



СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ПОКРЫТЫХ ЭЛЕКТРОДОВ ПРИ КАПИТАЛЬНОМ РЕМОНТЕ МАГИСТРАЛЬНЫХ НЕФТЕПРОВОДОВ*

Д. А. ЗАВАЛИНИЧ, инж. (ОАО «Черномортранснефть», г. Новороссийск, РФ),
В. М. ДЗЮБА, инж., В. Г. ЛОЗОВОЙ, канд. техн. наук (ООО «НПЦ «Сварочные материалы», г. Краснодар, РФ),
Д. Л. СТОРОЖИК, инж. (НСРЗ, г. Новороссийск, РФ)

Приведены результаты сравнительных испытаний покрытых электродов российского и импортного производства, применяемых в процессе ремонта магистральных нефтепроводов. Даны рекомендации по использованию электродов с учетом опыта, накопленного АК «Транснефть».

Ключевые слова: дуговая сварка, магистральные нефтепроводы, ремонт, группа прочности сталей, покрытые электроды, аттестационные испытания, опыт применения, рекомендации

В России и странах СНГ для сварки металлоконструкций широко используют электроды общего назначения, выпускаемые в соответствии с ГОСТ 9466–75. Однако последний не учитывает технологические особенности сварки и ремонта нефтепроводов, что не позволяет применять такие электроды без специальной проверки и аттестации. В России аттестация импортных и отечественных электродов для использования в АК «Транснефть» проводится во ВНИИСТе (г. Москва), а в РАО «ГАЗПРОМ» и «Стройтрансгаз» — во ВНИИГАЗе (г. Москва). Дополнительно аттестуемые для ремонта и трубопроводного строительства отечественные электроды испытываются на соответствие требованиям РД 03-613-03 Национальной ассоциации контроля и сварки России. Такая перекрестная система аттестации ужесточает оценку и обеспечивает большую объективность результатов испытаний.

В процессе аттестационных испытаний сварочных материалов определяется уровень сварочно-технологических свойств, оценивается соответствие сварочных материалов специальным требованиям к качеству их изготовления и обеспечению необходимого комплекса механических свойств.

В настоящей работе обобщается опыт капитального ремонта магистральных трубопроводов с использованием импортных и отечественных электродов, на основании которого приводятся некоторые рекомендации.

Выбор сварочного материала для каждого конкретного случая осуществляется с учетом класса прочности и типоразмера свариваемых труб; требований к механическим свойствам сварных соединений; условий прокладки нефтепровода и наличия специальных требований к сварным соединениям; сварочно-технологических свойств конкретных марок электродов; схемы организации сварочно-монтажных работ и требуемого темпа их выполнения.

В табл. 1 приведен указатель регламента на электроды для сварки стыков труб нефтепроводов в зависимости от класса прочности сталей.

В случае сварки стыков труб из сталей различных групп прочности сварочные материалы должны выбираться исходя из следующего: при различных значениях толщин стенок — по толщине трубы из стали более высокого класса прочности; при одинаковых значениях толщин стенок стыкуемых труб — по толщине трубы из стали менее высокого класса прочности.

Из табл. 1 следует, что для выполнения корневого слоя шва стыков труб из сталей 1...4 групп прочности должны применяться электроды с основным видом покрытия, соответствующие типу Э50А (Е7016), либо электроды с целлюлозным видом покрытия типа Э42А, Э46А (Е6010 и Е6010+);

для сварки «горячего прохода» (первого заполняющего слоя при сварке корневого слоя шва) используются следующие типы электродов с целлюлозным видом покрытия: Э42А, Э46А (Е6010 и Е6010+) — для выполнения «горячего прохода» стыков труб первой и второй групп прочности; Э50А (Е7010 по AWS А5.1 и Е6010+) — для выполнения «горячего прохода» стыков труб третьей группы прочности.

Сварочные материалы для сварки заполняющих и облицовочного слоев шва должны обеспечивать равнопрочность металла шва с основным

*Публикуется по материалам доклада, представленного на 2-м научно-практическом семинаре «Дуговая сварка. Материалы и качество» (26–30 сент. 2005 г., г. Магнитогорск).

