

## СОСТОЯНИЕ РАЗРАБОТКИ И ПРОИЗВОДСТВА НИЗКОВОДОРОДНЫХ ЭЛЕКТРОДОВ С ДВУХСЛОЙНЫМ ПОКРЫТИЕМ В СТРАНАХ СНГ (Обзор)\*

А. Е. МАРЧЕНКО, Н. В. СКОРИНА, кандидаты техн. наук  
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины),

В. П. КОСТЮЧЕНКО, инж. (ОАО «Межгосметиз-Мценск», г. Орел, РФ)

Обобщена информация о свойствах низководородных электродов с двухслойным покрытием и характеристиках выполненного ими металла швов, в том числе электродов марки АНОД-1, технология производства которых ориентирована на доступные виды сырья.

*Ключевые слова:* дуговая сварка, сварочные электроды, двухслойные покрытия, разработка, производство

Двухслойное покрытие является одним из действенных средств повышения сварочно-технологических свойств электродов с основным покрытием, в котором один из основных деионизаторов дуги — фторид кальция — вынесен в его периферийный слой [1]. Наружный слой покрытия, удаленный от центральной, высокотемпературной области дуги, в меньшей степени подвержен перегреву, составляющие его компоненты менее интенсивно испаряются и диссоциируют и в меньшей мере влияют на состав атмосферы дуги. Именно эта часть покрытия перетекает в сварочную ванну, меньше взаимодействуя с каплей на торце электрода [2]. Вынесение фторидов за пределы внутреннего слоя уменьшает вероятность протекания экзотермических твердофазных реакций в этом слое покрытия. В нем проходят преимущественно реакции диссоциации карбонатов. Будучи эндотермическими по своей природе, они «подстуживают» стержень, изменяя профиль поверхности его плавления с выпуклого на вогнутый, что уменьшает опасность выхода капли за пределы чехольчика из неоплавившегося покрытия и вероятность коротких замыканий.

В работах [3–5] показано, что применение электродов с двухслойным покрытием обеспечивает мелкокапельный перенос электродного металла, а также хорошее формирование и высокое качество металла шва, в том числе при сварке на малых токах. Последнее обстоятельство имеет большое значение при сварке в монтажных условиях, а также при использовании электродов со стержнями из высоколегированной проволоки,

когда для предотвращения перегрева стержня и уменьшения тепловложения в сварочную ванну часто ограничивают допустимый сварочный ток. Поэтому двухслойное покрытие имеют также некоторые электроды, предназначенные для сварки высоколегированных сталей.

Применение двухслойного покрытия позволяет повысить стабильность горения дуги при сварке на переменном токе при использовании трансформаторов с невысоким напряжением холостого хода [6].

Первый известный патент на электроды с двухслойным покрытием появился в Чехословакии [7]. Составы покрытий и техника изготовления двухслойных электродов с использованием обычных прессов запатентованы в Финляндии, Швейцарии, Норвегии [8–10]. Фирма «Oerlikon» запатентовала технологии изготовления двухслойных электродов на прямоточных прессах [11]. Имеются патенты на электроды с покрытием, количество слоев в которых превышает два [10, 12] или работающих от двух источников тока [13, 14].

Двухслойная конструкция покрытия расширяет технологические возможности регулирования производительности, сварочно-технологических характеристик электродов, показателей стабильности горения дуги, химической структуры и механических свойств наплавленного металла и др. Для этого традиционные пути, основанные на изменении вещественного состава покрытия, дополняются распределением составляющих покрытия между наружным и внутренним слоями и изменением соотношения площадей сечения внутреннего и наружного слоев, которое, судя по патентным и информационным данным, в зависимости от решаемых задач может изменяться в пределах от 1:1 до 2:1.

Электроды с двухслойным покрытием достаточно широко применяют во многих странах в промышленности и строительстве. Производство

\* По материалам доклада, представленного на V международной конференции «Сварочные материалы. Конкурентоспособность» (г. Артемовск, 7–11 июня, 2010 г.).

