	КМ-1	№ 1	№ 2	№ 3
Хлорид натрия	28	—	50	20	33	19	41
Хлорид калия	50	—	50	45	45	29	51
Хлорид лития	14	15	—	—	15	—	—
Хлорид бария	—	70	—	20	—	48	—
Фторид натрия	8	—	—	15	—	—	8
Фторид кальция	—	—	—	—	—	4	—
Фторид лития	—	15	—	—	—	—	—
Фторид калия	—	—	—	—	7	—	—

Флюсы для сварки меди. При газовой сварке медь окисляется с образованием на поверхности слоя Cu_2O , который вызывает снижение механической прочности и пластичности сварного соединения, а также образование мелких трещин. Поэтому при газовой сварке меди необходимо использовать флюсы.

Флюсы для сварки меди. При газовой сварке медь окисляется с образованием на поверхности слоя Cu_2O , который вызывает снижение механической прочности и пластичности сварного соединения, а также образование мелких трещин. Поэтому при газовой сварке меди необходимо использовать флюсы. Рекомендуемые составы флюсов для сварки меди приведены в табл.2.

Таблица 2 – Содержание, %, компонентов флюсов для газовой сварки меди и ее сплавов

Компонент	Номера флюсов							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Борная кислота	100	—	50	25	35	—	10	—
Прокаленная бура	—	100	50	75	50	50	70	56
Гидроортофосфат натрия (безводный)	—	—	—	—	15	15	—	—
Карбонат калия (поташ)	—	—	—	—	—	15	—	22
Хлорид натрия	—	—	—	—	—	20	20	22

Роль флюсов заключается в растворении образующихся оксидов, в том числе оксида меди, переводе их в легкоплавкие шлаки и предотвращении окисления расплавленного металла.

Раздел 6. Порошковые проволоки и ленты

Тема 6.1. Характеристика порошковых проволок. Конструкция, классификация и типы

В сварочной технологии проволоки порошкового типа стали использоваться сравнительно недавно. При этом они сразу завоевали хорошую репутацию у специалистов, так как с их помощью удалось решить многие затруднения, связанные с механизацией наплавочных и сварочных мероприятий в полевых условиях и на открытых производственных участках. Кроме того, применение проволоки порошковой позволило:

- увеличить в 2–5 раз производительность наплавки и сварки;
- "забыть" об очень тяжелых и трудоемких процедурах удаления металлических брызг со свариваемых конструкций;
- гарантировать отличное качество металла сварочных соединений и швов.
- такие электроды за счет хорошего проплавления металла оптимальны для осуществления нахлесточных, стыковых и угловых соединений за несколько либо за один проход;
- порошковые проволоки (ПП) для сварки характеризуются высокой сопротивляемостью появлению шлаковых включений и образованию на металле пористости, обеспечивают стабильный перенос струи, дают возможность выполнять сварочные работы в любых положениях. А полученный при помощи ПП сварочный шов имеет по-настоящему точный химический состав, как при применении для сварки аргоновых смесей, так и при сварке в атмосфере углекислого газа.

ПП, строение которых представлено на рисунке 1, состоят из:

- специального наполнителя (его называют сердечником);
- оболочки.



Рисунок 1- Строение порошковой проволоки

Под **оболочкой** понимают ленту (холоднокатаную), изготовленную из мягкой неполированной стали с малым содержанием углерода. По ширине и толщине такая лента может иметь различные размеры, которые устанавливаются тем, какой диаметр должен быть у готовой оболочки. Как правило, толщина ленты находится в пределах 0,2–0,8 миллиметров. Поставляют ленту в кругах либо рулонах, причем сверху на материал наносится консервационный смазочный состав, который затем снимают (удаляя попутно все загрязнения) ультразвуковым или механическим способом.

Сердечник проволоки – это комбинация разнообразных ферросплавов, руд, минералов, металлов и иных элементов, которые обеспечивают получение швов с заданными эксплуатационными параметрами, а также устойчивое и стабильное осуществление сварочной (наплавочной) процедуры. Все элементы, входящие в сердечник, подразделяют на следующие виды добавок:

- **Раскисляющие.** Под такими компонентами понимают металлы с повышенным сродством к кислороду (то есть активные), которые вносятся в сердечник как порошки и ферросплавы.
- **Стабилизирующие.** Элементы с небольшим ионизирующим потенциалом, за счет которых при разных сварочных режимах обеспечивается устойчивая электрическая дуга.

- Газообразующие: древесная мука, целлюлоза (органические), кальцинированная сода, мрамор (металлы щелочного-земельного ряда и щелочные карбонаты). Они нужны для того, чтобы в сварочной области образовывалась газовая фаза, которая предохраняет металл в жидком виде от водорода и азота, а также с целью вытеснения с поверхности ванны воздуха.
- Легирующие: порошок никеля, хрома, феррованадий, феррохром и другие. Легирующие компоненты придают нужные характеристики металлу шва.
- Шлакообразующие: оксиды металлов щелочного ряда, магнезит, алюмосиликаты, кремнезем, фториды, другие руды и минералы или их сочетания.
- Специальные. Чаще всего вводится железо в виде порошка, которое выполняет задачу по дополнительному влиянию на наплавочный или сварочный процесс.

Стоит сказать, что по виду наполнителя рассматриваемые ПП причисляются к одному из пяти типов. Они бывают: рутил-флюоритными, флюоритными, рутил-органическими, рутиловыми и карбонатно-флюоритные. Чаще всего применяются изделия с сердечниками последнего из перечисленных типов.

Общие технические требования для всех видов проволоки по **сварочно-технологическим свойствам** следующие: лёгкое возбуждение дуги и устойчивое горение; плавление проволоки без чрезмерного разбрызгивания электродного металла; хорошая растекаемость образующегося при сварке и наплавке шлака и легкое отделение после его охлаждения; хорошее формирование сварного шва или наплавленного валика без недопустимых дефектов; надежное и без затруднений перемещение подающими механизмами.

И так порошковая проволока состоит из трубчатой стальной оболочки, внутри которой запрессован порошок-наполнитель, представляющий смесь стабилизирующих, шлако- или газообразующих материалов, ферросплавов и иногда металлических порошков. Сечения

некоторых распространенных типов порошковой проволоки представлены на рисунках 2 и 3.

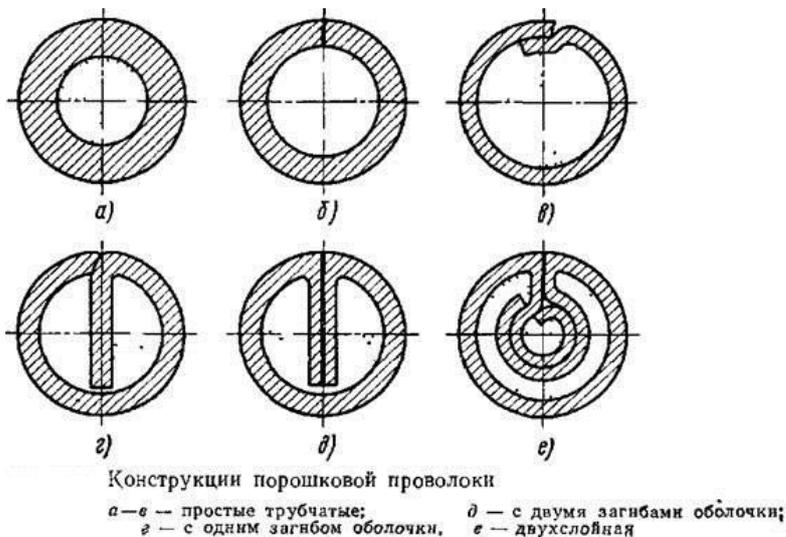


Рисунок 2 – Конструкции порошковой проволоки

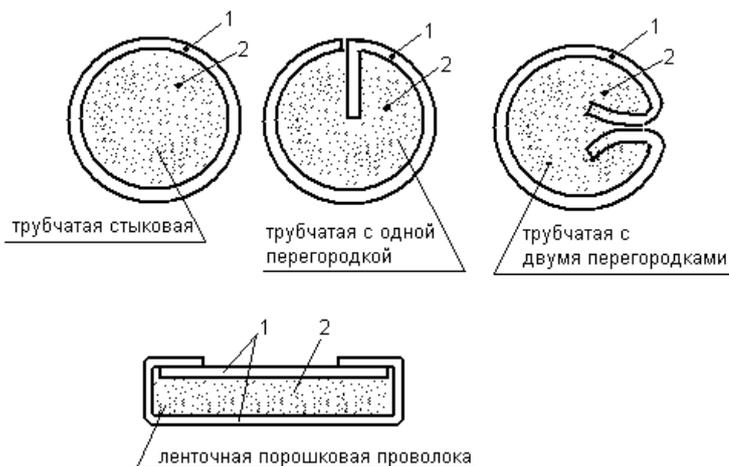


Рисунок 3 – Конструкции порошковой проволоки

Конструкция проволоки является определяющей для процесса расплавления ее дугой. Внутренняя полость металлической оболочки заполнена неметаллическими материалами примерно на 70%, точнее от 50 до 70%. Это означает, что сопротивление электрическому току такого сердечника будет в сотни раз больше, чем сопротивление металлической оболочки. По этой причине оболочка плавится значительно быстрее. Расплавление же сердечника осуществляется частично за счет теплоизлучения дуги и частично за счет теплопередачи сильно нагретого

металла. Поэтому порошок может даже попадать в сварочную ванну в нерасплавленном виде, что приводит к загрязнению сварочной ванны неметаллическими включениями. Введение части оболочки внутрь обеспечивает более равномерное плавление и более эффективную защиту от воздуха

Сложные сечения придают проволоке жесткость и предотвращают высыпание порошка при ее сдавливании подающими роликами сварочного полуавтомата. Наиболее простой трубчатый тип (*a, б, в*) применяют для сварки в CO_2 или наплавки, а некоторые марки этого типа используются как самозащитные (СП-3 и СП-9); более сложный (*г, д*) применяют без дополнительной газовой защиты; наиболее эффективный тип двухслойной самозащитной проволоки, обеспечивающей газовую и шлаковую защиту (*е*). Существует конкуренция между порошковыми проволоками вальцованного типа и бесшовными порошковыми пр-ками. Первые обеспечивают низкую стоимость, но допускают попадание влаги в порошковый сердечник, что приводит к увеличению содержания диффузионно-подвижного водорода в металле шва. Второй тип проволок бесшовный не допускает увеличения диффузионно-подвижного водорода, но имеет более высокую стоимость. Поэтому второй тип проволок доминирует при сварке высокопрочных сталей, где требуется гарантированно высокое качество сварного соединения.

Особенности производства порошковой проволоки

Изготовление ПП осуществляется в четыре этапа. Сначала подготавливается шихта и стальная лента, затем производится формирование профиля и последующая навалка на него шихты. За этими операциями следует операция волочения. На финальной стадии выполняют контроль качества полученного изделия.

Ленту подготавливают так:

- берут рулон стального материала (его ширина обычно варьируется в пределах 10–15 сантиметров);
- разрезают заготовку на спецагрегате на требуемые по ширине полосы;

- наматывают получившиеся полосы на кассеты (при этом сразу выполняется и удаление с полосок влаги, остатков смазки);
- по определенной рецептуре подготавливают шихту, а затем направляют ее в виде однородной композиции на волочильный стан (к его засыпному механизму).

На следующем этапе производства порошковой проволоки шихту засыпают на ленту (процесс производится в особых формующих емкостях), из получившейся смеси формируют профиль (круглый), который начинают протягивать на волочильных барабанных агрегатах. Причем таких агрегатов имеется шесть. На каждом последующем сечении исходной заготовки уменьшается на заданную величину. В результате, на финальном барабане проволока получает требуемый по техническим условиям диаметр. Заметим, что для снижения себестоимости готовой продукции и повышения уровня ее производительности процесс волочения ведется на достаточно больших скоростях (не менее 300 метров ПП в минуту).

Под контролем проволоки после волочильного оборудования подразумевают, прежде всего, расчет особого коэффициента, который является отношением веса шихты на единицу длины ПП к общему весу изделия. Данную величину называют **коэффициентом заполнения**.

Для определения коэффициента заполнения от каждого из отобранных для испытания мотков (катушек) проволоки отрезают по одному образцу длиной 100 - 150 мм. Образцы взвешивают с погрешностью не более 0,01 г, вскрывают, тщательно очищают оболочку от шихты. Оболочку взвешивают и для каждого образца вычисляют коэффициент заполнения в процентах по формуле:

$$K = \frac{P - P_{об}}{P} \cdot 100\%$$

где P - масса образца проволоки, г;

P_{об} - масса оболочки, г.

Для разных марок ПП он свой (варьируется от 25 до 40 процентов). Кроме этого, проволока проходит обследование на механические показатели наплавленного металла и на свои сварочно-технологические характеристики.

Тема 6.2. Порошковая проволока для сварки низкоуглеродистых и низколегированных сталей

Порошковую проволоку различных марок для дуговой сварки углеродистых и низколегированных сталей изготавливают в соответствии с ГОСТ 26271-84 «Проволока порошковая для дуговой сварки углеродистых и низколегированных сталей. Общие технические условия». Она подразделяется по следующим признакам:

- по условиям применения – на самозащитную (ПС) и газозащитную (ПГ);
- по пределу текучести – на типы, 34, 39, 44, 49, 54, 59, 64, 69, что соответствует значениям предела текучести наплавленного металла в кгс/мм² (см. таблицу1).

Таблица. 1–Типы проволоки в соответствии с величиной предела текучести металла шва

Условное обозначение проволоки	Типа	Предел текучести, МПа, не менее	Временное сопротивление разрыву, МПа	Относительное удлинение, %, не менее
Д		-	-	-
34		340	400 - 550	16
39		390	450 - 600	22
44		440	500 - 650	20
49		490	550 - 700	20
54		540	600 - 750	18
59		590	650 - 800	16
64		640	700 - 850	14
69		690	750 - 900	10

Примечание. Величины для типа Д указываются в нормативно-технической документации на конкретные марки проволоки.

На практике учитывают соответствие применяемой проволоки типам электродов, например, распространенные марки ПП-АНЗ, СП-З, ПП-АН8 и другие соответствуют типу Э50А, а марки ПП-АН53 – типу Э70 и т.д.;

• **по категориям** в зависимости от содержания в наплавленном металле углерода, серы и фосфора в %, не более

- для категории А: С – 0,15%, S и Р – 0,03% каждого;

- для категории В: С – 0,15%, S и Р – 0,04% каждого;

- для категории С: С – 0,25%, S и Р – 0,03% каждого;

• **по диаметру** – 08; 09; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0; 2,20; 2,40; 2,60; 2,80; 3,0; 3,20; 3,60; 4,0; 5,0; 6,0

• **по уровню ударной вязкости**, которая должна быть не менее 35 Дж/см² при температурах +20°С (К); 0°С (0); -10°С (1); -20°С (2); -30°С (3); -40°С (4); -50°С (5); -60°С (6);

В соответствии с температурой испытаний, при которой обеспечивается ударная вязкость металла шва не менее 35 Дж/см², порошковая проволока подразделяется на уровни, указанные в таблице 2.

Таблица 2– Ударная вязкость металла шва при разных температурах

Условное обозначение уровня проволоки	Температура испытаний, при которой ударная вязкость не менее 35 Дж/см ² , °С	Ударная вязкость при 20 °С, Дж/см ² , не менее
Р	-	-
К	20	35
0	0	50
1	-10	60
2	-20	80
3	-30	80
4	-40	100
5	-50	100
6	-60	120

Примечание. Величины для уровня Р указываются в нормативно-технической документации.

• **по положению сварки** – нижнему (Н); нижнему и горизонтальному (Г); вертикальному и горизонтальному (В); для всех положений (У), горизонтальному с принудительным формированием шва (ГП); то же – вертикальному (ВП); то же – во всех положениях (УП).

Условные обозначения порошковой проволоки проставляются **по схеме:**

Марка

Диаметр, мм

Условия применения (ПС, ПГ)

Тип (по пределу текучести)

Категория по химическому составу (в зависимости от содержания С, S, Р)

Уровень ударной вязкости

Допустимое положение сварки

Обозначение стандарта

Обозначение марки проволоки должно начинаться индексом «ИП» (проволока порошковая), после которого через дефис ставятся буквенные или цифровые обозначения, указывающие шифр регистрации сварочного материала, принятый в отрасли организации-разработчика.

Пример условного обозначения:

ПП-АНЗ 3,0 ПС 44 – А2Н ГОСТ 26271-84

Порошковая проволока марки ПП-АНЗ, диаметром 3,0 мм, самозащитная, по величине предела текучести металла шва типа 44, по химическому составу наплавленного металла категории А (С – 0,15%; S и Р – 0,03%), обеспечивающей ударную вязкость металла шва не ниже 35 Дж/см² при температуре минус 20°С (2), для сварки в нижнем положении.

ПП-СП-3 2,6 ПС44 – А2Н ГОСТ 26271-84

Порошковая проволока марки СП-3, диаметром 2,6 мм, самозащитная типа 44, категория А, уровня ударной вязкости 2, для нижнего положения.

УПАКОВКА, ХРАНЕНИЕ, подготовка к сварке

1. На каждый моток (катушку) порошковой проволоки, внешний вид которых представлен на рисунке 1, крепят ярлык, на котором указывают: условное

обозначение проволоки; номер партии; дату изготовления; штамп технического контроля.

2. Мотки (катушки) проволоки должны быть обернуты в водонепроницаемую упаковочную бумагу по ГОСТ 8828-75 или помещены в мешки из полиэтиленовой пленки по ГОСТ 10354-82. Допускается использовать другие виды упаковки, обеспечивающие сохранность проволоки.



Рисунок 1 – Внешний вид мотков и катушек порошковой проволоки

3. По согласованию изготовителя с потребителем допускается транспортировать мотки проволоки без упаковки в водонепроницаемую бумагу или полиэтиленовые мешки с обязательным разделением отдельных мотков круглой прокладкой диаметром, равным 0,8 диаметра барабана. Толщина и материал прокладки между мотками проволоки регламентируются нормативно-технической документацией на барабаны.

4. По требованию потребителя для предупреждения увлажнения проволоки в каждое упаковочное место помещают силикагель по ГОСТ 3956-76 в количестве 0,5 - 1,0 % от массы проволоки. Силикагель непосредственно перед укладкой должен быть просушен при температуре от 150 до 170 °С не менее 2 ч.

Особенности сварки порошковой проволокой:

- Самозащитной порошковой проволокой сварка осуществляется на прямой полярности. Сварку и наплавку проволоками большинства остальных марок выполняют с использованием тока обратной полярности.

- Прокалка порошковых проволок нужна только для проволок, изготовленных из чипсов. Из трубки – не нужна. Они потом протачиваются до нужного размера, например 1,2 мм.

Примеры промышленных марок порошковых проволок для сварки низкоуглеродистых и низколегированных сталей

Наиболее представительную группу этого класса сварочных порошковых проволок составляют проволоки общего назначения, сварка которыми возможна или без дополнительной защиты или дополнительной защитой углекислым газом.

Самозащитные порошковые проволоки общего назначения успешно используют в заводских и монтажных условиях. Основу сердечника этих проволок составляют газо- и шлакообразующие элементы. В качестве газообразующих материалов чаще всего применяют карбонаты или органику (соответственно карбонатно-флюоритный и рутил-органические виды сердечника). Для связывания азота – при недостаточной защите от воздуха – используют активные нитридообразователи: алюминий, титан, цирконий. Назначение, требования к сварочно-технологическим свойствам и эксплуатационным характеристикам сварного соединения определяют выбор конструкции проволоки и материалов, используемых в качестве компонентов сердечника. Общие технические характеристики некоторых марок сварочных самозащитных порошковых проволок общего назначения, а так же химический состав и показатели механических свойств наплавленного металла приведены соответственно в **таблицах 3,4,5**. У проволок марок ПП-АН3; ПП-АН11 обеспечивается в зоне сварки надежная защита расплавленного металла при максимальной скорости воздушного потока 8-10 м/с, а СП-3 – 4-5 м/с.

Газозащитные порошковые проволоки общего назначения, например, марок ПП-АН8, ПП-АН25 предусматривающие использование при сварке углекислого газа, позволяют достигать высоких качественных показателей сварных соединений. Поскольку основные функции по защите

расплавленного металла от воздуха в этом случае выполняет углекислый газ, то металлургическая роль сердечника проволоки сводится главным образом к раскислению, легированию и рафинированию наплавленного металла (металла шва). Характеристика некоторых марок газозащитных проволок представлена в **таблицах 6,7,8**. Максимальной скорости воздушного потока в зоне сварки, при которой обеспечивается надежная защита расплавленного металла газозащитными проволоками не превышает 2-3м/с.

Таблица 3 – Характеристика сварочных самозащитных проволок общего назначения

Марка проволоки	Группа индексов условного обозначения по ГОСТ 26271	Диаметр, мм	Положения сварки	Соответствие типу электрода	Тип сердечника, конструкция оболочки	Производительность наплавки, кг/ч	Коэффициент расхода
ПП-АНЗ	ПС44-А2Н	2,8; 3,0	Нижнее	Э50А	Карбонатно-флюоритный. Двухслойная	5–9	1,25– 1,3
СП-3	ПС44-А2Н	2,2; 2,6	Нижнее	Э50А	Карбонатно-флюоритный. Трубчатая	7–11	1,25
ПП-АН11	ПС39-А2В	2,0	Нижнее, горизонтальное, вертикальное	Э50А	Карбонатно-флюоритный. Двухслойная	3–7	1,25– 1,3
ПП11	ПС34-В1Н	2,2	Нижнее,	Э46	Рутил-органический. Однозагибочная	2–3,5	1,3

Примечание: Сварка выполняется постоянным током обратной полярности.

Сварку проволоки марки ПП-11 можно осуществлять также постоянным током прямой полярности и переменным током.

Таблица 4 – Химический состав металла, наплавленного сварочной самозащитной порошковой проволокой общего назначения, %

Марка проволоки	C	Mn	Si	S	P	Примечание
ПП-АНЗ	0,08–0,12	1,0–1,2	0,30–0,40	0,020–	0,020–	Типичный состав Требования ТУ
СП-3	≤0,12	≤1,1	≤0,30	0,025	0,025	
ПП-АН11	0,10–0,12	1,1–1,3	0,24–0,40	≤0,03	≤0,03	
ПП11	≤0,15	0,65–1,1	0,06–0,18	0,010– 0,015 ≤0,03	0,020– 0,025 ≤0,04	

Таблица 5 – Механические свойства металла, выплавленного сварочной самозащитной порошковой проволокой общего назначения

Марка проволоки	Временное сопротивление, МПа	Предел текучести, МПа	Относительное удлинение, %	Ударная вязкость на образцах типа VI По ГОСТ 6996, Дж/см ² при температуре		Примечание
				20°С	-40°С	
ПП-АНЗ	550–590	550–590	24–28	167–	98–	Типичные свойства
СП-3	500–650	≥440	≥22	169	137	
ПП-АН11	530–550	420–440	23–25	≥80	–	Требования ТУ
ПП11	≥450	≥340	≥18	176– 215 ≥60	108– 127 –	Типичные свойства Требования ТУ

Таблица 6 – Характеристика сварочных порошковых проволок общего назначения с дополнительной защитой углекислым газом

Марка проволоки	Группа индексов условного обозначения по ГОСТ 26271	Диаметр, мм	Положения сварки	Соответствие типу электрода	Тип сердечника, конструкция оболочки	Производительность наплавки	Коэффициент расхода
ПП-АН8	ПГ44-А0Н	2,5; 3,0	Нижнее	Э50А	Рутиловый. Трубочатая	5–9	1,25– 1,3
ПП-АН9	ПГ44-А4Н	2,2; 2,5	Нижнее	Э50А	Рутил-флюоритный. Трубочатая	7–11	1,25
ПП-АН25	ПГ44-А3В	1,8; 2,0	Нижнее, горизонтальное, вертикальное	Э50А	Рутиловый. Трубочатая	–	–
ПП-АН54	ПГ64-А4Г	2,2	Нижнее, горизонтальное	Э70	Рутил-флюоритный. Трубочатая	7–10	1,2

Примечание: Сварка выполняется постоянным током обратной полярности.

