

1 КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРОДОВ

В Российской Федерации действуют следующие стандарты на сварочные и наплавочные электроды:

1.ГОСТ 9466-75 «Электроды, покрытые металлические для ручной дуговой сварки сталей и наплавки. Классификация, размеры и общие технические требования».

2.ГОСТ 9467-75 «Электроды, покрытые металлические для ручной дуговой сварки конструкционных и теплоустойчивых сталей. Типы».

3.ГОСТ 10052-75 «Электроды, покрытые металлические для ручной дуговой сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами. Типы».

4.ГОСТ 10051-75 «Электроды, покрытые металлические для ручной дуговой наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами. Типы».

В соответствии с требованиями ГОСТ9466-75 сварочные и наплавочные электроды классифицируют по назначению, типам, маркам, толщине электродного покрытия, видам покрытия, качеству изготовления, допустимым пространственным положениям сварки, характеристикам сварочного тока.

По назначению их подразделяют:

- для сварки углеродистых низколегированных конструкционных сталей с временным сопротивлением разрыву до 590 МПа (60 кгс/мм²);

- для сварки легированных конструкционных сталей с временным сопротивлением разрыву свыше 590 МПа (60 кгс/мм²), буква А после цифр, если она есть, указывает на повышенные пластические свойства шва;

- для сварки легированных теплоустойчивых сталей;

- для сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами;

- для наплавки поверхности слоев с особыми свойствами.

Подразделяются электроды на типы (ГОСТ 9467-75, ГОСТ 10051-75 и ГОСТ 10052-75). Обозначение типа электрода состоит из индекса Э (электроды для ручной дуговой сварки и наплавки) и следующих за ним цифр и букв. У электродов для сварки конструкционных сталей две или три цифры в обозначении указывают временное сопротивление разрыву металла шва в кгс/мм². Для прочих электродов две или три цифры, следующие за индексом, указывают среднее содержание углерода в наплавленном металле в сотых долях процента. Химические элементы, содержащиеся в направленном металле, обозначены аналогично маркировке сталей и сварочных проволок следующими буквами: А – азот; Б – ниобий; В – вольфрам; Г – марганец; Д – медь; К – кобальт; М – молибден; Н – никель; Р – бор; С – кремний; Т – титан; Ф – ванадий; Х – хром.

Цифры, следующие за буквенными обозначениями химических элементов, указывают среднее содержание элементов в процентах. После буквенного обозначения химических элементов, среднее содержание которых в наплавленном металле не более 1,5%, цифры не ставятся. При среднем со-

держании в наплавленном металле кремния 0,8% и марганца до 1% буквы С и Г не ставятся.

Подразделение электродов на марки осуществляют в соответствии с паспортами и техническими условиями организаций – разработчиков и изготовителей. Каждому типу электродов может соответствовать одна или несколько марок. По принятой практике обозначение марки электродов состоит из буквенной и цифровой частей. В первой из них в закодированном виде представлено, как правило, наименование организации – разработчика: например, электроды ОЗС, ОЗЛ, ОЗР – Московский опытный сварочный завод (общего назначения, высоколегированные, для резки соответственно); электроды АНО, АНВ – институт электросварки им. Е.О.Патона АН УССР (общего назначения, высоколегированные); электроды ЦТ, ЦН, ЦЛ – ЦНИИТ-маш и т.п. Цифровая часть представляет собой порядковый номер электрода в соответствующей группе и не несёт другой смысловой нагрузки, за исключением электродов серии УОНИ-13 и УП, где обозначает среднее значение временного сопротивления разрыву металла шва в кгс/мм².

По толщине покрытия в зависимости от отношения диаметра электрода с покрытием к номинальному диаметру электрода (определяемый диаметр стержня - D/d) электроды подразделяются:

- с тонким покрытием ($D/d \leq 1/2$);
- со средним покрытием ($1,2 D/d \leq 1,45$);
- с толстым покрытием ($1,45 D/d \leq 1,8$);
- с особо толстым покрытием ($D/d > 1,8$).

Существуют следующие виды покрытий: кислое, основное, целлюлозное, рутиловое, смешанное, специальное. Наличие в обозначении вида покрытия буквы Ж свидетельствует о присутствии в составе покрытия железного порошка в количестве более 20%. В технической литературе вместо термина «вид покрытия» встречаются термин «тип покрытия», что не следует смешивать с типом электрода.

В зависимости от требований, предъявляемых качеству (точность изготовления, состояние поверхности покрытия, сплошность выполненного данными электродами металла шва и содержание серы и фосфора в наплавленном металле), электроды подразделяются на группы в порядке возрастания качества: 1,2 и 3. На разных заводах – изготовителях электроды одной и той же марки могут изготавливаться по разным группам качества, которые устанавливаются при аттестации электродов. Отечественная промышленность выпускает как правило, электроды только первой группы. Стандартом нормируются предельные отклонения электродов по длине, их кривизна, состояние поверхности, прочность покрытия и концентричность его нанесения, обязательные требования к сварочно-технологическим свойствам электродов. На практике определяющим является требование по концентричности покрытия.

По допустимым пространственным положениям сварки электроды подразделяются: для всех положений; для всех положений, кроме вертикального сверху вниз; для нижнего, горизонтального на вертикальной плоскости и вертикального снизу вверх; для нижнего и нижнего в лодочку.

По роду и полярности применяемого при сварке тока, а также по номинальному напряжению холостого хода используемого источника питания сварочной дуги переменного тока частотой 50 Гц электроды подразделяются на 10 групп.

В ГОСТ 9466-75 установлена структура условного обозначения электродов, указываемого на сопроводительных этикетках или в маркировке коробок, пачек и ящиков с электродами.

Электроды для сварки углеродистых, низколегированных и легированных конструкционных и легированных теплоустойчивых сталей поставляются по ГОСТ 9467-75. В зависимости от требований к показателям прочности и пластичности металла шва стандартизировано 14 типов электродов для конструкционных сталей. При этом химический состав наплавленного металла стандартом не нормируется, за исключением предельного содержания ведущих примесей – серы и фосфора. Стандартизировано также 9 типов электродов для сварки легированных теплоустойчивых сталей, для которых нормированы механические свойства металла шва и химический состав наплавленного металла.

Электроды для сварки коррозионно-стойких, жаропрочных и жаростойких высоколегированных сталей мартенситного, мартенсито-ферритного, аустенито-ферритного и аустенитного классов поставляются по ГОСТ 10052-75, который предусматривает 49 основных типов электродов. Для этих электродов нормируются химический состав наплавленного металла и механические свойства металла шва, а для ряда типов – содержание ферритной фазы в наплавленном металле.

Электроды для наплавки выпускают по ГОСТ 10051-75, которым нормировано 44 типа электродов различного химического состава и твёрдости наплавленного металла.

Кроме электродов, охватываемых вышеперечисленными стандартами, в химическом машиностроении применяют специальные электроды широкой номенклатуры, требования к которым регламентированы специальными техническими условиями.

2 ТРЕБОВАНИЯ К ЭЛЕКТРОДАМ

Применяемые в отрасли электроды должны удовлетворять требованиям соответствующих стандартов или технических условий. Каждая поступающая на завод-потребитель партия электрода должна иметь сопроводительный документ (сертификат), удостоверяющий соответствие поставленных партий электродов требованиям нормативной документации. Электроды типов, предусмотренных стандартами, должны обеспечивать механический

свойства металла шва, соответствующие требованиям стандартов к этим типам. При нормальной температуре механические свойства металла шва, выполненного другими электродами, при сварке сосудов и аппаратов должны отвечать требованиям, указанным в табл. 1.

Вне зависимости от наличия сертификата каждая партия электродов подвергается контрольным испытаниям для определения сварочных-технологических свойств.

На заводе-потребителе электроды должны храниться отдельно по маркам, партиям и диаметрам на специальных стеллажах в сухих отапливаемых помещениях. Наиболее рационально хранение электродов в герметичной упаковке или таре. Температура в помещении должна быть не ниже 15°C, относительная влажность не выше 60%. Для получения требуемой относительности влажности рекомендуется применение кондиционеров. Хранение допускается в штабелях высотой 1м и массой до 1т.

При хранении аустенитных электродов в указанных условиях более трёх месяцев их необходимо перед применением просушить при температуре 120-150°C с выдержкой 2 ч. При хранении электродов в сушильных шкафах при температуре 50-80°C срок их годности не ограничен.

Необходимо избегать излишнего дополнительного прокалывания электродов, снижающего механическую прочность покрытия.

Таблица 1

Требования к механическим свойствам металла шва

Наименование сталей	Временное сопротивление разрыву	Относительное удлинение, %	Ударная вязкость, Дж/см ²
Углеродистые, марганцовистые и кремний-марганцовистые	Не ниже временного сопротивления разрыву соответствующей марки стали основного металла	19	50
Низколегированные хромистые и хромо-молибденовые		16	
Среднелегированные хромистые, хромо-молибденовые и хромо-ванадиево-вольфрамовые		14	
Высоколегированные с особыми свойствами		По техническим условиям на электроды или 18% при отсутствии в ТУ требований	70

3 ЭЛЕКТРОД ДЛЯ СВАРКИ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ

В отрасли для сварки конструкционных сталей применяют электроды широкой номенклатуры (типы Э42-Э50А, ГОСТ 9467-75). Основные типы и марки электродов для этих сталей, характеризующиеся ПБ 03-584-03, представлены в табл. 2.

Различные марки электродов, относящиеся к одному и тому же типу по ГОСТ 9467-75, как правило, близки по механическим свойствам металла шва (за исключением низкотемпературных свойств). Выбор их производят с учётом особенностей сварочно-технологических характеристик и производственных возможностей.

Данные по типичному химическому составу наплавленного металла и механическим характеристикам металла шва электродов для сварки конструкционных сталей приведены в табл. 3.

Таблица 2.

Электроды для сварки конструкционных сталей

Марка стали	Электроды		Минимальная температура эксплуатации свариваемого оборудования, °С
	Тип по ГОСТ 9467-75	Марка	
ВСт3кп, ВСт3пс ВСт3сп, ВСт3Гпс В18Гпс, 10, 15, 20 15К, 16К, 18К; 20К; 20Л ВСт3сп* и 20К*	Э42	АНО-5 АНО-6М ОМА-2 АНО-17	-15
	Э46	АНО-4, ОЗС-12 ОЗС-4, ОЗС-6 МР-3, АНО-13, АНО-18	
	Э42А	УОНИ-13/45	-30
	Э46А Э50А	УОНИ-13/55К УОНИ-13/55, К-5А, АНО-11	-40
22К, 25Л			-30
16ГС*, 17ГС 17Г1С, 20ЮЧ	Э46А Э50А	УОНИ-13/55К УОНИ-13/55 К-5А, АНО-11 ОЗС-11 ТМЛ-1У	-40 -60(от -61 до -70 после нормализации)
09Г2С*, 10Г2 10Г2С1			
12МХ*	Э-09МХ Э-09Х1М Э-9Х1МФ	ТМЛ-3У ЦЛ-20	
12ХМ*, 15ХМ 12Х1МФ			
15Х5, 15Х5М 15Х5МУ, 15Х5ВФ 20Х5МЛ, 20Х5ВЛ	Э- 10Х5МФ	ЦЛ-17	-

– Основной слой двухслойной стали

Таблица 3

Основные характеристики некоторых электродов для сварки
конструкционных сталей.

