



НОВЫЕ ЭЛЕКТРОДЫ ДЛЯ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ НАПЛАВКИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ КРЕСТОВИН*

И. К. ПОХОДНЯ, И. Р. ЯВДОЩИН, Н. В. СКОРИНА, О. И. ФОЛЬБОРТ

ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ. 03680, г. Киев-150, ул. Боженко, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

На основании анализа технических характеристик электродов ЦНИИН-4, применяемых для восстановления железнодорожных крестовин, показана необходимость модернизации указанных электродов и разработки новых экономнолегированных электродов аналогичного назначения на базе низкоуглеродистой проволоки Св-08. Приведены результаты работы по выбору оптимального состава газшлакообразующей системы покрытия и системы легирования наплавленного металла, а также технические характеристики модернизированных электродов ЦНИИН-4М и новых экономнолегированных электродов АНН-10. Показаны технические и экономические преимущества новых электродов по сравнению с электродами ЦНИИН-4. Разработаны, согласованы и зарегистрированы в Укрметртестстандарте технические условия на электроды марок ЦНИИН-4М и АНН-10, разработан технологический процесс их промышленного производства. Изложены результаты работы по выпуску опытно-промышленных партий новых электродов и их испытаниям. Разработка современных электродов АНН-10 и ЦНИИН-4М позволяет отказаться от применения дорогостоящей высоколегированной проволоки Св-10Х14Г14Н4Т, что снижает себестоимость электродов и повышает их конкурентоспособность на рынке сварочных материалов. Табл. 6, рис. 1.

Ключевые слова: электроды, дуговая наплавка, железнодорожные крестовины, твердость наплавленного металла

В Украине и странах СНГ наиболее распространенными электродами для ручной дуговой наплавки железнодорожных крестовин, рельсов и стрелочных переводов являются электроды ЦНИИН-4. Для их производства используют электродные стержни из высоколегированной проволоки марки Св-10Х14Г14Н4Т, стоимость которой довольно высока, а с учетом транспортных расходов и таможенных пошлин для украинских потребителей она составляет 8...9 дол. США за 1 кг. Стержни из проволоки Св-10Х14Г14Н4Т в процессе термообработки электродов склонны к короблению (изгибаются дугой), что увеличивает брак электродов по геометрическим размерам. Высокая цена материалов (электродная проволока, марганец и хром металлический), содержащихся в покрытии, еще больше повышает стоимость электродов — до 12...13 тыс. дол. США за 1 т.

Высоколегированная проволока имеет более высокое электрическое сопротивление, чем проволока из низкоуглеродистой стали. Поэтому ток, на котором производится наплавка электродами ЦНИИН-4, ограничивается во избежание перегрева электрода, что в свою очередь снижает производительность наплавки.

Наплавку электродами ЦНИИН-4 можно выполнять только на постоянном токе при обратной

полярности, а это в ряде случаев приводит к магнитному дутью и образованию дефектов, вызванных дутьем.

Цель настоящей работы заключалась в разработке электродов на базе отечественной сварочной проволоки Св-08А и отказе от использования высоколегированной проволоки Св-10Х14Г14Н4Т. Для обеспечения требуемого химического состава наплавленного металла при замене проволоки Св-10Х14Г14Н4Т проволокой Св-08А проведены исследования по выбору оптимальной толщины покрытия электродов и содержания в нем легирующих добавок.

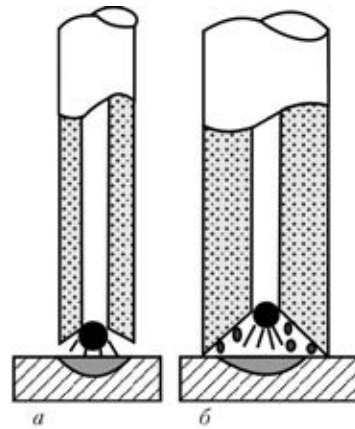
Для улучшения сварочно-технологических свойств электродов выполняли корректировку газшлакообразующей части покрытия. С учетом высокого содержания в покрытии металлических порошков (65 мас. %), которые являются «отошающими» материалами, ухудшающими пластичность обмазочной массы, в состав покрытия дополнительно вводили органические и минеральные пластификаторы. Благодаря этому удалось улучшить пластичность обмазочной массы и обеспечить возможность качественного нанесения обмазочной массы на стержень, низкую разнотолщинность покрытия и хороший товарный вид электродов. Таким образом, сформирован состав покрытия модернизированных электродов ЦНИИН-4М.