Таблица 1. Регламент на электроды для сварки нефтепроводов в зависимости от класса прочности сталей

Назначение	Вид покрытия, тип по ГОСТ 9467–77 (AWS A5.1)	Группа прочности свариваемой стали; нормативный предел прочности, МПа (кгс/мм ²)
Сварка корневого слоя шва	Основной, Э50А (Е7016)	1...4; до 637 (65)
	Целлюлозный, Э42А, Э46А (Е6010)	
Сварка «горячего прохода»	Целлюлозный, Э42А, Э46А (Е6010)	1, 2; до 530 (54)
	Целлюлозный, Э50А (Е7010)	3; 539 (55)...588 (60)
Сварка заполняющих и облицовочного слоев шва	Основной, Э50А (Е7016, Е7018)	1, 2; 530 (54)
	Основной, Э60 (Е8018, Е8016, Е8015 — по AWS A5.5)	3; 539 (55)...588 (60)
	Основной, Э70 (Е9016, Е9018 — по AWS A5.5)	4; 637 (65)
	Целлюлозный, Э42А, Э46А (Е6010)	1; до 490 (50)
	Целлюлозный, Э50А (Е7010)	2; 490 (50)...530 (54)
	Целлюлозный, Э55 (Е8010 — по AWS A5.5)	530 (54)...550 (56)
Целлюлозный, Э60 (Е9010 — по AWS A5.5)	3; 539 (55)...588 (60)	

металлом. Для их выполнения в России преимущественно используются следующие электроды с основным покрытием (см. табл. 1):

типа Э50А (Е7016, Е7018) — для сварки стыков труб первой и второй групп прочности;

типа Э60 (Е8015, Е8016, Е8018) — для сварки стыков труб третьей группы прочности;

типа Э70 (Е9016, Е9018) — для сварки стыков труб четвертой группы прочности.

Для сварки заполняющих и облицовочного слоев шва могут быть использованы электроды с целлюлозным видом покрытия, однако при этом обязательным условием является разработка и согласование соответствующих технологических карт и инструкции по сварке применительно к каждому конкретному объекту строительства, аттестационные испытания технологии сварки, специальная подготовка и аттестация сварщиков. При этом следует использовать следующие электроды с целлюлозным видом покрытия:

типа Э42А, Э46А (Е6010 и Е6010+) — для сварки стыков труб первой группы прочности;

типа Э50А (Е7010) — для сварки стыков труб второй группы прочности;

типа Э55 (Е8010) — для сварки стыков труб с прочностью от 530 (класс прочности трубной стали К54) до 550 МПа (класс К56);

типа Э60 (Е9010) — для сварки стыков труб третьей группы прочности.

Перечень аттестованных и рекомендованных для ручной дуговой сварки электродов с основным покрытием для труб из сталей различных прочностных групп и их изготовители приведены в табл. 2, а электродов с целлюлозным покрытием — в табл. 3.

В ОАО «Черномортранснефть» проведены также испытания новых электродов марки ЛБ-52TRU (ТУ 1272-018-01627014-2002) производства Краснодарского электродного предприятия ООО «НПЦ «Сварочные материалы», сертифицирова-

нные Морским регистром судоходства РФ, Lloyd's Register (Великобритания) и DNV (Норвегия). Разнотолщинность покрытия электродов диаметром 3,0 мм находится в пределах 0,04...0,08; 4,0 — 0,06...0,10 мм. При падении с высоты 1 м на чугунную плиту покрытие электродов обоих диаметров не разрушалось. Сварочно-технологические свойства электродов проверяли при сварке корневого, заполняющего и облицовочного слоев соединения катушек труб диаметром 530×9 и 720×10 мм из стали 17ГС1. Рентгенодефектоскопический контроль не выявил недопустимых дефектов, шлак легко удалялся из разделки. Обратный валик корневого шва без подрезов с минимальными перепадами между чешуйками, внутренняя (лицевая) поверхность корневого валика — без наплывов и большого усиления. Облицовочный слой мелкочешуйчатый и отвечает самым высоким требованиям. При соблюдении качества изготовления электроды ЛБ-52TRU составят серьезную конкуренцию лучшим зарубежным образцам трубных электродов, резко уменьшив зависимость стран СНГ от импорта при значительно меньшей их цене. Испытания электродов ЛБ-52TRU в Тюменском учебном центре ОАО «Сибнефтепровод» подтвердили заключение о результатах испытаний в ОАО «Черномортранснефть».