Тип (ГОСТ 9467- 75)	Марка	Химический состав наплавленного металла, %					Механические свойства ме- талла шва при 20°С			
		С	Si	Mn	S	P	σ_b , МПа	δ , %	a_n , Дж/см ²	a_n^{45} , Дж/см ²
Э42	ОМА-2	0,11	0,12	0,28	0,019	0,027	465	-	-	-
	ОЗС-23	0,09	0,13	0,5	0,02	0,025	410	20	100	-
	АНО-5	0,08	0,12	0,7	0,026	0,029	460	25	125	-
	АНО-М	≤0,1	0,12	0,65	≤0,04	≤0,04	450	28	125	-
	АНО-17	≤0,1	0,11	0,7	≤0,04	≤0,04	440	28	135	-
Э42А	УОНИ- 13/45	0,09	0,23	0,57	0,025	0,027	430	26	175	50 (при -40°С)
Э46А	АНО-8	0,08	0,27	0,72	0,021	0,024	480	27	180	-
	ОЗС22Р	0,06	0,24	0,58	0,016	0,024	485	28	225	-
	УОНИ- 13/55						490	28		35(при- 40°С)

Сварка конструкционных низколегированных сталей не отличается от сварки углеродистых сталей и заключается, главным образом, в выборе соответствующих сварочных материалов. Сварка теплоустойчивых сталей производится с подогревом и последующей термообработкой – высоким отпускком.

3.1 ЭЛЕКТРОДЫ ТИПА Э42

Для сварки различных изделий из тонколистовых сталей (толщиной до 3мм) предназначены кислородно-целлюлозные электроды ОМА-2 и рутиловые электроды ОЗС-23, выпускаемые диаметром до 3мм. Сварку производят на постоянном и переменном токе во всех пространственных положениях.

Обе марки характеризует слабая чувствительность к пористости при сварке по окисленной поверхности и при удлинении дуги. Высокая стабильность горения электродов ОЗС-23 обеспечивает возможность применения в качестве источников питания бытовых трансформаторов, включаемых в осветительную сеть. При сварке электродами марки ОЗС-23 рекомендуется использовать максимальные значения сварочного тока.

Кроме того, рутиловые электроды марки АНО-5 с железным порошком в покрытии обладают повышенной производительностью и рекомендуются для сварки швов, особенно угловых, большой протяженности. Повышенная производительность также отличает электроды АНО-17, имеющие покрытие на базе ильменитового концентрата и железного порошка. Иногда применяют ильменитовые электроды марки АНО-6М.

3.2 ЭЛЕКТРОДЫ ТИПА Э42А

Из электродов этого типа в отрасли химического и нефтяного строения применяют в основном широкоизвестные электроды марки УОНИ-13/45, которые обеспечивают необходимые свойства сварных соединений при повышенных требованиях по пластичности и ударной вязкости. Ограниченное применение находят электроды марки УП-1/45.

3.3 ЭЛЕКТРОДЫ ТИПА Э46

Электроды этого типа занимают ведущее место в объеме выпуска и применения металлических покрытых электродов в стране. Среди них наиболее распространены рутиловые низкотоксичные электроды марок МР-3, АНО-4, ОЗС-4, положительно зарекомендовавшие себя в течение многих лет.

Высокопроизводительные электроды АНО-19 и АНО-20 обеспечивают стабильность процесса сварки при использовании стандартных трансформаторов с напряжением холостого хода 65В.

Электроды АНО-19 предназначенные для сварки конструкций из углеродистых, низколегированных (типа 09Г2) сталей и комбинаций низкоуглеродистых со среднеуглеродистыми (стальСт3 + сталь Ст5) сталей.

Электроды АНО-20 предназначены для сварки углеродистых и низколегированных (типа 09Г2) сталей в нижнем и наклонном положениях на постоянном и переменном токах. По производительности они не уступают известным электродам АНО-1, для которых требуются источники питания с высоким напряжением холостого хода. Хорошая электропроводность покрытия обеспечивает лёгкое повторное возбуждение и стабильное горение дуги, что позволяет использовать электроды для сварки коротких швов.

К электродам повышенной производительности относятся универсальные рутиловые электроды АНО-18 ($\alpha_n = 10,5 \text{ г/А} \cdot \text{ч}$), обладающие большей технологичностью в изготовлении, которые заменяют электроды АНО-5. Они позволяют производить сварку углеродистых сталей средних и больших толщин в заводских условиях, где преимущественное количество швов выполняется в нижнем положении.

Повышенной производительностью также обладают применяемые в течение многих лет электроды ОЗС-6.

Коэффициент наплавки α_n не является полной характеристикой производительности труда при сварке, он не учитывает различий в силе сварочного тока. Более полную оценку дают данные о часовой производительности сварки ($\alpha_n I_{св}$, кг/ч, где α_n – коэффициент наплавки. Для некоторых электродов диаметром 4мм при сварке в нижнем положении на средних токах данные приведены в табл. 4. Однако этот показатель также не учитывает разницу в линейной скорости сварки.

Таблица 4.

Производительность сварки и расход электродов.

Марка электрода	Производительность, кг/ч	α_n , г/Ахч	Расход электродов на 1кг наплавленного металла, кг	Марка электрода	Производительность, кг/ч	α_n , г/Ахч	Расход электродов на 1кг наплавленного металла, кг
ОМА-2*	0,7	8	1,7	УП-1/55	1,8	-	-
ОЗС-23*	0,9	8,5	1,6	К-5А	1,4	9	-
АНО-5	2,1	11	1,6	АНО-11	1,6	9,5	1,5
АНО-6М	1,6	10	1,7	ОЗС-25	1,4	9,5	1,6
АНО-17	$\leq 2,1$	10,5	1,65	ОЗС-20Р	1,7	-	-
УОНИ-13/45	1,1	8,5	1,5	ОЗС-18	1,5	9,5	1,5
МР-3	1,2	7,5	1,7	ТМУ-	1,4	9,5	1,5
АНО-4	1,6	8,5	1,6	21У	1,4	-	-
ОЗС-4	1,4	9	1,6	ВП-4	-	9,5	-
				ВП-6			

* - электроды диаметром 3мм.

Повысить производительность сварки можно за счёт достижения вогнутых швов при высокой линейной скорости сварки. Такие швы получают при использовании рутиловых электродов ОЗС-12. Эти электроды предназначены для сварки во всех пространственных положениях на постоянном и переменном токе ответственных конструкций из углеродистых и низколегированных сталей. Они характеризуются высокими сварочно-технологическими свойствами и обеспечивают формирование вогнутых мелкощупчатых швов лёгким (часто самопроизвольным) отделением шлака. Электроды ОЗС-12 наиболее пригодны для сварки тавровых соединений и швов аппаратов, предназначенных под гуммирование.

Ручная электродуговая сварка вертикальных швов выполняется, как правило, технологическим способом «снизу вверх» (на подъём). При этом значения сварочного тока ограничены, что связано с необходимостью уменьшения объёма и жидкотекучести сварочной ванны. Повышения производительности за счёт роста сварочного тока можно достичь использованием способа сварки «сверху вниз» (на спуск), для которого предназначены в частности электроды АНО-13.

В последние годы разработаны и выпускаются промышленностью электроды на базе менее дефицитного сырья.

Так, для производства электродов ОЗС-21 используется ильменитовый концентрат. Электроды предназначены для сварки ответственных конструкций из углеродистых сталей во всех пространственных положениях на постоянном токе любой полярности и переменном токе. Они характеризуются вы-

сокими сварочно-технологическими свойствами, в том числе лёгкой отделимостью шлака, позволяют производить сварку удлинённой дугой и по окисленной поверхности. Электроды обеспечивают стабильно высокие механические свойства металла шва, в том числе ударную вязкость при положительных и отрицательных температурах.

Универсальные рутиловые электроды АНО-14 имеют в покрытии рутила на 20% меньше, чем электроды АНО-4, и не содержат слюды и целлюлозы. К их преимуществам при сварке относятся возможность применения форсированных режимов, малая склонность к образованию пор в угловых швах. В остальном по свойствам и назначению они идентичны электродам АНО-4.

Электроды АНО-13 с рутилово-целлюлозным покрытием, разработанные для сварки конструкций из малоуглеродистых сталей, особенно рекомендуется для сварки вертикальных угловых, нахлёсточных и стыковых с разделкой швов способом сверху вниз. Для обеспечения стабильного процесса сварки и высокого качества металла шва электроды перед употреблением необходимо просушить при температуре 100-120°С в течение 30-40 мин.

3.4 ЭЛЕКТРОДЫ ТИПА Э46А

К электродам этого типа относятся электроды марок УОНИ-13/55К, АНО-8 и ОЗС-22Р. При изготовлении электродов УОНИ13/55К строго контролируется химический состав наплавленного металла не только по вредным примесям, но и по содержанию углерода, кремния и марганца, входящих в приемосдаточные характеристики электродов. За счёт оптимизации состава обеспечиваются стабильно высокие свойства металла шва при динамических нагрузках и его хладостойкость.

Высокими сварочно-технологическими свойствами характеризуются перспективные для применения в отрасли электроды марки ОЗС-22Р с рутилово-основным покрытием, предназначенные для сварки конструкций из углеродистых и низколегированных сталей, в частности 09Г2 и 10ХСНД. По механическим свойствам металла шва эти электроды эквивалентны традиционным электродам серии УОНИ-13, но превосходят последние по некоторым показателям сварочно-технологических свойств (возможность сварки на постоянном токе любой полярности и на переменном токе при использовании стандартных источников питания; возможность сварки вертикальных швов способом сверху вниз; более высокая производительность за счёт большого коэффициента наплавки и большей плотности тока при сварке). Электроды обеспечивают низкое содержание водорода в металле шва. Существенным их достоинством является и высокая технологичность в условиях промышленного поточного производства.

3.5 ЭЛЕКТРОДЫ ТИПА Э50А

Группа электродов типа Э50А предназначена главным образом для сварки низколегированных сталей и обеспечивает требуемые свойства за счёт легирования наплавленного металла.

Электроды ОЗС-20Р по технологическим характеристикам аналогичны электродам ОЗС-22Р, но обеспечивают получение металла шва с более высокими прочностными характеристиками.

Для сварки ответственных конструкций из низколегированных атмосферо-коррозионно-стойких сталей 10ХНДП, 10ХСНД, 15ХСНД предназначены электроды ОЗС-18 с основным покрытием. Металл шва характеризуется низким содержанием водорода и равноценной с основным металлом стойкостью против атмосферной коррозии.

Для сварки изделий из стали 09Г2С, эксплуатируемых в диапазоне температур - 70 ÷ +475°С, предназначены электроды марки ВП-4. В отличие от других марок электродов типа Э50А, изготавливаемых из проволоки Св-08 и Св-08А, они рассчитаны на использование легированной проволоки Св-10НЮ.

Электроды марки ВП-6, предназначенные для сварки нефтехимической аппаратуры из сталей 09Г2С и 10Г2, эксплуатирующейся при высоком давлении и температуре до - 70°С, разработаны на базе проволоки Св-10НМА. Использование этих электродов позволяет не проводить после сварки нормализацию сварных соединений.