Таблица 7 –Химический состав металла, наплавленного сварочной порошковой проволокой общего назначения, с дополнительной защитой углекислым газом, %

Марка проволоки	С	Mn	Si	S	P
ПП-АН8	0,08–0,10	1,1–1,3	0,25–0,35	0,022–	0,024–
ПП-АН9	0,08–0,10	1,3–1,5	0,30–0,40	0,027	0,027
ПП-АН25	0,10	1,1	0,25	0,018–	0,018–
ПП-АН54	0,06–0,11	1,0–1,2	0,2–0,3*	0,026	0,027
				He более 0,03	He более 0,03
				0,018–	0,018–
				0,020	0,027

Примечание. В наплавленном металле также содержится 0,5–0,7%Cr, 1,3–1,6%Ni, 0,4–0,6%Mo

Таблица 8 – Механические свойства металла, выплавленного сварочной самозащитной порошковой проволокой общего назначения

Марка проволоки	Временное сопротивление, МПа	Предел текучести, МПа	Относительное удлинение, %	Ударная вязкость на образцах типа VI По ГОСТ 6996, Дж/см ₂ при температуре	
				20°С	-40°С
ПП-АН8	550–570	450–470	24–25	127–	78–98
ПП-АН9	510–540	450–470	22–25	147	124–
ПП-АН25	580	480	27	167–	147
ПП-АН54	770–800	650–660	15–16	186	—
				–	108–
				137–	117
				157	

Тема 6.3. Порошковые проволоки для сварки легированных и высоколегированных сталей, чугуна и специального назначения

В последнее время порошковые проволоки находят все большее применение для сварки легированных сталей, чугуна, цветных металлов и сплавов.

Сварку легированных сталей можно выполнять или самозащитными проволоками, или проволоками с дополнительной защитой углекислым газом. Самозащитные проволоки (ПП-АНВ1 – для сварки коррозионностойких сталей типа 18-8 сталь 04X18Н9) имеют сердечник карбонатно-флюоритного вида. Газозащитные порошковые проволоки (ПП-АН-А1 для сварки среднелегированных высокопрочных сталей) не содержат специальных газообразующих компонентов. Основными составляющими сердечника являются шлакообразующие материалы. Общие технические характеристики порошковых проволок некоторых марок для сварки легированных сталей сведены в таблицы 1,2,3.

При сварке чугуна для получения качественных сварных соединений без трещин и других дефектов необходимо обеспечить заданный состав металла шва (наплавленного металла) и требуемую скорость охлаждения после сварки. Сварку чугуна порошковой проволокой выполняют двумя способами: полугорячим и горячим. Полугорячую сварку осуществляют, например проволокой ПП-АНЧ2 при полном или местном подогреве свариваемых деталей до температуры 300-400°С; горячую – при полном нагреве до температуре 600-700°С проволокой ПП-АНЧ5. Сварку выполняют постоянным током обратной полярности. Технические характеристики некоторых марок самозащитных проволок для сварки чугуна показаны в таблицах 4, 5, 6.

Порошковые проволоки **специализированного назначения** обладают особыми свойствами, определяемыми условиями их применения и выполняемой технологией. Как правило, сварка такими проволоками

осуществляется с использованием специального оборудования. Вместе с тем в ряде случаев порошковые проволоки специализированного направления некоторых марок можно применять также и в качестве проволок общего назначения. Технические характеристики некоторых марок порошковых проволок специализированного назначения показаны в таблицах 7, 8, 9.

Таблица 1 – Характеристика порошковых проволок для механизированной сварки легированных сталей

Марка проволоки	Диаметр, мм	Условия применения	Основное назначение	Тип сердечника, конструкция оболочки	Производительность наплавки, кг/ч	Коэффициент расхода
ПП-АНВ1	2,6; 3,0	Без дополнительной защиты	Сварка коррозионно стойких сталей типа 18–8 (04X18H10, 12X18H10T и тд)	Карбонатно-флюоритный. Трубчатая с нахлестом	6–9	1,3
ПП-АН-А1	2,5	С дополнительной защитой углекислым газом	Сварка высокопрочных среднелегированных высокопрочных сталей	Карбонатно-флюоритный. Трубчатая	7–11	1,25

Примечание. Сварка выполняется постоянным током обратной полярности; положение сварки нижнее, горизонтальное

Таблица 2 – Типичный химический состав металла, полученного при механизированной сварке легированных сталей порошковой проволокой, %

Марка проволоки	C	Mn	Si	Cr	Ni	Nb	Ti	S	P
ПП-АНВ1	0,05–0,07	1,7–2,0	0,60–0,80	20,0–21,0	8,5–9,5	0,08–1,0	–	0,010–0,015	0,012–0,016
ПП-АН-А1	0,10–0,12	5–6	0,40–0,45	17,0–20,0	8,5–10,0	–	0,08–0,10	0,018–0,020	0,016–0,018

Таблица 3– Типичные механические свойства металла, полученного при механизированной сварке легированных сталей порошковой проволокой.

Марка проволоки	Временное сопротивление, МПа	Предел текучести, МПа	Относительное удлинение, %	Ударная вязкость на образцах типа VI По ГОСТ 6996, Дж/см ² при температуре	
				20°С	-40°С
ПП-АНВ1	610–630	440–460	41–42	88–107	78–98
ПП-АН-А1	590–600	300–320	48–52	166–176	117–127

Таблица 4– Характеристика самозащитных порошковых проволок для механизированной сварки чугуна

Марка проволоки	Основное назначение	Особенности технологии сварки	Производительность наплавки, кг/ч	Коэффициент расхода
ПП-АНЧ2	Исправление дефектов литья и ремонтная сварка чугуна с пластинчатым графитом	Предварительный подогрев отливок или деталей до температуры 300-350°С; охлаждение замедленное	3–12	1,20–1,30
ПП-АНЧ5	Исправление дефектов литья и ремонтная сварка высокопрочного чугуна с шаровидным графитом; сварка чугуна с пластинчатым графитом	Предварительный подогрев отливок или деталей до температуры 400-700°С; охлаждение замедленное (менее 100 °С)	4–9	1,20–1,25

Примечание. Сварка выполняется постоянным током прямой полярности; диаметр проволоки 3мм положение сварки нижнее, вид сердечника рутил-органический; конструкция оболочки трубчатая.

Таблица 5 – Типичный химический состав металла, полученного при механизированной сварке легированных сталей порошковой проволокой, %

Марка проволоки	C	Mn	Si	Al	Ti	Ca	Mg	Ce	S	P
ПП-АНЧ2	4,7–5,5	0,7–1,0	3,8–4,3	0,45–0,6	0,3–0,5	–	–	–	0,008–	0,03–0,04
ПП-АНЧ5	3,3–3,6	0,3–0,5	3,0–3,5	–	–	0,02–0,03	0,03–0,02	0,03–0,04	0,010 ≤0,010	0,03–0,04

Таблица 6 – Типичные механические свойства металла, полученного при сварке чугуна порошковой проволокой.

Марка проволоки	Временное сопротивление, МПа	Предел текучести, МПа	Относительное удлинение, %	Ударная вязкость на образцах типа VI По ГОСТ 6996, Дж/см ₂ при температуре 20 °С
ПП-АНЧ2	160–200	–	–	–
ПП-АНЧ5	430–510	320–420	4–9	59–108

Таблица 7 – Характеристика сварочных порошковых проволок специализированного назначения

Марка проволоки	Группа индексов условного обозначения по ГОСТ 26271	Диаметр, мм	Условия применения	Основное назначение	Соответствие типу электрода	Тип сердечника, конструкция оболочки	Производительность наплавки	Коэффициент расхода
ПП-АНЗС	ПС44-А2ГП	3,2; 3,6	С дополнительной защитой углекислым газом	Автоматизированная сварка горизонтальных швов с полупринудительным формированием	Э50А, Э55	Карбонатно-флюоритный. Двухслойная	8–11	1,25–1,3
ППС-АН1	ПСД-АРУ	1,6	Без дополнительной защиты	Подводная механизированная сварка конструкций на глубине до 100м во всех пространственных положениях шва	Э42	Рутиловый Трубчатая	2–3	1,4

Таблица 8– Химический состав металла, наплавленного сварочной порошковой проволокой специализированного назначения, %

Марка проволоки	С	Mn	Si	S	P
ПП-АНЗС	0,10–0,12	1,2–1,4	0,30–0,50	0,010–0,020	0,020–0,025
ППС-АН1	0,065	0,20	Следы	0,014	0,016

Таблица 9 – Механические свойства металла, выплавленного сварочной порошковой проволокой специализированного назначения

Марка проволоки	Временное сопротивление, МПа	Предел текучести, МПа	Относительное удлинение, %	Ударная вязкость на образцах типа VI По ГОСТ 6996, Дж/см ² при температуре	
				20°С	-40°С
ПП-АНЗС	570–610	440–460	23–28	147–176	88–118
ППС-АН1	430	310	18	79	39

Тема 6.4. Порошковые проволоки и ленты для наплавки

Для наплавки поверхностных слоев выпускается порошковая проволока и порошковая лента. Порошковая лента используется для автоматической наплавки больших поверхностей, при этом достигается небольшое проплавление основного металла и высокое легирование наплавленного для обеспечения требуемых свойств поверхности.

Классификация, сортамент и технические требования на порошковую проволоку для дуговой механизированной наплавки поверхностных слоёв с особыми свойствами регламентированы ГОСТ 26101-84 «Проволока порошковая наплавочная. Технические условия».

По способам наплавки порошковая проволока может быть классифицирована на проволоку, предназначенную для наплавки под флюсом (Ф); наплавки в защитном газе (Г); наплавки без дополнительной защиты—самозащитную (С); наплавки под флюсом, в защитном газе и без дополнительной защиты—универсальную (У).

В соответствии с химическим составом наплавленного металла (второй и последующие слои) ГОСТ-ом предусмотрено изготовление наплавочных порошковых проволок 23 марок, например ПП-Нп-200Х12М; ПП-Нп-90Г13Н4; ПП-Нп-30Х4В2М2ФС; ПП-Нп-10Х17Н9С5ГТ и т.д.

Стандарт устанавливает изготовление проволок 11 диаметров: 2,0; 2,2; 2,6; 2,8; 3,0; 3,2; 3,6; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0. При этом конструкции наплавочных проволок могут быть трёх видов: трубчатая стыковая (Т); трубчатая с нахлестом кромки (Н); двухслойная (Д).

Буквенно-цифровая структура условного обозначения наплавочных порошковых проволок включает: марку, вид конструкции проволоки, способ наплавки, диаметр в мм, стандарт.

Пример условного обозначения наплавочной порошковой проволоки марки ПП-Нп-30Х5Г2СМ, трубчатой стыковой конструкции(Т), самозащитной (С), диаметром 2,6 мм:

ПП-Нп-30Х5Г2СМ-Т-С-2,6 ГОСТ 26101–84.

Химический состав оболочки и порошка наполнителя определяется нормативно-технической документацией. Порошок-наполнитель должен заполнять проволоку без пропусков и неплотностей. Разность наибольшего и наименьшего значений коэффициента заполнения проволоки должна быть не более 4%—для проволоки 1-й категории качества и 3,5% для проволоки высшей категории качества.

Химический состав наплавленного металла (второй и последующие слои) должен соответствовать требованиям ГОСТ.

В наплавленном металле при наплавке проволоками типа Г, С, У не должно быть шлаковых включений и пор размером более 1,5 мм. При наплавке проволокой типа Ф поры и шлаковые включения не допускаются.

Проволоку изготавливают в мотках, допускается наматывать проволоку на катушку.

Гарантийный срок хранения наплавочной порошковой проволоки—12 месяцев со дня ее изготовления.

Характеристика промышленных марок порошковых проволок для наплавки

Способ наплавки и соответствующую ему марку проволоки выбирают исходя главным образом из требований технологического процесса и условий эксплуатации рабочих поверхностей наплавленных деталей.

В таблице 1 приведены общие технические характеристики на некоторые стандартные марки порошковых наплавочных проволок с указанием примерных объектов наплавки.

Непосредственно перед началом наплавочных работ (согласно ГОСТ) необходимо прокалить на следующем режиме: нагрев до температуры 250–280 °С со скоростью 50–100 °С/ч, выдержка при указанной температуре в течении 2 ч, охлаждение на воздухе. При соблюдении режима термообработки проволока приобретает «соломенный» цвет.

Таблица 1 – Характеристика порошковых проволок для механизированной наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами

Марка проволоки по ГОСТ (Старое обозначение)	Диаметр, мм	Способ наплавки/ Конструкция оболочки	Твердость наплавленного металла (второй и последующие слои) HRC	Применение (Типичные объекты наплавки)	Показатели наплавки	
					Коэффициент наплавки, г/(А·ч)	Коэффициент расхода
ПП-Нп-200Х12М (ПП-АН103)	3,6	Ф/Т	40–44	Детали, работающие в условиях трения металла о металл и абразивного изнашивания (ролики рольгангов, ножи, холодной резки металла, рабочие элементы смесителей, тормозные шкивы)	12	1,15
ПП-Нп-90Г13Н4 (ПП-АН105)	2,8	С/Н	НВ 160-240	Детали, испытывающие силовые удары(крестовины стрелочных переводов, детали дробильного оборудования) восстановление размеров и исправление пороков литья деталей из марганцовистой стали	11	1,25
ПП-Нп-30Х4В2М2ФС (ПП-АН132)	3,6; 4,0; 5,0	Ф/Н	47–51	Детали, работающие циклической термической нагрузки и интенсивного изнашивания (валки горячей прокатки, штампы, прессовый инструмент)	16-25	1,05
ПП-Нп-10Х17Н9С5ГТ (ПП-АН133)	2,8 3,6	Ф/Т(Н)	27–34	Детали, работающие в условиях трения металла о металл коррозии и эрозионного изнашивания при повышенных температурах (уплотнительные поверхности энергетической арматуры–тарелки, седла, клинья и пр.)	13-16	1,05

Порошковая лента в основном предназначена для дуговой механизированной наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами. Она состоит из металлической оболочки и порошка наполнителя (шихты).

В большинстве случаев оболочка состоит из одной или двух тонких (0,3–0,5мм) лент из низкоуглеродистой стали. Шихту для порошковой ленты, состоящую, как правило, из газообразующих, шлакообразующих, стабилизирующих и легирующих компонентов, получают так же, как и для порошковой проволоки.

Основные параметры и размеры, а также технические требования на порошковую ленту для наплавки регламентированы ГОСТ 26467–85 «Лента порошковая наплавочная Общие технические условия».

По способам наплавки ленту подразделяют для наплавки: под флюсом (Ф), наплавки без дополнительной защиты–самозащитную (С); наплавки под флюсом и без дополнительной защиты–универсальную (У).

По конструкции порошковую ленту подразделяют на двухзамковую–тип А и однозамковую–тип Б. Конструкция порошковых наплавочных лент представлена на рисунке 1.

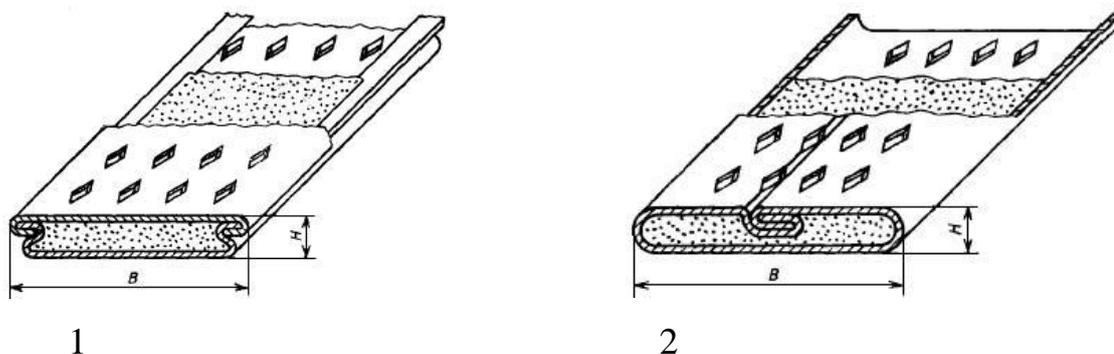


Рисунок 1 Конструкции порошковых наплавочных лент:

1-двухзамковая (тип А); однозамковая (тип Б); В- ширина ленты; Н- толщина ленты

Размеры стандартной порошковой ленты приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Типоразмеры порошковой наплавочной ленты

Условное обозначение типа порошковой ленты	Ширина, мм	Толщина, мм
А	18	3,8
Б	10	3,0
	12,0	3,8
	16,0	3,8

Буквенно-цифровая структура условного обозначения порошковой ленты включает: марку, вид конструкции ленты, способ наплавки, стандарт.

Пример условного обозначения порошковой наплавочной ленты марки ПЛ-Нп-350Х25НЗСЗ, двухзамковой конструкции (А), универсальной (У)

ПЛ-Нп-350Х25НЗСЗ-А-У ГОСТ 26467–85

Условное обозначение марки порошковой ленты состоит из индексов ПЛ (порошковая лента) и Нп (наплавочная), разделенные дефисом. После указанных индексов ставят цифры, указывающих среднюю массовую долю углерода в наплавленном металле в сотых долях процента. Цифры, следующие за буквенными обозначениями химических элементов, указывают среднюю массовую долю элемента в процентах. Отсутствие цифры означает, что средняя массовая доля элемента не более 1,5%.

Порошковая лента должна быть изготовлена в соответствии с требованиями ГОСТ 26467 и удовлетворять следующим условиям: стабильное горение дуги при использовании рода тока и режимов, рекомендованных в нормативно-технической документации на проволоку конкретной марки; иметь плавное очертание, если по нормативно-технической документации в порошок-наполнитель ленты введены минеральные компоненты, то обеспечивается равномерное покрытие валика шлаковой коркой, легко отделяющейся после остывания.

Порошковую ленту типа А изготавливают в рулонах. Рулоны порошковой ленты должны быть плотно перевязаны в радиальном направлении не менее чем в четырех местах отожженной проволокой.

Порошковую ленту типа Б изготавливают намотанной на кассеты.

Рулоны и кассеты порошковой ленты упаковывают в металлические барабаны.

Гарантийный срок хранения наплавочной порошковой проволоки—12 месяцев со дня ее изготовления.

Наибольший практический интерес представляют порошковые ленты, пригодные для наплавки открытой дугой, а также под флюсом. Общие характеристики некоторых лент, изготавливаемых промышленностью, приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Характеристика универсальных порошковых лент для механизированной наплавки

Марка ленты по ГОСТ 26467 (Старое обозначение)	Виды	Применение (Типичные объекты наплавки)	Показатели наплавки		Твердость наплавленного металла HRC
			Коэффициент наплавки, г/(А·Ч)	Коэффициент расхода	
ПЛ-Нп-300Х25С3Н2 Г2 (ПЛ-АН101)	А.	Наплавка слоя высокохромистого износостойкого сплава типа сормайт-1 на детали, работающие в условиях интенсивного абразивного изнашивания при нормальных и высоких температурах (детали засыпных аппаратов доменных печей, валки коксовых дробилок, била и т.д)	18-	1,05-	50-56
	Б		22	1,15	
ПЛ-Нп-500Х40С2РЦ (ПЛ-АН111)	Б	Детали, работающие в условиях абразивного изнашивания с умеренными ударами при повышенных температурах (контактные поверхности конусов и чаш доменных печей, колосники и т.д.)	18- 22	1,05- 1,2	54-62
ПЛ-Нп-120Х22Р3Г2 С (ПЛ-АН171)	А	Детали, работающие в условиях интенсивного газо-и гидроабразивного изнашивания (корпуса и рабочие колеса землесосов, детали смесителей, шнеки, гильзы шнековых насосов, рабочие органы машин для переработки грунта)	18- 22	1,05- 1,2	65-68

Раздел 7. Неплавящиеся электроды

Тема 7.1. Общие сведения о дуговой сварке и резке с использованием неплавящихся электродов. Электроды из углеродистых веществ

В 1881 г. Н.Н. Бенардос применил дугу для сварки металлов неплавящимся электродом. В сварочном производстве **неплавящиеся электроды (НЭ)** используются для следующих способов сварки и резки:

1. Сварка на воздухе без защиты сварочной дуги (графитовым и угольным электродом).
2. Сварка в защитном газе (аргоно-дуговая сварка, атомно-водородная сварка).
3. Сварка с применением флюса.
4. Плазменная сварка.
5. Плазменная резка.
6. Воздушно-дуговая резка.

Материал неплавящегося электрода не должен участвовать в формировании состава наплавленного металла или металла шва. Однако в ряде случаев такое влияние, обычно ухудшающее свойства шва, имеется и поэтому надо его максимально ограничивать.

Основной задачей неплавящихся электродов является обеспечение **устойчивого горения дуги при минимальном их расходе**.

В сварочной технике они обычно используются при процессах с зависимой дугой (второй электрод – обрабатываемое изделие), хотя имеет место их использование и в процессах с независимой дугой, когда оба электрода, между которыми горит дуга, неплавящиеся.

Естественно, что требованию малого расхода электрода будут отвечать материалы с высокой температурой плавления и кипения, большим теплосодержанием при температуре кипения и значительной скрытой теплотой испарения, а также материалы, характеризующиеся одновременно относительно малыми потерями в результате химических реакций с окружающей средой. Необходимость получения достаточно мощных сварочных дуг при удобном для

манипулирования при сварке сечении электродов выдвигает требование достаточно высокой электропроводности материала такого электрода. Определенную роль в эффективности применения неплавящихся электродов играет и распределение падения напряжения в дуге при сварке различных металлов и сплавов. При этом уменьшение при электродного падения напряжения, зависящее от пары катод-анод, у неплавящегося электрода желательно для уменьшения тепловложения в электрод, его нагрева и расходования. Так в случае использования такого электрода в качестве катода полезно в его составе иметь составляющие, обеспечивающие уменьшение работы выхода электрода, а следовательно, и меньшее значение прикатодного падения напряжения.

Наибольшее распространение в качестве неплавящихся электродов в сварочной технике имеют электроды из углеродистых веществ и вольфрамовые.

Электроды из углеродистых веществ. Это угольные и графитовые электроды. \varnothing 5 мм до 15 мм и длиной от 200 до 300 мм. Температура плавления и кипения электродов составляет соответственно 3800°C и 4200-4500°C. Сварку и резку угольными и графитовыми электродами можно вести только постоянным током прямой полярности. (После резки угольными электродами необходима зачистка кромок, т.к. они насыщаются углеродом).