**Таблица 1. Характеристика электродов с двухслойным покрытием по каталогу фирмы «Oerlikon», предназначенных для сварки низкоуглеродистых и низколегированных сталей**

Марка электрода	Диаметр, мм	Код по		Механические свойства шва				
		EN ISO 2560	AWS 5.1	$\sigma_T$ , МПа, не более	$\sigma_B$ , МПа	$\delta_5$ , %, не более	KCV, Дж/см <sup>2</sup> при T, °C	
							+20	-60
Extra	2,5...6,0	E424 B32 H10	E7016	420	500...640	20	150	90**
Spezial	2,0...6,0	E382 B12 H10	E7016	380	470...600	20	150	100*
Tenax 50	2,5...5,0	E426 B32 H5	E7016-1	420	500...640	20	250	100
Tenacito	2,5...6,0	E426 B32 H5	E7016-1	420	500...640	20	180	70
Tenacito 38R	2,5...6,0	E466 1Ni B42 H5	E7018-G	460	530...680	20	190	70
Tenacito 65	2,5...6,0	—	E9018-G	560	630...720	20	160	70
Tenacito 65R	2,5...6,0	E506 1NiMo B42 H5	E9018-G	510	620...720	20	170	55
Tenacito 70	2,5...5,0	E506 1Ni B42 H5	E8018-G	510	590...690	23	200	60
Tenacito 70B	2,5...5,0	E466 2Ni B42 H5	E8018-G1	480	550...700	22	170	100
Tenacito 75	2,5...6,0	—	E11018-G	700	780...940	17	120	55
Tenacito 80	2,5...6,0	—	E11018-G	700	800...960	16	120	60
Tenacito 100	2,5...5,0	—	E12018-G	890	980...1080	14	70	60***
BOR-SP6	4,0...6,0	E506 B34 H10	—	460	530...680	18	160	60

\*, \*\*, \*\*\* — приведенные данные по работе удара относятся соответственно к температуре испытаний -20, -30 и -40 °C.

**Таблица 2. Характеристика двухслойных электродов фирмы «Oerlikon», предназначенных для сварки легированных теплоустойчивых сталей**

Марка электрода	Тип по DIN8575	$T_{экс}$ , °C	Содержание в наплавленном металле, %				
			C	Si	Mn	Cr	Mo
Molycord Kb	EMoB20+	550	0,06	0,5	0,8	—	0,5
Cromocord Kb	ECrMo1B20+	570	0,06	0,6	0,8	1,0	0,5
Citochrom 2	ECrMo2B26+	600	0,06	0,5	0,8	2,4	1,0

электродов с двухслойным покрытием в разное время наладили фирмы Швейцарии («Oerlikon»), Швеции (ESAB), Японии («Kobe Steel»), Австрии («Boehler»), ФРГ («Thyssen Draht», UTP), Нидерланды («Philips»), США («Selectrode») и др. Фирма «Oerlikon», в числе первых получившая патент на состав покрытия и способ изготовления двухслойных электродов на прямоточных прессах [11], на своем предприятии в г. Айзенберг (Германия) изготавливала почти 50 % низкоуглеродистых

электродов с двухслойной конструкцией покрытия от общего выпуска электродов основного типа.

Фирма «Oerlikon» представляет в своем каталоге 19 марок двухслойных электродов разного назначения (табл. 1–3). В этом перечне приведены низкоуглеродистые электроды общего назначения, а также предназначенные для сварки высокопрочных, жаропрочных и нержавеющей сталей. В ряде разработок реализован комплекс методов раскисления и легирования наплавленного металла, при котором обеспечивается максимальный выход игольчатого феррита в структуре наплавленного металла, благодаря чему достигается исключительно высокая ударная вязкость швов при отрицательных температурах (исследования, выполненные Г. Эвансом).

Двухслойные электроды фирмы «Oerlikon» используются для сварки и ремонта таких объектов

**Таблица 3. Характеристика двухслойных электродов фирмы «Oerlikon», предназначенных для сварки высоколегированных нержавеющей сталей**

Марка электрода	Тип по DIN8575	$T_{экс}$ , °C	Содержание в наплавленном металле, %					
			C	Si	Mn	Cr	Ni	Nb
Basinox 308L	E199L B20+	350 (800*)	0,03	0,4	1,0	19,0	10,0	—
Basinox 347	E199Nb B20+	400 (800*)	0,03	0,4	1,0	19,0	10,0	0,4
Basinox 326 L	E19123L B20+	400	0,03	0,4	1,0	18,5	11,5	(2,7Mo)

\* Температура, до которой не наблюдается образование окалины.

атомной энергетики, как защитная оболочка реактора (Tepacito 60, 65R, 70, Extra), корпус реактора, паровой котел и основной насос (Tepacito 65R).

Электроды с двухслойным покрытием применяются в энергетике, нефтяном и энергетическом машиностроении и т. п. Как правило, это электроды малого диаметра, при сварке которыми особенно важно иметь контрагированную, жестко ориентированную в пространстве дугу, а также надежный провар корня шва. Имеются исключения, когда двухслойная конструкция покрытия используется для электродов всех диаметров (от 2 до 6 мм).