Наиболее высокие характеристики по хладостойкости сварных соединений обеспечивают электроды ОЗС-24М, предназначенные для сварки особо ответственных конструкций из низколегированных хладостойких перлитных сталей 09Г2С, 06Г2АБ, 10ХГНМАЮ, 12Г2АФЮ и др. В частности, они рекомендуются для сварки стыков трубопроводов, транспортирующих охлаждённый (- 70°С) природный газ. Рациональная система легирования наплавленного металла из проволоки (марки Св-06НЗ по ГОСТ 2246-70) и покрытия основного вида, оптимальное содержание легирующих элементов в наплавленном металле обеспечивают стабильно высокие значения механических свойств стыков, выполненных в различных пространственных положениях. Электроды отличаются наиболее высокими характеристиками ударной вязкости металла шва при низких температурах. Электроды ОЗС-24М обеспечивают также низкое содержание диффузионного водорода (до 2 см³/100 г наплавленного металла) и неметаллических включений в металле шва. Сварка электрода ОЗС-24М производится на постоянном токе обратной полярности. Электроды обладают комплексом высоких сварочно-технологических свойств.

4 ЭЛЕКТРОДЫ ДЛЯ СВАРКИ ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

Стандартом ГОСТ 9467-75 предусмотрены электроды для сварки легированных конструкционных сталей повышенной и высокой прочности (типы Э70, Э85, Э100 и Э150) и ряд типов электродов для сварки легированных

теплоустойчивых сталей. Среди них широко известны марки УОНИ-13/85, НИАТ-3М, ЦЛ-17 и др.

В ряде случаев для изготовления тяжело нагруженных сварных конструкций применяют высокопрочные стали 14Х2ГМР, 14ХГНМ, 12ГН2МФАЮ, для сварки которых предназначены электроды АНП-2 (тип Э70). Наплавленный металл легирован хромом, никелем и молибденом.

Типу Э85 соответствуют электроды марок НИАТ-3М и УОНИ 13/85, предназначенные для сварки на постоянном токе ответственных и особо ответственных конструкций. Нормированные значения механических свойств металла шва обеспечиваются после термообработки по предписанным режимам (закалка + отпуск). Режимом термообработки можно обеспечить более высокие прочностные свойства.

Сварочно-наплавочные электроды ОЗШ-1 (тип Э100) применяют для сварки легированных конструкций сталей с временным сопротивлением разрыву в основном до 1080 МПа (110 кгс / мм²).

Электроды ЦУ-2ХМ предназначены для сварки хромомолибденовых сталей типа 15ХМ, 20ХМ и других, работающих при температуре до 520°С. Их применяют также для основного слоя (из сталей тех же марок) двухслойной стали.

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

Электроды ЦЛ-17 (тип Э-10Х5МФ) предназначены для сварки ответственных конструкций из хромомолибденовых сталей 15Х5И 12Х5МА и 15Х5МФА, работающих в агрессивных средах при температуре 450°С.

Электроды ОЗС-11 (тип Э-09МХ) применяют для сварки конструкций из сталей 12МХ, 15МХ, 12ХМФ, 12Х1М1Ф и им подобных, работающих при повышенной температуре (до 510°С). Сварку осуществляют постоянным и переменным током. При толщине металла более 12 мм рекомендуется предварительный и сопутствующий подогрев до 150-200°С.

Сварку стыков трубопроводов из сталей 12МХ, 15МХ, 12Х1М1Ф, 20ХМФЛ, работающих при температуре до 540°С, а также элементов поверхностей нагрева из сталей 12Х1МФ, 12Х2МФСР и 12Х2МФБ независимо от рабочей температуры производят электродами ТМЛ-1У (тип Э-09Х1М). Для выполнения стыков трубопроводов из теплоустойчивых перлитных сталей, работающих при температуре 570°С, применяют электроды ТМЛ-3У (тип Э-09Х1МФ) и ЦЛ-20-67. Электроды ТМЛ-1У и ТМЛ-3У допускают осуществление сварки и узкие разделки.

Все марки электродов для сварки легированных сталей имеют основные покрытия и предназначены для сварки постоянным током обратной полярности. Сварку теплоустойчивых сталей производят с предварительным и

сопутствующим подогревом, температура которого для разных марок различна. Заданные механические свойства металла шва обеспечиваются после высокого отпуска по паспортным режимам.

5 ЭЛЕКТРОДЫ ДЛЯ СВАРКИ ВЫСОКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ И СПЛАВОВ

Широко применяемые в химическом машиностроении высоколегированные стали и сплавы различного состава и назначения могут быть классифицированы по следующим группам: коррозионно-стойкие стали, двухслойные и разнородные стали, жаростойкие стали и никелевые сплавы. Разнообразие условий работы оборудования из таких материалов и требований к свойствам сварных соединений, сварочно-технологическим свойствам электродов диктует необходимость использования большой гаммы сварочных электродов. Специфическими особенностями физических свойств высоколегированных сталей и сплавов являются пониженные температура плавления и теплопроводность, высокие электросопротивление и коэффициент линейного расширения. Именно эти особенности и предопределяют поведение высоколегированных сталей и сплавов при сварке. Из-за низкой теплопроводности и высокого электросопротивления скорость плавления, следовательно, и коэффициент наплавки у высоколегированных электродов достигают высоких значений. Повышенное электросопротивление металла стержней обуславливает применение укороченных стержней и малых плотностей сварочного тока. Последнему способствует также низкая теплопроводность металла, приводящая к повышенной глубине проплавления.

В зависимости от толщины металла для сварки рекомендуются различные диаметры электродов (табл. 5), но наиболее применимы в отрасли электроды диаметром 4 мм.

Таблица 5

Диаметры электродов, рекомендуемых для металла разных толщин

Толщина металла, мм	Разделка кромок	Порядковый номер слоя шва	Диаметр электрода, мм
2-3	Без разделки Односторонняя	1	3
3-20		1 2 и 3 4 и последующие	3 3 и 4 4 и 5
≥14	Двусторонняя Односторонняя с криволинейным скосом кромок	1	3 и 4
≥20		2 и последующие	4 и 5

Сварка сталей и сплавов коррозионно-стойких, жаростойких, жаропрочных и износостойких имеет свои особенности и связана с некоторыми трудностями, связанными со склонностью к образованию трещин, выделением карбидов, различной технологичностью применяемых при сварке присадочных материалов, а также склонностью сварных соединений к локальным разрушениям в процессе эксплуатации. Эта склонность значительно снижается в случае применения после сварки высокотермической обработки (аустенизации).

По технологической свариваемости аустенитные стали и сплавы также могут быть разбиты на следующие группы.

1) Материалы, свариваемые без ограничений

К этой группе относятся стали марок 08X16H9M2, 12X18H10, 12X18H10T и другие, химический состав которых характеризуется отношением эквивалентов хрома и никеля, равным 1,3÷1,6.

Эквиваленты хрома и никеля рассчитываются по следующим приближенным формулам:

$$[Cr] = Cr\% + 1,5Si\% + Mo\% + 0,8V\% + 0,5Nb\% + W\% + 3,5Al\% + 4Ti\%$$

$$[Ni] = Ni\% + 0,5Mn\% + 0,5Cu\% + 30C\% + 30N\%$$

Для сварки этих сталей применяются аустенитно-ферритные электроды, обеспечивающие высокую трещиностойкость металла шва. В околошовной зоне сталей этой группы горячих трещин, как правило, не наблюдается. Стали этой группы в меньшей степени склонны к локальным разрушениям.

2) Материалы ограниченно свариваемые

К этой группе относятся, стали марок 12X18H12T, 20X23H18 (ЭИ 417), 08X16H23M2Б (ЭИ 405), 10X16H14B2БР (ЭП 17) и другие, с отношением эквивалентов хрома и никеля, близким к единице.

Сварка производится аустенитно-ферритными электродами.

3) Материалы трудносвариваемые

К этой группе относятся стали и сплавы марок 45X14H14B2М (ЭИ 69), 08X15H24B4ТР (ЭП 164), ХН35ВТ (ЭИ 612) и другие, с отношением эквивалентов хрома и никеля меньше единицы. Эти материалы склонны к образованию горячих трещин в околошовной зоне. В связи с этим приходится использовать электроды малого диаметра (не более 3мм).

В характеристике свариваемости для некоторых материалов рекомендуются электроды, специально разработанные для их сварки.

Самую обширную группу сталей и соответственно электродов составляют коррозионно-стойкие материалы, основная номенклатура и условия, применения которых приведены в табл. 6. Следует отметить, что по химическому составу и структуре наплавленного металла такие электроды часто существенно отличаются от аналогичных характеристик свариваемых материалов. Даже при одинаковом составе свойства листового проката и литого металла шва будут различны, например, по пределу текучести из сталей типа 18-10 примерно 1,5 раза.

До последнего времени в отечественной практике для сварки высоколегированных сталей применяли в основном электроды с основными покрытиями. Мнение о необходимости использования только таких покрытий часто относят к общим правилам ручной дуговой сварки высоколегированных сталей всех марок. Оно обусловлено опасностью развития кремнийвосстановительного процесса, протекающего при низкой основности покрытий, и возможностью снижения вследствие этого свойств металла шва. Рутильные и рутилкарбонатные покрытия начал применять сравнительно недавно.

Накопленный опыт свидетельствует о равноценности свойств сварных соединений, выполненных электродами с различными типами покрытий, по многим ведущим показателям.

В то же время требование обеспечения необходимой коррозионной стойкости металла шва может накладывать жёсткие ограничения по типам электродных покрытий.

Рост применения в химическом машиностроении сверхнизкоуглеродистых коррозионно-стойких сталей ($C \leq 0,03\%$) выдвигает проблему получения сверхнизкоуглеродистого наплавленного металла. При сварке электродами с основными покрытиями происходит науглероживание наплавленного металла. Концентрация углерода повышается за счёт взаимодействия металла с углекислым газом, образующимся при диссоциации карбонатов. Наиболее резко это происходит уже при содержании карбонатов до 15% от массы покрытия.

Таблица 6

Электроды для сварки высоколегированных коррозионно-стойких сталей и сплавов.

Марка свариваемой стали	Марка электрода	Максимальная температура эксплуатации сварных соединений, °С	
		без требований по МКК	при наличии требований по МКК
08X18H10 12X18H9	ОЗЛ-8	Не ограничено	Не применяются
	ОЗЛ-14А ОЗЛ-36	500	
08X18Г8Н2Т 08X22Н6Т 09X18Н10Т 12X18Н9Т 12X18Н9Т 08X18Н12Б 10X18Н9ТЛ	ОЗЛ-8	Не ограничено	350 (при 350-450 – после стабилизирующего отжига)
	ОЗЛ-14А ОЗЛ-36	500	
	ОЗЛ-7 ЦЛ-11 Л-38М Л-40М	450	
	ЦТ-15 АНВ-23	Не ограничено	
03X18Н11 03X19АГ3Н10	ОЗЛ-22	450	350
	АНВ-13	Не ограничено	350 (при 350-450 – после стабилизирующего отжига)
10X14Г14Н4Т 03X13АГ19 07X13АГ20	ОЗЛ-8 ОЗЛ-14А ОЗЛ-36 ОЗЛ-7 ЦЛ-11 Л-38М Л-40М	350 (без требования равнопрочности металла шва основному металлу)	-
	АНВ-24	500	

08X17H13M2T 08X17H15M3T	ОЗЛ-20 АНВ-17	Не ограничено	350 (после подтверждения стойкости МКК сварных соединений конкретных плавок стали)
	АНВ-26	-	Не применяется
	ЭА-400/10У	450	
10X17H13M2T 10X17H13M3T 08X21H6M2T	НЖ-13 СЛ-28	(В интервал 450-700 при содержании феррита до 6%)	350
03X18АГЗН11 МЗБ 03X17H14M3 03X21H21M4ГБ	АНВ-17	Не ограничено	
	ОЗЛ-20		
	ОЗЛ-17У	-	
	АНВ-17	Для внутренних многослойных сварных швов, не обращённых к коррозионной среде	
06ХН28МДТ 03ХН28МДТ	ОЗЛ-17У ОЗЛ-37-2	-	350
	АНВ-28	Для внутренних многослойных сварных швов, не обращённых к коррозионной среде, а также для прихватки металла толщиной более 10мм	350 (после подтверждения стойкости испытаниями в конкретной среде)
10X23H18	ОЗЛ-6	Не ограничено	-
08X13	УОНИ-13/НЖ	350	Не применяется
	12X13, ОЗЛ-6		

Данные статистики по промышленным маркам электродов, предназначенных для сварки коррозионно-стойких сталей, показывают, что науглероживание составляет 0,020-0,040% для основных покрытий и 0,015-0,020% для рутиловых с малым содержанием карбонатов. Для швов на сверхнизкоуглеродистых сталях это недопустимо.