Угольные электроды изготавливают из аморфного электротехнического углерода, имеют большее удельное электрическое сопротивление, чем изготовленные из кристаллического углерода-графита. Угольные электроды изготавливают из кокса. Хорошо изготовленный и обожженный угольный электрод имеет правильную цилиндрическую форму, прямолинейную ось, гладкую поверхность матово-черного цвета без трещин и обладает значительной твердостью. На бумаге он не должен оставлять следа, а при легких ударах должен издавать чистый звук, близкий к металлическому. Угольный электрод не должен растрескиваться при нагревании до высокой температуры. Полезным является поверхностное меднение электродов, улучшающее их стойкость при повышенных

плотностях тока. Угольные электроды с одного конца (рабочего, дугового) обтачивают на конус под углом 60-70°.

Графитовые электроды изготавливаются из угольных посредством дополнительной высокотемпературной обработки – графитизации. Задача такой обработки сводится к перестройке относительно хаотичного расположения атомов в аморфном углероде в строгую кристаллическую решетку графита с атомным строением в виде правильных шестиугольников, с постоянными параметрами решетки. Графитизация осуществляется длительной выдержкой угольных стержней при 2500-2600°C. Нагрев обеспечивается пропусканием по стержням тока достаточно большой силы. Эта операция является весьма энергоемкой, и стоимость графитовых электродов в связи с этим значительно выше угольных. Графитовые электроды по химическому составу представляют собой почти чистый углерод. Они имеют серовато - черный цвет с металлическим отблеском, слегка пачкают бумагу, руки, значительно более мягкие, чем угольные. Графитовые электроды имеют более высокую электропроводность, повышенную стойкость против окисления на воздухе при высоких температурах, они позволяют повышать плотность тока в 2-3 раза по сравнению с угольными. Концы таких стержней также затачивают под конус.

Тема 7.2. Вольфрамовые электроды

Вольфрамовые электроды – эти электроды значительно более удобные для большинства сварочных целей. Они могут использоваться при меньших диаметрах от \varnothing 0,5 мм до 10 мм, обеспечивая необходимую электропроводность и значительно большую механическую прочность. Температура плавления – 3395°C, температура кипения – 5900°C. Вольфрамовые электроды получают из порошкового вольфрама посредством его прессования, спекания и проковки и последующего волочения до нужного диаметра.

Сварку с использованием W-электродов ведут постоянным током прямой полярности (сварка стали (нерж.), титана) или переменным током (сварка алюминия и его сплавов). При сварке на обратной полярности имеет место низкая стойкость и повышенный расход. Так, например, допустимые значения $I_{св}$ для электродов \varnothing 3 мм: на постоянном токе прямой полярности – 200-300А; на постоянном токе обратной полярности – 20-40А; на переменном токе обратной полярности – 90-150А.

С целью облегчения процесса зажигания дуги и повышения стабильности ее горения, а также для повышения его стойкости против оплавления торца и снижения расхода W-электродов вводят составляющие с малой работой выхода ($\phi, \text{эВ}$) электронов (оксид тория ThO_2 – ϕ - 1,2; оксид лантана LaO – ϕ - 5,3; иттрия Y_2O_3 – 2,22).

Допустимые значения плотности тока А/мм^2 :

чистый W (ЭВЧ) – 26 А/мм^2

лантанированный (ЭВЛ) – 36 А/мм^2

торрированный (ЭВТ-15) – 46 А/мм^2

иттрированный (ЭВИ) – 50 А/мм^2

На электроды есть стандарт 23949-80 «Электроды вольфрамовые сварочные, неплавящиеся. Технические условия». В зависимости от химического состава электроды изготавливают из вольфрама следующих марок (в скобках указана цветная маркировка марок на торце электродов):

ЭВЧ – (не маркируется) электроды из чистого вольфрама.

ЭВЛ (черный) – с присадкой оксида лантана – 1,1-1,4%.

ЭВИ-1 (синий), **ЭВИ-2** (фиолетовый), **ЭВИ-3** (зеленый) – с присадкой оксида иттрия от 1,5 до 3,5%. **ЭВТ-15** (красный) – с присадкой оксида торрия 1,5-2% (торрий обладает повышенной радиоактивностью).

Номинальная длина прутков 75мм, 150 мм, 200 мм, 300 мм. Проволока диаметром 0,5мм выпускается в мотках.

Пример условного обозначения электрода марки ЭВЛ, диаметром 2,0 мм, длиной 150 мм:

Электрод вольфрамовый ЭВЛ – Ø2 – 150-ГОСТ 23949 – 80

W-электроды чувствительны к окислению; даже при наличии небольшого количества O_2 в зоне дуги образуются капли жидкого расплава (из-за появления легкоплавких оксидов) и блуждание дуги на капле.

Смесь $Ag+H_2$ – для сварки неплавящимся электродом, т.к. если плавящимся, то водород будет растворяться в каплях и переноситься в ванну.

Смесь $Ag+O_2$ – для сварки плавящимся электродом.

Большое значение для качественной сварки имеет форма и состояние поверхности W-электрода: конец электрода должен быть в виде конуса с определенным углом и иметь притупление. В любом случае для любых диаметров должен быть конус.

Точить конец электрода из вольфрама рекомендуется в зависимости от сварочного тока. Для работы с постоянным током, оптимальным вариантом будет заточка в виде конуса, а для переменного тока – сферическая. Длина конической заточенной части должна лежать в пределах 2-х диаметров электрода. Для повышения устойчивости сварочной дуги после заточки конус следует притупить диаметром 0,2-0,5мм. Что касается углов, то для правильной заточки вольфрамовых электродов необходимо знать несколько правил:

- при сварке, выполняемой на небольшом токе значение угла заточки должно лежать в диапазоне 10-20°;
- током средней величины-20–30°;

- на большем токе-60–120°.

На рисунке 1 представлены схемы заточки вольфрамовых электродов



Рисунок 1 – Заточка вольфрамовых электродов

При малых углах заточки электрода ($\leq 20^\circ$) уменьшается ресурс работы электрода, при углах заточки $\geq 90^\circ$ дуга будет бегать по торцевой поверхности электрода. На устойчивость дуги дополнительно оказывают влияние риски, образующиеся в процессе заточки. Для получения стабильности горения дуги риски желательно минимизировать по величине. Располагаться они должны вдоль оси электрода.

Например, для электрода $\varnothing 1$ мм, угол заточки – 10° , а притупление 0,5 мм, если притупление больше **будет бегать дуга**. Заточку производят мелкозернистым инструментом, лучше специальной машинкой с алмазным режущим инструментом.

Раздел 8. Горючие газы

Тема 8.1. Общие сведения о процессах газопламенной обработки металлов

Газопламенной сваркой металлов называют процесс, при котором плавление основного и присадочного материалов происходит в пламени открытой горелки. Поддержание пламени горелки осуществляют подачей одного или нескольких горючих газов или жидкостей в смеси с кислородом. И хотя газопламенная сварка не позволяет достичь той же скорости и простоты, как дуговая сварка, многие отдают ей предпочтение из-за больше мобильности и универсальности. При газовой сварке происходит сплавление двух заготовок с образованием сварного шва, который после остывания имеет такую же прочность, как исходный металл. Металл, соприкасаясь с пламенем и окружающими воздухом, подвергается структурным изменениям, характер которых зависит от свойств самого металла и режимов газопламенной обработки. При газопламенной обработке происходит изменение структуры металла, содержания в нем примесей и легирующих добавок, обогащение кислородом и другими газами, что, в свою очередь, может вызывать окислительные процессы.

В результате плавления металла под воздействием пламени образуется жидкая сварочная ванна, внутри которой происходят сложные физические и химические процессы. Одним из таких процессов является образование оксида железа (FeO), который реагирует с примесями, содержащимися в металле и в первую очередь с кремнием и марганцем. При этом вредные примеси, содержащиеся в сварочной ванне, частично выводятся в сварочный шлак, а частично испаряются в атмосферу в виде газов. Для защиты сварочной ванны от атмосферного воздействия применяют те же методы, что и при дуговой сварке в первую очередь флюсы. Расплавленные флюсы вместе с вредными примесями образуют на поверхности сварочной ванны пленку, которая предохраняет жидкий металл от контакта с атмосферным воздухом и газами, содержащимися в пламени горелки, а остывая, превращается в корку шлака.

Газопламенная обработка металла, выполняемая при газовой сварке, способствует повышению температуры основного и присадочного материалов, достаточной для плавления металлов в пределах границ раздела со сварочной ванной. В результате этого в сварочной ванне присутствуют два вида металлов (основной и присадочный), которые перемешиваются между собой, а под действием флюсов и газов, содержащихся в пламени и атмосферном воздухе, взаимодействуют с ними, изменяя свои свойства и состав. По мере удаления от эпицентра пламени температура металла снижается и возникают процессы кристаллизации, образуя сварочный шов. При этом структура металла шва имеет вытянутые укрупненные и направленные к центру кристаллы.

Газовое пламя образуется при сгорании горючих газов в струе кислорода. В зависимости от состава сжигаемых газов температура газового пламени достигает 2100–3100°С. Используемое при сварке газовое пламя (его называют также сварочное пламя) образует вокруг сварочной ванны газовую зону, защищающую жидкий металл ванны от вредного воздействия воздуха.

Процесс горения горючего газа начинается с воспламенения газа при определенной температуре, зависящей от условий, в которых протекает процесс горения. После начала горения дальнейший нагрев газа от внешнего источника не требуется, если выделяемой при горении теплоты достаточно для поддержания горения новых порций горючей смеси и компенсации потерь теплоты в окружающую среду.

Пламя имеет сложную структуру и строение. Качество газовой сварки во многом зависит от правильности регулировки пламени. В качестве примера рассмотрим ацетилено-кислородное пламя. Форму, цвет и структуру пламени горелки меняют соотношением ацетилена и кислорода, подаваемых в зону горения. Газовое сварочное ацетиленокислородное «нормальное» пламя имеет форму схематически показанную на рисунке 1.

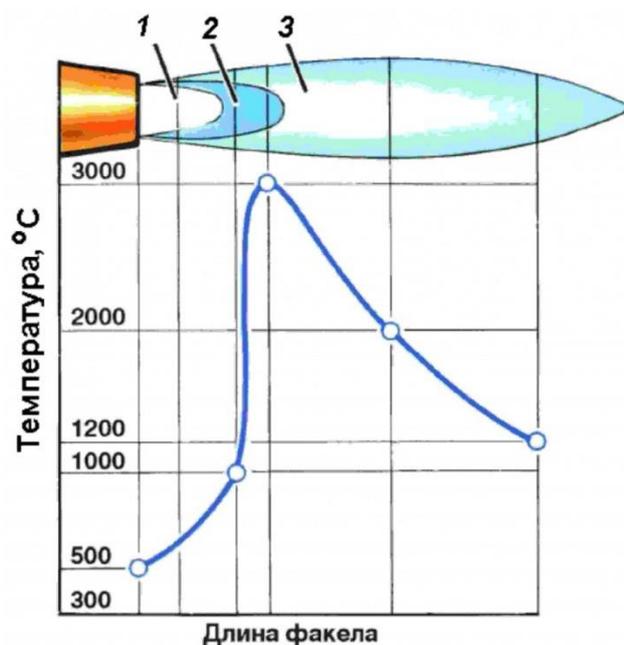
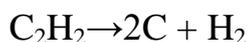


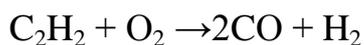
Рисунок 1– Распределение температуры по оси нормального газового пламени: 1 - ядро; 2 - восстановительная зона; 3 – факел

Во внутренней части ядра пламени 1 происходит подогрев газовой смеси, поступающей из сопла, до температуры воспламенения. В наружной оболочке ядра происходит частичный распад ацетилена:

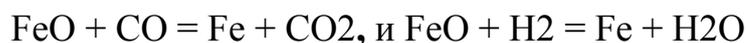


Выделяющиеся частицы углерода раскалены, ярко светятся, четко выделяя очертания оболочки ядра (температура газов в ядре невелика и не превышает 1500°C).

Зона 2 является наиболее важной частью сварочного пламени (сварочной зоной). В ней происходит первая стадия сгорания ацетилена за счет кислорода, поступающего в сопло из баллона, в результате чего здесь развивается максимальная температура. В этой зоне происходит реакция



Содержащиеся в сварочной зоне газы обладают восстановительными свойствами по отношению к оксидам многих металлов, в том числе к оксиду железа по реакциям:



Кроме восстановительных реакций оксидов железа аналогичные процессы происходят и с другими оксидами, находящимися в сварочной ванне. Поэтому её можно назвать восстановительной. Содержание углерода в металле шва изменяется незначительно.

В зоне 3 или факеле пламени протекает догорание газов за счет кислорода воздуха:



Воздух содержит азот и эта реакция точнее выглядит так:



Что отражает состав газов в факеле. Содержащиеся в факеле газы и продукты их диссоциации окисляют металлы, т.е. эта зона является окислительной.

Вид ацетиленокислородного пламени, строение которого представлено на рисунке 2, зависит от соотношения в газовой смеси подаваемой в горелку кислорода и ацетилена ($\beta = \frac{\text{O}_2}{\text{C}_2\text{H}_2}$). При $\beta = 1,1-1,2$ пламя нормальное (См. рис 2,а).

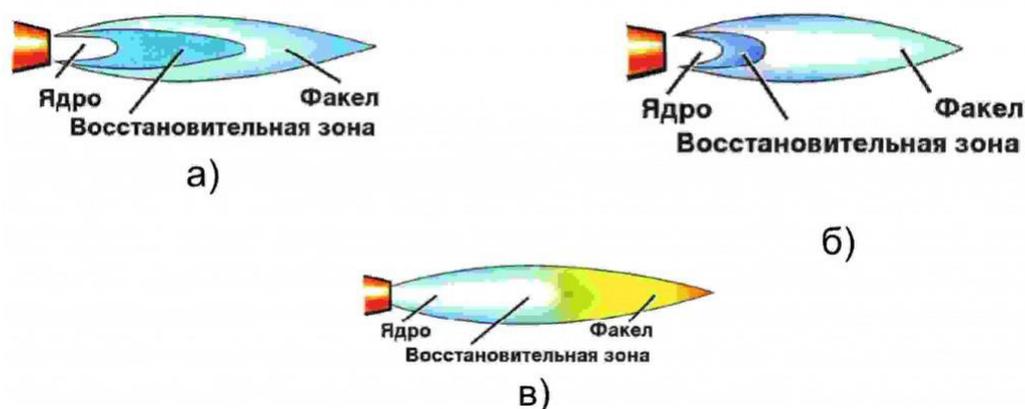


Рисунок 2 – Строение ацетиленокислородного пламени: а - нормальное; б - окислительное; в – науглероживающее

При увеличении этого соотношения (например, $\beta = 1,5$) т.е. относительном увеличении содержания кислорода (окислительное пламя), форма и строение

пламени изменяются (См. рис 2,б). При этом реакции окисления ускоряются, а ядро пламени бледнеет, укорачивается и приобретает коническую заостренную форму. В этом случае сварочная зона утрачивает восстановительные свойства и приобретает окислительный характер (содержание углерода в металле шва уменьшается, выжигается). С уменьшением β (например, $\beta = 0,5$), т.е. при увеличении содержания ацетилена в газовой смеси реакции окисления замедляются. Ядро удлиняется и его очертания становятся размытыми (См. рис 2,в). Количество свободного углерода увеличивается, частицы его появляются в сварочной зоне. При большом избытке ацетилена частицы углерода появляются в факеле пламени. В этом случае сварочная зона становится науглероживающей, т.е. содержание углерода в металле шва повышается.

Одним из важнейших параметров, определяющих **тепловые**, а значит и **технологические свойства пламени**, является его температура. Она различна в различных его участках, как по длине вдоль его оси (См. рис 1), так и в поперечном сечении. Она зависит от состава газовой смеси и степени чистоты применяемых газов. Наивысшая температура наблюдается по оси пламени, достигая максимума в сварочной зоне на расстоянии 2–3 мм от конца ядра. Эта сварочная зона является основной для расплавления металла. С увеличением β максимальная температура возрастает и смещается к мундштуку горелки. Это объясняется увеличением скорости горения смеси при избытке кислорода. При избытке ацетилена (β менее 1), наоборот, максимум температуры удаляется от мундштука и уменьшается по величине.

Пламя заменителей ацетилена принципиально подобно ацетиленокислородному и имеет три зоны. В отличие от углеводородных газов водородно-кислородно пламя светящегося ядра не имеет (нет светящихся частиц углерода).

Горючие газы-заменители ацетилена дешевле и недефицитны. Однако их теплопроводная способность ниже, чем у ацетилена. Максимальная температуры пламени также значительно ниже. Поэтому их используют в ограниченных объемах в технологических процессах, не требующих высокотемпературного

пламени (сварка алюминия, магния и их сплавов, свинца, пайка, сварка тонколистовой стали, газовая резка и т.д.). Например, при использовании пропана и пропанобутановых смесей максимальная температура в пламени 2400–2500°C. Их используют при сварке стали, толщиной до 6 мм, сварке чугуна, некоторых цветных металлов и сплавов, наплавке и газовой резки т.д.

Довольно широко, например, в строительстве применяют способ термической резки, основанной на использовании в качестве источника нагрева газового пламени (кислородная резка). Кислородная (газовая) резка основана на свойстве некоторых металлов в нагретом состоянии сгорать в струе кислорода. При этом нагрев металла до температуры его воспламенения, т.е. начала активного сгорания обеспечивается газокислородным пламенем. В качестве горючих газов могут применяться – как и при газовой сварке – ацетилен, пропан, бутан, пропан-бутановые смеси, природный газ, а также пары жидких горючих веществ – керосина и бензина (максимальная температура пламени паров керосина в смеси с кислородом 2400-2450°C, тоже для бензина 2500-2600°C).

Тема 8.2. Ацетилен и заменители ацетилена

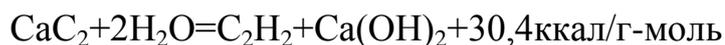
При газовой сварке и резке нагрев металла осуществляется высокотемпературным газовым пламенем, получаемым при сжигании горючего газа или паров жидкости в технически чистом кислороде.

Основным способом промышленного получения ацетилена C_2H_2 для нужд газовой сварки и резки является образование его из карбида кальция при разложении последнего водой. Карбид кальция CaC_2 - химическое соединение кальция с углеродом. По внешнему виду он представляет собой твердое тело, в изломе темно-серого или коричневого цвета. Реакция образования карбида кальция из кокса (углерода) и оксида кальция эндотермическая и протекает по уравнению



Поэтому получение карбида кальция осуществляют в печах. В промышленности применяется технический карбид кальция с содержанием 65-80% CaC_2 ; 25-10% CaO , прочих примесей - до 6%.

Карбид кальция чрезвычайно активно вступает в химическое соединение с водой, образуя при этом ацетилен и гашеную известь.



Для разложения 1 кг химически чистого CaC_2 необходимо затратить 0,562 кг воды. При этом получается 0,4 кг ацетилена C_2H_2 и 1,15 кг гашеной извести $Ca(OH)_2$. Ацетилен - газ, имеющий при нормальной температуре и давлении плотность $\gamma=1,09\text{кг/м}^3$. Поэтому выход ацетилена из CaC_2 составляет 372,5 л/кг, а с учетом паров воды, насыщающих ацетилен 380,9 л/кг.

При хранении карбида кальция CaC_2 в открытом виде на воздухе он разлагается атмосферной влагой. При этом гашеная известь покрывает куски карбида, он нагревается, что может привести к изотермическому распаду ацетилена и даже взрыву ацетилено-воздушной смеси. Поэтому хранение карбида кальция должно осуществляться в герметически закрытых металлических

барабанах. Ацетилен является основным горючим газом для газовой сварки, а также широко применяется для кислородной резки.

Существуют две схемы снабжения постов для газовой сварки ацетиленом: от баллонов с ацетиленом и от ацетиленового генератора.

Баллоны с ацетиленом окрашиваются в белый цвет. При работе с баллонами следует строго придерживаться правил техники безопасности, т.к. при взрыве 1кг ацетилена выделяется тепла примерно в 2 раза больше, чем при взрыве тротила.

Пропан-бутановые смеси широко распространены в качестве горючего газа при кислородной резке. Могут использоваться также в качестве заменителей ацетилена при газовой сварке.

Эффективная тепловая мощность пламени при сгорании пропан-бутановых смесей в кислороде даже выше, чем для ацетилена. Однако скорость распространения пламени для этих смесей значительно ниже, поэтому длина конуса пламени резко увеличена и концентрация тепла ниже. Ниже и температура, развиваемая пламенем пропан-бутановых смесей по сравнению с ацетиленом.

Пропан C_3H_8 и бутан C_4H_{10} – углеводы при нормальной температуре и давлении находятся в газообразном виде. При понижении температуры и повышении давления переходят в жидкое состояние. Пропан-бутановые смеси получают в качестве попутных при добыче природного газа, а также при переработке нефти и нефтепродуктов. При испарении 1кг жидкого пропана получается $0,53m^3$ газа, при испарении того же количества бутана – $0,46m^3$ газа.

На посты для сварки и резки пропан-бутановые смеси транспортируются в баллонах. В отличие от других газов баллоны сварные, окрашены в красный цвет. Наполняемость баллона $\sim 430-440kg/m^3$. Давление газа в баллоне – до 1,6МПа. Смесь в баллоне находится в жидком виде. Баллоны оснащаются пропановыми редукторами.

Сниженный газ **метилацетилен-алленовая фракция (МАФ)** представляет собой смесь метил-ацетилена и аллена, стабилизированную с целью безопасности изобутаном, изобутиленом, пропаном, пропиленом или другими углеводородами

в различных сочетаниях. По токсичности газ относится к четвертой группе (малотоксичен).

Сравнительные свойства газов МАФ, ацетилен и пропана приведены в таблице 1. МАФ имеет температуру эффективной зоны пламени близкой к температуре пламени ацетилен (2927⁰С против 3087⁰С) и сохраняет передачу большого количества теплоты на нагреваемый металл даже на расстоянии 12мм от самой горячей точки пламени.

В качестве заменителя ацетилен МАФ можно применять при газовой сварке, кислородной резке, металлизации и других процессах газопламенной обработки. МАФ поставляется в пропановых баллонах, оснащенных пропановым редуктором. Горелки и резаки применяются ацетиленовые, с небольшой модернизацией. Выходное отверстие мундштука рассверливается сверлом диаметром 3мм на глубину 3,5мм. Этим достигается увеличение тепловой мощности пламени и обеспечивается более устойчивый режим работы горелки без отрыва пламени.