При аттестации технологии сварки трубопровода Россия—Турция «Голубой поток» на участке 56...92 км были испытаны новые российские целлюлозные электроды «Кубань 6010» и «Кубань 7010» соответственно серии Е6010 и Е7010 по AWS A5.1. Электродами «Кубань 6010» диаметром 4,0 мм сваривали корневой шов пробного стыка плетей труб диаметром 1420×18,7 мм, а «Кубань 7010» диаметром 4,0 мм — «горячий проход» этого стыка. Параллельно сваривали корневой шов и «горячий проход» такого же стыка электродами «Fleetweld 5P+» диаметром 4,0 мм. Заполнение разделки и облицовочный слой в том



Таблица 2. Электроды с основным покрытием для сварки и ремонта неповоротных и поворотных стыков труб при строительстве, реконструкции и ремонте нефтепроводов

Назначение	Марка электрода	Диаметр, мм	Фирма-производитель
Для сварки и ремонта корневого слоя шва и выполнения подварочного слоя* стыков труб из стали с нормативным пределом прочности до 588 МПа включительно (1–4 группы прочности)	ЛБ-52У	2,6; 3,2	«Kobe Steel» (Япония)
	Феникс К50Р Мод (Phoenix K50R Mod)	2,5; 3,2	«Boehler-Thyssen» Schweisstechnic (Германия)
	ОК 53.70	2,5; 3,2	«ESAB АВ» (Швеция)
	ОК 53.70	2,5; 3,0	«ЕСАБ-СВЭЛ» (г. Санкт-Петербург, Россия)
	ОК 53.70**	2,5; 3,0	«СИБЭС» (г. Тюмень, Россия)
	Фокс ЕВ Пайп (Fox EV Pipe)	2,5; 3,2	«Boehler-Thyssen Welding» (Австрия)
	Линкольн 16П (Lincoln 16P)	2,5; 3,2	«Lincoln Electric» (США)
	МТГ-01К	2,5; 3,0	Сычевский электродный завод (г. Сычевка, Россия)
Для сварки и ремонта заполняющих и облицовочного слоев шва стыков труб из стали с нормативным пределом прочности до 530 МПа включительно (1, 2-я группы)	ЛБ-52У	3,2; 4,0	«Kobe Steel» (Япония)
	Феникс К50Р Мод (Phoenix K50R Mod)	3,2; 4,0	«Boehler-Thyssen Schweisstechnic» (Германия)
	ОК 53.70	3,2; 4,0	«ESAB АВ» (Швеция)
	ОК 53.70	3,0; 4,0	«ЕСАБ-СВЭЛ» (г. Санкт-Петербург, Россия)
	ОК 53.70**	3,0; 4,0	«СИБЭС» (г. Тюмень, Россия)
	Фокс ЕВ Пайп (Fox EV Pipe)	3,2; 4,0	«Boehler-Thyssen Welding» (Австрия)
	Линкольн 16П (Lincoln 16P)	3,2; 4,0	«Lincoln Electric» (США)
	МТГ-01К	3,0	Сычевский электродный завод (г. Сычевка, Россия)
	МТГ-02	4,0	То же
	ОК 48.04	3,0; 4,0	«СИБЭС» (г. Тюмень, Россия)
	ЛБ-52TRU	3,0; 4,0	ООО «НПП «Сварочные материалы» (г. Краснодар, Россия)
	ОК 48.04**	3,2; 4,0	«ESAB АВ» (Швеция)
Для сварки и ремонта заполняющих и облицовочного слоев шва стыков труб из стали с нормативным пределом прочности от 539 до 588 МПа включительно (3-я группа)	ОК 74.70	3,2; 4,0	»»
	Линкольн 18П (Lincoln 18P)	3,2; 4,0	«Lincoln Electric» (США)
	Кессель 5520 Мо Kessel 5520 Мо	3,2; 4,0	«Boehler Schweisstechnic Deutschland» (Германия)
	ОК 74.70**	4,0	«СИБЭС» (г. Тюмень, Россия)
	МТГ-03	3,0; 4,0	Сычевский электродный завод (г. Сычевка, Россия)
Для сварки и ремонта заполняющих и облицовочного слоев шва стыков труб из стали с нормативным пределом прочности 637 МПа	Шварц-3К Мод (Schwarz-3K Mod)	3,2; 4,0	«Boehler-Thyssen Schweisstechnic» (Германия)
	ОК 74.78**	4,0	«ESAB АВ» (Швеция)

* Сварку подварочного слоя рекомендуется выполнять электродами № 1–8 диаметром 3,0; 3,2 или 4,0 мм.
 ** Электроды ОК 53.70 («СИБЭС»), ОК 74.70 («СИБЭС»), ОК 48.08 и ОК 74.78 могут быть допущены к применению только после их периодической аттестации в установленном порядке.