По указанным причинам для сварки сверхнизкоуглеродистых сталей нашли применение электроды с бескарбонатными рутиловыми покрытиями, обеспечивающие практическое отсутствие науглероживания.

Применяются также электроды с малым содержанием карбонатов при введении сильных окислителей в покрытие, что даёт, однако, менее стабильные результаты по концентрации углерода в наплавленном металле.

Применимость тех или иных электродов часто определяют их сварочно-технологические характеристики, существенно зависящие от металлургического типа покрытия. Электроды с основными покрытиями позволяют получать шлаки малой жидкотекучести и предпочтительны для швов, выполняемых в пространственных положениях, отличных от нижнего. Электроды с рутиловыми покрытиями обеспечивают более гладкую поверхность швов, лёгкую отделимость шлака, мягкое горение и слабое разбрызгивание. Повышенная жидкотекучесть шлаков обеспечивает их лёгкое передвижение и повышенную скорость сварки. Рутиловые электроды обеспечивают небольшое проплавление основного металла, что является положительным фактором при сварке высоколегированных сталей. По отделимости шлака также предпочтительны рутиловые высоколегированные электроды.

При ручной дуговой сварке высоколегированных сталей и сплавов рекомендуется обратная полярность тока. Это позволяет избежать перегрева электрода, сопутствующего сварке на прямой полярности из-за большого в этом случае напряжения на дуге.

Одной из основных задач при сварке конструкций из высоколегированных сталей является достижение достаточной стойкости швов против образования горячих трещин. Радикальным средством является обеспечение двухфазной структуры металла шва за счёт δ – феррита, интерметаллидов, карбидов и пр. При двухфазной структуре металла шва его стойкость против трещин не зависит от типа покрытий.

При сварке стабильно аустенитных сталей и сплавов или при необходимости обеспечения однофазной структуры шва для борьбы с горячими трещинами успешно применяют легирование молибденом и марганцем. Это позволяет достичь стойкости против трещин даже в условиях протекания кремневосстановительного процесса, характерного для рутиловых электродов.

5.1 ЭЛЕКТРОДЫ ДЛЯ СВАРКИ КОРРОЗИОННО-СТОЙКИХ СТАЛЕЙ

В отрасли химического и нефтяного машиностроения используют электроды, номенклатура и основные технические характеристики которых приведены в табл. 7. Более подробные сведения об электродах, применение которых в отрасли началось сравнительно недавно, приведены ниже.

Электроды ОЗЛ-22 предназначены для сварки аппаратуры, работающей в окислительных средах типа азотной кислоты, из низкоуглеродистых хромоникелевых сталей типа 04X18N10 (ЭИ 842), 03X18N12, 03X18N11 и им аналогичных. Они обеспечивают лёгкую отделимость шлаковой корки. Металл шва характеризуется высокой общей коррозионной стойкостью ($V_k - 0,25$ мм/год – метод Д, ГОСТ 6032-75) и стойкостью против МКК. Аналогично назначение электродов АНВ-13; наплавленный ими металл стабилизирован ниобием.

Электроды ОЗЛ-20 предназначены для сварки аппаратуры из низкоуглеродистых хромоникельмолибденовых аустенитных сталей марок 03X18N15M3 (ЭИ 844), 03X17N14M2 и им аналогичных, а также стали 08X17N15M3T (ЭИ 580), когда к металлу шва предъявляются жёсткие требования по стойкости против МКК. Высокая коррозионная стойкость и достаточная технологическая прочность обеспечиваются малой концентрацией углерода и лимитированным в узких пределах минимальных значений содержанием ферритной фазы.

Сварку указанных сталей и сталей 10X17N13M2/3/T производят также электродами АНВ-17, дающими металл шва с чисто аустенитной структурой.

В последнее время электроды АНВ-17 рекомендуются и для более высоколегированных сталей.

Таблица 7.
Основные электроды для сварки коррозионно-стойких сталей.

Марка	Электрод	Механические свойства металла шва		
	Тип по ГОСТ 10052-75	σ_b , МПа	δ , %	a_n , Дж/см ²
<u>УОНИ-13/НЖ</u> 12X13	Э-12X13	650	25	105
ОЗЛ-14А	Э-04X20Н9	665	39	155
ОЗЛ-36	Э-04X20Н9	620	37	175
ОЗЛ-22	Э-02X21Н10Г2	675	35	195
АНВ-13	Э-02X19Н9Б	≥540	≥30	≥120
АНВ-23	Э-08X20Н9Г2Б	≥550	≥30	≥80
АНВ-24	Э-08X15Н9АГ4	≥550	≥30	≥80
ОЗЛ-8	Э-07X20Н9	605	41	155
ОЗЛ-7	Э-08X20Н9Г2Б	665	36	120
ЦЛ-11	Э-08X20Н9Г2Б	660	34	120

НВ-38	Э-08Х20Н9Г2Б	≥590	≥24	≥80
Л-40М	Э-08Х20Н9Г2Б	≥620	≥24	≥80
ЦТ-15	Э-08Х19Н10Г2Б	610	33	130
ЦЛ-9	Э-10Х25Н13Г2Б	655	31	115
ОЗЛ-20	Э-02Х20Н14Г2М2	635	37	165
НИАТ-1	Э-08Х17Н8М2	640	42	175
НЖ-13	Э-09Х19Н10Г2М2Б	645	33	120
СЛ-28	Э-09Х19Н10Г2М2Б	≥590	≥38	≥120
ЭА-400/10У	05Х18Н11М3ГФ*	540	30	90
ЦЛ-4	Э-06Х19Н11Г2М2	640	32	100
АНВ-26	06Х18Н11Г4М2*	≥550	≥30	≥100
АНВ-17	Э-02Х19Н18Г5АМ3	≥550	≥30	≥120
АНВ-20	03Х19Н16Г5М2АВ2*	675	36	185
ДС-12	08Х20Н10Г6Б*	≥590	≥22	≥70
ОЗЛ-24	02Х17Н14С5*	690	28	90
ОЗЛ-3	12Х17Н13С4*	780	25	65
ОЗЛ-40	04Х22Н7Б*	710	26	150
ОЗЛ-41	04Х20Н7М2Б*	680	22	130

* - тип наплавляемого металла

Для конструкций из низкоуглеродистой хромоникелькремнистой стали 02Х8Н20С6 (ЭП 794), которую используют в условиях производства крепкой азотной кислоты, применяют электроды ОЗЛ-24. Композиция наплавленного металла обеспечивает стабильность структуры, сопротивляемость образованию горячих трещин и коррозионную стойкость в 98%-ной азотной кислоте при 100°C. В ряде случаев, используют комбинированную сварку, технология которой отрабатывается.

Для сварки хромоникелевых сталей типа 18-10 с содержанием углерода 0,04-0,08% предназначены электроды ОЗЛ-36. В отличие от выпускавшихся ранее электродов ОЗЛ-14А они технологичны в изготовлении, имеют прочное покрытие, характеризуется отсутствием перегрева стержня, лёгкостью маневрирования при сварке, повышенной производительностью ($\alpha_n = 13-14$ г / А х ч) за счёт применения форсированных режимов сварки, не склонны к порообразованию. Металл

шва обладает высокими показателями ударной вязкости при отрицательных температурах. Электроды ОЗЛ-14А диаметром 3мм применяют только для тонколистовых изделий.

Высокопроизводительные ($\alpha_n = 14-16$ г / А х ч) электроды АНВ-23 предназначены для сварки конструкций из сталей типа 18-10 в нижнем положении; возможно ведение сварки методом опирания.

Высокопроизводительные электроды АНВ-23 предназначены для хромоникельмолибденовых сталей.

Электроды АНВ-20 предназначены для сварки сталей, работающих в условиях глубокого холода (до минус 269°С).

В связи с дефицитом никеля все большее применение находят экономнолегированные коррозионно-стойкие стали, для которых в ряде случаев необходимы специальные электроды. Для сварки 10Х14Г14Н3Т в изделиях, работающих в атмосферных условиях и в слабоагрессивных средах, а также при низких температурах (до -196°С), применяют электроды АНВ-24.

Наиболее перспективными экономнолегированными сталями являются двухфазные (аустенито-ферритные) стали 08Х22Н6Т (ЭП 53) и 08Х21Н6М2Т (ЭП 54). Сварку их до последнего времени производили стандартными сварочными материалами аустенитного класса, что не позволяло в полной мере реализовать преимущества двухфазных сталей по прочностным свойствам, а также по стойкости против коррозии под напряжением, а в ряде сред – по общей коррозионной стойкости. Этот пробел восполняют электроды марок ОЗЛ-40 и ОЗЛ-41, предназначенные соответственно для сталей ЭП 53 и ЭП 54. Во всем температурном интервале применения сталей механические свойства металла шва не уступают аналогичным показателям основного металла.

5.2. ЭЛЕКТРОДЫ ДЛЯ СВАРКИ ДВУХСЛОЙНЫХ И РАЗНОРОДНЫХ СТАЛЕЙ

В промышленности все шире применяют двухслойные стали, использование которых является эффективным средством экономии высоколегированного металла. Сварку оборудования из таких сталей производят согласно отраслевой нормативно-технической документации [2] электродами, представленными в табл. 8. 9. Те же электроды применяют для разнородных сталей. В табл. 9 приведены также электроды, применяемые для соответствующего коррозионно- или жаростойкого монометалла.

Таблица 8
Электроды для сварки переходного и плакирующего швов двухслойных сталей.