Таблица 1– Сравнительные свойства газов МАФ, ацетилен и пропана

Наименование показателя	МАФ	Ацетилен	Пропан
Безопасность, чувствительность к удару.	Стабилен	Нестабилен	Стабилен
Предел взрываемости в кислороде, %	2,5-60	2,3-93	2,4-57
Предел взрываемости в воздухе, %	3,4-10,8	2,2-81	2,0-9,5
Скорость сгорания в кислороде, мм/сек	4697	6097	3718
Склонность к обратному удару	Незначит.	Значит.	Незначит.
Токсичность	Незначит.	Незначит.	Незначит.
Реакции с обычными металлами	Избегать спл.сод.больше 67% меди	Избегать спл.сод.больше 70% меди	Незначит.огранич
Вес 1л. при T=15,6 ⁰ С (газ), кг	575	-	513
Вес 1м ³ при T=15,6 ⁰ С, кг/м ³	0,55	0,91	0,54
Температура пламени, ⁰ С	2927	3087	2526
Низшая тепл.сгор.газа смеси при норм.условиях	21000	12600	21795
Общая тепл.сгорания (после испарения)	49000	50000	51000

Нормальное пламя получают при соотношении расхода кислорода к МАФу.

$$\beta = \frac{Q_{O_2}}{Q_{МАФ}} = 2,3 - 2,5.$$

Нормальное пламя используется при газовой сварке сталей, однако следует учитывать, что ядро пламени при использовании МАФ в 1,5-2 раза длиннее, чем при использовании ацетилен. Для нормального пламени ядро имеет синий цвет. Расход газа МАФ при сварке низкоуглеродистой стали определяется по формулам:

$$V = (60-70)\delta - \text{для левого способа сварки}$$

$$V = (75-90)\delta - \text{для правого способа сварки.}$$

Где δ - толщина металла, мм.

Нормы расхода МАФ и кислорода при сварке толщины 1-3мм без разделки кромок приведены в таблице 2. Для сварки рекомендуется использовать проволоки СВ-08Г2, СВ-08ГС, СВ-12ГС.

Таблица 2 – Нормы расхода материалов для сварки низкоуглеродистой стали газом МАФ

Толщина, мм	Норма расхода на 1м шва			
	Вес наплавленного металла, кг	Вес присадочной проволоки, кг	Газ МАФ, м ³	Кислород, м ³
1	0,028	0,029	0,013	0,030
1,5	0,040	0,051	0,023	0,053
2	0,070	0,074	0,34	0,078
2,5	0,084	0,088	0,044	0,101
3	0,094	0,103	0,051	0,174

Кислород при нормальных условиях - газ без цвета, запаха и вкуса. Плотность кислорода 1,43кг/м³ при 0⁰С и давлении 760мм рт.ст. При охлаждении до - 182,97⁰С при 760мм рт.ст. кислород превращается в голубоватую жидкость без запаха.

Кислород активно поддерживает процесс горения. При соприкосновении сжатого кислорода, находящегося под давлением свыше 30кгс/см₂, с маслами и жирами происходит их мгновенное окисление, сопровождающееся выделением

теплоты, в результате чего масло или жир могут воспламениться. При определенных условиях воспламенение может привести к взрыву. При работе с кислородом необходимо следить, чтобы аппаратура, баллоны и одежда обслуживающего персонала не имели следов масел и жиров. В случае обнаружения засаленных поверхностей категорически запрещается использовать загрязненное оборудование при работе с кислородом. Жидкий кислород при попадании на кожу вызывает обмороживание ткани.

Кислород может быть получен химическим способом, а также электролизом воды или воздуха методом глубокого охлаждения. При промышленном способе получения кислорода воздух, очищенный от механических примесей, углекислоты и влаги, сжимается в компрессорах, охлаждается до сжижения и разделяется на азот и кислород. Азот в ректификационных установках испаряется и отводится в окружающую среду, а жидкий кислород, имеющий температуру кипения выше, чем температура кипения жидкого азота, остается - накапливается в жидком виде.

Кислород газообразный технический, согласно ГОСТ 5583-68, выпускается трех сортов, отличающихся количеством допустимых примесей (азота и аргона). Наивысшей чистотой обладает кислород первого сорта; его чистота должна быть не ниже 99,7% (по объему); кислород второго и третьего сортов соответственно должен иметь чистоту не ниже 99,5% и 99,2%. Содержание влаги в газообразном кислороде не должно превышать 0,07г/м³. Кислород жидкий технический, согласно ГОСТ 6331-68, в зависимости от содержания кислорода и его примесей выпускается также трех сортов.

Для неотчетственных видов газовой сварки, пайки, поверхностной закалки и других видов нагрева газовым пламенем может быть использован кислород чистотой 92-98%, получаемый в специальных установках для металлургического производства, а также как побочный продукт при производстве азота. Сжатый газообразный кислород хранится и транспортируется в пустотелых баллонах по ГОСТ 949-73. Баллоны с кислородом окрашиваются в голубой цвет. Количество сжатого кислорода в баллонах может быть 8кг, или 6м³; оно равно произведению

емкости баллона в дм^3 на давление в баллоне в кгс/см^2 , определенное по манометру.

При перевозке жидкого кислорода масса тары, приходящаяся на 1 кг кислорода, уменьшается по сравнению с массой тары при перевозке газообразного кислорода более чем в 10 раз.

Максимальные температуры пламени: (в числителе – в смеси с воздухом; в знаменателе – в смеси с кислородом).

$$\frac{\text{C}_2\text{H}_2 + \text{воздух} - 2400 - 2600^\circ\text{C}}{\text{C}_2\text{H}_2 + \text{с кислородом} - 3100 - 3200^\circ\text{C}}$$

$$\frac{\text{H}_2 + \text{воздух} - 1800^\circ\text{C}}{\text{H}_2 + \text{с кислородом} - 2400 - 2600^\circ\text{C}}$$

$$\frac{\text{C}_3\text{H}_8 (\text{пропан}) + \text{воздух} - 1925^\circ\text{C}}{\text{C}_3\text{H}_8 + \text{кислород} - 2600 - 2700^\circ\text{C}}$$

$$\frac{\text{C}_4\text{H}_{10} (\text{бутан}) -}{\text{C}_4\text{H}_{10} + \text{кислород} - 2400 - 2500^\circ\text{C}}$$

$$\frac{\text{C}_3\text{H}_8 + \text{C}_4\text{H}_{10} -}{\text{C}_3\text{H}_8 + \text{C}_4\text{H}_{10} + \text{кислород} - 2600^\circ\text{C}}$$

Летом берут смесь 30% пропана, 70% бутана; зимой 70% пропана, 30% бутана.

$$\frac{\text{C}_7\text{H}_{14} (\text{пары керосина}) + \text{воздух} - 1930^\circ\text{C}}{\text{C}_7\text{H}_{14} + \text{кислород} - 2300 - 2400^\circ\text{C}}$$

$$\frac{\text{C}_7\text{H}_{15} (\text{пары бензина}) + \text{воздух} - 1970^\circ\text{C}}{\text{C}_7\text{H}_{15} + \text{кислород} - 2500 - 2600^\circ\text{C}}$$

$$\frac{\text{МАФ} (\text{метилацетилен-аленовая фракция})}{\text{МАФ} + \text{кислород} - 2800 - 2900^\circ\text{C}}$$

Лабораторная работа № 1

Исследование сварочно-технологических свойств и производительности процесса при дуговой сварке в защитных газах (СО₂ и его смеси с аргоном) плавящимся электродом низкоуглеродистых и низколегированных сталей

Цель работы:

Наглядная демонстрация, изучение и сравнительный анализ сварочно-технологических свойств и основных характеристик плавления способов механизированной сварки проволокой сплошного сечения в защитном газе разного состава.

1. Краткие теоретические сведения по теме:

К сварочным материалам при механизированной сварке в защитных газах относятся защитные газы и сварочные проволоки. Стальная сварочная проволока, предназначенная для сварки, изготавливается по ГОСТ 2246 – 70, защитный газ СО₂ по ГОСТ 8050-85, аргон по ГОСТ 10157-2016, а газовые смеси по техническим условиям.

При этом способе сварки в зону дуги подается защитный газ, струя которого, обтекая электрическую дугу и сварочную ванну, предохраняет расплавленный металл от воздействия атмосферного воздуха.

Для получения при дуговой сварке высококачественных соединений необходима защита зоны дуги и расплавленного металла от вредного воздействия воздуха, а в ряде случаев также легирование и металлургическая обработка металла шва. При сварке в защитных газах для защиты зоны дуги и расплавленного металла используют газ, подаваемый струей при помощи горелки; иногда сварку выполняют в камерах, заполненных газом. В качестве защитных газов используют **инертные газы** (аргон, гелий и их смеси), **не взаимодействующих с металлом при сварке**, и **активные газы** (углекислый газ, водород и др.), **взаимодействующие с металлом**, а также их смеси.

Сварка в защитных газах отличается следующими преимуществами (по сравнению с ручной дуговой сваркой покрытым электродом):

- высокая производительность (в 1,5...3 раза);

- более легкое ведение сварки;
- отсутствие необходимости очистки шва от шлаков и зачистки шва при многослойной сварке;
- более широкая номенклатура свариваемых металлов;
- возможность обеспечения требуемых свойств сварных соединений;
- доступность механизации и роботизации процесса сварки.

Механизированная сварка в углекислом газе является наиболее распространенным из применяемых способов сварки в защитных газах. Она характеризуется высокой производительностью, низкой стоимостью и удовлетворительным качеством сварных швов. При этом следует отметить, что процесс сварки в CO_2 сопровождается повышенным разбрызгиванием (до 15%) электродного металла. Брызги засоряют сопло, что может вызвать нарушение защиты зоны сварки и пористость металла шва, привариваются к основному металлу и требуют зачистки. Для сварки в CO_2 характерны узкое и глубокое проплавление основного металла, препятствующее хорошей дегазации металла шва и способствующее образованию горячих трещин, усиление шва с более резким переходом к основному металлу, чем, например, при сварке под флюсом.

В последнее время широкое распространение получили смеси на основе аргона с добавками кислорода и углекислого газа. Эти добавки стабилизируют дугу, швы имеют гладкую ровную поверхность без подрезов с плавным переходом к основному металлу и благоприятную форму проплавления.

При введении в аргон 5% кислорода перенос металла улучшается и существенно уменьшается разбрызгивание. Присутствие слабо окислительной среды понижает поверхностное натяжение расплавленного металла, что приводит к снижению пористости и улучшению конфигурации шва.

При использовании смеси 80% Ar + (18÷20%) CO_2 имеет место и струйный перенос практически без разбрызгивания металла и обеспечивается чашеобразный профиль проплавления основного металла.

При использовании для защиты зоны дуги газовой среды с содержанием более 25% CO_2 горение дуги и перенос электродного металла подобны горению дуги и переносу электродного металла при сварке в чистом CO_2 .

В целом для сварки в смесях с большим содержанием аргона характерно резкое снижение разбрызгивания, улучшение формирования и внешнего вида шва. Поверхность шва более гладкая, без крупных чешуек шлака.

Важным достоинством газовых смесей на основе аргона является возможность обеспечения при их использовании высоких механических свойств, т.е. временного сопротивления разрыву при растяжении (σ_B) и относительного остаточного удлинения (δ) выше, чем при сварке в углекислом газе для всех сталей. Хотя газовые смеси на основе аргона имеют более высокую стоимость, чем углекислый газ, при их использовании достигают существенного экономического эффекта за счет снижения расхода сварочной проволоки, уменьшения потерь проволоки на разбрызгивание, снижения трудовых затрат на зачистку сварных соединений от приваренных брызг, повышения производительности на 10-20%.

Недостатком сварки в смесях на основе аргона является повышенное излучение дуги, большой нагрев сварочной горелки, чуть большая склонность к образованию пор по сравнению с этими же характеристиками при сварке в углекислом газе.

На производительность процесса дуговой сварки влияют следующие факторы:

1. сварочный ток;
2. коэффициент расплавления электрода α_p ;
3. коэффициент наплавки α_n и д.

Любой процесс дуговой сварки неизбежно сопровождается более или менее значительными потерями металла на угар и разбрызгивание.

Угар – испарившаяся или окислившаяся часть расплавленного металла электрода и сварочной ванны, не попавшая в сварочную ванну.

Разбрызгивание – разбрасывание мелких и крупных капель расплавленного металла электрода и сварочной ванны.

Часть этих капель выбрасывается за пределы свариваемой детали, а часть прилипает к ее поверхности вдоль шва. Разбрызгивание металла – нежелательное явление, сопутствующее процессу переноса. В результате разбрызгивания снижается производительность процесса сварки, увеличиваются затраты:

- на зачистку сварных соединений от брызг;

- расход сварочных материалов, электроэнергию.

Разбрызгивание при сварке в защитных газах зависит от рода защитного газа, вида процесса сварки и переноса электродного металла, диаметра электрода и техники сварки, состава и типа электродной проволоки, наличия загрязнений на проволоке и свариваемом металле, качества защиты зоны сварки и свойств источника питания током.

Потери металла на угар и разбрызгивание определяются по формуле:

$$\Psi = \frac{m_p - m_H}{m_p} 100\%, \quad (1)$$

где m_p – количество расплавленного электродного металла за определенный промежуток времени, г;

m_H – количество наплавленного электродного металла за тот же промежуток времени, г.

Коэффициент расплавления электрода показывает, сколько электродного металла расплавляется под действием электрического тока величиной в 1 А за единицу времени сварки в 1 час и определяется по формуле:

$$\alpha_p = \frac{m_p}{I_{св} t_0}; \text{ г}/(\text{А} \cdot \text{ч}), \quad (2)$$

где m_p – количество расплавленного электродного металла, г;

$I_{св}$ – сварочный ток, А; t_0 – время сварки, ч.

Коэффициент наплавки показывает, сколько электродного металла наплавляется под действием электрического тока величиной в 1 А за единицу времени сварки в 1 час и определяется по формуле:

$$\alpha_H = \frac{m_H}{I_{св} t_0}; \text{ г}/(\text{А} \cdot \text{ч}), \quad (3)$$

где m_H – количество наплавленного электродного металла, г.

Коэффициент наплавки обычно меньше коэффициента расплавления, так как не весь расплавленный электродный металл переходит в шов: часть его выгорает, часть разбрызгивается.

Более точным показателем эффективности процесса сварки является производительность наплавки, которую рассчитывают по формуле:

$$P_n = \alpha_n \cdot I_{св}/1000; \text{ кг/ч.} \quad (4)$$

2. Оборудование, инструменты, материалы:

1. Полуавтомат с источником питания для механизированной сварки в защитном газе проволокой сплошного сечения.
2. Баллоны с углекислым газом и со смесью углекислого газа с аргоном (80% Ar + 20% CO₂).
3. Набор шаблонов для измерения катетов швов.
4. Пластины из низкоуглеродистой стали 140x180x(6-8) мм.
5. Сварочная проволока марки Св-08Г2С диаметром 1,2 мм (омедненная).
6. Весы, позволяющие определить массу взвешиваемого тела с погрешностью 0,1 г.
7. Секундомер.
8. Сварочный щиток.
9. Брезентовый костюм или фартук.
10. Брезентовые рукавицы.

3. Техника безопасности при выполнении работы:

1. Сварку выполнять только в головном уборе и спецодежде, которая должна быть плотно застегнута.
2. Для защиты лица и глаз от лучистой энергии применять щитки, шлемы, а от механических повреждений – предохранительные очки с прозрачными стеклами.
3. Не работать на неисправном оборудовании или неисправным инструментом.
4. В перерывах в работе выключать оборудование.
5. Для защиты от отравлений выделяющимися газами следить, чтобы во время работы была вентиляция: располагаться на рабочем месте так, чтобы предохранять себя от вдыхания выделяющихся газов, паров и пыли.
6. Для предотвращения поражения электрическим током следить за тем, чтобы сварочные установки были надежно заземлены; не прикасаться к распределительным щитам, проводам силовой, осветительной сети или другим токоведущим частям; осмотр, перемещения оборудования и устранение

неисправностей его производить при выключенном рубильнике; для местного освещения пользоваться светильниками напряжением не выше 36 В и переносными лампами – 12В.

7. Для предотвращения пожаров в помещении, где производится сварка, не должны находиться легковоспламеняющиеся вещества.

Лабораторная работа рассчитана на 4 учебных часа и состоит из двух частей:

I. Исследование сварочно-технологических свойств в защитных газах (СО₂ и его смеси с аргоном), используемых при дуговой сварке плавящимся электродом низкоуглеродистых и низколегированных сталей.

Последовательность выполнения работы:

1. Наплавить на пластину механизированной сваркой в СО₂ проволокой марки Св-08Г2С не менее двух валиков на всю длину образца. Перемещение электрода производить по вытянутой спирали.
2. То же в смеси СО₂ + Ar.
3. При сварке обращать внимание на особенности горения дуги, степени разбрызгивания металла, формирование и внешний вид шва.
4. Результаты оценки сварочно-технологических свойств, а также режимы сварки внести в таблицу 1.
5. То же по п.п 1-4 в вертикальном положении снизу вверх и сверху вниз. Сварку вести с небольшими поперечными колебаниями электрода.
6. Сварить тавровое соединение без разделки кромок механизированной сваркой в углекислом газе проволокой марки Св-08Г2С в горизонтально-вертикальном положении перемещением электрода по вытянутой спирали.
7. То же в смеси углекислого газа с аргоном.
8. При сварке обращать внимание на особенности горения дуги, степени разбрызгивания металла, формирование и внешний вид шва, а также форму углового шва (выпуклый, прямой, вогнутый).
9. Результаты оценки сварочно-технологических свойств, а также режимы сварки внести в таблицу 1.
10. Сделать выводы.

Таблица 1

Показатели сварочно-технологических процессов	Нижнее положение		Вертикальное снизу вверх		Вертикальное сверху вниз	
	CO ₂	Ar + CO ₂	CO ₂	Ar + CO ₂	CO ₂	Ar + CO ₂
Характеристика горения дуги						
Формирование и внешний вид шва						
Размер катета шва, мм						
Степень разбрызгивания						
Режимы сварки Iсв, Ud, вылет, расход газа						

II. Определение коэффициентов расплавления, наплавки, потерь на угар и разбрызгивание и производительности наплавки при механизированной сварке в углекислом газе и в смеси углекислого газа с аргоном

Последовательность выполнения работы:

1. Подготовить 6 пластин к наплавке валиков и взвешиванию, очистив их от заусенцев, ржавчины, масла и других загрязнений.
2. Взвесить пластины с точностью до 0,1 г и занести результаты в таблицу 2.
3. Подготовить сварочную проволоку длиной 1 метр и взвесить ее. Результаты занести в таблицу 2.
4. Провести на рациональных режимах без перерыва при включенном секундомере наплавку двух-трех валиков в CO_2 на пластины (один валик – одна пластина) в нижнем положении, фиксируя при этом показания сварочного тока, напряжения, время сварки и скорость подачи проволоки. Полученные результаты занести в таблицу 2.
5. Определить длину расплавленной проволоки, используя показания скорости подачи проволоки и времени горения дуги, и рассчитать её вес. Результаты занести в таблицу 2.
6. Зачистить пластины от брызг и взвесить с точность до 0,1 г. Полученную массу пластин занести в таблицу 2.
7. Определить массу наплавленного электродного металла, массу расплавленного электродного металла.
8. По формулам 1-4 посчитать потери на угар и разбрызгивание, коэффициент расплавления, коэффициент наплавки и производительность наплавки.
9. Опыты повторить по наплавке валиков в смеси CO_2 и Ar..
10. Сделать выводы.

Таблица 2

№ п/ п	Сварочный материал	Масса пластины, г		Режимы сварки		Время горения дуги, t_0, c	Длина расплавленного электродного материала, м	Масса расплавленного электродного материала, $m_p, г$	Масса наплавленного электродного материала, $m_n, г$	Коэффициент расплавления, $\alpha_p, г/А \cdot ч$	Коэффициент наплавки $\alpha_n,$ $г/А \cdot ч$	Коэффициент потерь, $\psi, \%$	Производительность наплавки, Пн, кг/ч	Среднее значение показателей			
		До сварки, $m_{1п}$	После сварки, $m_{2п}$	Сварочный ток, А	Напряжение дуги, В									$\alpha_p, г/А \cdot ч$	$\alpha_n, г/А \cdot ч$	$\psi, \%$	Пн, кг/ч
1	CO ₂																
2	Св-08Г2С																
3																	
4	CO ₂ + Ar																
5	Св-08Г2С																
6																	

Примечание: 1. Указать массу в граммах одного метра электродной проволоки Ø ____ мм: _____ (г);

2. Указать скорость подачи проволоки: _____ (м/мин).

Вопросы для самопроверки

1. Основные характеристики процесса плавления электрода (электродной проволоки, покрытого металлического электрода) при дуговой сварке.
2. Легирование металла сварочной ванны при механизированной сварке в CO_2 .
3. Раскисление металла (стали) сварочной ванны при механизированной сварке в углекислом газе.
4. Технологические и металлургические функции сварочных материалов при механизированной сварке в углекислом газе.
5. Преимущества сварки в смеси ($\text{Ar} + 18\% \text{CO}_2$) по сравнению со сваркой в CO_2 .
6. Причины образования большого количества брызг при сварке в CO_2 .
7. Почему при импульсно-дуговой сварке плавящимся электродом не применяется CO_2 в качестве защитного газа.
8. Преимущества сварки в защитном газе.

Лабораторная работа № 2

Изучение влияния компонентов шихты покрытия электродов на длину разрывной дуги, как основного показателя устойчивости её горения

Цель работы: исследование влияния отдельных компонентов покрытия электродов и покрытия в целом на процесс зажигания и устойчивость горения сварочной дуги.

1. Краткие теоретические сведения по теме.

Сварочно-технологические свойства электродов в значительной степени определяются электродным покрытием. Электродные покрытия в процессе сварки выполняют следующие важные функции:

- повышают стабильность горения дуги, увеличивая степень ионизации дугового промежутка;
- обеспечивают газошлаковую защиту зоны сварки (дуговой промежуток и сварочная ванна) от окружающей атмосферы;
- раскисляют сварочную ванну, восстанавливая часть металла, превратившегося в оксиды;
- легируют сварочную ванну, придавая металлу шва необходимые свойства (прочность, износостойкость, стойкость против коррозии и др.);
- электродные шлаки на поверхности сварочной ванны способствуют нормальному формированию шва.

Покрытия изготовляют из большого числа тонкоразмолотых и тщательно перемешанных материалов, связанных клеящим составом. Применяемые для приготовления электродных покрытий материалы классифицируют по назначению на следующие группы: стабилизирующие, шлакообразующие, газообразующие, раскисляющие, легирующие, связующие.

Стабилизирующие (ионизирующие) компоненты покрытий повышают стабильность горения дуги. При расплавлении покрытия они легко разлагаются (диссоциируют) с образованием свободных электрически заряженных частиц (электронов, ионов), повышая степень ионизации дугового промежутка. С этой целью используют химические элементы щелочной и щелочно-земельной группы, имеющие низкий потенциал ионизации: калий, натрий, кальций, барий.

Потенциал ионизации – это энергия, которую необходимо сообщить электрону, чтобы оторвать его и сделать атом положительно заряженным ионом. В таблице 1 представлены значения потенциала первичной ионизации для некоторых элементов (первичная ионизация связана с отрывом первого из электронов, находящихся на внешней оболочке атома).

Таблица 1 – Значения потенциала первичной ионизации для некоторых элементов

Химический элемент	K	Na	Ca	Cr	Ti	Mn	Fe	Si	F
Потенциал ионизации, В	4,32	5,12	6,03	6,74	6,81	7,4	7,6	7,94	18,6

Эти элементы содержатся в таких компонентах электродных покрытий, как мел, мрамор, известняк, слюда, полевошпат, гранит, натриевое и калиевое жидкое стекло, поташ, хромпик, углекислый барий, марганцево-кислый калий, кальцинированная сода.