и другом случаях выполняли самозащитной проволокой NR-202 (фирма «Lincoln Electric», США). Установлено, что в технологическом плане электроды «Кубань 6010» и «Кубань 7010» превосходят «Fleetweld 5P+». К их достоинствам отно-

сится, в частности, меньший допустимый огарок при сварке по сравнению с импортными электродами, что обеспечивает экономию достаточно дорогих целлюлозных электродов, 100%-й радиографический контроль не выявил в стыках не-

Таблица 3. Электроды с целлюлозным покрытием для сварки неповоротных и поворотных стыков труб при строительстве, реконструкции и ремонте нефтепроводов

Назначение	Марка электрода	Диаметр, мм	Фирма-производитель
Для сварки корневого слоя шва стыков труб из стали с нормативным пределом прочности ≤ 588 МПа (1–3 группы прочности) и «горячего прохода» стыков труб с нормативным пределом прочности ≤ 530 МПа (1, 2 группы прочности)	Флитвелд 5П+ (Fleetweld 5P+)	3,2; 4,0	«Lincoln Electric» (США)
	Фокс Цель (Fox Cel)	3,2; 4,0	«Boehler-Thyssen Welding» (Австрия)
Для сварки «горячего прохода» стыков труб из сталей с нормативным пределом прочности ≤ 588 МПа (3 группа прочности), заполняющих и облицовочного слоев шва стыков труб из сталей с нормативным пределом прочности 490...530 МПа (1, 2 группы прочности)	Флитвелд 5П+ (Fleetweld 5P+)	4,0	«Lincoln Electric» (США)
	Фокс Цель (Fox Cel)	4,0	«Boehler-Thyssen Welding» (Австрия)
Для сварки заполняющих и облицовочного слоев шва стыков труб из сталей с нормативным пределом прочности < 490 МПа (1 группа)	Фокс Цель (Fox Cel)	3,2; 4,0	»»
Для сварки заполняющих и облицовочного слоев шва стыков труб из сталей с нормативным пределом прочности < 530 МПа (1, 2 группы)	Флитвелд 5П+ (Fleetweld 5P+)	3,2; 4,0	«Lincoln Electric» (США)
Для сварки «горячего прохода», заполняющих и облицовочного слоев шва стыков труб из сталей с нормативным пределом прочности 530...550 МПа (K54 – K56)	Шилд Арк 80 (Shield Arc 80)	4,0	»»
Для сварки «горячего прохода», заполняющих и облицовочного слоев шва стыков труб из сталей с нормативным пределом прочности 539...588 МПа (3 группа)	Фокс Цель (Fox Cel)	4,0; 5,0	«Boehler-Thyssen Welding» (Австрия)

допустимых дефектов. По общему мнению специалистов и сварщиков, при освоении промышленного выпуска электродов «Кубань 6010» и «Кубань 7010» и их аттестации во ВНИИСТ и ВНИИГАЗ они с полным основанием найдут достаточно широкое применение при сварке трубопроводов, обеспечат, учитывая значительно меньшую их стоимость, экономию средств в трубопроводном строительстве и снижение зависимости в целлюлозных электродах от импорта.

Определенный интерес представляет экспериментальная оценка сварочно-технологических свойств импортных электродов для трубопроводного строительства, показателей механических свойств сварных соединений и химического состава наплавленного металла, полученных при аттестационных испытаниях электродов и обобщении опыта их применения в организациях АК «Транснефть» при сварке неповоротных стыков трубопроводов различных диаметров, толщин стенок и условий сборки. Такая оценка (табл. 4–7) может служить ориентировкой для разработчиков сварочных материалов России и стран СНГ, специалистов и сварщиков всех трубопроводных организаций.

Приведенные в табл. 4–7 данные свидетельствуют о том, что электроды с наиболее высоким баллом по сварочно-технологическим свойствам имеют при этом довольно низкий уровень вяз-

кости и пластичности металла шва. В свою очередь высокие значения ударной вязкости металла шва, характерные для некоторых марок электродов, не сочетаются с такими же показателями по сварочно-технологическим свойствам. Таким образом, выбор электродов должен осуществляться исходя из конкретных задач и условий ремонта, вида прокладки нефтепровода, климатических условий проведения работ, наличия или отсутствия специальных требований к сварным соединениям нефтепровода по уровню вязкости и пластичности (например, ударной вязкости) и т. д.