Марка стали плакирующего слоя	Промышленные марки электродов	Тип электрода по ГОСТ 10052-75 или тип наплавленного металла	Назначение
08Х13	ОЗЛ-6* ОЗЛ-9А ЭА-395/9 АНЖР-3У	Э-10Х25Н13Г2 Э-28Х24Н16Г6 11Х15Н25М6АГ2 08Х24Н25М3Г2	Переходный и плакирующий швы
1218Н10Т 08Х18Н10Т	ОЗЛ-6* ОЗЛ-9А АНЖР-3У	Э-10Х25Н13Г2 Э-28Х24Н16Г6 08Х24Н25М3Г2	

Продолжение таблицы 8

	ЭА-395/9	11X15H25M6AГ2	Переходный шов
	ОЗЛ-36 ОЗЛ-8*	Э-04X20H9 Э-07X20H9	Плакирующий шов по переходному шву
10X17H13M2T	ОЗЛ-6* ОЗЛ-9А	Э-10X25H13Г2 Э-28X24H16Г6	Переходный шов
	ЭА-395/9* АНЖР-3У* АНЖР-2 ЭА-400/10У	11X15H25M6Г2 08X24H25M3Г2 08X24H40M7Г2 05X18H11M3ГФ	Переходный и плакирующий швы
12X18H10T 08X18H10T	ОЗЛ-6* АНЖР-3У ОЗЛ-9А ЭА-395/9	Э-10X25H13Г2 08X24H25M3Г2 Э-28X24H16Г6 11X15H25M6AГ2	Переходный шов
	ЦЛ-9*	Э-10X25H13Г2Б	Переходный и плакирующий швы
	ЦЛ-11* Л-38М ЦТ-15* АНВ-23	Э-08X20H9Г2Б Э-08X19H10Г2Б	Плакирующий по переходному шву
10X17H13M2T 10X17H13M2T 08X17H13M2T	ОЗЛ-6* ЭА-395/9* АНЖР-3У* АНЖР-2	Э-10X25H13Г2 11X15H25M6AГ2 08X24H25M3Г2 08X24H25M7Г2	Переходный шов
	АНВ-17*	Э-02X19H18Г5АМ3	Плакирующий и переходный швы
	НЖ-13* ЭА-400/10У* ОЗЛ-20* (для стали	Э-09X19H10Г2М2Б 05X18H11M3ГФ Э-02X20H14Г2М2 08X17H15M3Т)	Плакирующий шов

06ХН28МДТ	АНЖР-2* АНЖР-3У*	08Х24Н25М7Г2 08Х24Н25М3Г2	Переходный шов
	ОЗЛ-17У* ОЗЛ-37-2*	08Х23Н27М8Д8Г2Б 08Х23Н25М8Д8Г2Б	Плакирующий шов
	АНВ-28**	04Х23Н27М4Д8Г2Ф	Переходный и плакирующий швы

* - основные марки электродов.

** - возможно применение после подтверждения коррозионной стойкости в конкретных средах.

Таблица 9

Основные характеристики электродов для сварки двухслойных и разнородных сталей.

Марка электрода	Тип наплавленного металла	Механические свойства металла шва		
		σ_b , МПа	δ , %	a_n , Дж/см ²
ОЗЛ-19	10Х24Н13Г2	650	33	130
АНВ-27	10Х13Н715	≥ 550	≥ 30	≥ 100
АНЖР-1	08Х24Н60М10Г2	730	36	160
АНЖР-2	08Х24Н40М7Г2	680	39	165
АНЖР3У	08Х24Н25М3Г2	615	37	155
НИАТ-5	Э-11Х15Н25М6АГ2	665	39	205
ЭА-395/9	11Х15Н25М6АГ2	610	-	120

При сварке двухслойных сталей необходимо строго соблюдать рекомендуемые режимы сварки (табл. 10) и не превышать пределы допустимого участка основного металла конструкционной перлитной стали в высоколегированном металле наплавки (табл. 11). Типы и конструктивные элементы разделки кромок и швов сварных соединений двухслойных сталей должны удовлетворять требованиям ГОСТ 16098-70. при изготовлении аппаратов из двухслойных сталей толщиной 11-20мм для агрессивных сред в отрасли применяют листы с повышенной толщиной плакирующего слоя (3-4мм).

Таблица 10

Ориентировочные режимы сварки двухслойных сталей.

Толщина проката, мм	Наименование слоя	Количество проходов	Сварочный ток, А		
			Первый проход	Второй проход	Последующие проходы
50	Коррозионно-стойкий Основной	2	120-140	160	-
		26	140-200	180	240
60	Коррозионно-стойкий Основной	2	120-140	150	-
		35	170-200	180	220
70	Коррозионно-стойкий Основной	4	120-140	150	150
		49	180-200	180	230
80	Коррозионно-стойкий Основной	4	120-140	150	150
		60	170-200	180	230
90	Коррозионно-стойкий Основной	4	120-140	150	150
		73	170-200	180	230
100	Коррозионно-стойкий Основной	4	120-140	150	150
		87	170-200	180	230

Примечание. Первый проход на коррозионно-стойком слое выполняют электродами диаметром 4мм, на основном слое – диаметром 5мм; остальные проходы выполняют электродами диаметром 5мм.

Таблица 11

Предельные доли участия основного металла конструкционной перлитной стали в высоколегированном металле наплавки.

Предельная доля участия, %	Марка электрода
30	ОЗЛ-6; ЦЛ9; ОЗЛ- 9А
45	ЭА-395/9; АНЖР-3У; АНВ-17
60	АНЖР-1; АНЖР-2

Рекомендации по электродам для сварки различных сочетаний разнородных сталей представлены в табл. 12. Наиболее полно вопросы выбора электродов и условий их применения при сварке разнородных сталей освещены в справочном пособии [4].

Для сварки высокомарганцовистых сталей с низколегированными и углеродистыми возможно применение электродов ОЗЛ-19 и АНВ-27. Электроды ОЗЛ-19 дают двухфазный наплавленный металл (до 10% феррита), электроды АНВ-27 – однофазный. Электроды ОЗЛ-19 отличаются малым проплавлением основного металла; их применяют также для сварки стали 110Г13Л.

Электроды марки ДС-12, характеристики которых приведены в табл. 7, предназначены для сварки не только коррозионно-стойких сталей. Их рационально применять для переходного и плакирующего слоёв на швах двухслойной стали (типа 12Х18Н10Т) с обеспечением стойкости против МКК, а также разнородных сталей.

Электроды серии АНЖР предназначены для сварки высоколегированных жаропрочных сталей с легированными теплоустойчивыми, а также для сварки закалённых сталей без последующей термообработки и предварительного подогрева. Известно, что количество никеля в металле шва, необходимое для предупреждения структурной неоднородности в зоне сплавления его с низколегированной сталью, уменьшается со снижением рабочей температуры. Этим обстоятельством и вызвано применение трёх марок электродов АНЖР-1, АНЖР-2 и АНЖР-3У, используемых при изготовлении и ремонте конструкций, работающих при температуре 500-600°С, 450-500°С, 350-470°С.

Таблица 12

Электроды для сварки различных сочетаний разнородных сталей.

Группа сталей	1	2	3	4	5	6
1 (низкоуглеродистые)	-	Э-42 Э50А	Э42А Э46А	ОЗЛ-6 ДО 400°С, ЭА- 395/9, НИАТ -5 до 435°С АНЖР-2 до 550°С АНЖР-1 > 550°С		АНВ- 17 АНЖР 2
2 (низколегированные)	Э42 Э50А	-	Э50А			
3 (теплоустойчивые, 12МХ, 12ХМ)	Э42А Э46А	Э50А	-			
4 (высоколегированный, хро- моникелевые)	ОЗЛ-6 до 400°С ЭА-395/9 НИАТ-5 до 435°С АНЖР/3У до 470°С АНЖР-2 до 550°С АНЖР-1 > 550°С			-		АНВ- 28
5 (высоколегированные хро- моникель молибденовые)				ЦЛ-11 ОЗЛ-7 ЦТ-15 АНВ-23 НЖ-13	-	
6 (03(06)ХН28МДТ, 03Х21Н2 1М4ГБ)	АНВ-17 АНЖР2			АНВ-28		-

Сварку сочетаний никелевых сплавов и сталей различных классов производят электродами, приведёнными в табл. 13.

Рекомендуемые электроды для сварки сплавов со сталями.

Свариваемые материалы		Марка электрода	Рабочая температура, °С
Сплав	Сталь		
ЭП814 ЭП760 ЭП758	Низкоуглеродистые, низколегированные	ОЗЛ-6	До 350
	Хромоникелевые, хромоникельмолибденовые	ЭА-395/9 НИАТ-5 ОЗЛ-6	ПБ 03-584-03
	Низкоуглеродистые, низколегированные	ЭА-395/9 НИАТ-5	
	Хромоникелевые, хромоникельмолибденовые	ОЗЛ-25Б	

5.3 ЭЛЕКТРОДЫ ДЛЯ СВАРКИ ЖАРСТОЙКИХ СТАЛЕЙ И СПЛАВОВ

Сварка конструкций из жаростойких сталей, к которым предъявляются разнообразные требования, обычно комбинированным способом. Это позволяет, используя электроды разных марок с ярко выраженными преимуществами отдельных свойств, получать их сочетание в металле шва (табл. 14).

Электроды ГС-1 предназначены для сварки тонколистовых конструкций из жаростойких сталей 20Х20Н14С2 (ЭИ 211), 20Х25Н20С2 (ЭИ 283), 45Х25Н20С2 и им подобных, работающих в науглероживающих средах, а также для сварки корневого слоя шва и облицовочного слоя, обращенного в сторону рабочей среды, в конструкциях из толстого деформированного и литого металла тех же марок. Металл шва характеризуется высокой сопротивляемостью науглероживанию и цементационных и им подобных средах, а также высокой жаростойкостью. Наплавленный металл содержит 5-15% ферритной фазы.

Большой жаростойкостью характеризуется металл швов, сваренных электродами ОЗЛ-29, предназначенными для сварки тех же сталей. При сварке жестких конструкций и сталей больших толщин эти электроды рекомендуются для наложения облицовочных слоёв, сварка корневого слоя производится электродами ГС-1, а основного сечения – ОЗЛ-6 и ОЗЛ-9А.

Повышенной сопротивляемостью хрупкому разрушению при науглероживании обладает металл сварных швов на сталях типа 20Х25Н20С2 и Х18Н35С2, выполненных электродами $\frac{ОЗЛ}{ЦТ} - 31М$ (труба паровой конверсии природного газа).

Электроды ОЗЛ-9А характеризуются сочетанием высокой жаропрочности и жаростойкости металла шва. Они предназначены для сварки жаро-

стойких сталей 12Х25Н16Г7АР (ЭИ 835), 45Х25Н20С2, Х18Н35С2, работающих в окислительных атмосферах до температуры 1050°С, а в науглероживающих – до 1000°С. Могут быть использованы и для сварки сталей 20Х23Н18 и 20Х23Н13. при сварке жёстких стыков или толстолистовых сталей электроды ОЗЛ-9А используют для получения основного сечения шва, корневой слой выполняют электродами ГС-1.

Таблица 14

Основные характеристики электродов для сварки жаростойких сталей и сплавов.

Марка электрода	Тип электрода по ГОСТ 10025-75	Максимальная температура применения, °С	Механические свойства		
			σ_b , МПа	δ , %	a_n , Дж/см ²
ОЗЛ-6	Э-10Х25Н13Г2	1000	650	34	145
ЦЛ-25	Э-10Х25Н13Г2	1000	≥540	≥25	≥90
КТИ-7А	Э-	900	665	22	75
$\frac{ОЗЛ}{ЦТ} - 31М$	27Х15Н35В3Г2Б2Г	1000	630	19	70
	25Х21Н34В3Б2Г2*	1050	690	32	125
ОЗЛ-9А	Э-28Х24Н16Г6				
ОЗЛ-2	09Х20Н14Г2М2*	900	580	38	155
ОЗЛ-5	Э-12Х24Н14С2	1050	650	34	105
ГС-1	09Х23Н9Г6С2 ^х	1000	770	28	85
ОЗЛ-29	Э-10Х17Н13С4	1100	735	31	80
ОЗЛ-38	30Х24Н24ГБ*	900	700	18	60
ОЗЛ-42	35Х25Н33Г5Б*	1000	710	18	50
ОЗЛ-39	05Х17Н14С3Г3Ф*	1050	670	40	140

* - тип наплавочного электрода

При этом рекомендуется облицовка швов, обращённых к рабочей среде, в 1-2 слоя электродами других марок: для науглероживающих атмосфер – $\frac{ОЗЛ}{ЦТ} - 31М$, для окислительных ОЗЛ-5 или ОЗЛ-35.