Испытания сварочно-технологических свойств модернизированных электродов показали, что они обеспечивают стабильное горение дуги как на

* Статья подготовлена по результатам выполнения целевой комплексной программы НАН Украины «Проблемы ресурса и безопасности эксплуатации конструкций, сооружений и машин» (2010–2012 гг.).

Таблица 1. Сварочно-технологические свойства электродов диаметром 4,0 мм

Параметр	ЦНИИН-4	ЦНИИН-4М
Максимально допустимый ток, А	140	210
Номинальное напряжение на дуге, В	28	25
Возможность наплавки переменным током	Только постоянный ток обратной полярности	Постоянный ток Переменный ток
Диаметр покрытия, мм	6,0	8,2
Коэффициент массы покрытия, %	50,0	135,0
Линейная скорость плавления на максимальном токе, см/мин	24,1	20,3
Производительность наплавки, кг/ч	1,5	1,8



Характер плавления и переноса электродного металла ЦНИИН-4 (а) и ЦНИИН-4М (б)

постоянном, так и переменном токе. Причем, если электроды ЦНИИН-4 при сварке на токе свыше 140 А перегреваются, то электроды ЦНИИН-4М позволяют производить сварку на токе до 210 А без заметного перегрева покрытия. Такое преимущество обусловлено значительно большей толщиной покрытия и использованием стержня из низкоуглеродистой проволоки, которая имеет меньшее электрическое сопротивление по сравнению с проволокой Св-10Х14Г14Н4Т.

Следует отметить, что при использовании электродов ЦНИИН-4 наплавку необходимо производить свободной дугой во избежание «закорачивания» междугового промежутка крупной каплей и примерзания электрода к изделию. Электроды ЦНИИН-4М позволяют производить наплавку опиранием, что значительно снижает нагрузку на руку сварщика. Такая возможность наплавки обусловлена тем, что толстое покрытие образует при плавлении глубокую втулочку, на которую опирается электрод. Большая глубина втулочки исключает возможность закорачивания дугового промежутка каплей. Как показали испытания, модернизированные электроды ЦНИИН-4М обеспечивают мелкочешуйчатое равномерное

формирование валика при наплавке, легкую отделимость шлаковой корки, небольшое разбрызгивание металла. Основные показатели сварочно-технологических свойств электродов приведены в табл. 1. Как видно из данных таблицы, линейная скорость плавления электродов ЦНИИН-4М ниже, чем у электродов ЦНИИН-4. Это объясняется большей толщиной покрытия модернизированных электродов. Однако производительность наплавки при этом на 20 % выше, чем электродов ЦНИИН-4, что обусловлено высоким содержанием металлических порошков в покрытии модернизированных электродов и большой толщиной покрытия.

Санитарно-гигиенические показатели электродов оценивали по интенсивности и удельным выделениям твердой составляющей сварочного аэрозоля (ТССА) (табл. 2) и его химическому составу (табл. 3).

Как видно из приведенных данных, удельные выделения ТССА в расчете на 1 кг расплавленных электродов при наплавке электродами ЦНИИН-4М на 15 % меньше, а в расчете на 1 кг наплавленного металла на 8...10 % ниже, чем при наплавке электродами ЦНИИН-4.

Меньшие удельные выделения ТССА при сварке электродами ЦНИИН-4М, по нашему мнению, обусловлены особенностями плавления и переноса электродного металла. Как показали ранее

Таблица 2. Интенсивность и удельные выделения ТССА при наплавке электродами ЦНИИН-4 и ЦНИИН-4М (постоянный ток, полярность обратная)

Марка электрода	Режим наплавки		Выделения ТССА, г		
	$I_{св}$, А	U_d , В	за 1 мин	на 1 кг расплавленных электродов	на 1 кг наплавленного металла
ЦНИИН-4	140	26...28	$\frac{1,26...1,41}{1,33 \times 3}$	$\frac{37,9...43,5}{40,6 \times 3}$	$\frac{52,8...55,2}{54,3 \times 3}$
ЦНИИН-4М	200	24...25	$\frac{1,46...1,53}{1,50 \times 3}$	$\frac{33,9...35,0}{34,5 \times 3}$	$\frac{49,3...51,7}{50,7 \times 3}$

Примечание. Здесь и в табл. 6 в числителе приведены минимальные и максимальные, а в знаменателе — средние значения показателей и количество экспериментов.