Опыт выполнения сварочных работ в АК «Транснефть» позволяет выделить также ряд технологических особенностей применения электродов с основным и целлюлозным видами покрытий при капитальном ремонте магистральных нефтепроводов. Ниже приведены основные из них.

Сварка корневого слоя шва электродами с основным покрытием должна осуществляться на постоянном токе прямой или обратной полярности при минимально возможной длине дуги. Лучшие результаты достигаются при прямой полярности, так как при ней повышается проплавливающее действие дуги, обеспечивается более полное проплавление кромок.

При соблюдении рекомендуемых условий сборки (величины зазора и притупления) по периметру стыка сварка на токе обратной поляр-



Таблица 4. Сварочно-технологические свойства электродов с основным видом покрытия диаметром 3,2 мм для сварки корневого слоя шва*

Сварочно-технологические показатели	Марка электродов					
	ЛБ-52У	Феникс К50Р Мод	Линкольн 16П	ОК 53.70	Фирма 5520Р Мод	УОНИ-13/55М (для сравнения)
Технологичность электрода	5	4	5	4	4	3
Проплавляющая способность дуги, отсутствие склонности к образованию непроваров и подрезов	5	4	4	4	4	3
Мягкость и стабильность горения дуги	5	5	5	5	5	3
Форма и поверхность корневого слоя шва со стороны разделки	5	4	5	5	4	3
Отделимость шлака	5	5	5	5	5	3
Склонность к образованию пор при колебаниях величины зазора	5	4	5	4	3	3

* Экспертная балльная оценка проведена при принятом за эталон (5 баллов) электроде ЛБ-52У («Kobe Steel», Япония).

Таблица 5. Химический состав и механические свойства наплавленного металла, выполненного электродами с покрытием основного вида для сварки корневого, заполняющих и облицовочного слоев стыков труб из сталей 1-2 групп прочности

Марка электрода, тип по ГОСТ (AWS)	Типичный химический состав наплавленного металла	Типичные механические свойства металла					
		σ_b , МПа	σ_t , МПа	δ , %	ψ , %	KCV , Дж/см ² , при температуре, °С	
						-20	-40
ЛБ-52У, Э50А (E7016)	0,08 С; 0,86 Мн; 0,64 Si	563	447	24	65	40	40
Линкольн 16П, Э50А (E7016)	0,07С; 1,15 Мн; 0,60 Si	530	417	29	70	88	48
Феникс К50Р Мод, Э50А (E7016)	0,07 С; 1,28 Мн; 0,51 Si	520	418	28	63	73	47
ОК 53.70, Э50А (E7016)	0,05 С; 1,34 Мн 0,29 Si	524	420	32	75	121	59
Фирма 5520Р Мод, Э50А (E7018)	0,05 С; 1,07 Мн; 0,56 Si	525	410	27	76	72	35
ОК 48.04*, Э50А (E7018)	0,06 С; 1,15 Мн; 0,5 Si	504	418	30	79	90	55

* Сварка только заполняющих слоев.

Таблица 6. Сварочно-технологические свойства электродов с целлюлозным видом покрытия диаметром 4,0 мм для сварки корневого слоя шва*

Сварочно-технологические показатели	Марка электрода				
	Фокс Цель	Тиссен Цель 70	Флитвелд 5П+	Пайпвелд 6010	Кобе 6010
Проплавляющая способность дуги, формирование обратного валика	5	5	5	4	5
Форма обратного валика	5	5	5	5	4
Отсутствие склонности к образованию непроваров и подрезов	5	5	5	4	4
Склонность к залипанию дуги в процессе сварки	4	4	5	3	3

* Экспертная балльная оценка проведена при принятом за эталон электроде Фокс Цель («Boehler-Thyssen Welding», Австрия).

ности также позволяет обеспечить качественное выполнение корневого слоя, но требует при этом большей квалификации сварщика для достаточного проплавления кромок, чем при сварке на токе обратной полярности. Проплавление при сварке на обратной полярности можно повысить изменением угла наклона электрода (ближе к перпендикулярному по отношению к поверхности тру-

бы), увеличением тока на 10...20 А, поперечными колебаниями. Рекомендуемые для основных электродов значения сварочного тока при наложении корневого слоя шва постоянным током обратной полярности приведены в табл. 8.