При меньших температурах сочетание жаропрочности и жаростойкости обеспечивают электроды КТИ-7А, используемые для сварки реакционных труб из сталей 45Х25Н20С2, 25Х25Н20С2, 45Х20Н35С, 25Х20Н35, работающих в печах конверсии метана. Для реакционных труб из более жаропрочных сталей 40Х25Н35Б2 и 30Х24Н24Б необходимо применение электродов ОЗЛ-38, обеспечивающих более высокие, чем электроды КТИ-7А, показатели длительной прочности и окалиностойкости.

При температурах до 1000°C равноценность основному металлу (сталям 40Х25Н35В2 и 45Х28Н48В5) по жаростойкости и жаропрочности обеспечивают электроды ОЗЛ-2.

При сварке оборудования из сталей типа 23-18, 25-20 и других, работающего при температурах до 1050°C, обеспечивают получение швов, не склонных к охрупчиванию при науглероживании, электроды ОЗЛ-39.

В отдельную группу можно выделить электроды для сварки никелевых сплавов различного состава и назначения (коррозионно-стойких, жаропрочных), находящихся всё большее применение во многих отраслях промышленности. Несмотря на дефицитность никеля, использование таких сплавов технически необходимо и экономически целесообразно. Никелевые сплавы отличаются высокой стойкостью против воздействия агрессивных сред и температур, хорошими технологическими и механическими свойствами.

5.4 ЭЛЕКТРОДЫ ДЛЯ СВАРКИ НИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ

Для сварки никелевых сплавов разработана и выпускается гамма сварочных электродов (табл. 15). При создании электродов особую сложность представляла задача обеспечения высоких эксплуатационных характеристик металла шва в сочетании со стойкостью против образования горячих трещин, а в ряде случаев и с малой склонностью к пористости.

Коррозионно-стойкие железоникелевые сплавы 06Х28МДТ (ЭИ943), 03ХН28МДТ (ЭП 516), 03Н26МДБ служат основными конструкционными материалами для оборудования цехов производства сложных минеральных удобрений, экстрационной фосфорной и серной кислот и пр. Для сварки указанных сплавов, а также стали 03Х21Н21М4ГБ (ЭИ 35) в течение многих лет широко применяются электроды марки ОЗЛ-17У.

Однако коррозионная стойкость металла шва и его технологическая прочность не всегда отвечают возросшим требованиям.

Более высокой стойкостью металла шва против образования горячих (в первую очередь межваликовых трещин), большей стабильностью показателей механических свойств металла шва и его высокой сопротивляемостью межкристаллитной коррозии отличаются электроды ОЗЛ-37-2. Повышение комплекса свойств металла шва достигнуто в основном применением для электродных стержней проволоки оптимизированного состава. От электродов АНВ-28, также предназначенных для сварки сплавов типа 06ХН28МДТ, они выгодно отличаются высокой коррозионной стойкостью в многочисленных швах, подверженных повторным термическим циклам.

Таблица 15

Основные характеристики электродов для сварки коррозионно-стойких и жаростойких никелевых сплавов.

Марка электрода	Тип наплавленного металла	Механические свойства металла шва		
		σ_b , МПА	δ , %	a_n , Дж/см ²
ОЗЛ-37-2	03Х23Н25М3Д3Г2Б	615	35	155
ОЗЛ-17У	03Х23Н27М3Д3Г2Б	585	35	180
АНВ-28	04Х23Н27М4Д3Г2Ф	≥ 550	≥ 25	≥ 100
ОЗЛ-21	Э-02Х20Н60М15В3	810	28	95
ОЗЛ-23	02Н70М29	785	18	60
ОЗЛ-25Б	Э-10Х20Н70Г2М2Б2В	674	38	140
ОЗЛ-25	Э-10Х20Н70Г2М2В2	595	22	-
ОЗЛ-35	10Х27Н70Г2ЮМ2	665	32	135
ОЗЛ-30	06Х14Н65М15В4Г2	750	38	50
ЦТ-28	Э-08Х14Н65М15В4Г2	730	38	145

Электроды ОЗЛ-23 предназначены для сварки оборудования из коррозионно-стойких никель-молибденовых сплавов типа Н70МФ (ЭП 496), 00Н70М27Ф (ЭП 814), 000Н70М28РР, 000Н70М28Р и для сварки коррозионно-стойкого слоя биметалла с плакировкой из сплавов этого типа. Металл сварных швов характеризуется высокой коррозионной стойкостью в некоторых наиболее агрессивных средах, например в кипящих растворах соляной кислоты.

Электроды ОЗЛ-25Б предназначены для сварки изделий коррозионно-стойких жаростойких сплавов типа ХН78Т (ЭИ 435). Эти универсальные электроды характеризуются сочетанием высоких температур от -196 до 900°С и его специальных свойств. Коррозионная стойкость металла шва находится на уровне основного металла. Кроме сварки никелевых сплавов, эти электроды целесообразно использовать для сварки разнородных сталей, что связано с уменьшением диффузионных прослоек по линии сплавления.

Наибольшую жаростойкость сварных соединений обеспечивают электроды

ОЗЛ-35. Эти электроды предназначены для сварки жаростойкого никельхромалюминиевого сплава ХН70Ю (ЭИ 652), а также сплава ХН45Ю

(ЭП 747) и других на никелевой основе, работающих при температурах до 1200°С.

Электроды ОЗЛ-30 обладают более высокими сварочно-технологическими свойствами, обеспечивают металл шва, аналогичный по физико-химическим свойствам получаемому при применении электродов ЦТ-28.

6 ЭЛЕКТРОДЫ ДЛЯ ХОЛОДНОЙ СВАРКИ ЧУГУНА

Дефекты в деталях и изделиях из чугуна различны по характеру и размеру. Они обнаруживаются в чугунных отливках при их изготовлении и механической обработке, а также при эксплуатации. Чтобы не допустить их появления, необходимо в каждом конкретном случае выбирать для ремонта различные марки электродов.

Используя выпускающиеся различные сварочные электроды и их сочетания, а также соответствующую технологию их применения, можно получать наплавленный металл (металл шва) с заданными свойствами и в виде стали, сплавов на основе никеля, меди, железоникелевого сплава. Это позволяет достигать в сварном соединении требуемых показателей прочности, пластичности, твёрдости, герметичности, обрабатываемости.

По технико-экономическим показателям широко применяется ручная электродуговая сварка чугуна без подогрева (холодная сварка), позволяющая достигать в зависимости от технических возможностей и требований необходимые качества восстановленных чугунных изделий. В последние годы с целью повышения сварочно-технологических свойств электродов, выпускаемых централизованно, была обновлена их номенклатура. В табл. 16 представлены основные характеристики, включая назначение электродов промышленных марок для холодной сварки и наплавки чугуна. Наиболее распространены и дешевы электроды ЦЧ-4 и ОЗЧ-2. Однако в ближайшие годы они полностью должны быть заменены электродами ОЗЧ-6.

Электроды ОЗЧ-6 отличает повышенная технологичность при ремонте деталей, эксплуатировавшихся при высоких температурах, коррозионная стойкость металла шва в сернистых средах, возможность заварки сквозных дефектов с обеспечения качественного формирования шва на весу

При ремонте деталей из сильно загрязнённого чугуна целесообразно применять электроды ОЗЛ-25Б.

Ограниченное применение находят в отрасли электроды:

ЧФ-3 (изготавливаемые на основе проволоки из монель-металла) для заварки дефектов и ремонта отливок из серого чугуна;

ЧФ-6 (изготавливаемые из спаренных прутков чугуна и монель-металла) для заварки небольших дефектов на обрабатываемых и ответственных необрабатываемых поверхностях.

АНЧ-1 (изготавливаемые из хромоникелевой проволоки Св-04Х19Н9 с оболочкой из медной ленты.

При разделке дефектов на чугуне целесообразно использовать специальные электроды для строжки металла.

7 ЭЛЕКТРОДЫ ДЛЯ РЕЗКИ И СТРОЖКИ МЕТАЛЛОВ

При ремонте металлических конструкций, изделий и оборудования, восстановлении сталелитейного оборудования применяют различные методы

резки. В монтажных условиях, при небольшом объёме работ, в труднодоступных местах и других случаях наиболее выгодно ручная электродуговая резка специальным покрытым электродом. Этот метод не требует специального оборудования, доставки к месту резки ацетилен, сжатого воздуха или кислорода, нет необходимости в специальной квалификации рабочих.

До последнего времени для таких целей применяли только сварочные электроды общего назначения, которые не обеспечивают требуемых качества поверхности реза и производительности. Однако для резки необходимы специальные электроды, которые должны давать дугу стабильно высокой тепловой мощности, т.е. позволять применять высокие силу тока и напряжение на дуге. Покрытие должно обладать высокой теплостойкостью и обеспечивать окисление жидкого металла для лёгкого его устранения с места резки.

Перечисленным требованиям отвечают электроды марки ОЗР-1, предназначенные для резки, строжки, прошивки отверстий в изделиях из сталей (включая нержавеющие), чугуна, медных сплавов. Применение электродов целесообразно также для удаления дефектных швов или их участков, удаления прихваток, заклёпок, болтов, разделки дефектов, трещин и т.п.

Таблица 16

Основные характеристики для холодной сварки чугуна

Марка	Назначение	Система легирования наплавленного металла и содержания легирующих элементов, %	Механические свойства металла шва		
МНЧ-2	Для исправления дефектов чугунного литья на поверхностях, подвергающихся механической обработке, а также дефектов, вскрывающихся после механической обработки отливок; сварки и наплавки повреждённых деталей, когда к месту сварки предъявляются повышенные требования по чистоте поверхности после обработки Для сварки и наплавки	Ni = 66, Cu – остальное	-	-	140

ОЗЧ-2	<p>повреждённых деталей из серого и ковкого чугуна и заварки чугуна литья. В отдельных случаях, если нужна хорошая обрабатываемость мест сваркиЮ применяются в сочетании с МНЧ-2</p> <p>Для сварки изделий, наплавки и заварки дефектов литья из высокопрочного , серого и ковкого чугуна и его сочетаний со сталью</p> <p>Для сварки конструкций из высокопрочного чугуна с шаровидными графитом, чугуна со сталью</p> <p>Для сварки высокопрочного магниевого чугуна со сфероидальным графитом, для заварки крупных дефектов литья в деталях из серого и высокопрочного чугуна.</p>	Cu – основа	10-12 (110)	-	175
ЦЧ-4	<p>При наплавке больших объёмов металла на чугун используется совместно с электродами ОЗЧ-3, для наплавки промежуточных слоёв – поочередно с электродами ОЗЧ-3 (первый и последний слой наплавляют электродами ОЗЧ-3)</p>	Fe – основа V = 9,5	49-52 (500)	8	175
ЦЧ-4А	<p>Для сварки и заварки дефектов литья в деталях из серого и высокопрочного чугуна. При заварке крупных дефектов или наплавке больших объёмов металла во избежание образования трещин</p>	Fe – основа V = 10 Si ≤ 14	-	-	-
ОЗЖН-1		Ni =48 Fe – остальное	50-52 (510)	26-28	190

ЦЧ-3А		Ni = 46 Fe – остальное	52(520)	7	-
ОЗЧ-6		Cu – основа Fe = 10	30-35	10-17	120

Разделительная и поверхностная резка (строжка) производится во всех пространственных положениях на постоянном и переменном токе (при $U_{xx} \geq 65$ D) на следующих режимах в зависимости от диаметра электрода: Ø3мм-I=110÷170А, Ø4мм-I=180÷260А, Ø5мм-I=250÷350А, Ø6мм-I=360÷600А. Напряжение на дуге достигает 50-52 В, это значительно превышает напряжения при резке сварочными электродами АНР-2 и АНР-2М.