В таблице 2 приведен примерный состав покрытий, в состав которых входят вышеуказанные компоненты, широко применяемых для сварки конструкционных сталей электродов марок МР-3 (тип Э46) и УОНИ-13/55 (тип Э50А).

В условиях сварки возможно внезапное изменение длины дуги, а также может возникнуть необходимость несколько растянуть дугу (при сварке горизонтальных, вертикальных, потолочных швов), поэтому дуга должна быть устойчивой (не гаснуть или, как говорят, быть эластичной) в случае ее удлинения в некоторых пределах. Широкое распространение при исследовании стабильности горения сварочной дуги получила методика К.К. Хренова, основанная на определении среднего значения длины дуги в момент обрыва при многократном повторении одного и того же эксперимента.

Таблица 2 – Состав покрытий электродов марок МР-3 и УОНИ 13/55

Наименование компонентов	Химическая формула	Состав покрытия, %	
		МР-3	УОНИ 13/55
Мрамор	CaCO_3	18	54
Рутиловый концентрат	$\text{TiO}_2 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ ($\text{TiO}_2 \geq 91\%$)	50	--
Плавиновый шпат	CaF_2	--	19
Кварцевый песок	SiO_2	--	6,0
Ферромарганец	$\text{Mn} \geq 85\%$	15	6,5
Ферросилиций	$\text{Si} = 41 \div 47\%$	--	7
Ферротитан	$\text{Ti} \geq 30\%$; $\text{Al} \leq 8\%$; $\text{Si} \leq 5\%$;	--	7
Вода или поташ	Na_2CO_3 , K_2CO_3	--	0,5
Тальк	$\text{MgO} \geq 88\%$	10	--
Целлюлоза		2	--
Каолин	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	5	--
Жидкое стекло		20	20

2. Оборудование, инструмент, материалы.

11. Сварочный пост для ручной дуговой сварки покрытыми электродами переменным током.
12. Установка для измерения разрывной длины дуги – L_p (см. рисунок).
13. Стальная пластина 180 x 140 x 10 мм.
14. Электродные стержни из низкоуглеродистой стали диаметром 3–4мм.
15. Компоненты электродных покрытий: мрамор (CaCO_3), кварцевый песок (SiO_2), слюда ($\text{K}_2\text{O} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$), полевой шпат ($\text{K}_2\text{O} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$), поташ (K_2CO_3), плавиновый шпат (CaF_2).
16. Покрытые электроды, например, марок МР-3, УОНИ-13/55 и др. марок, представляющие интерес для данной работы, диаметром 3,0–4,0мм.
17. Сварочный щиток.
18. Брезентовый костюм или фартук.

19. Брезентовые рукавицы.
20. Графитовый электрод.
21. Мерительный инструмент.

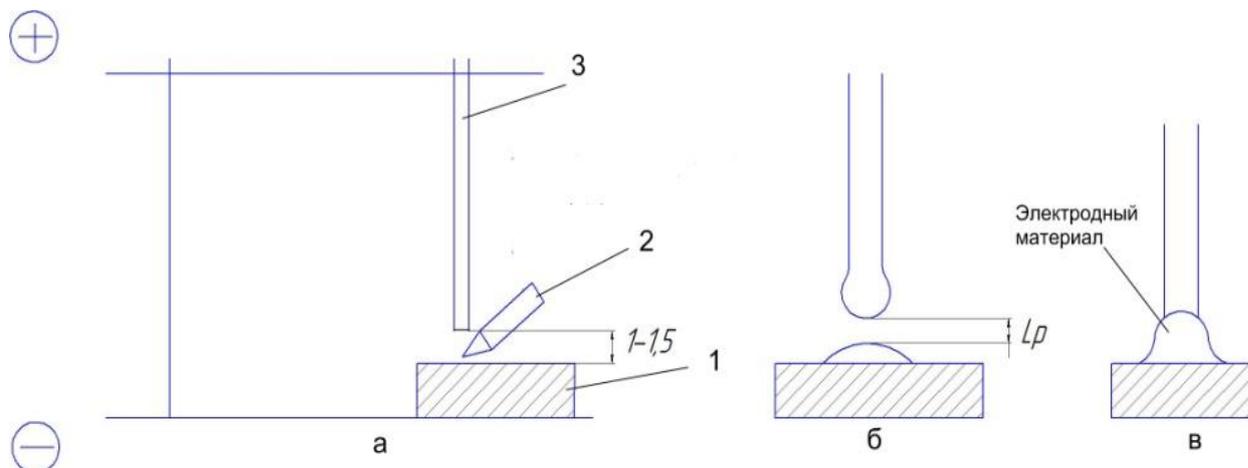


Рисунок 1 – Установка для измерения разрывной длины дуги

1 – стальная пластина; 2 – угольный электрод; 3 – электродный стержень
(сварочные электроды)

3. Техника безопасности при выполнении работ.

1. Сварку выполнять только в головном уборе и спецодежде, которая должна быть плотно застегнута.

2. Для защиты лица и глаз от лучистой энергии применять щитки, шлемы, а от механических повреждений – предохранительные очки с прозрачными стеклами.

3. Не работать на неисправном оборудовании или неисправным инструментом.

4. В перерывах в работе выключать оборудование.

5. Для защиты от отравлений выделяющимися газами следить, чтобы во время работы была вентиляция: располагаться на рабочем месте так, чтобы предохранять себя от вдыхания выделяющихся газов, паров и пыли.

6. Для предотвращения поражения электрическим током следить за тем, чтобы сварочные установки были надежно заземлены; не прикасаться к распределительным щитам, проводам силовой, осветительной сети или другим

токоведущим частям; осмотр, перемещения оборудования и устранение неисправностей его производить при выключенном рубильнике; для местного освещения пользоваться светильниками напряжением не выше 36 В и переносными лампами – 12В.

7. Для предотвращения пожаров в помещении, где производится сварка, не должны находиться легковоспламеняющиеся вещества.

4. Последовательность выполнения работы.

1. Собрать установку, определить напряжение холодного хода $U_{хх}$ сварочного трансформатора и установить рациональный режим сварки для данной марки и диаметра электрода (например, для электрода диаметром 3,0 мм сила сварочного тока должна составлять 120–130 А).

2. Закрепить очищенный от ржавчины и др. загрязнений электродный стержень в штатив, установив торец стержня на расстоянии 1–1,5 мм от стальной пластины, лежащей на сварочной столе (пластина также должна быть очищена металлической щеткой от ржавчины и других загрязнений).

3. Подключить к штативу электрододержатель, возбудить сварочную дугу заточенным угольным стержнем, замыкая на очень короткое время конец электродного стержня на пластину.

4. Дать дуге догореть до естественного обрыва, очистить наплавку от шлака и измерить расстояние L_p между оплавленным торцом электрода и наплавкой. При горении дуги отмечать характер и особенности ее поведения. Эксперимент повторить не менее 3 раз.

5. Результаты эксперимента занести в таблицу.

6. Повторить эксперименты по п.п 2-5, но конец электродного стержня засыпать наибольшим количеством испытуемого электродного материала (мела, полевого шпата, плавикового шпата, слюда, углекислого калия –поташ). При выполнении этой серии экспериментов требуется тщательная очистка пластины и электрода при переходе от одного материала к другому.

7. Закрепить в штативе поочередно различные марки испытываемых электродов (МР-3, УОНИ–13/55 и др.)

Таблица результатов выполненных экспериментов.

Номер эксперимента	Электродный материал. Марка электрода	Характер и особенности горения дуги	Разрывная длина дуги L_p , мм	Среднее значение L_p , мм
1				
2				
3				
4				
5				
6				
и др.				

Примечание: Перед измерением разрывной дуги наплавку необходимо очистить от шлака.

5. Содержание отчета.

5.1. Цель работы.

5.2. Краткие теоретические сведения.

5.3. Описание методики проведения эксперимента.

5.4. Эскиз схемы установки.

5.5. Таблица с результатами экспериментов.

5.6. Выводы по работе.

6. Контрольные вопросы.

1. Почему горение сварочной дуги менее устойчивое на переменном токе, чем на постоянном?

2. Какие компоненты в составе покрытия исследованных электродов способствуют устойчивому горению сварочной дуги, а какие, наоборот, дестабилизируют её горение?

3. Какие физические явления участвуют в процессе возбуждения сварочной дуги?

4. Почему электроды марки МР–3 обладают более устойчивым горением дуги на переменном токе, чем электроды с основным покрытием?
5. Почему электроды с основным покрытием типа УОНИ-13/55 обладают устойчивым горением дуги только на постоянном токе?
6. Что такое электрическая дуга, её сущность?
7. Что такое работа выхода электрона?
8. Что такое потенциал ионизации атома или молекулы?

Литература.

1. Хренов К.К. Электрическая сварочная дуга / М., Киев: Машгиз, 1949.
2. Думов С.И. Технология электрической сварки плавлением / Ленинград, 1982.
3. Жизняков С.Н., Сидлин З.А. Ручная дуговая сварка. Материалы. Оборудование. Технология / М.,

Лабораторная работа № 3

Изучение сварочно-технологических свойств и основных характеристик плавления покрытых металлических электродов для ручной дуговой сварки различных марок.

Цель работы:

Наглядная демонстрация, изучение и сравнительный анализ сварочно-технологических свойств марок покрытых электродов одного назначения. Определение основных характеристик плавления покрытых электродов.

3. Краткие теоретические сведения по теме.

Как для любого технологического процесса, так и для процесса сварки необходимо чтобы сам процесс **протекал стабильно** и им **можно было управлять**; чтобы по завершению процесса **получить качественный результат**. Применительно к дуговой сварке это положение можно сформулировать так. Для сварки нужно:

- устойчивое горение дуги;
- хорошее формирование шва;
- получение бездефектного сварного соединения с требуемыми эксплуатационными свойствами.

В реализации этих условий исключительно важную роль выполняют сварочные материалы, а именно сварочные материалы выполняют очень важную технологическую и металлургическую функции, именно они главным образом обеспечивают не только возможность прохождения процесса сварки в реальных условиях производства, но и получение качественного изделия.

Покрытые электроды для РДС представляют собой стержни длиной до 450 мм, изготовленные из сварочной проволоки, на поверхность которых наносится слой покрытия различной толщины и состава.

Электродное покрытие – это сложная, многокомпонентная система, состоящая из порошков различных материалов: минералов, руд и концентратов, ферросплавов, металлов и сплавов различных химикатов, силикатов и пр. Рационально подобранное сочетание указанных веществ в покрытии при участии металла электродного стержня выполняет **технологические и металлургические функции**:

- 1) обеспечение стабильного горения дуги;
- 2) хорошее формирование шва;
- 3) легкую отделяемость шлака;
- 4) защиту зоны сварки от воздуха;
- 5) раскисление;
- 6) легирование;
- 7) рафинирование и т.д.

Все покрытые электроды, предназначенные для сварки, имеют свои типичные для данной марки сварочно – технологические характеристики. Следует отметить, что качество электродов, в том числе по сварочно-технологическим свойствам

различных производителей, существенно различаются, хотя в рекламных изданиях их характеристики почти всегда соответствуют действующим стандартам.

Сварочно-технологические свойства электродов при соблюдении режимов и условий сварки, установленных стандартом или техническими условиями на электроды конкретной марки, и при отсутствии магнитного дутья должны удовлетворять следующим требованиям: дуга должна легко возбуждаться и стабильно гореть; покрытие должно плавиться равномерно, без чрезмерного разбрызгивания, отваливания кусков и образования чехла или козырька, препятствующих нормальному плавлению электрода при сварке во всех пространственных положениях, рекомендованных для электродов данной марки; образующийся при сварке шлак должен обеспечивать правильное формирование валиков шва и легко удаляться после охлаждения; в металле шва, а также в металле, наплавленном предназначенными для сварки электродами, не должно быть трещин, надрывов и поверхностных пор.

В лабораторной работе проверку сварочно-технологических свойств покрытых электродов будем осуществлять контролем следующих показателей, приведенных в таблице 1, по пятибалльной системе (РД 03-613-03). Согласно ГОСТ 9466 сварочно-технологические свойства электродов проверяют при температуре окружающего воздуха не ниже +5°C. Перед сваркой электроды должны быть прокалены для удаления влаги из покрытия.

Таблица 1

Показатели сварочных свойств сварочных материалов с балльной оценкой по дифференциальному методу

Номер контролируемого параметра по табл.19	Оценка в баллах	Краткая характеристика показателя
1. Возбуждение дуги	1	Плохое. Редкое зажигание или отсутствие зажигания.
	2	Трудное. Зажигание после многократных соприкосновений электрода с изделием и привариваний электрода.
	3	Удовлетворительное. Зажигание после нескольких (трех, четырех) соприкосновений электрода с изделием.
	4	Хорошее. Зажигание после легкого движения электрода по металлу.
	5	Легкое. Зажигание сразу после прикосновения электрода к изделию.
2. Стабильность горения дуги	1	Плохая. Неустойчивое горение дуги с частыми обрывами.
	2	Низкая. Неравномерно горящая, вибрирующая дуга с редкими обрывами.
	3	Удовлетворительная. Неравномерно горящая, вибрирующая дуга без обрывов.
	4	Хорошая. Равномерно горящая дуга с незначительной вибрацией и хрустящим шумом (треском).
	5	Высокая. Спокойно, равномерно горящая дуга без вибрации (мягкое шипение).
3. Качество формирования шва в различных пространственных положениях	1	Плохое. Валик неравномерный по ширине и высоте, крупночешуйчатый, с видимыми шлаковыми включениями и порами.
	2	Низкая. Валик неравномерный по ширине и высоте, крупночешуйчатый.
	3	Удовлетворительное. Валик крупночешуйчатый с отдельными неровностями по высоте и превышениями по кромкам шва.
	4	Хорошее. Валик мелкочешуйчатый с редкими небольшими неровностями по высоте и небольшими превышениями по кромкам шва.
	5	Очень хорошее. Валик равномерный, гладкий или мелкочешуйчатый с плавным переходом к основному металлу.
4. Отделяемость шлаковой корки	1	Плохая. При окончании процесса сварки не отделяется.
	2	Низкая. Требуется значительное механическое усилие для отделения шлака.
	3	Удовлетворительная. Отделяется при дополнительном механическом воздействии.
	4	Хорошая. Отделяется при незначительном механическом воздействии.
	5	Высокая. Отделяется после сварки без дополнительного механического воздействия.

К основным характеристикам плавления покрытого электрода относятся: коэффициент расплавления α_p ; коэффициент наплавки α_n . Коэффициент расплавления электрода показывает сколько электродного металла расплавляется

под действием электрического тока величиной в 1 А за единицу времени сварки в 1 час. Коэффициент расплавления электрода рассчитываем по формуле:

$$\alpha_p = m_p / J_{св} \cdot t_o; \text{ г}/(\text{А} \cdot \text{ч}),$$

где: m_p – масса расплавленного за время горения дуги электродного стержня, г;
 $J_{св}$ – сила сварочного тока, А;
 t_o – время горения дуги, ч.

Более важным показателем плавления электрода является коэффициент наплавки α_n , который показывает сколько электродного металла наплавляется под действием электрического тока величиной в 1 А за единицу времени сварки в 1 час. Коэффициент наплавки электрода рассчитывается по формуле:

$$\alpha_n = m_n / J_{св} \cdot t_o; \text{ г}/(\text{А} \cdot \text{ч}),$$

где: m_n – масса наплавленного за время горения дуги металла, г;

Коэффициент наплавки α_n обычно меньше коэффициента α_p , т.к. не весь расплавленный электродный металл переходит в шов, часть его выгорает, часть разбрызгивается, за исключением тех случаев, когда в покрытие входит большое количество металлических составляющих. Коэффициент потерь рассчитывается по формулам:

$$\psi = \frac{m_p - m_n}{m_p} \cdot 100\% \text{ или } \psi = \frac{\alpha_p - \alpha_n}{\alpha_p} \cdot 100\%$$

Для электродов с тонким и средним покрытиями значение ψ всегда больше по сравнению с электродами, имеющих толстые и особо толстые покрытия, содержащие в большом количестве ферросплавы, железный порошок и др. металлические присадки, поступление которых в наплавленный металл в количествах, превосходящих потери электродного металла на угар и разбрызгивание, вызывают повышение коэффициента наплавки.

Следует отметить, что коэффициент наплавки электрода не всегда характеризует действительную производительность ручной дуговой сварки, которая в значительной степени зависит так же и от допускаемой для конкретной марки электрода силы сварочного тока. Более точным показателем эффективного процесса сварки с использованием того или иного электрода является производительность наплавки, которая рассчитывается по формуле:

$$П_n = \alpha_n \cdot J_{св} / 1000, \text{ кг/ч.}$$

2. Оборудование, инструмент, материалы.

- 1) Пост ручной дуговой сварки со стандартным источником питания постоянного (или переменного) тока, укомплектованный контрольно-измерительной аппаратурой.
- 2) Шаблон для конструктивных элементов швов.
- 3) Пластины из углеродистых и низколегированных сталей. (Размер 150x70x6).
- 4) Весы.
- 5) Секундомер.
- 6) Штангенциркуль.
- 7) Линейка.
- 8) Лупа с пятикратным увеличением.
- 9) Покрытые металлические электроды 3-х марок, например, для сварки углеродистых и низкоуглеродистых и низколегированных конструкционных сталей типа Э46, одного диаметра 3 и 4мм.

Электроды зашифровываются под порядковыми номерами 1, 2, 3. Расшифровка цифровых обозначений электродов дается только после завершения экспериментальной части работы и обработки полученных данных.

Лабораторная работа рассчитана на 4 учебных часа и состоит из двух частей.

I Исследование и сравнительный анализ сварочно-технологических свойств покрытых электродов

Последовательность выполнения работы:

- 1) Прокалить электроды в количестве 12 штук каждой марки на регламентируемых для данных электродов режимах.
- 2) Очистить перед сваркой пластины от ржавчины, масла и других загрязнений.
- 3) Подобрать рациональные режимы сварки для каждой марки электродов для наплавки валиков в нижнем, горизонтально-вертикальном, вертикальном положениях.
- 4) Наплавить на подобранных режимах с небольшими колебаниями по два-три валика, обращая внимание при этом на легкость возбуждения и характер горения дуги, степень разбрызгивания расплавленного металла, поведение жидкого металла, отделяемость шлаковой корки и формирование шва.
- 5) Сварить каждой маркой электродов по 2 угловых однопроходных шва с максимально возможным катетом шва, обращая внимание на степень разбрызгивания, поведение жидкого шлака и др..
- 6) Результаты субъективной оценки по 5-ти балльной системе особенностей сварочно-технологических свойств электродов, размеры швов, внести в таблицу 2.
- 7) На основании полученных данных сформулировать основные выводы с расшифровкой электродов.

Таблица 2

№ п/п	Показатели сварочно технологических свойств (пластина)	Нижнее положение					
		№1		№2		№3	
		Оценка	Краткая характеристика показателя, особенности	Оценка	Краткая характеристика показателя, особенности	Оценка	Краткая характеристика показателя, особенности
1	Начальное зажигание дуги						
2	Характеристика горения дуги						
3	Степень разбрызгивания						
4	Характеристика шлака						
5	Отделимость шлаковой корки						
6	Формирование шва						
7	Склонность к образованию пор						
8	Режим сварки						

№ п/п	Показатели сварочно технологических свойств (пластина)	Горизонтально-вертикальное положение					
		№1		№2		№3	
		Оценка	Краткая характеристика показателя, особенности	Оценка	Краткая характеристика показателя, особенности	Оценка	Краткая характеристика показателя, особенности
1	Начальное зажигание дуги						
2	Характеристика горения дуги						
3	Степень разбрызгивания						
4	Характеристика шлака						
5	Отделимость шлаковой корки						
6	Формирование шва						
7	Склонность к образованию пор						
8	Режим сварки						

(продолжение)

№ п/п	Показатели сварочно технологических свойств (пластина)	Вертикальное положение					
		№1		№2		№3	
		Оценка	Краткая характеристика показателя, особенности	Оценка	Краткая характеристика показателя, особенности	Оценка	Краткая характеристика показателя, особенности
1	Начальное зажигание дуги						
2	Характеристика горения дуги						
3	Степень разбрызгивания						
4	Характеристика шлака						
5	Отделимость шлаковой корки						
6	Формирование шва						
7	Склонность к образованию пор						
8	Режим сварки						

II Определение коэффициентов расплавления, наплавки, потерь на угар и разбрызгивание и производительности наплавки при механизированной сварке в углекислом газе и в смеси углекислого газа с аргоном

Последовательность выполнения работы:

- 1) Подготовить пластины к наплавке валиков и к взвешиванию, поставить клейма на пластины.
- 2) Определить массу каждой пластины ($M_{1п}$).
- 3) Установить требуемый режим сварки. Величина сварочного тока должна составлять 85 - 90% от максимально допустимого сварочного тока для данной марки электрода.
- 4) Определить массу металлического стержня электрода по формуле:

$$m_{ст} = \frac{\pi \cdot d_{ст}^2}{4} \cdot \gamma l$$

где: $d_{ст}$ – диаметр электродного стержня, см;

γ – плотность стали 7,8 г/см³;

l – длина электродного стержня, см;

$m_{ст}$ – масса металлического стержня, г.

- 5) Произвести без перерыва наплавку валиков длиной 150мм, на пластины в нижнем положении, снимая показания амперметра, вольтметра и секундомера.
- 6) Электродом одной марки наплавить 2-3 валика соответственно на 2-3 пластины.
- 7) По завершении сварки очистить поверхность пластины от шлака, брызг металла.
- 8) Определить массу каждой пластины с наплавленными валиками ($M_{2п}$).
- 9) Определить коэффициенты расплавления, наплавки, потерь и производительность наплавки.
- 10) Данные всех измерений и результаты расчётов внести в таблицу 3.
- 11) Сделать выводы.

Таблица 3

№ п/п	Марка и диаметр электрода	Масса пластины, г		Режимы сварки		Время горения дуги, t_0, c	Длина электрода, мм		Масса расплавленного электродного материала, $m_p, г$	Масса наплавленного электродного материала, $m_n, г$	Коэффициент расплавления, $\alpha_p, г/А \cdot ч$	Коэффициент наплавки $\alpha_n, г/А \cdot ч$	Коэффициент потерь, $\psi, \%$	Производительность наплавки, Пн, кг/ч	Среднее значение показателей			
		До сварки, $m_{1п}$	После сварки, $m_{2п}$	Сварочный ток, А	Полярность		До сварки	После сварки							$\alpha_p, г/А \cdot ч$	$\alpha_n, г/А \cdot ч$	$\psi, \%$	Пн, кг/ч
1																		
2																		
3																		
4																		
5																		
6																		
7																		
8																		
9																		

Примечание: Указать массу в граммах металлического стержня электрода Ø ____ мм: _____ (г);

Вопросы для самопроверки

1. От каких факторов зависит производительность дуговой сварки плавящимся электродом.
2. Что характеризует коэффициенты расплавления, наплавки, потерь, их единицы измерений.
3. Почему коэффициент плавления в начале и в конце плавления электрода разный.
4. В каких случаях коэффициент наплавки может оказаться больше коэффициента плавления.
5. Сварочно - технологические функции сварочных материалов при дуговой сварке.
6. Металлургические функции сварочных материалов при дуговой сварке.
7. Виды покрытий электрода для ручной дуговой сварки. Общая характеристика.
8. Классификация электродов по назначению.