При толщине стенки трубы до 7 мм для наложения корневого слоя шва должны использо-

Таблица 7. Типичные механические свойства наплавленного металла, выполненного электродами с покрытием целлюлозного вида для сварки корневого, заполняющих и облицовочного слоев стыков труб из сталей 1-2 группы прочности

Марка электрода, тип по ГОСТ (AWS)	σв, МПа	σт, МПа	δ, %	ψ, %	KCV, Дж/см ² , при температуре, °С	
					-20	-40
Фокс Цель, Э46 (E6010)	495	425	26	66	65	—
Флитвелд 5П+, Э46 (E6010)	520	410	29	67	72	46
Пайпвелд 6010, Э42 (E6010)	450	360	30	58	45	30
Пайпвелд 7010, Э50 (E7010)	565	435	25	57	48	27
Тиссен Цель 70, Э46 (E6010)	505	385	25	61	25	13

ваться только электроды диаметром 2,5 мм, при большей толщине — 3,0 и 3,2 мм.

Сварку корневого слоя шва электродами с целлюлозным покрытием следует осуществлять методом «сверху-вниз» на постоянном токе обратной или прямой полярности от источников питания, имеющих специальные характеристики. Применение тока прямой полярности дуги позволяет уменьшить вероятность образования подрезов и исключить образование вытянутой поры в обратном валике.

Для труб диаметром 530 мм и выше с толщиной стенки более 7 мм при сварке корневого слоя шва следует использовать целлюлозные электроды диаметром 4,0 мм.

Сварку «горячего прохода» следует выполнять только на токе обратной полярности.

Значение силы тока при сварке зависит от конкретной марки и диаметра электрода, толщины стенки свариваемой трубы, пространственного положения при сварке и навыков сварщика.

Рекомендуемые значения сварочного тока для сварки корневого слоя шва и «горячего прохода» электродами с целлюлозным покрытием диаметром 4,0 мм представлены в табл. 9.

Техника манипулирования электродом при положении корневого слоя шва способом «сверху-вниз» предусматривает отсутствие колебательных движений при опирании «втулочки» электрода на свариваемые кромки. При этом в свариваемых кромок образуется отверстие (технологическое окно), соответствующее диаметру электродного стержня.

Скорость сварки должна быть максимально возможной (14...18 м/ч), позволяющей избежать прожогов и формировать валик шва над технологическим окном.

При правильном осуществлении процесса сварочная дуга проникает сквозь зазор между свариваемыми кромками таким образом, что газовый поток дуги и брызги шлака направлены внутрь трубы и видны с наружной поверхности, при этом обеспечивается сквозное проплавление свариваемых кромок.

Таблица 8. Значение силы тока при сварке корневого слоя шва электродами с основным видом покрытия

Диаметр электрода, мм	Пространственное положение		
	нижнее	вертикальное	потолочное
2,50	50...80	70...90	80...90
3,25	80...90	80...100	90...110

Угол наклона электрода при сварке должен быть близок к перпендикулярному к поверхности трубы в месте сварки (10°, рисунок). При этом легко формируется валик шва. При угле наклона свыше 10° образуется отверстие овальной формы большего размера, что приводит к нарушению процесса образования валика стабильного размера.

Для сварки корневого слоя целлюлозными электродами характерно образование зашлакованных подрезов по обеим сторонам шва. Валик шва с наружной стороны имеет значительное усиление по центру.

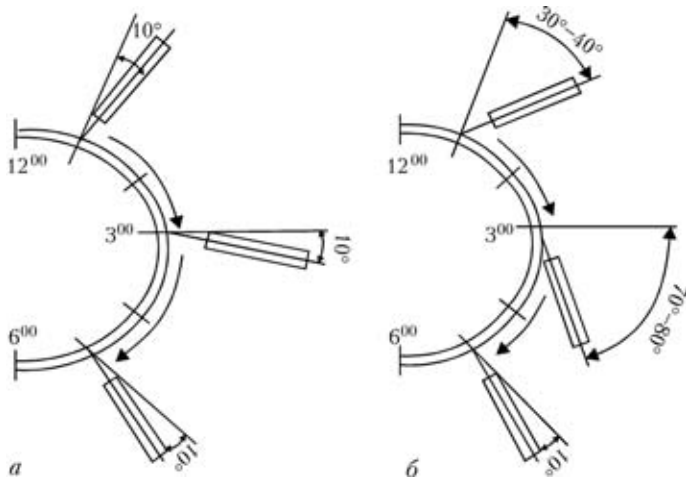
Для обеспечения надлежащего качества сварного шва после завершения сварки корневого слоя требуется шлифовка, раскрывающая зашлакованные подрезы (карманы) и снимающая чрезмерное усиление валика шва.