Таблица 3. Химический состав и твердость металла, наплавленного электродами ЦНИИН-4 и ЦНИИН-4М

Марка электрода	Массовая доля элементов, %							Твердость HRC
	C	Si	Mn	Cr	Ni	S	P	
ЦНИИН-4	0,80	0,62	13,0	22,4	2,9	0,035	0,037	29
ЦНИИН-4М	0,79	0,45	12,5	23,3	3,2	0,035	0,025	27
Требования нормативной документации	0,50...0,80	0,80	11,0...14,0	22,0...28,5	2,0...3,5	0,035	0,040	25...37

Таблица 4. Результаты расчета стоимости материалов, необходимых для изготовления 1 т электродов

Используемые материалы	ЦНИИН-4		ЦНИИН-4М	
	Расход на 1 т электродов, кг	Стоимость, грн.	Расход на 1 т электродов, кг	Стоимость, грн.
Газошлакообразующие	176,0	747	154,7	712
Легирующие	124,5	16340	340,0	38614
Пластификаторы и связующие	75,0	390	164,5	877
Сварочная проволока Св-10Х14Г14Н4Т	678,0	61427	—	—
Сварочная проволока Св-08А	—	—	467,0	3526
Итого	—	78904	—	43729

проведенные нами исследования, с увеличением толщины электродного покрытия и возрастанием в нем содержания металлической фракции (ферросплавов и металлических порошков) возрастает количество капель металла и шлака, попадающих в ванну с периферийных участков электрода (рисунк). Эти капли металла и шлака не перегреты до таких высоких температур, как основная капля, формирующаяся на торце электродного стержня. Поэтому процессы испарения с поверхности периферийных капель протекают менее интенсивно.

Для определения химического состава и твердости наплавленного металла электродами ЦНИИН-4 и ЦНИИН-4М выполнены шестислойные наплавки на постоянном токе при обратной полярности. Значение тока для электродов ЦНИИН-4 составляло 140, для электродов ЦНИИН-4М — 200 А. Химический состав наплавленного металла анализировали с помощью спектрального метода. Как видно из данных табл. 3, модернизированные электроды ЦНИИН-4М по химическому составу и твердости наплавленного металла полностью соответствуют требованиям нормативной документации на электроды ЦНИИН-4.

Модернизация электродов ЦНИИН-4 позволила отказаться от дорогостоящей проволоки Св-10Х14Г14Н4Т. Как видно из табл. 4, затраты на материалы для изготовления модернизированных электродов существенно ниже (на 35175 грн.), чем для электродов ЦНИИН-4.

Высокие значения эксплуатационных свойств (износостойкость, твердость и др.) наплавленного металла могут быть обеспечены при более экономном легировании (меньшем содержании хрома, отсутствии никеля и т. д.) по сравнению с системой легирования, применяемой для электродов ЦНИИН-4. Поэтому параллельно с модернизацией электродов ЦНИИН-4 в ИЭС им. Е. О. Патона разработаны экономнолегированные электроды АНН-10 того же назначения, что и ЦНИИН-4.