Лабораторная работа № 4

Определение характеристик покрытых металлических электродов для ручной дуговой сварки по показателям условных обозначений в соответствии с ГОСТ-ами и международными стандартами с экспериментальной проверкой значений отдельных показателей

Цель работы:

Ознакомление с классификацией и обозначениями покрытых электродов в соответствии с ГОСТ 9466 – 75 и международным стандартом СТБ ISO 2560-2009, провести экспериментальную проверку значений отдельных показателей.

1 Краткие теоретические сведения по теме

Классификация покрытых металлических сварочных электродов по ГОСТ 9466-75

В соответствии с ГОСТ 9466-75 электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки сталей и наплавки классифицируются по назначению, механическим свойствам и химическому составу наплавленного металла (типам), видам и толщине покрытий, а также некоторым сварочно-технологическим характеристикам.

Виды электродов по назначению

для сварки углеродистых и низколегированных конструкционных сталей с временным сопротивлением разрыву до 60 кгс/мм² (600 МПа). Обозначаются буквой **У** (ГОСТ 9467-75);

- для сварки легированных конструкционных сталей с временным сопротивлением разрыву свыше 60 кгс/мм² (600 МПа). Обозначаются буквой **Л** (ГОСТ 9467-75);
- для сварки легированных теплоустойчивых сталей. Обозначаются буквой **Т** (ГОСТ 9467-75);
- для сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами. Обозначаются буквой **В** (ГОСТ 10052-75);
- для наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами. Обозначаются буквой **Н** (ГОСТ 10051-75).

Вышеуказанными стандартами предусмотрено разделение электродов на типы, в соответствии с механическими свойствами и химическим составом наплавленного металла. Цифры, обозначающие каждый тип электрода — Э42, Э42А, Э50 и т. д., характеризуют гарантированное минимальное временное сопротивление разрыву в кгс/мм², а буква А — повышенные пластические свойства, вязкость и ограничения по химическому составу.

Виды электродов по толщине покрытия

По толщине покрытия электроды разделяются в зависимости от отношения D/d (D — диаметр покрытого электрода; d — диаметр стержня):

- с тонким покрытием ($D/d < 1,2$). Обозначаются буквой **М**;
- со средним покрытием ($D/d < 1,45$). Обозначаются буквой **С**;
- с толстым покрытием ($D/d < 1,8$). Обозначаются буквой **Д**;
- с особо толстым покрытием ($D/d > 1,8$). Обозначаются буквой **Г**.

ГОСТ 9466 — 75 предусматривает также технические требования к качеству (точности) изготовления электродов, к состоянию поверхности покрытия, а также к содержанию серы и фосфора в наплавленном металле.

Виды электродов по типу покрытия

- с кислым покрытием (**А**);
- с основным покрытием (**Б**);
- с целлюлозным покрытием (**Ц**);
- с рутиловым покрытием (**Р**);
- с покрытием смешанного вида (с двойным буквенным обозначением);
- с прочими видами покрытий (**П**).

Соответствие маркировок электродов по типу покрытия представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Соответствие маркировок электродов по типу покрытия:

Тип покрытия	Обозначение по ГОСТ 9466-75	Международное обозначение ISO
Кислое	А	А
Основное	Б	В
Рутиловое	Р	R
Целлюлозное	Ц	С
<i>Смешанные покрытия</i>		
Кисло-рутиловое	АР	AR
Рутилово-основное	РБ	RB
Рутилово-целлюлозное	РЦ	RC
Прочие (смешанные)	П	S
Рутиловые с железным порошком	РЖ	RR

Виды электродов по допустимым пространственным положениям сварки или наплавки:

- для сварки во всех положениях с условным обозначением – 1;
- для сварки во всех положениях, кроме вертикального сверху вниз — 2;
- для положений нижнего, горизонтального на вертикальной плоскости и вертикального снизу вверх — 3;
- для нижнего и нижнего в лодочку — 4.

Часто на пачках и в справочной литературе положения сварки обозначают графически (см.рис.1).

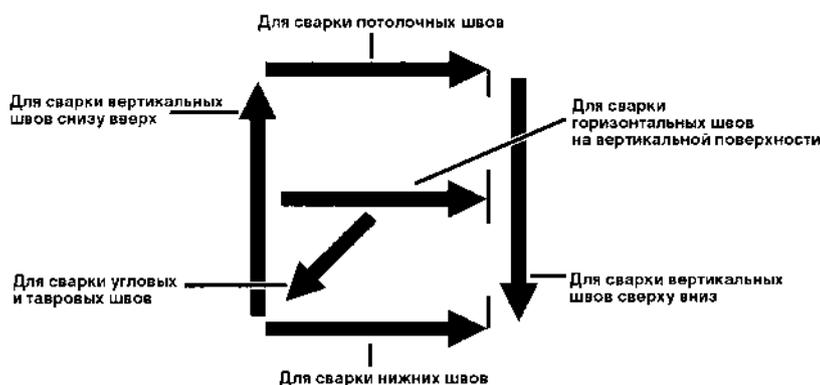


Рисунок 1 Графическое изображение пространственных положений сварки и наплавки

По роду и полярности применяемого при сварке или наплавке тока, а также по номинальному напряжению холостого хода, используемого источника питания сварочной дуги переменного тока частотой 50 Гц, электроды подразделяются в соответствии с таблицей 2.

Таблица – 2 Виды электродов по роду и полярности сварочного тока

Рекомендуемая полярность постоянного тока	Напряжение холостого хода источника переменного тока, В		Обозначение
	Номинальное напряжение	Предельное отклонение	
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

Цифрой 0 обозначают электроды, предназначенные для сварки или наплавки только на постоянном токе обратной полярности (сварочный электрод соединяется с плюсом).

Для оперативного пользования ГОСТ 9466 – 75 предусмотрена условное обозначение электрода, структура которого приведена на рисунке 2.

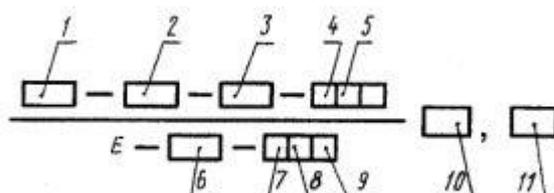


Рисунок 2. Структура условного обозначения покрытого электрода:

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

Подразделение электродов на типы регламентировано ГОСТ 9467-75, ГОСТ 10051 – 75 и ГОСТ 10052 – 75. Обозначение типов состоит из индекса Э (электроды для ручной дуговой сварки и наплавки) и следующих за ним цифр и букв. У электродов для сварки углеродистых, низколегированных и легированных конструкционных сталей две или три цифры в обозначении указывают временное сопротивление разрыву металла шва или наплавленного металла в кгс/мм². Для прочих электродов две или цифры, следующие за индексом, указывают среднее содержание углерода в сотых долях процента. Химические элементы, содержащиеся в наплавленном металле, обозначены аналогично обозначению в сталях и проволоках.

В зависимости от требований к показателям прочности и пластичности металла шва или наплавленного металла ГОСТ 9467 предусматривает 14 типов электродов для сварки конструкционных сталей:

- Э38, Э42, Э46, Э50, Э55, Э60 – для углеродистых и низколегированных конструкционных сталей с временным сопротивлением до 590 МПа (для);
- Э42А, Э46А, Э50А – для углеродистых и низколегированных конструкционных сталей с временным сопротивлением до 490 МПа, когда к

металлу сварных швов предъявляют повышенные требования по пластичности и ударной вязкости;

- **Э70, Э85, Э100, Э125, Э150** – для легированных конструкционных сталей высокой прочности с временным сопротивлением свыше 590 МПа (для типов Э70, Э85, Э100, Э125, Э150 значения механических свойств установлены для металла шва и наплавленного металла в состоянии после термической обработки по режимам, регламентированным стандартами или техническими условиями на электрод конкретной марки).

Для сварки теплоустойчивых сталей установлено девять типов электродов (**Э-09М, Э-09МХ, Э-09Х1М, Э-05Х2М, Э-09Х2М1, Э-09Х1МФ, Э-10Х1МНБФ, Э-10Х3М1БФ, Э-10Х5МФ**), для которых регламентированы, как механические свойства металла шва, так и химический состав наплавленного металла.

Для коррозионностойких, жаропрочных и жаростойких сталей с различной структурой и ряда никелевых сплавов ГОСТ 10052 предусматривает 49 типов электродов (**Э-12Х13, Э-06Х13Н, Э-10Х17Т, Э-12Х11НМФ, Э-12Х11НВМФ и др.**) для которых нормированы химический состав и механические свойства металла шва или наплавленного металла, а для ряда типов структура наплавленного металла.

Для наплавочных работ ГОСТ 10051 – 75 установлено сорок четыре типа электродов (**Э-20Х13, Э-65Х11Н10, Э10Х17Т, Э-65Х11Н3, Э-10Х33Н11М3СГ и др.**) Для все типов стандартизирован химический состав наплавленного металла и его твердость при комнатной температуре.

В условном обозначении электродов для сварки углеродистых и низколегированных сталей с временным сопротивлением до 590 Мпа после буквы Е тире не ставят. Приведенное на схеме условное обозначение должно быть указано на этикетке или маркировке коробок, пачек и ящиков с электродами (см. рис. 4).

На рисунке 3 представлен пример условного обозначения.

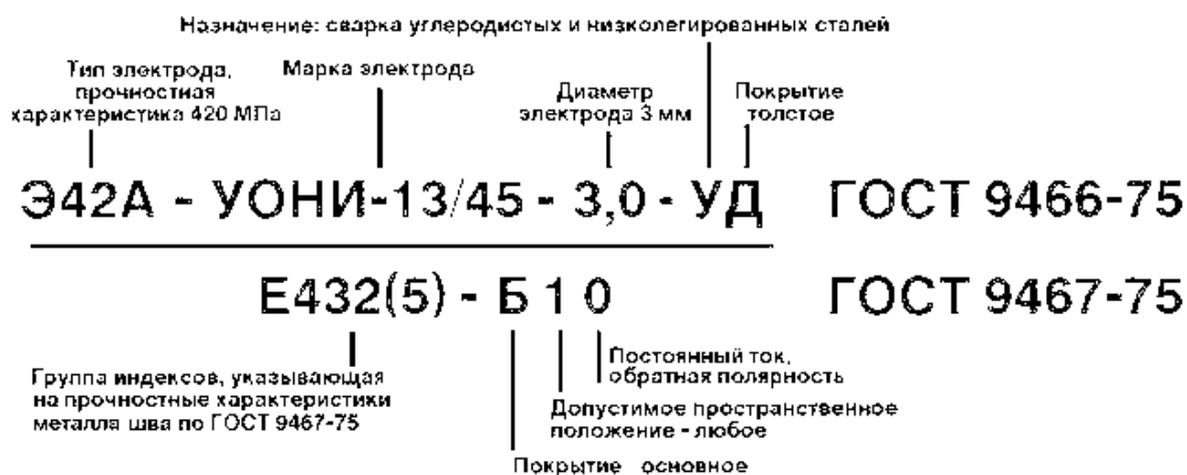


Рисунок 3. Пример условного обозначения электродов на этикетках или маркировке коробок, пачек и ящиков с электродами.

На рисунке 3 указано условное обозначение на электроды типа Э42А по ГОСТ 9467 – 75, марки УОНИ – 13/45, диаметром 3,0 мм, для сварки углеродистых и низколегированных сталей У, с толстым покрытием Д, с установленной по ГОСТ 9467 – 9467 – 75 группой индексов 432(5), указывающих характеристики наплавленного металла и металла шва, с основным покрытием Б, для сварки во все положениях кроме вертикального сверху вниз 2 на постоянном токе обратной полярности 0.

Ниже представлены примеры условных обозначений электродов других марок и назначений.

Э – 09Х1МФ – ТМЛ -3У – 4,0 – ТД
Е – 16–Б20

ГОСТ 9466 – 75, ГОСТ9467 – 75
Электроды типа Э – 09Х1МФ по ГОСТ9467 – 75 марки ТМЛ-3У диаметром 4,0 мм, для сварки теплоустойчивых сталей Т, с толстым покрытием Д, с установленной по ГОСТ 9467-75 группой индексов 16, указывающих характеристики наплавленного металла и металла шва, с основным покрытием Б, для сварки во всех положениях, кроме вертикального сверху вниз 2 на постоянном токе обратной полярности 0.

Э – 10Х25Н13Г2 – ОЗЛ -6 – 5,0 – ВД
Е – 2975–Б20

ГОСТ 9466 – 75, ГОСТ10052 – 75
Электроды типа Э – 10Х25Н13Г2 по ГОСТ10052 – 75 марки ОЗЛ-6 диаметром 5,0 мм, для сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами В, с толстым покрытием Д, с установленной по ГОСТ 10052-75 группой индексов 2975, указывающих характеристики наплавленного металла и металла шва, с основным покрытием Б, для сварки во всех положениях, кроме вертикального сверху вниз 2 на постоянном токе обратной полярности 0.

Э – 65Х11Н3 – ОМГ -Н – 4,0 – НД
Е – 300/33 – 1 – Б40

ГОСТ 9466 – 75, ГОСТ10051 – 75
Электроды типа Э – 65Х11Н3 по ГОСТ10051 – 75 марки ОМГ-Н диаметром 4,0 мм, для наплавки Н, с толстым покрытием Д, с установленной по ГОСТ 10051-75 группой индексов 300/33 – 1, указывающих характеристики наплавленного металла и металла шва, с основным покрытием Б, для наплавки в нижнем положении 4, на постоянном токе обратной полярности 0.

Для прочтения нижней части условного обозначения сварочных электродов, закодированных по вышеуказанным стандартам, удобно использовать схемы, показанные на рисунках 4-6.

Обозначение электрода	Минимальные механические свойства наплавленного металла и металла шва		Минимальная температура T_x , при которой KCV наплавленного металла и металла шва не менее 34 Дж/см ² , °С	Дополнительный индекс, характеризующий T_x	Индекс	Покрытие (виды)
	временное сопротивление σ_B , МПа	относительное удлинение δ_5 , %				
группа индексов	временное сопротивление σ_B , МПа	относительное удлинение δ_5 , %	Минимальная температура T_x , при которой KCV наплавленного металла и металла шва не менее 34 Дж/см ² , °С	Дополнительный индекс, характеризующий T_x	Индекс	Покрытие (виды)
E 370	E 370	Не норм.	Не норм.	0	A	Кислое
E 41 0 E 43 0	410 430	<20	Не норм.	0	B	Основное
E 41 1 E 43 1	410 430	20	+20	1	Ц	Целлюлозное
E 41 2 E 43 2	410 430	22	0	2	P	Рутиловое
E 41 3 E 43 3	410 430	24	-20	3	PЦ, AP и т.п.	Смешанное
E 41 4 E 43 4	410 430	24	-30	4	П	Прочие
E 41 5 E 43 5	410 430	24	-40	5	+Ж	При содержании в покрытии более 20% железного порошка
E 41 6 E 43 6	410 430	24	-50	6		
E 41 7 E 43 7	410 430	24	-60	7		
E 51 0	51 0	<18	Не норм.	0		
E 51 1	51 0	18	+20	1		
E 51 2	51 0	18	0	2		
E 51 3	51 0	20	-20	3		
E 51 4	51 0	20	-30	4		
E 51 5	51 0	20	-40	5		
E 51 6	51 0	20	-50	6		
E 51 7	51 0	20	-60	7		

E 41 2 (5) – B20

Индекс	Положение швов при сварке	Индекс	Полярность постоянного тока	Номинальное $U_{x,x}$ трансформатора, В	Предельное отклонение
1	Все	0	Обратная	—	—
2	Все, кроме вертикального сверху вниз	1	Любая	50	±5
3	Нижнее, горизонтальное и вертикальное снизу вверх	2	Прямая	50	
4	Нижнее	3	Обратная	50	±10
		4	Любая	70	
		5	Прямая	70	
		6	Обратная	70	±5
		7	Любая	90	
		8	Прямая	90	
		9	Обратная	90	

Рисунок 4 Система кодирования электродов для ручной дуговой сварки углеродистых и низколегированных конструкционных сталей по ГОСТ 9466 – 75 и ГОСТ 9467 – 75

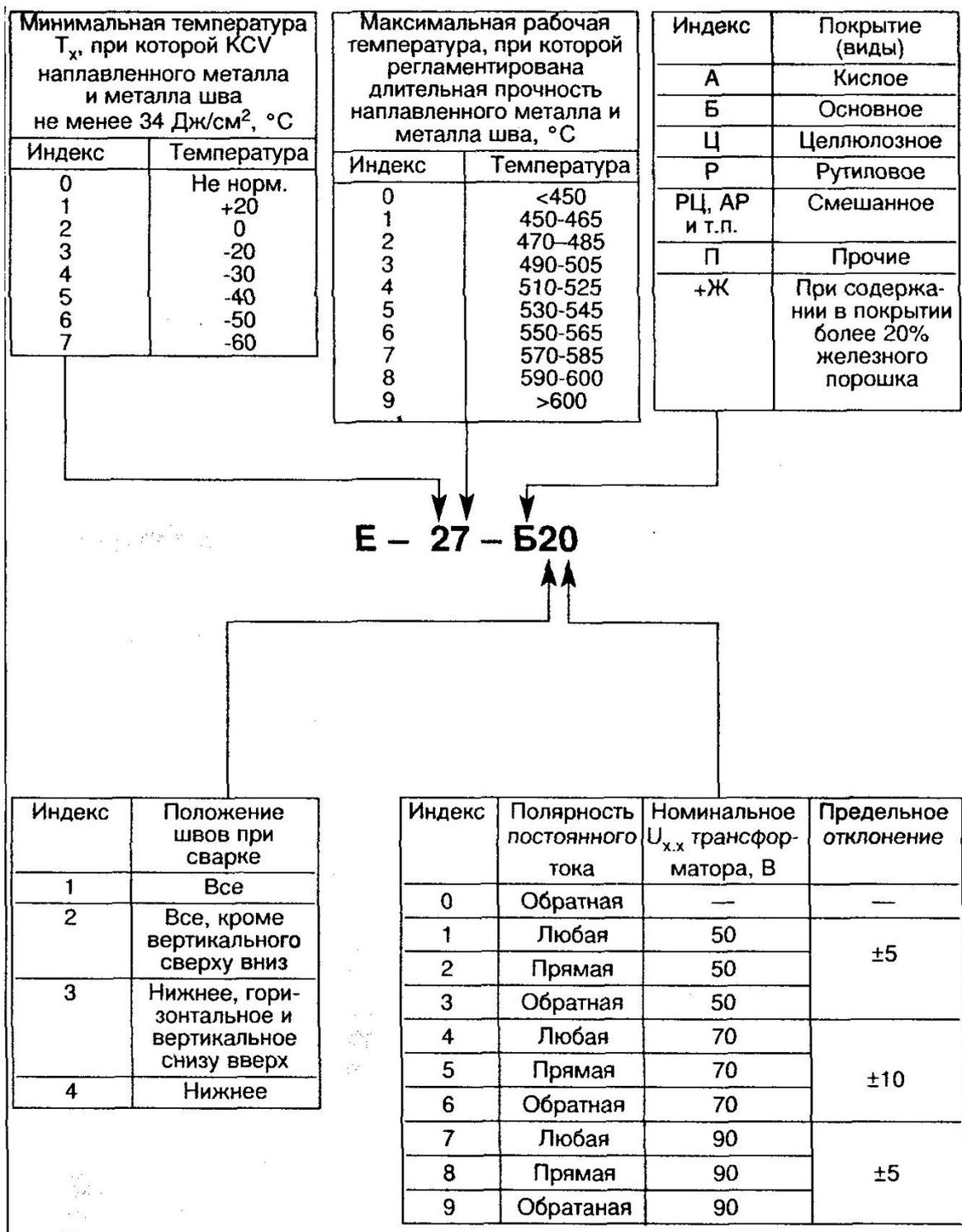


Рисунок 5 Система кодирования электродов для ручной дуговой сварки теплоустойчивых сталей по ГОСТ 9466 – 75 и ГОСТ 9467 – 75

Стойкость наплавленного металла и металла шва против МКК по ГОСТ 6032-2003		Индекс	Максимальная рабочая температура наплавленного металла и металла шва, °С, по:		Содержание ферритной фазы в наплавленном металле, %	
Индекс	Метод		жаропрочности	жаростойкости	Индекс	Содержание фазы
0	Данные отсут.	0	Данные отсут.	Данные отсут.	0	Не норм.
2	АМ или АМУ	1	≤500	≤600	1	0,5-4,0
3	Б	2	510-550	610-650	2	2,0-4,0
4	В или ВУ	3	560-600	660-700	3	2,0-5,5
5	Д	4	610-650	710-750	4	2,0-8,0
		5	660-700	760-800	5	2,0-10,0
		6	710-750	810-900	6	4,0-10,0
		7	760-800	910-1000	7	5,0-15,0
		8	810-850	1010-1100	8	10-20,0
		9	>850	>1100		

E – 2975 – B20

Индекс	Покрытие (виды)	Индекс	Положение швов при сварке	Индекс	Полярность постоянного тока	Номинальное U_{xx} трансформатора, В	Предельное отклонение
А	Кислое	1	Все	0	Обратная	—	—
Б	Основное	2	Все, кроме вертикального сверху вниз	1	Любая	50	±5
Ц	Целлюлозное			2	Прямая	50	
Р	Рутиловое	3	Нижнее, горизонтальное и вертикальное снизу вверх	3	Обратная	50	±10
РЦ, АР и т.п.	Смешанное			4	Любая	70	
П	Прочие	4	Нижнее	5	Прямая	70	±5
+Ж	При содержании в покрытии более 20% железного порошка			6	Обратная	70	
				7	Любая	90	
				8	Прямая	90	
				9	Обратная	90	

Рисунок 6 Система кодирования электродов для ручной дуговой сварки высоколегированных сталей по ГОСТ 9466 – 75 и ГОСТ 10052 – 75

В современных условиях производства сварочных работ, связанных с использованием электродов, изготавливаемых в различных станах, необходимо знание основных систем классификации и кодирования сварочных электродов по международным и зарубежным стандартам. Такими стандартами, с которыми часто приходится встречаться являются Международные стандарты на покрытые электроды. В Евросоюзе все сварочные электроды (как и

проволоки) разделены на четыре группы в зависимости от назначения. Для каждой группы существует отдельный стандарт:

EN ISO 2560-2002 (ранее EN 499:1994). Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки нелегированных мелкозернистых сталей (в Беларуси СТБ ISO 2560-2009, в России ГОСТ Р ИСО 2560-2009);

EN ISO 18275-2005 (ранее EN 758:1997). Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки высокопрочных сталей (в Беларуси СТБ ISO 18275-2014, в России ГОСТ Р ИСО 18275-2009);

EN ISO 3580-2004 (ранее EN 12535:2000). Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки теплоустойчивых сталей (в Беларуси СТБ ISO 3580-2007, в России ГОСТ Р ИСО 3580-2009);

EN ISO 3581-2003 (ранее EN 1600:1997). Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки коррозионностойких и жаростойких сталей (в Беларуси СТБ EN 1600-2002, в России ГОСТ Р ИСО 3581-2009).