Сварка «горячего прохода» должна осуществляться не позднее 5 мин после окончания сварки корневого слоя. Это связано с тем, что для сварных швов, выполненных электродами с целлюлозным видом покрытия, характерно высокое содержание диффузионного водорода, увеличиваю-

Таблица 9. Режимы сварки электродами с покрытием целлюлозного вида

Марка электрода	Корневой слой		«Горячий проход»	
	Род тока, полярность	Сварочный ток, А	Род тока, полярность	Сварочный ток, А
Флитвелд 5П	= (+)	130...150	= (+)	150...170
Флитвелд 5П+	= (+)	120...140	= (+)	140...160
Тиссен Цель 70	= (+)	130...160	= (+)	170...190
Пайпвелд 6010	= (+)	120...140	= (+)	140...160
Фокс Цель	= (+)	120...150	= (+)	150...180

Примечание. (= +) — постоянный ток прямой (обратной) полярности.



Угол наклона электрода при сварке электродами с целлюлозным видом покрытия: а — корневой слой; б — «горячий проход»

шего опасность образования холодных трещин в металле шва и ЗТВ. В связи с высокой скоростью диффузии водорода в различные (потенциально опасные для зарождения трещин) участки металла ЗТВ диффузионно-подвижный водород необходимо в максимальной мере удалить из металла корневого слоя шва. Этому способствует выполнение «горячего прохода», который выполняется непосредственно после окончания сварки корневого слоя шва.

Таким образом, основной целью «горячего прохода» является удаление диффузионно-подвижного водорода из металла предыдущего слоя и выплавка шлака из карманов, раскрытых после шлифовки корневого слоя шва.

Особенность техники сварки «горячего прохода» состоит в следующем:

сварка должна выполняться на максимальных допустимых для конкретной марки электродов сварочном токе;

электрод не должен опираться на свариваемые кромки, а должен быть оторван от сварочной ванны, на короткое время погружаться в нее снова в месте нижней границы кратера;

в течение манипуляции, описанной выше, электроду придается вращательное движение при переменной длине дуги, позволяющее выплавить шлак из зоны сварки;

угол наклона электрода зависит от пространственного положения сварки и составляет в вертикальном положении 70...80 (3 ч), в горизонтальном 30...40 и в потолочном 10° (рисунок).

При правильной технике сварки «горячего прохода» сварщик легко выплавляет шлак из «раскрытых» при шлифовке корневого шва зашлакованных подрезов (карманов) и обеспечивает плоскую ровную поверхность шва для последующей сварки.

Основные дефекты, возникающие при сварке корневого слоя шва при сварке «горячего прохода» электродами с целлюлозным видом покрытия приведены в табл. 10.

Электроды, предназначенные для сварки заполняющих и облицовочного слоев, также должны отвечать специальным требованиям по сварочно-технологическим показателям, механическим свойствам соединений, производительности наплавки.

Из сварочно-технологических характеристик основными следует считать:

Таблица 10. Дефекты и причины их возникновения при сварке корневого слоя шва и «горячего прохода»

Дефект	Причины возникновения дефекта
Непровар по кромкам в корневом слое	Небольшой зазор между кромками Большое притупление Наличие смещения кромок Низкий ток Высокая скорость сварки
Подрез в корневом слое	Большой зазор между кромками Большой ток Слишком длинная дуга Неправильная техника сварки Неправильно выбранная полярность тока
Образование продольной плоскости в обратном валике (усадочные раковины)	Слишком мал зазор (дегазация затруднена интенсивным растворением наплавленного металла в металле основы) Слишком велик зазор между кромками
Шлаковые включения между корневым слоем и «горячим проходом»	Недостаточно сошлифовано усиление шва Остаток шлака в «карманах» Слишком низкий ток Неправильный угол наклона электрода
Пористость при сварке «горячего прохода»	Слишком большое усиление корневого слоя шва Остался шлак в «карманах» Слишком высокий ток Слишком длинная дуга

Таблица 11. Химический состав и механические свойства электродов с покрытием основного вида для сварки заполняющих и облицовочного слоев стыков труб из сталей повышенной прочности (3 группа)