Электроды ОЗР-1 имеют простейшее двухкомпонентное покрытие, не содержащее гигиенически неблагоприятных, дефицитных или дорогостоящих компонентов: оно состоит из гематита и кварца. Кислородосодержащим ком-

понентом в покрытии АНР-2 является марганцевая руда, которая является основой (70%) покрытия. В электродах АНР-2М вместо марганцевой руды, как и в электродах ОЗР-1, присутствует гематит (60%). При плавлении электродов АНР-2, АНР-2м и ОЗР-1 общее выделение пыли на килограмм сожжённых электродов составляет соответственно 15,9; 17,2 и 6,1 г, а содержание в ней токсичного марганца – 10,8; 1,2 и 0% . Поэтому с санитарно-гигиенической точки зрения применение электродов ОЗР-1 предпочтительнее.

Производительность резки специальными электродами выше, чем производительность механических методов удаления дефектного металла (выруб-ки, шлифовки), кроме того, существенно улучшены условия труда рабочих. Скорость обрезки специальными электродами чугунного и нержавеющей ли-тья в 1,5 – 2 раза выше, чем скорость обрезки угольными электродами на тех же режимах при воздушно-дуговой резке.

Чистая поверхность реза обеспечивается покрытием за счёт окислов в его составе, предотвращающих прилипание частиц расплавленного металла. Специальные электроды для резки и строжки имеют в составе покрытия угле-содержащих компонентов, что исключает науглероживание кромок реза. Это позволяет избежать при последующей сварке дополнительной механической подготовки.

Особый интерес представляет применение таких электродов для строжки. Форма кромок, получающихся при строжке, близка к требованиям стан-дартов, канавка реза – чистая по глубине и ширине, качество строжки металла во всех пространственных положениях хорошее и позволяет обеспечить каче-ственное формирование сварного шва без предварительной механической за-чистки. Производительность строжки до 50 м/ч.

При резке или строжке деталь желательно установить таким образом, чтобы расплавленный металл мог спокойно стекать. При резке дуга должна быть как можно короче, электрод движется сверху вниз и обратно в плоскости, перпендикулярной поверхности реза, одновременно продвигаясь в направле-нии реза. Строжку производят углом вперёд при минимальном угле наклона электрода к изделию.

8 ЭЛЕКТРОДЫ ДЛЯ НАПЛАВКИ

На предприятиях отрасли химического и нефтяного машиностроения в основном производстве наплавка применяется для изготовления биметалличе-ской аппаратуры а арматуры. Ручная дуговая наплавка поверхностей фланцев, люков и других деталей из малоуглеродистых и низколегированных сталей для аппаратов из коррозионно-стойких сталей производится сварочными электро-дами, выбор которых зависит от марки стали, её коррозионной стойкости и рабочих условий эксплуатации оборудования. Для выполнения первого (пере-ходного) слоя применяют электроды ОЗЛ-6 и ЗИО-8. Технология наплавки должна предусматривать меры, ограничивающие разбавление шва углероди-

стой или низколегированной сталью и предотвращающие образования хрупких структур.

Применение в отрасли наплавочные электроды представлены в табл. 17.

Электроды ЗИО-8 предназначены для однослойной наплавки, при условии, что наплавленное изделие не подвергается термообработке при 500-800°C, и выполнении первого слоя при двухслойной наплавке на детали из сталей перлитного класса. Для наплавки второго антикоррозионного слоя покрытия используют электроды ЭА-898/21Б. Наплавленный ими металл стоек против межкристаллитной коррозии в исходном состоянии и после термообработки.

Существенно значение качества наплавки применительно к запорной и регулирующей арматуре, незначительные повреждения которой вследствие коррозионного и (или) механического воздействия вызывают выход оборудования из строя. Хорошие результаты получены при применении электродов ЦН-6Л. Наплавленный ими металл устойчив против коррозии и эрозии в среде воды и пара, стоек против задигов при температуре 540°C и удельном давлении 7800 МПа. На аналогичные параметры рассчитаны электроды ВПИ-1. Электроды ЦН-12М предназначены для наплавки уплотнительных поверхностей арматуры, работающей при температуре до 600°C, и дают наплавленный металл с высокой коррозионной стойкостью.

Электроды ЦН-2, изготавливаемые из сплава ВЗК (кобальтового стеллита) окунанием литого стержня, обеспечивают высокую окалиностойкость наплавленного металла и коррозионную стойкость в средах типа азотной кислоты.

Металл, наплавленный электродами УОНИ-13/Н1-БК, обладает высокой коррозионной стойкостью в различных кислотах и их смесях. Перспективны многофункциональные электроды марки ОЗШ-6.

Таблица 17

Наплавочные электроды

Марка электрода	Тип по ГОСТ 10051-75	Твёрдость наплавленного металла, HRC	
		до термообработки	после термообработки
ЭА-898/21Б	08X18H9Г2Б	не нормируется	не нормируется
ЗИО-8	07X24H12Г2	не нормируется	не нормируется
ЦН-6Л	Э-08X17H8C6Г	-	32
ЦН-12М	Э-13X16H8M5C5Г4Б	-	44
УОНИ-13/Н1-БК-6	Э-09X31H8AM2	25	44
ВПИ-1	Э-9X16H9C5Г2M2ФТ	25	32
ЦН-2	Э-190K62X29B5C2	45	-
ОЗШ-6	10X32H10M3Г2C2	31	56

9 ЭЛЕКТРОДЫ ДЛЯ СВАРКИ ЦВЕТНЫХ И ЛЁГКИХ МЕТАЛЛОВ И ИХ СПЛАВОВ

Цветные металлы (алюминий, медь, никель, титан) и сплавы на их основе широко применяются в отрасли в качестве конструкционного материала. Развитие техники предъявляет все возрастающие требования к электродам для сварки этих металлов как по их сварочно-технологическим свойствам, так и по характеристикам металла шва.

Титан и его сплавы не свариваются методом ручной электродуговой сварки из-за недостаточной защиты зоны сварного соединения от окисления.

Для сварки изделий из технических марок алюминия А85, А8, А7, А6, А5, АД1, АДО применяют электроды ОЗА-1 (табл. 18). Эти электроды изготовляются серийно и успешно применяются в течение многих лет, однако не отвечают современным требованиям сварочно-техническим свойствам (в первую очередь по механической прочности и влагостойкости покрытия) и подлежат модернизации. В химическом машиностроении ограничено используют электроды Аф-4А, которые изготовляют окунанием. Эти электроды используют только на месте изготовления, так как они не могут транспортироваться и длительно храниться.

Таблица 18

Основные характеристики электродов для сварки алюминия и его сплавов

Марка электрода	Химический состав наплавленного металла, %				Механические свойства сварного соединения	
	Al	Ti	Si	Прочие	σ_b , МПа	t, °C
ОЗА-1	≥99	0,15-	0,3-	Fe = 0,1÷	≥60	≥160
ОЗА-2	Остальное	0,25 0,15- 0,25	0,5 ≤5	0,3 C≤0,2	≥70	≥90

Для заварки брака литья и наплавки деталей их алюминиево-кремнистых сплавов типа АЛ-4, АЛ-9, АЛ-11 и других применяют электроды ОЗА-2.

Ручная дуговая сварка применима для конструкций из сплавов алюминия толщиной 4-60 мм. Сварку производят только на постоянном токе обратной полярности в нижнем и ограниченно вертикальном положениях при плотности тока 25-30 А на миллиметр диаметра электрода. На практике, однако, используют и существенно большие значения тока. Применяют, как правило, электроды диаметром 4-6 мм. подготовку кромок под сварку производят механическим способом, конструктивные элементы подготовки кромок и размеры и размеры сварных швов принимают по стандартам предприятий. Не позднее, чем за 2-3 ч до сварки свариваемые кромки и прилегающие к ним поверхности на ширине, равной полутора толщинам металла, (но не менее 20мм), должны

быть защищены с двух сторон и обезжирены. Непосредственно перед сваркой кромки обезжиривают ацетоном, уайт-спиритом или другими растворителями.

Сварку и прихватку конструкций из металла толщиной более 12 мм производят с предварительным подогревом до 250-400°C. Зазор, устанавливаемый при сборке, не должен превышать 3 мм. Шлак с поверхности швов удаляют горячей водой с применением металлических щёток. При многослойной сварке каждый последующий шов накладывают после тщательной зачистки предыдущего.

При ручной дуговой сварке должны быть обеспечены следующие механические свойства сварных соединений: предел прочности – не меньше нижнего его значения для основного металла по нормативной документации, угол изгиба – не менее 120°.

Для изготовления сосудов и аппаратов в химическом машиностроении применяется техническая медь М1Р, М2Р, М3Р, латунь Л63. Техническая медь, различные латуни и бронза находят и другое применение в отрасли. В течение многих лет сварку конструкций из меди и её сплавов осуществляли только электродами марки «Комсомолец-100» (ОСТ 26-01-82-77). Известны электроды УР-7 и УР-8, имеющие ограниченное применение.

В сравнении с ними новые электроды АНЦ/ОЗМ-2 обладают многими преимуществами: требуют лишь незначительного предварительного подогрева (150-350°C в зависимости от массы и конфигурации свариваемого изделия), обеспечивают сварку меди толщиной до 12-14 мм без разделки кромок, а до 8 мм за один проход, дают металл шва минимальной легированности и повышенной (в 2-3 раза) электропроводности; позволяют повысить более чем в 1,5 раза производительность сварки. Типичные механические свойства металла шва: предел текучести 100 МПа, временное сопротивление 200 МПа, относительное удлинение 30%, ударная вязкость 110 Дж/см², угол изгиба сварного соединения 170°C.

Электроды предназначены для сварки на постоянном токе обратной полярности при плотности тока 60-80 А/мм диаметра электрода от источников питания с $U_{xx} \geq 65$ В. Их целесообразно применять для сварки медных шинопроводов, при изготовлении в ремонте аппаратуры и пр.

Для сварки бронз, в основном оловянисто-фосфорных, заварки дефектов бронзового литья и наплавки на сталь предназначены электроды ОЗБ-2.

Электроды изготовляют из тянутой проволоки методом опрессовки на стандартном оборудовании. Электроды выпускаются диаметром 4 мм, позволяют производить сварку постоянным током обратной полярности при силе сварочного тока 140-160 А.