Электроды АНН-10 являются аналогом зарубежных УТР ВМС немецкой фирмы УТР (ныне «Boehler Schweißtechnik Deutschland»), которые уже свыше десяти лет поставляются в Украину. По результатам испытаний, выполненных еще в 1996 г. Всероссийским институтом железнодорожного транспорта, установлено, что электроды УТР ВМС по механическим и технологическим

Таблица 5. Химический состав металла (мас. %), наплавленного электродами ЦНИИН-4, ЦНИИН-4М, УТР ВМС и АНН-10

Марка электрода	C	Mn	Si	Cr	Ni	S	P
ЦНИИН-4	0,5...0,8	11,0...14,0	≤0,80	22,0...28,5	2,0...3,5	≤0,035	≤0,040
ЦНИИН-4М	0,5...0,8	11,0...14,0	≤0,80	22,0...28,5	2,0...3,5	≤0,035	≤0,040
УТР ВМС	0,6	16,5	0,8	13,5	—	0,032	0,036
АНН-10	0,4...0,8	14,5...18,5	0,6...1,0	12...15	—	≤0,040	≤0,040

Таблица 6. Ударная вязкость металла (Дж/см²), наплавленного экономнолегированными электродами опытной партии, электродами ЦНИИН-4 и УТР ВМС диаметром 4,0 мм, на образцах типа IX

Температура испытания, °С	УТР ВМС	ЦНИИН-4	Экономнолегированные электроды
20	$\frac{36,3...71,9}{54,2 \times 3}$	$\frac{8,8...16,7}{11,8 \times 3}$	$\frac{111,0...115,5}{113,5 \times 3}$
-20	$\frac{20,9...35,4}{28,5 \times 3}$	$\frac{8,6...10,6}{9,7 \times 3}$	$\frac{92,6...103,8}{97,3 \times 3}$

свойствам существенно превосходят электроды ЦНИИН-4 и могут быть использованы при ремонте железнодорожных крестовин. При этом уровень содержания хрома и никеля в наплавленном металле у них существенно ниже (табл. 5).

Испытания опытной партии электродов АНН-10, изготовленных в ИЭС им. Е. О. Патона, показали, что по сварочно-технологическим свойствам они сопоставимы с электродами УТР ВМС и превосходят электроды ЦНИИН-4.

По ударной вязкости наплавленного металла экономнолегированные электроды на порядок превосходят электроды ЦНИИН-4 и в 2-3 раза электроды УТР ВМС (табл. 6).

Указанный эффект проявляется как при нормальном, так и при низком значении температуры (-20 °С), что, видимо, связано с более мелкозернистой структурой аустенита по сравнению с электродами УТР ВМС. Согласно существующему мнению, металл, наплавленный электродами ЦНИИН-4, содержит чрезвычайно высокое количество хрома, что обуславливает невысокий уровень их механических свойств и прежде всего ударной вязкости.

С экономической точки зрения электроды АНН-10 более выгодны, поскольку их себестоимость меньше, чем у электродов ЦНИИН-4 и ЦНИИН-4М, благодаря меньшему расходу дорогостоящих ферросплавов и использованию в качестве стержня низкоуглеродистой проволоки Св-08А взамен дорогостоящей высоколегированной проволоки Св-10Х14Г14Н4Т.

Электроды ЦНИИН-4М и АНН-10 можно заказать в Научно-инженерном центре материалов для сварки и наплавки ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ.

Выводы

1. Модернизирован состав покрытия электродов ЦНИИН-4 путем замены стержней из высоколегированной проволоки Св-10Х14Г14Н4Т низкоуглеродистой Св-08А, что позволило улучшить технологические и санитарно-гигиенические показатели электродов и снизить их себестоимость на 30...35 %.

2. Разработаны экономнолегированные электроды АНН-10 для наплавки железнодорожных крестовин, стрелочных переводов, превосходящие по технологическим характеристикам ЦНИИН-4.

3. С экономической точки зрения электроды АНН-10 более выгодны, чем ЦНИИН-4, поскольку имеют минимальную себестоимость благодаря меньшему расходу дорогостоящих ферросплавов и применению в качестве стержня низкоуглеродистой проволоки Св-08А.

4. На электроды ЦНИИН-4М и АНН-10 разработаны комплекты нормативной документации, что позволяет начать их промышленное производство.

Поступила в редакцию 24.01.2013



7-я МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «ДУГОВАЯ СВАРКА. МАТЕРИАЛЫ И КАЧЕСТВО»

17–21 июня 2013

пос. Агой, Краснодарский край

Организаторы: Ассоциация «Электрод» предприятий стран СНГ,
Научно-производственный центр «Сварочные материалы» (г. Краснодар)

Контакты: тел. (38044) 287-72-35, E-mail: as_elektrod@mail.ru