Существует определенная корреляция европейской классификации электродов и стандарта ГОСТ 9466-75. Первая группа электродов (ISO 2560) обозначается в стандарте ГОСТ 9466-75 (позиция 4) буквой У, вторая группа (ISO 18275) — Л, третья группа (ISO 3580) — Т, четвертая группа (ISO 3581) — В. Таким образом можно провести определенную аналогию между некоторыми марками отечественных и импортных электродов.

Обозначение электродов по стандартам ISO отличается от ГОСТ 9466-75. Следует отметить, что стандарты ISO допускают два варианта классификации и обозначения одного и того же электрода:

EN ISO 2560 допускает классификацию и обозначение по пределу текучести (система А) или по временному сопротивлению разрыву (система В);

EN ISO 3581 допускает классификацию и обозначение по номинальному составу (система А) и по системе легирования (система В);

EN ISO 3580 разрешает классификацию и обозначение по химическому составу (система А) и по пределу прочности и химическому составу (система В).

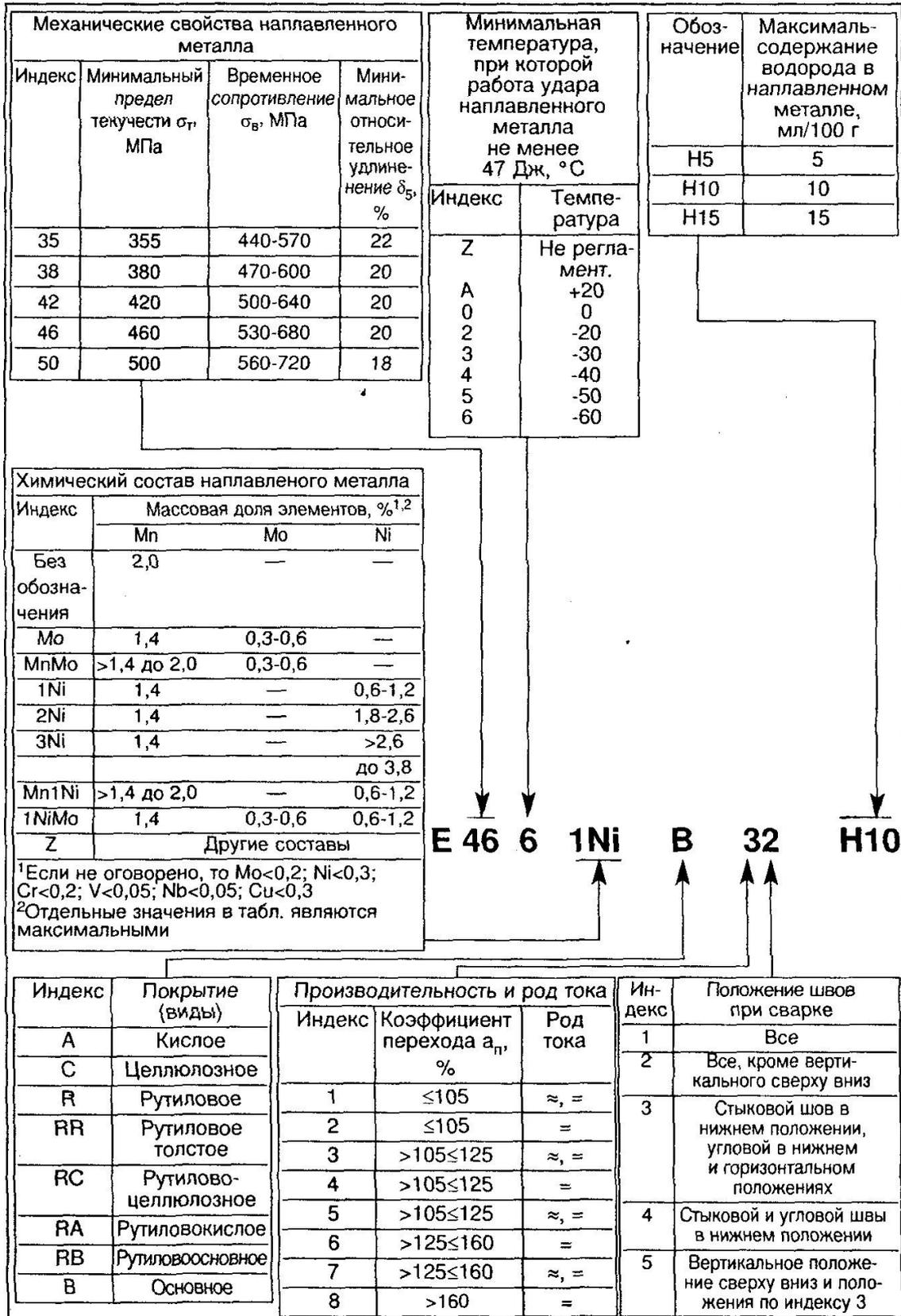


Рисунок 7 Система кодирования электродов для ручной дуговой сварки углеродистых и низколегированных сталей по СТБ ISO 2560-2009

Пример обозначения электрода по СТБ ISO 2560 (EN ISO 2560, ГОСТ Р ISO 2560), классификация по которому приведена на рисунке 7 в системе А (для упрощения пользования настоящим стандартом данная классификация разделена на две части: обязательная часть и дополнительная часть):

СТБ ISO 2560-А-Е 46 3 1Ni В 54 Н5,

где Е — покрытый электрод/ручная дуговая сварка; 46 — предел текучести наплавленного металла 460 Н/мм^2 (МПа) и относительное удлинение; 3 — минимальная температура ($30 \text{ }^\circ\text{C}$), при которой среднее значение работы удара составляет 47 Дж; 1Ni — химический состав чистого наплавленного металла (содержит 1% никеля); 5 — номинальный переход металла в шов (%) и род тока (> 125 , но ≤ 160 , на переменном или постоянном токе); 4 — положение при сварке (нижнее и горизонтально-вертикальное); В — вид покрытия электрода (основной вид); Н5 — содержание водорода в наплавленном металле шва (5 мл/100 г).

Обязательная часть:

СТБ ISO 2560-А-Е 46 3 1Ni В

Пример обозначения электрода по СТБ ISO 2560 (EN ISO 2560, ГОСТ Р ISO 2560) в системе В:

СТБ ISO 2560-В-Е55 18-Н2 А 54 U Н5,

где Е — покрытый электрод/ручная дуговая сварка; 55 — временное сопротивление разрыву при растяжении наплавленного металла в состоянии после сварки и/или при условии термообработки 550 Н/мм^2 (МПа) и работе удара в 27 Дж; 18 — основное покрытие с железным порошком для сварки на переменном и постоянном токе во всех положениях, кроме вертикального положения (сверху вниз); Ni2 — химический состав чистого наплавленного металла (содержит 1% никеля в качестве основного легирующего элемента); Е55 18-Н2 А — полное описание предельных значений химического состава и требований к механическим свойствам (см. табл. СТБ); U — дополнительное требование к работе удара в 47 Дж при температуре, используемой при испытании, для основного требования к работе удара в 27 Дж; Н5 — содержание водорода в наплавленном металле шва (5 мл/100 г).

Обязательная часть:

СТБ ISO 2560-В-Е55 18-Н2 А

2 Оборудование, инструмент, материалы.

1) Пост ручной дуговой сварки со стандартным источником питания постоянного (или переменного) тока, укомплектованный контрольно-измерительной аппаратурой.

2) Пластины из низкоуглеродистых и низколегированных сталей. (Размер 150x70x6).

3) Лупа с пятикратным увеличением.

4) Покрытые металлические электроды для наплавки 2-3-х марок, например, для наплавки марок ОЗН-6 и Т-590 диаметром 4 мм.

Лабораторная работа рассчитана на 4 учебных часа и состоит из двух частей.

I Ознакомление с классификацией и обозначениями покрытых электродов в соответствии с ГОСТ 9466 – 75 и международным стандартом СТВ ISO 2560-2009

Последовательность выполнения работы:

- 1) Ознакомиться с теоретическими сведениями.
- 2) Разобрать пример маркировки электродов.
- 3) Расшифровать маркировку электродов по варианту задания, указанного в таблице 3.

Таблица 3 – Варианты заданий

Вариант 1	Вариант 2
1. <u>Э42А -СМ-11 -3,0 -УД</u> Е 432(3)-Б16	1. <u>Э42А -УОНИ-13/45-2,0 -УД</u> Е412(3)-Б20
2. <u>Э70 -ВФС-75У -4,0 -ЛД</u> Е -11ГМФ -3,0 -Б20	2. <u>Э85 -ВФС-85-3,0 -ЛД</u> Е -09Г2Н1МХ -3,0-Б20
3. <u>Э -09Х1М -ТМЛ -1У-3,0 -ТД</u> Е - 04-Б20	3. <u>Э -04Х20Н9 -ОЗЛ -14А-3,0 -ВД</u> Е - 04-Б20
4. <u>Э -02Х21Н10Г2 -ОЗЛ -22-3,0 -ВД</u> Е - 2006-П10	4. <u>Э -09Х1М -ТМЛ -4В-3,0 -ТД</u> Е - 04-Б20
Вариант 3	Вариант 4
1. <u>Э42 -АНО-5 -4,0 -УД</u> Е 412(5)-РЖ21	1. <u>Э42 -АНО-6 -4,0 -УД</u> Е 412(3)-Р21
2. <u>Э85 -УОНИ-13/85 -2,0 -ЛД</u> Е -12Г2СМ -0 -Б20	2. <u>Э85 -НИАТ-3М -2,0 -ЛД</u> Е -13Г1ХМ -0 -Б20
3. <u>Э -09Х1М -ЦЛ-39-2,5 -ТД</u> Е - 06-Б20	3. <u>Э -09Х1МФ -ТМЛ -3У-3,0 -ТД</u> Е - 06-Б20
4. <u>Э -07Х20Н9 -ОЗЛ -8-3,0 -ВД</u> Е - 2004-Б20	4. <u>Э -04Х20Н9 -ОЗЛ -36-3,0 -ВД</u> Е - 2006-РБ20
Вариант 5	Вариант 6
1. <u>Э42 -ОЗС-23 -4,0 -УД</u> Е 410(3)-Р23	1. <u>Э42 -ВСЦ-4 -3,0 -УС</u> Е 410(3)-Ц14
2. <u>Э100 -ОЗШ-1 -2,0 -ЛД</u> Е -16Г2С1Х1М -0 -Б20	2. <u>Э85 -НИАТ-3М -2,0 -ЛД</u> Е -13Г1ХМ -0 -Б20

3. <u>Э -09МХ -03С-11-3,0 -ТД</u> Е - 03-РБ23	3. <u>Э -09Х1М -ТМЛ-4В-4,0 -ТД</u> Е - 04-Б20
4. <u>Э -07Х20Н9 -03Л -8-4,0 -ВД</u> Е - 2004-Б20	4. <u>Э -04Х20Н9 -03Л -36-3,0 -ВД</u> Е - 2006-РБ20
Вариант 7	Вариант 8
1. <u>Э42 -ОМА-2 -3,0 -УС</u> Е 410-АЦ16	1. <u>Э46-АНО-4 -4,0 -УД</u> Е 432(3)-Р21
2. <u>Э46-03С-6 -4,0 -УД</u> Е 430 -РЖ23	2. <u>Э46 -03С-12 -3,0 -УД</u> Е 430(3) -Р12
3. <u>Э 46 -МР-3-3,0 -УД</u> Е 431(3)-РБ23	3. <u>Э 46 -ВН-48-3,0 -УД</u> Е432(0)-БЖ26
4. <u>Э 46А -УОНИ -13/55К-3,0 -УД</u> Е 433-Б20	4. <u>Э 50 -УОНИ -13/55-3,0 -УД</u> Е 517-Б20
Вариант 9	Вариант 10
1. <u>Э50 -АНО-11 -4,0 -УД</u> Е 515-Б26	1. <u>Э46 -АНО-14 -4,0 -УД</u> Е 431-Р21
2. <u>Э46 -03С-4 -2,0 -УД</u> Е 430(3) -Р25	2. <u>Э46 -03С-21 -2,0 -УД</u> Е 430(4) -АР23
3. <u>Э -02Х21Н10Г2 -03Л-22-3,0 -ВД</u> Е - 2006-П10	3. <u>Э 50А -ЦУ-5-3,0 -УД</u> Е 513(0)-Б20
4. <u>Э -08Х20Н9Г2Б -ЦЛ -11-2,0 -ВД</u> Е - 2005-Б20	4. <u>Э 70 -ВФС -75У-3,0 -ЛД</u> Е - 11ГМФ -3-Б20
Вариант 11	Вариант 12
1. <u>Э46 -АНО-18 -2,0 -УД</u> Е 432(3)-РЖ21	1. <u>Э45 -СК2-50 -3,0 -УД</u> Е 515-Б16
2. <u>Э50-ВСЦ-4А -2,0 -УС</u> Е 515(3) -Ц14	2. <u>Э60 -03С-24 -2,0 -УД</u> Е - 06ГСНЗ -7 -Б20
3. <u>Э 60 -ВФС -65У-4,0 -ЛД</u> Е - 11ГМ -5-Б20	3. <u>Э 60 -ВСЦ -60-4,0 -ЛС</u> Е - 11ГНМ -3-Ц14
4. <u>Э50 -ДСК-50 -4,0 -УД</u> Е 515-Б26	4. <u>Э 100 -ОЗШ -1-4,0 -ЛД</u> Е - 16Г2С1Х1М -0-Б20

II Провести экспериментальную проверку значений отдельных показателей наплавочных электродов, в частности, твердости наплавленного металла и сравнить с твердостью, указанной в группе индексов условного обозначения на данные марки

Последовательность выполнения работы:

- 1) Подготовить пластины к наплавке валиков, предварительно зачистив их до металлического блеска;
- 2) Электроды наплавочные перед сваркой прокалить, согласно режимам, указанным на пачке соответствующих марок;
- 3) Ознакомиться с условными обозначениями, указанными на пачках с наплавочными электродами и обратить внимание на значение твердости;
- 4) Установить требуемый режим наплавки в соответствии с рекомендациями изготовителя данной марки электродов;
- 5) Наплавку произвести в 2-3 слоя каждой маркой электрода на каждую пластину, предназначенную для своей марки;
- 6) После наплавки выполнить плоское шлифование параллельно подложке;
- 7) Определить твердость по методу Роквелла на наплавленной и наплавленной поверхностях образцов;
- 8) Данные всех измерений и результаты расчетов внести в таблицу 4.
- 9) Сделать выводы.

Таблица 4 – Характеристики процесса наплавки

№п/п	Марка наплавляемого электрода и его условное обозначение на пачке	Сила тока, $I_{св}, A$	Напряжение, U_{xx}, B	Твердость по Роквеллу, HRC	Твердость по Роквеллу, HRC, согласно нормативного документа

Вопросы для самопроверки

1. По каким признакам классифицируются электроды для сварки и наплавки?
2. Какие вы знаете ГОСТы на электроды?
3. Как обозначаются типы покрытий электродов?
4. Классификация покрытых металлических электродов для ручной дуговой сварки сталей и наплавки (ГОСТ 9466-75) по толщине покрытия.
5. Классификация покрытых металлических электродов для ручной дуговой сварки сталей и наплавки (ГОСТ 9466-75) по назначению.
6. Классификация покрытых металлических электродов для ручной дуговой сварки сталей и наплавки (ГОСТ 9466-75) по видам покрытия.
7. По каким двум системам может быть классифицирован покрытый электрод согласно международным стандартам?
8. Основные характеристики процесса плавления электрода (электродной проволоки, покрытого металлического электрода) при дуговой сварке.

ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ К ЭКЗАМЕНУ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «СВАРОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ»

1. Технологические и металлургические функции сварочных материалов при дуговой сварке.
2. Образование газовой фазы при ручной дуговой сварке покрытыми электродами и ее характерный состав. Роль газовой фазы в процессе сварки.
3. Взаимодействие металла, расплавленного при ручной дуговой сварке покрытыми электродами, с содержащимся в газовой фазе кислородом. Влияние продуктов окисления стали на качество сварного шва.
4. Взаимодействие металла, расплавленного при ручной дуговой сварке покрытыми электродами, с содержащимся в газовой фазе азотом. Влияние азота на качество сварного шва. Пути снижения содержания азота в металле шва.
5. Взаимодействие металла, расплавленного при ручной дуговой сварке покрытыми электродами, с содержащимся в газовой фазе водородом. Влияние водорода на качество сварного соединения. Пути снижения содержания водорода в металле шва.
6. Раскисление металла (стали) сварочной ванны при ручной дуговой сварке покрытыми электродами.
7. Раскисление металла (стали) сварочной ванны при механизированной сварке в углекислом газе.
8. Легирование металла (стали) сварочной ванны при ручной дуговой сварке покрытыми электродами.
9. Легирование металла (стали) сварочной ванны при механизированной сварке в углекислом газе.
10. Технологические и металлургические функции сварочных материалов при механизированной сварке в углекислом газе.
11. Общая характеристика и области применения способов дуговой сварки в защитном инертном газе. Аргон. Основные свойства и технические требования. Упаковка.
12. Общая характеристика и области применения способов дуговой сварки в углекислом газе. Углекислый газ, основные свойства и технические требования. Упаковка.
13. Общая характеристика и области применения способов дуговой сварки в смесях активных и инертных газов. Состав смеси. Преимущества и особенности сварки.
14. Основные характеристики процесса плавления электрода (электродной проволоки, покрытого металлического электрода) при дуговой сварке.
15. Определение характеристик покрытых электродов и свойств получаемых сварных соединений на основании показателей стандартного условного обозначения электродов для сварки углеродистых и низколегированных сталей.
16. Общие сведения о сварочных проволоках и областях их применения. Электродная и присадочная проволоки. Ручная и механизированная подача проволоки в зону сварки.

17. Стальная сварочная проволока (ГОСТ 2246-70). Основные размеры. Технические требования к поверхности. Условное обозначение марки, проволоки, примеры.
18. Ацетилен. Свойства и способы получения. Оборудование для использования ацетилена на месте производства газопламенных работ.
19. Газы-заменители ацетилена: пропан-бутан, МАФ, водород, пары бензина и керосина. Области и особенности применения.
20. Общие сведения о дуговой сварки и резке с использованием неплавящихся электродов. Требования к материалам электродов.
21. Вольфрамовые электроды, области применения. Основные физические характеристики. Электроды с добавлением редкоземельных элементов.
22. Порошковая проволока для сварки низкоуглеродистых и низколегированных сталей (ГОСТ 26271-84). Основные размеры. Классификация проволоки по условиям применения и допустимым положениям сварки. Подготовка к сварке.
23. Общие сведения о дуговой механизированной сварке и наплавке порошковыми проволоками. Принципиальное строение порошковых проволок.
24. Общие сведения о процессах сварки с использованием флюса и области их применения. Классификация флюсов по способу изготовления.
25. Флюсы для дуговой автоматической сварки низкоуглеродистых и низколегированных сталей. Плавленые флюсы, примеры промышленных марок (ГОСТ 9087-81), рекомендуемые марки проволок. Подготовка к сварке.
26. Строение покрытого металлического электрода для ручной дуговой сварки. Основные составляющие электродного покрытия и их назначение.
27. Виды покрытий металлического электрода для ручной дуговой сварки. Общая характеристика.
28. Покрытые металлические электроды для ручной дуговой сварки сталей и наплавки (ГОСТ 9466-75). Основные размеры. Технические требования к сварочно-технологическим свойствам электродов.
29. Покрытые металлические электроды для ручной дуговой сварки сталей и наплавки (ГОСТ 9466-75). Требования к состоянию поверхности, прочности покрытия и содержанию влаги в покрытии.
30. Классификация покрытых металлических электродов для ручной дуговой сварки сталей и наплавки (ГОСТ 9466-75) по назначению, толщине и видам покрытия.
31. Классификация покрытых металлических электродов для ручной дуговой сварки сталей и наплавки (ГОСТ 9466-75) по допустимым положениям сварки.
32. Классификация покрытых металлических электродов для ручной дуговой сварки сталей и наплавки (ГОСТ 9466-75) по роду и полярности применяемого при сварке тока. Номинальному напряжению холостого хода используемого источника питания сварочной дуги переменного тока.

33. Упаковка, маркировка, транспортирование и хранение покрытых металлических электродов для ручной дуговой сварки сталей и наплавки (ГОСТ 9466-75).
34. Электроды для сварки углеродистых и низколегированных конструкционных сталей с $\sigma_b \leq 60$ кгс/мм² (590 МПа). Типы электродов (ГОСТ 9467-75), требования к механическим свойствам и химическому составу металла шва и наплавленного металла.
35. Электроды для сварки углеродистых и низколегированных сталей с $\sigma_b \leq 60$ кгс/мм² (590 МПа). Примеры промышленных марок электродов Э46, Э42А и Э50А, характеристики, области и особенности применения. Подготовка к сварке.
36. Электроды для сварки теплоустойчивых сталей. Типы электродов (ГОСТ 9467-75). Примеры промышленных марок электродов, характеристики, области и особенности применения. Подготовка к сварке.
37. Электроды для сварки высоколегированных сталей. Типы электродов (ГОСТ 10052-75). Примеры промышленных марок электродов, характеристики, области и особенности применения. Подготовка к сварке.
38. Электроды для сварки разнородных сталей. Примеры промышленных марок электродов для сварки углеродистых и низколегированных сталей с высоколегированными хромоникелевыми сталями. Подготовка к сварке.
39. Электроды для холодной сварки чугуна. Примеры промышленных марок электродов, характеристики, области и особенности применения. Подготовка к сварке.
40. Электроды для сварки алюминия, меди и их сплавов. Примеры промышленных марок электродов, характеристики, области и особенности применения. Подготовка к сварке.
41. Электроды для ручной дуговой наплавки поверхностных слоев. Примеры промышленных марок электродов, характеристики, области и особенности применения. Подготовка к сварке.
42. Электроды для резки металлов. Отличительные особенности электродов от электродов для дуговой сварки. Промышленные марки электродов, области применения.
43. Подготовка покрытых металлических электродов к сварке. Влияние вида упаковки. Условий транспортирования и хранения на содержание влаги в электродном покрытии.
44. Особенности и режимы термообработки (прокалки) электродов с различными видами покрытий перед сваркой.

Белорусский национальный технический университет

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

 О.К. Гусев

24.02.2017

Регистрационный № УД-МТФ34-35/уч.

СВАРОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности
1-36 01 06 «Оборудование и технология сварочного производства»

2017 г.

Учебная программа составлена на основе образовательного стандарта ОСВО 1-36 01 06-2013

СОСТАВИТЕЛЬ:

Н.И.Урбанович, доцент кафедры «Порошковая металлургия, сварка и технология материалов» Белорусского национального технического университета, кандидат технических наук, доцент

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

К.Е. Белявин, заведующий кафедрой «Машины и технология обработки металлов давлением» Белорусского национального технического университета, доктор технических наук, профессор;

О.Г. Девойно, заведующий НИИЛ «Плазменные и лазерные технологии» Белорусского национального технического университета, доктор технических наук, профессор.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой «Порошковая металлургия, сварка и технология материалов» Белорусского национального технического университета (протокол №____ от _____ 201__г.)