Марка электрода, тип по ГОСТ (AWS)	Типичный химический состав наплавленного металла	Типичные механические свойства металла шва					
		σ_b , МПа	σ_t , МПа	δ , %	ψ , %	KCV , Дж/см ² , при температуре, °С	
						-20	-40
Кессель 5520 Мо, Э60 (E8018-A1)	0,08 С 1,2 Мн 0,3 Si 0,5 Мо	640	523	24	66	—	38
ОК 74.70, Э60 (E8016-03)	0,07 С 1,43 Мн 0,41 Si 0,38 Мо	625	525	27	72	79	51
Линкольн 18П, Э60 (E8018-0)	0,05 С 1,33 Мн 0,3 Si 0,77 Ni 0,32 Мо	645	535	27	71	85	66
Шварц ЗК Мод, Э60 (E8015-A1)	0,08 С 1,20 Мн 0,30 Si 0,45 Мо	620	530	23	68	53	39

проплавляющую способность электродов и способность выплавлять дефекты предыдущего слоя;

производительность наплавки;

отделимость шлака;

мелкочешуйчатость шва;

технологичность электрода при сварке облицовочного слоя;

коэффициент разбрызгивания.

Основным требованием по механическим свойствам являются обеспечение равнопрочности металла шва с основным металлом. Это означает, что фактический предел прочности металла должен быть не ниже нормального временного значения прочности свариваемой трубной стали, обозначенного в соответствующих технических условиях на трубы или детали трубопроводов.

Дополнительным требованием является обеспечение требуемого уровня вязкости и пластичности металла шва, если к сварным соединениям конкретного нефтепровода таковые предъявляются. Данные по химическому составу наплавленного металла и механическим свойствам металла шва электродов с основным покрытием для сварки заполняющих и облицовочных слоев шва стыков труб из сталей повышенной прочности представлены в табл. 11.

Производительность наплавки электродов для сварки заполняющих слоев стыков труб из сталей

1-3 групп прочности для электродов диаметром 4,0 мм при сварочном токе 160 А составляет: 1,34 (ОК 53.70); 1,27 (Линкольн 16П); 1,45 (Феникс К50Р Мод); 1,54 (ОК 48.04). При токе 180 А: 1,50 (Кессель 5520Мо); 1,40 (ОК 74.70); 1,65 (Линкольн 18П); 1,50 (Шварц ЗК Мод); 1,42 (ВСФ-65М).

Сварку заполняющих слоев следует осуществлять без перерывов. При этом необходимо контролировать межслойную температуру, которая должна находиться в пределах 20...120 °С. Послойную зачистку слоев следует осуществлять с помощью шлифовальных машинок с круглыми металлическими щетками. Облицовочный слой должен иметь усиление 1...3 мм. Ширина облицовочного слоя определяется шириной раскрытия кромок +1,0...1,5 мм перекрытия основного металла с каждой стороны.

Реализация представленных данных по выбору электродов для строительства и капитального ремонта магистральных нефтепроводов, реконструкций по особенностям их применения в сочетании с обязательной аттестацией сварщиков и жестким контролем качества соединений позволяет организациям АК «Транснефть» с высокой гарантией проводить безаварийную эксплуатацию нефтепроводов в России и за рубежом, способствует поднятию общего уровня трубопроводного строительства в России и СНГ.

Results of comparative tests of Russian and imported covered electrodes applied to repair of main oil pipelines are presented. Recommendations are given on application of the electrodes allowing for the experience gained at the Joint Stock Company «Transneft».

Поступила в редакцию 22.03.2006

Англо-український словник зварювальної термінології. Українсько-англійський словник зварювальної термінології / За ред. канд. техн. наук В. М. Бернадського. — Київ: Екотехнологія, 2005. — 256 с.

Двухязычный словарь терминов по сварке и родственным технологиям на украинском и английском языках подготовлен Институтом электросварки им. Е.О. Патона и Институтом украинского языка НАН Украины. Словарь состоит из двух самостоятельных разделов: «Англо-украинского словаря сварочной терминологии» и «Украинско-английского словаря сварочной терминологии». Англо-украинский раздел словаря содержит около 8000, а украинско-английский — 5000 простых и составных терминов, относящихся к сварке и родственным технологиям. Рассчитан на научных и инженерно-технических работников, переводчиков и специалистов информационных служб, аспирантов и студентов. Стоимость словаря — 40 грн. Для студентов по заявкам предоставляется скидка.