Предварительный подогрев свариваемых деталей не обязателен. Электроды обладают высокими сварочно-технологическими свойствами.

Наплавленный электродами ОЗБ-2 металл, содержащий (масс. %) 6 олова; 0,8 никеля; 0,3 фосфора; 0,2 марганца; меди – остальное, имеет следующие механические свойства: временное сопротивление разрыву 330 МПа, относительное удлинение 12%.

Электроды марки ОЗБ-2 целесообразно применять также для сварки латуней, возможно их использование для холодной сварки чугуна.

Электроды ОЗЛ-22 (табл. 19) предназначены для сварки узлов аппаратуры из никеля НП-2 и сплава НА-1, работающей в концентрированных щелочах, хлоросодержащих средах содового производства, при производстве синтетических волокон и пр. Они обеспечивают получение достаточно плотных швов.

Сварные соединения аппаратуры из сплава НА-1, выполненные электродами ОЗЛ-22, обладают высокой коррозионной стойкостью при воздействии нагретых фторсодержащих газообразных атмосфер. Электроды также целесообразно применять для сварки коррозионно-стойкого слоя биметалла сталь + никель, для наплавки коррозионно-стойкого слоя на углеродистую и нержавеющую стали.

Таблица 19

Электроды для варки технического никеля и монель-металла

Марка электрода	Тип наплавленного металла	Химический состав наплавленного металла						Механические свойства металла шва		
		С	Si	Mn	Ni	Fe	Прочие	$\sigma_{в}$, МПа	δ , %	$a_{в}$, Дж/см ²
В-56У	05Н70Д30	0,05	-	-	основа	Не более 0,5	Си = 30	не менее 390	-	не менее 100
ОЗЛ-32	10Н95Г2	0,1	1	2,5	остальное	2,1	Al не более 0,5 Ti = 1,1	не менее 440	не менее 25	не менее 150

Электроды В-56У используют для сварки химической и нефтехимической аппаратуры из никель-медного сплава НМЖМц 28-2,5-1,5 (монель-металл). Высокая коррозионная стойкость металла шва обеспечивается, в частности, в средах, содержащих хлористый водород и сероводород при температуре до 200°С. Электроды применяют также для сварки коррозионно-стойкого слоя биметалла ВСтЗсп + монель, сварки этих материалов в разнородных соединениях, для наплавки коррозионно-стойкого слоя на малоуглеродистую сталь.

10 РЕКОМЕНДУЕМЫЕ РЕЖИМЫ СВАРКИ ЭЛЕКТРОДАМИ С ПОКРЫТИЕМ

Основным понятием дуговой сварки является сила сварочного тока I_d и напряжение дуги U_d . Теоретически мощность сварочной дуги равна $q = I_d U_d$ с учётом КПД нагрева металла при сварке h полная мощность сварочной дуги $q_0 = h I_d U_d$, коэффициент h находится в пределах 0,7-0,85.

Погонная (линейная) энергия сварки, q_n , которая определяет производительность процесса, рассчитывается по зависимости:

$Q_n = \frac{q_0}{V_c}$, где V_c – скорость сварки, м/ч. Обычно V_c находится в пределах 6÷15 м/ч.

Ручная дуговая сварка может вестись на переменном или постоянном токе в зависимости от применяемого источника сварочного тока. Независимо от рода тока, но в зависимости от диаметра электрода и толщины кромок свариваемого изделия сила тока на дуге лежит в пределах 100-450 А, напряжение на дуге равно 25-45 В.

Особо нужно обратить внимание на сварку постоянным электрическим током, когда один проводник (клемма, шина, кабель и т.д.) имеет положительный заряд и называется анодом, а другой проводник с отрицательным зарядом называется катодом. Сварка, когда к свариваемому изделию подключают «+», а к электроду «-», называется сваркой прямой полярности, при изменении полярности на изделии и электроде сварка называется сваркой обратной полярности. В реальных условиях при сварке на прямой полярности (анод на изделии) глубина проплавления оказывается меньше, чем на обратной полярности (катод на изделии). В тоже время нужно учитывать, что при сварке некоторых сталей сплавов, цветных металлов для получения сварного соединения высокого качества можно получить только используя переменную полярность и, соответственно определённые электроды.

В таблице 20 в зависимости от марки электрода приведены рекомендации возможного положения шва в пространстве, рода тока и полярности, рекомендуемая сила тока и производительность расходу присадочного металла, которая и определяется силой тока.

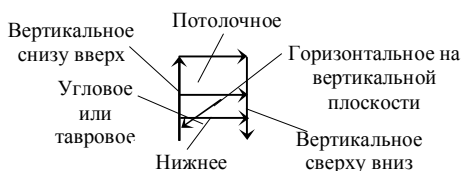
Увеличение силы тока сверх рекомендованной величины может привести к разогреву стержня электрода, отслаиванию покрытия, сильному разбрызгиванию и угару расплавленного металла.

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ, ПРИНЯТЫЕ В ТАБЛИЦЕ 20.

а) род тока:

- ~ переменный ток
- =/+/- постоянный ток обратной полярности
- =/-/- постоянный ток прямой полярности
- = постоянный ток любой полярности

б) пространственного положения шва:









в) рекомендуемых режимов: диаметра d , мм; силы тока I , А; производительности G , кг/ч.

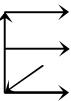

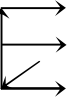
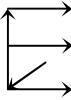

Таблица 20

Некоторые рекомендации по сварке электродами с покрытием

Марка электрода	Положение сварки	Род тока	Технологические особенности	Рекомендуемые режимы		
				d, мм	I, А	G, кг/ч
ОЗС-4		~, =	Допускается сварка удлиненной дугой и по окисленной поверхности	3	90...100	0,8
				4	140...170	1,4
				5	190...240	2,0
				6	230...300	3,4
МРЗ		~, =	Низкая чувствительность при образовании пор при сварке по незачищенным кромкам	3	90...120	0,8
				4	160...180	1,2
				5	170...230	1,5
АНО-4		~, = /+/	Сварку производить короткой дугой по зачищенным кромкам	3	100...140	1,0
				4	170...200	1,6
				5	190...270	1,9
ОЗС-12		~, = /- /	Допускается сварка удлиненной дугой по незачищенным кромкам	2	50...60	0,5
				2,5	70...80	0,6
				3	90...110	0,8
				4	130...160	1,2
				5	160...200	1,5
ОЗС-6		~, = /+/	Допускается сварка удлиненной дугой и по окисленной поверхности	3	80...110	1,2
				4	170...220	1,8
				5	220...280	2,6
				6	300...350	3,5
				8	380...400	4,0
ТМУ-21У		= /+/ /	Возможно кратковременное удлинение дуги, не приводящее к образованию пор. Допускается сварка в узкие разделки с общим углом скоса 15°	3	80...110	0,9
				4	130...170	1,4
				5	170...200	1,8

ВСЦ-4М		=	Сварку корневого шва производить без поперечных колебаний опиранием на свариваемые кромки, горячий проход вести после зачистки шлифшкурками корневого слоя. Оставлять огарок не менее 50мм	3	80...110	0,9
				4	130...160	1,3
ОЗЛ-6С		= /+/ =	Металл шва высокой жаростойкости до 1000°, стойкость против межкристаллической коррозии. Содержание ферритной фазы 2,5÷10%	3	60...80	0,8
				4	120...140	1,5
				5	140...160	1,7
ЭА-395/9		= /+/ =	Сварку проводят на короткой длине дуги. Прокалка перед сваркой 200-250°С, 2 часа	3	60...110	0,7
				4	100...170	1,5
				5	120...200	1,8
НИИ-48Г		= /+/ =	Металл шва жаростоек до 800°С. Прокалка перед сваркой 200°С, 1 час	3	100...130	1,3
				4	140...180	1,9
				5	190...200	2,2
ОЗЛ-25Б		= /+/ =	Жаростойкость до 1000°С, коррозионная стойкость, длительная прочность. Возможно применение для чугуна	3	60...80	1,0
ИМЕТ-10		= /+/ =	Сварку производят узкими валиками не более 3 диаметров электрода. Металл шва высокой жаростойкости 900°С, длительной прочности, высокой стойкости против образования трещин	2,5	40...75	0,9
				3	60...100	1,2
ЦТ-28		= /+/ =	Шов высокой жаростойкости и жаропрочности. Сварку производят узкими валиками шириной не более 2,5 диаметра электрода	3	70...100	0,9
				4	100...140	1,3

ОЗЛ-8		= /+/ 	Металл шва стойкий к межкристаллитной коррозии. Содержание ферритной фазы в наплавленном металле 2÷8%. Прокатка перед сваркой 190°С, 1 час	2	30...50	0,7
				3	50...100	1,1
				4	90...150	1,6
				5	120...180	1,8
ОЗЛ-8С		= /+/ 	Металл шва стоек против межкристаллитной коррозии без провоцирующего отпуска. Содержание ферритной фазы 2÷8%.	2	30...50	0,5
				2,5	40...60	0,6
				3	50...70	0,8
				4	110...130	1,6
				5	150...170	2,1
ОЗЛ-36		= /+/ 	Металл шва стоек против межкристаллитной коррозии без провоцирующего отпуска. Содержание ферритной фазы 2÷8%.	3	80...90	1,2
				4	140...160	2,0
				5	170...180	2,4
ОЗЛ-7		= /+/ 	Металл шва стоек против межкристаллитной коррозии без провоцирующего отпуска. Содержание ферритной фазы 2÷8%.	2	30...50	0,5
				2,5	40...50	0,6
				3	60...80	0,8
				4	110...130	1,4
				5	140...160	1,8
ЭА-400/10У		= /+/ 	Металл шва стоек против межкристаллитной коррозии без провоцирующего отпуска. Содержание ферритной фазы 2÷8%	3	60...110	0,8
				4	100...160	1,6
				5	120...180	2,0
НЖ-13		= /+/ 	Металл шва стоек против межкристаллитной коррозии без провоцирующего отпуска. Содержание ферритной фазы 2÷8%	3	70...90	1,1
				4	120...140	1,7
				5	160...180	2,2
				6	180...200	2,5

ОЗЛ-17У		= /+/ 	Сварку металла толщиной до 12мм производить валиками во всю ширину разделки, при большой толщине с двусторонней разделкой; кратер необходимо вышлифовать	3	110...130	1,7
				4	130...160	2,0
ОЗЛ-37-2		= /+/ 	Металл шва обладает высокой коррозионной стойкостью. Повышенная сопротивляемость образованию межваликовых трещин при многослойной сварке	3	110...130	1,6
				4	130...160	2,0
ЦТ-15		= /+/ 	Стоек против межкристаллитной коррозии. Характеризуется высокой длительной прочностью	2	50...70	0,6
				2,5	70...90	0,8
				3	80...100	0,9
				4	110...140	1,3
				5	150...180	1,6
ОЗЛ-9А		= /+/ 	Кратеры вышлифовать или полностью переплавлять при последующих проходах. Рекомендуется облицовка в 1...2 слоя швов, обращенных к рабочей среде, электродами других марок	2,5	40...70	0,7
				3	70...90	1,1
				4	110...130	1,6
ГС-1		= /+/ 	Металл шва характеризуется высокой жаростойкостью. Глубина окисления при температуре 1100°С за 1000ч составляет 0,035мм	3	80...100	0,8