Заведующий кафедрой _____ Ф.И. Пантелеенко

Методической комиссией механико-технологического факультета Белорусского национального технического университета (протокол №____ от _____ 2017г.)

Председатель методической комиссии _____ Н.И. Иваницкий

Научно-методическим советом Белорусского национального технического университета (протокол №____ секции №1 от _____ 201_г.)

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Учебная программа по учебной дисциплине «Сварочные материалы» разработана для специальности 1-36 01 06 «Оборудование и технология сварочного производства».

Целью изучения учебной дисциплины является подготовка студентов, позволяющая технически и экономически обоснованно выбирать и применять сварочные материалы с учетом свойств свариваемого металла, вида и назначения конструкций и условий производства.

Основными задачами преподавания учебной дисциплины являются: ознакомление с используемыми при сварке плавлением сварочными материалами, изучение их составов, способов получения, характеристик и особенностей применения при сварке различных металлов и сплавов; приобретение студентами умения и навыков самостоятельной работы со специальной технической литературой и нормативными документами для решения вопросов, связанных с выбором, подготовкой и применением сварочных материалов.

Учебная дисциплина базируется на знаниях, полученных при изучении естественнонаучных и общепрофессиональных дисциплин: «Физика», «Химия», «Технология материалов», взаимосвязанных со специальными дисциплинами: «Теория сварочных процессов», «Металловедение сварки». Знания и умения, полученные студентами при изучении данной дисциплины, необходимы для освоения последующих специальных дисциплин, связанных с разработкой технологии изготовления разнообразных конструкций, выполняемых с применением сварки (наплавочных работ).

В результате изучения учебной дисциплины «Сварочные материалы» студент должен:

знать:

- основные металлургические процессы, сопровождающие сварку плавлением;
- особенности прохождения металлургических процессов при сварке с применением различных сварочных материалов;
- основные виды сварочных материалов, их строение, свойства и способы получения; стандартные требования к материалам, условные обозначения;
- применяемые в Республике Беларусь отечественные и зарубежные промышленные марки сварочных материалов, основные характеристики, области и особенности применения;
- влияние сварочных материалов на производство работ и качество сварных соединений;
- действующие в Республике Беларусь стандарты на сварочные материалы;

уметь:

- оценивать возможность применения сварочного материала для сварки конкретной конструкции в реальных условиях производства;

- выбирать вид и рациональную марку сварочного материала, обеспечивающую эффективное прохождение сварочного процесса и получение сварного соединения с требуемыми свойствами;
- прогнозировать возможные последствия в случае неправильного выбора сварочного материала и наличия технологических нарушений, допущенных при входном контроле, хранении и подготовке материала к сварке;
- определять характеристики сварочных материалов по показателям их условного обозначения;
- самостоятельно пользоваться специальной литературой и нормативными документами по сварочным материалам.

владеть:

- способами и методами рационального выбора сварочных материалов.

Освоение данной учебной дисциплины обеспечивает формирование следующих компетенций:

АК-1. Уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач.

АК-3. Владеть исследовательскими навыками.

АК-4. Уметь работать самостоятельно.

АК-6. Владеть междисциплинарным подходом при решении проблем.

АК-9. Уметь учиться, повышать свою квалификацию в течение всей жизни.

СЛК-2. Быть способным к социальному взаимодействию.

СЛК-3. Обладать способностью к межличностным коммуникациям.

СЛК-6. Уметь работать в коллективе.

ПК-1. Приобретать новые знания в производственно-технологической области сварочного производства, используя современные информационные технологии.

ПК-5. Управлять технологическими процессами и решать задачи по их оптимизации.

ПК-10. Анализировать направления сварочного производства, осваивать достижения науки в области сварки.

ПК-11. Анализировать и обрабатывать результаты научно-исследовательской деятельности, подготавливать к печати научные статьи, сообщения, рефераты.

ПК-13. Проводить патентно-информационный поиск, осуществлять рационализаторскую и изобретательскую деятельность в составе коллектива специалистов или самостоятельно.

Согласно учебным планам на изучение учебной дисциплины отведено:

- для очной формы получения высшего образования всего 150 ч., из них аудиторных - 68 часов;

- для заочной формы получения высшего образования всего 150 ч., из них аудиторных - 12 часов.

Распределение аудиторных часов по курсам, семестрам и видам занятий приведено ниже.

Таблица 1.

Очная форма получения высшего образования					
Курс	Семестр	Лекции, ч.	Лабораторные занятия, ч.	Практические занятия, ч.	Форма текущей аттестации
3	6	51	17	--	зачет

Таблица 2.

Заочная форма получения высшего образования					
Курс	Семестр	Лекции, ч.	Лабораторные занятия, ч.	Практические занятия, ч.	Форма текущей аттестации
3	5	2	--	--	
3	6	6	4	--	зачет

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Раздел I. Роль сварочных материалов в сварочном производстве

Тема 1.1. Введение

Общие сведения о сварочных материалах. Краткая история и современное состояние производства сварочных материалов в мире и Республике Беларусь и перспективах их развития.

Тема 1.2. Значение сварочных материалов в сварочном производстве

Технологические и металлургические функции сварочных материалов. Влияние сварочных материалов на процессы сварки и эксплуатационные свойства сварных соединений. Условная классификация сварочных материалов.

Раздел II. Защитные газы для дуговой сварки

Тема 2.1. Инертные защитные газы

Общие сведения о дуговой сварке в защитном газе. Инертные газы, общая характеристика. Аргон, гелий. Свойства и способы получения. Стандарты на газы, технические требования, упаковка и хранение. Области применения.

Тема 2.2. Активные газы, общая характеристика

Углекислый газ. Свойства и способы получения. Стандарт на газ, технические требования, упаковка и хранение. Области применения. Металлургические процессы, протекающие в расплавленном металле при использовании углекислого газа. Металлургические процессы, протекающие в расплавленном металле при использовании углекислого газа. Кислород. Свойства и способы получения. Стандарты на газ, технические требования, упаковка и хранение. Области применения. Азот, водород. Свойства, технические требования, упаковка и хранение, области применения.

Тема 2.3. Смеси газов

Смеси инертных газов, активных газов, инертных и активных газов. Преимущества, области и особенности применения смесей при сварке.

Раздел III. Сварочные проволоки и прутки

Тема 3.1. Стальная сварочная проволока

Общие сведения о сварочных проволоках и прутках и областях их применения. Электродная и присадочная проволоки. Стальная сварочная проволока. Стандарты на проволоку, основные параметры и размеры. Марки, условное обозначение марок, примеры распространенных марок проволоки, области применения; требования к химическому составу и состоянию

поверхности. Классификация проволок по назначению, уровню легирования, виду поверхности. Упаковка и хранение, подготовка к сварке.

Тема 3.2. Сварочная проволока из алюминия и алюминиевых сплавов

Сварочная проволока из алюминия и алюминиевых сплавов. Стандарт на проволоку, основные параметры и размеры. Марки, условное обозначение марок, примеры распространенных марок, области применения. Упаковка и хранение, подготовка к сварке.

Тема 3.3. Сварочная проволока и прутки из меди и сплавов на медной основе

Сварочная проволока и прутки из меди и сплавов на медной основе. Стандарты на проволоку и прутки, основные параметры и размеры. Марки, примеры распространенных марок, области применения. Упаковка и хранение, подготовка к сварке.

Тема 3.4. Сварочная проволока из титана и титановых сплавов

Сварочная проволока из титана и титановых сплавов. Стандарты на проволоку, основные параметры и размеры. Марки, примеры марок. Упаковка и хранение, подготовка к сварке.

Тема 3.5. Прутки для наплавки

Прутки для наплавки, стандарт на прутки, основные параметры и размеры. Марки, примеры марок, химический состав и назначение.

Раздел IV Покрытые металлические электроды для ручной дуговой сварки и наплавки

Тема 4.1. Строение покрытого электрода. Виды покрытий

Общие сведения о ручной дуговой сварке и наплавке. Строение электрода. Технологические и металлургические функции электрода, основные составляющие электродного покрытия, обеспечивающие их выполнение. Виды покрытий, характеристика, особенности прохождения некоторых процессов при сварке и различными видами покрытий.

Тема 4.2. Классификация покрытых электродов

Покрытые электроды для сварки сталей и наплавки. Стандарты на электроды, основные параметры и размеры, технические требования. Характеристика плавления электродов и производительность наплавки. Классификация электродов по назначению, толщине и видам покрытия, допустимым положениям сварки (или наплавки), роду и полярности применяемого при сварке (или наплавке) тока, номинальному напряжению холостого хода используемого источника питания сварочной дуги переменного тока, типам и маркам. Условные обозначения электродов, примеры. Упаковка, хранение, подготовка к сварке (общие сведения).

Тема 4.3. Электроды для сварки углеродистых и низколегированных конструкционных сталей с временным сопротивлением разрыву до 60 кгс/мм² (590 МПа)

Электроды для сварки углеродистых и низколегированных конструкционных сталей с временным сопротивлением разрыву до 60 кгс/мм² (590 МПа). Типы электродов, стандарт на типы электродов, требования к механическим свойствам и химическому составу металла шва, сварного соединения и наплавленного металла. Промышленные марки электродов, характеристики, области и особенности применения

Тема 4.4. Электроды для сварки легированных конструкционных сталей с временным сопротивлением разрыву свыше 60 кгс/мм² (590 МПа) и теплоустойчивых сталей

Электроды для сварки легированных конструкционных сталей с временным сопротивлением разрыву свыше 60 кгс/мм² (590 МПа) и теплоустойчивых сталей. Типы электродов, требования к механическим свойствам и химическому составу шва, сварного соединения и наплавленного металла. Промышленные марки электродов, характеристики, области и особенности применения.

Тема 4.5. Электроды для сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами и разнородных сталей

Электроды для сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами. Типы электродов, стандарт на типы электродов, требования к химическому составу и содержанию ферритной фазы, механическим свойствам металла шва и наплавленного металла. Промышленные марки электродов, характеристики, области и особенности применения. Электроды для сварки разнородных сталей. Особенности сварки разнородных металлов. Промышленные марки электродов, характеристики, области применения.

Тема 4.6. Электроды для сварки чугуна

Электроды для горячей и холодной сварки чугуна. Промышленные марки электродов, характеристики, области и особенности применения.

Тема 4.7. Электроды для сварки цветных металлов

Электроды для сварки цветных металлов (алюминия, меди, никеля и их сплавов). Промышленные марки электродов, характеристики, области и особенности применения.

Тема 4.8. Электроды для наплавки поверхностных слоев

Электроды для наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами. Типы электродов, стандарт на типы электродов. Промышленные марки электродов, характеристики, области и особенности применения.

Тема 4.9. Электроды для подводной сварки и резки металлов

Электроды для подводной сварки. Электроды для резки металлов, особенности строения и состава покрытия. Промышленные марки электродов, характеристики, области применения.

Тема 4.10. Подготовка электродов к сварке

Подготовка электродов к сварке. Влияние вида упаковки и условий хранения на качество электродов и содержание влаги в покрытиях. Особенности и режимы термообработки (прокалки) электродов с различными видами покрытий перед сваркой. Входной контроль качества электродов.

Раздел V. Сварочные флюсы

Тема 5.1. Общие сведения о способах сварки с использованием флюса.

Классификация флюсов

Общие сведения о способах сварки с использованием флюса. Классификация флюсов по способу изготовления и химическому составу. Технологические и металлургические функции флюсов. Требование определенного сочетания типа флюса и марки (химического состава) сварочной проволоки. Упаковка и хранение флюсов.

Тема 5.2. Флюсы для дуговой механизированной сварки сталей

Флюсы для дуговой механизированной сварки низкоуглеродистых и низколегированных сталей, легированных и высоколегированных сталей. Стандарты на флюсы. Примеры промышленных марок флюсов, области и особенности применения.

Тема 5.3. Флюсы для дуговой, электрошлаковой и газовой сварки цветных металлов

Флюсы для дуговой и газовой сварки цветных металлов и сплавов; флюсы для электрошлаковой сварки. Особенности составов флюсов, примеры промышленных марок флюсов

Раздел VI. Порошковые проволоки и ленты

Тема 6.1. Характеристика порошковых проволок. Конструкция, классификация и типы

Общие сведения о способах дуговой сварки и наплавке порошковыми проволоками и лентами. Принципиальное строение порошковых проволок и лент, технологические и металлургические функции. Конструкции оболочек, основные составляющие порошка-наполнителя проволоки и ленты, коэффициент заполнения. Производство порошковой проволоки, общие сведения.

Тема 6.2. Порошковая проволока для сварки низкоуглеродистых и низколегированных сталей

Порошковая проволока для сварки низкоуглеродистых и низколегированных сталей. Стандарты на проволоку, основные параметры и размеры, технические требования. Классификация проволоки по условиям применения, допустимым положениям сварки, условиям формирования сварного шва, механическим свойствам металла шва и химическому составу наплавленного металла. Упаковка и хранение, подготовка к сварке. Примеры промышленных марок порошковых проволок, характеристики, области и особенности применения.

Тема 6.3. Порошковые проволоки для сварки легированных и высоколегированных сталей, чугуна и специального назначения

Порошковые проволоки для сварки легированных и высоколегированных сталей, чугуна. Проволоки для резки металлов и подводной сварки, марки.

Тема 6.4. Порошковые проволоки и ленты для наплавки

Порошковая проволока для наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами. Стандарты на проволоку. Основные параметры и размеры, технические требования. Конструкции оболочек проволоки, классификация. Примеры промышленных марок проволоки, области применения. Порошковые ленты для наплавки. Стандарты, основные параметры и размеры, классификация. Примеры промышленных марок лент, области применения.

Раздел VII. Неплавящиеся электроды

Тема 7.1. Общие сведения о дуговой сварке и резке с использованием неплавящихся электродов. Электроды из углеродистых веществ

Общие сведения о дуговой сварке и резке с использованием неплавящихся электродов, технологические функции электродов. Требования к материалам электродов. Электроды из углеродистых веществ, характеристики, области применения.

Тема 7.2. Вольфрамовые электроды

Вольфрамовые электроды, характеристики. Особенности применения электродов. Электроды с добавками оксидов редкоземельных элементов. Стандарты на электроды. Основные параметры и размеры. Требования к состоянию поверхности. Области и особенности применения.

Раздел VIII. Горючие газы

Тема 8.1. Общие сведения о процессах газопламенной обработки металлов

Общие сведения о процессах газопламенной обработки металлов, технологические функции газов, требования к газам.

Тема 8.1. Общие сведения о процессах газопламенной обработки металлов

Ацетилен. Свойства и способы получения. Области и особенности применения. Газы - заменители ацетилена, характеристики, области и особенности применения.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
очная форма получения высшего образования

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	6 семестр							
1.	Роль сварочных материалов в сварочном производстве	2						
1.1	Введение	1						
1.2	Значение сварочных материалов в сварочном производстве	1						
2.	Защитные газы для дуговой сварки	5						
2.1	Инертные защитные газы	2						
2.2	Активные газы, общая характеристика	2						
2.3	Смеси газов	1						
3.	Сварочные проволоки и прутки	10			4			Отчет по лабораторной работе с ее устной защитой
3.1	Стальная сварочная проволока	4			4			
3.2	Сварочная проволока из алюминия и алюминиевых сплавов	2						
3.3	Сварочная проволока и прутки из меди и сплавов на	2						

	медной основе							
3.4	Сварочная проволока из титана и титановых сплавов	1						
3.5	Прутки для наплавки	1						
4.	Покрытые металлические электроды для ручной дуговой сварки и наплавки	20			9			Отчет по лабораторной работе с ее устной защитой
4.1	Строение покрытого электрода. Виды покрытий	4						
4.2	Классификация покрытых электродов	4			3			
4.3	Электроды для сварки углеродистых и низколегированных конструкционных сталей с временным сопротивлением разрыву до 60 кгс/мм ² (590 МПа)	2			4			
4.4	Электроды для сварки легированных конструкционных сталей с временным сопротивлением разрыву свыше 60 кгс/мм ² (590 МПа) и теплоустойчивых сталей	2			2			
4.5	Электроды для сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами и разнородных сталей	3						
4.6	Электроды для сварки чугуна	1						
4.7	Электроды для сварки цветных металлов	1						
4.8	Электроды для наплавки поверхностных слоев	1						
4.9	Электроды для подводной сварки и резки металлов	1						
4.10	Подготовка электродов к сварке	1						
5.	Сварочные флюсы	4						
5.1	Общие сведения о способах сварки с использованием флюса. Классификация флюсов	2						
5.2	Флюсы для дуговой механизированной сварки сталей	1						
5.3	Флюсы для дуговой, электрошлаковой и газовой сварки цветных металлов	1						

6.	Порошковые проволоки и ленты	5			4			Отчет по лабораторной работе с ее устной защитой
6.1	Характеристика порошковых проволок. Конструкция, классификация и типы	2						
6.2	Порошковая проволока для сварки низкоуглеродистых и низколегированных сталей	1			4			
6.3	Порошковые проволоки для сварки легированных и высоколегированных сталей, чугуна и специального назначения	1						
6.4	Порошковые проволоки и ленты для наплавки	1						
7.	Неплавящиеся электроды	3						
7.1	Общие сведения о дуговой сварке и резке с использованием неплавящихся электродов. Электроды из углеродистых веществ	2						
7.2	Вольфрамовые электроды	1						
8.	Горючие газы	2						
8.1	Общие сведения о процессах газопламенной обработки металлов	1						
8.2	Ацетилен и заменители ацетилена	1						
	Итого за семестр	51			17			зачет

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
заочная форма получения высшего образования¹

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	5 семестр							
1.	Роль сварочных материалов в сварочном производстве	2						
1.1	Введение	1						
1.2	Значение сварочных материалов в сварочном производстве	1						
	Итого за семестр	2						
	6 семестр							
2	Защитные газы для дуговой сварки	1						
3	Сварочные проволоки и прутки	1						
4	Покрытые металлические электроды для ручной дуговой сварки и наплавки	2			4			Отчет по лабораторной работе с ее устной защитой
5	Сварочные флюсы	1						
6	Порошковые проволоки и ленты для наплавки	1						
	Итого за семестр	8						зачет
	Всего аудиторных часов			12				

¹ Темы учебного материала, не указанные в Учебно-методической карте, отводятся на самостоятельное изучение студентом.

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Список литературы

Основная литература

1. Сварочные материалы для дуговой сварки: Справочное пособие. В 2-х т. Т.1. Защитные газы и сварочные флюсы / Б.П. Конищев, С.А. Курланов, Н.Н. Потапов и др.; под общ. ред. Н.Н.Потапова. – М.: Машиностроение, 1989. – 544 с.
2. Сварочные материалы для дуговой сварки: Справочное пособие. В 2-х т. Т.2. Сварочные проволоки и электроды / Н.Н.Потапов, Д.Н.Баранов, О.С.Каковкин и др.; под общ. ред. Н.Н.Потапова. – М.: Машиностроение, 1993. – 768 с.
3. Жизняков, С.Н. Ручная дуговая сварка. Материалы. Оборудование. Технология /С.Н. Жизняков, З.А. Сидлин. – Киев: Экотехнология, 2006. – 368 с. (или - М.: ЦТТ ИЭС им. Е.А.Патона, 2007. – 360 с.).
4. Сварка в машиностроении: Справочник. В 4-х т. Т. 2.; под ред. А.И.Акулова. – М.: Машиностроение, 1978, – 462 с.
5. Порошковые проволоки для электродуговой сварки: Каталог-справочник; под ред. акад. Б.Е.Патона, - Киев: Наук. думка, 1980, - 180 с.
6. Трущенко, Е.А. Сварочные материалы: учебное пособие / Е.А. Трущенко; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 143 с.
7. Борд, Н.Ю. Сварочные электроды и проволока: конструирование и применение: монография/ Н.Ю. Борд, В.К. Шелег, К.Е. Белявин. – Мн.: Медиосент, 2006. – 320 с. ISDN 985-6530-33-4

Дополнительная литература

8. Сидлин, З.А. Производство электродов для ручной дуговой сварки / З.А. Сидлин - Киев: Экотехнология, 2009. – 644 с.
9. Стандарты на сварочные материалы. Каталоги, информационные листки и другая справочная литература по сварочным материалам организаций и предприятий-производителей материалов.

Средства диагностики результатов учебной деятельности

Оценка уровня знаний студента производится по десятибалльной шкале в соответствии с критериями, утвержденными Министерством образования Республики Беларусь.

Для оценки достижений студента рекомендуется использовать следующий диагностический инструментарий:

– проведение текущих контрольных работ (заданий) по отдельным темам;

- защита выполненных на лабораторных занятиях индивидуальных заданий;
- собеседование при проведении индивидуальных и групповых консультаций;
- выступление студента на конференции по подготовленному реферату;
- сдача зачета по дисциплине.

Перечень тем лабораторных работ

1. Изучение сварочно-технологических свойств и основных характеристик плавления покрытых металлических электродов для ручной дуговой сварки различных марок
2. Изучение сварочно-технологических свойств и основных характеристик плавления сварочных материалов, используемых при механизированной сварке плавящимся электродом в защитном газе разного состава.
3. Изучение сварочно-технологических свойств и основных характеристик плавления порошковой проволоки различных марок, используемых при механизированной сварке со свободным формированием шва.
4. Определение характеристик покрытых металлических электродов для ручной дуговой сварки по показателям условных обозначений отечественных и зарубежных стандартов с экспериментальной проверкой значений отдельных показателей.

Тематика рефератов

1. История развития сварки.
2. Промышленное производство покрытых электродов.
3. Производство порошковой проволоки.
4. Сварочные материалы для трубопроводного строительства.
5. Сварочные материалы для подводной сварки.
6. Сварочные материалы для разнородных сталей.
7. Условия хранения и подготовка к сварке покрытых электродов.

Перечень контрольных вопросов и заданий для самостоятельной работы студентов

1. Технологические и металлургические функции сварочных материалов при дуговой сварке.
2. Основные характеристики процесса плавления электрода (электродной проволоки, покрытого металлического электрода) при дуговой сварке.
3. Стальная сварочная проволока (ГОСТ 2246-70). Основные размеры. Технические требования к поверхности. Условное обозначение марки, проволоки, примеры.
4. Вольфрамовые электроды, области применения. Основные физические характеристики. Электроды с добавлением редкоземельных элементов.

5. Порошковая проволока для сварки низкоуглеродистых и низколегированных сталей (ГОСТ 26271-84). Основные размеры. Классификация проволоки по условиям применения и допустимым положениям сварки. Подготовка к сварке.
6. Покрытые металлические электроды для ручной дуговой сварки сталей и наплавки (ГОСТ 9466-75). Основные размеры. Технические требования к сварочно-технологическим свойствам электродов.
7. Флюсы для дуговой автоматической сварки низкоуглеродистых и низколегированных сталей. Плавленые флюсы, примеры промышленных марок (ГОСТ 9087-81), рекомендуемые марки проволок. Подготовка к сварке.

Методические рекомендации по организации и выполнению самостоятельной работы студентов

При изучении дисциплины рекомендуется использовать следующие формы самостоятельной работы:

- подготовка рефератов по индивидуальным темам, в том числе с использованием патентных материалов.
- проработка тем (вопросов), вынесенных на самостоятельное изучение.
- подготовка сообщений, тематических докладов, презентаций по заданным темам.