В табл. 4 приведены марки электродов с двухслойным покрытием, поставляемые на рынок европейскими фирмами, в том числе такими, которые не располагают прессовым оборудованием, позволяющим реализовать метод изготовления, запатентованный фирмой «Oerlikon». Эти фирмы используют метод двукратного нанесения покрытий: сначала на стержень (внутренний слой), а затем на предварительно высушенный электрод с внутренним слоем (наружный слой) [8, 9].

В разработке электродов серии Tepacito используются следующие принципы [15]:

обоснованные системы легирования, базирующиеся на обширной технологической базе данных, теперь распространенные на всю серию;

оптимизация системы раскисления с целью достижения подходящей морфологии включений и, следовательно, достижения максимально высокой очистки и ударной вязкости наплавленного металла;

чрезвычайно высокая чистота углерод-марганцевой кипящей стали для электродных стержней при строжайшем контроле уровня примесных элементов;

тщательный подбор минеральной составляющей покрытия с целью достижения нужной степени его основности для электродов типа E XX18;

специальное связующее для минимизации гигросорбционной способности покрытия с целью достижения как можно более низкого содержания водорода в наплавленном металле (не более 0,2 % адсорбированной H<sub>2</sub>O в течение девятичасовой экспозиции электродов в атмосфере с относительной влажностью воздуха 80 % при 27 °C);

оптимизация оперативных характеристик электродов при сварке корневых проходов многослойных швов путем использования электродов с диаметром 3,25 мм и меньше.

В 1970-х годах в ИЭС им. Е. О. Патона был разработан низководородный электрод общего назначения с двухслойным покрытием марки АНО-Д (тип Э50А по ГОСТ 9467-75) [16, 17]. На его основе создали модификацию — электроды АНО-Дс [18, 19], предназначенные для свар-

Т а б л и ц а 4. Марки двухслойных электродов, выпускаемых фирмами, не располагающими прямооточными прессами

Фирма	Марка электрода	Диаметр, мм	Код по	
			EN 499	AWS 5.1
ESAB	OK 53.05	2,5...4,0	E424 B22 H10	E7016
	OK 53.16	2,5...4,0	E382 B32 H10	E7016
«Thyssen Draht»	Phoenix Spezial D	2,5...5,0	E423 B12 H10	E7016
«Boehler»	Fox EV 50A	2,5...6,0	E423 B12 H10	E7016
UTP	Spezial Z	2,5...5,0	—	E7016
«Selelectrode»	1162	2,5...5,0	E382 B12	E7016

ки изделий судостроения. Была разработана технология промышленного производства электродов с двухслойным покрытием для заводов, укомплектованных прямооточными электрообмазочными прессами. На Ростовском опытно-экспериментальном заводе НПО «Атомкотломаш» Министерства энергомашиностроения и Николаевском заводе «Океан» Министерства судостроительной промышленности СССР были выпущены и испытаны промышленные партии новых электродов. Испытания подтвердили преимущества электродов АНО-Д перед электродами УОНИ-13/55 и другими марками аналогичного назначения. По результатам испытаний электроды АНО-Д и АНО-Дс были аттестованы Госгортехнадзором и Морским регистром судоходства для сварки ответственных изделий АЭС из стали 22К, а также судовых конструкций.

В покрытии электродов АНО-Д и АНО-Дс использовали уникальные компоненты — синтетическую слюду АНС-1 и низкокремнистый гранулированный ферросилиций марки Фс-15гс, что позволило решить ключевые проблемы технологии их конвейерного производства. В настоящее время эти виды сырья не изготавливаются.

В связи с этим состав покрытия этих электродов модернизировали с ориентацией на доступные виды сырьевых материалов, а также расширение сферы их использования с учетом опыта производства и применения двухслойных электродов в нашей стране и за рубежом. Модернизированные таким образом электроды марки АНОД-1, относящиеся к типу Э50А по ГОСТ 9467-75, предназначены для сварки конструкций из углеродистых и низколегированных сталей. Сварку ведут во всех пространственных положениях, исключая вертикальные швы способом сверху вниз. Используют постоянный ток любой полярности или переменный от источников питания с напряжением холостого хода больше 65 В.

Условное обозначение электродов АНОД-1 по ДСТУ ISO 2560: А Е 424 В22 Н5 или А Е 424



Таблица 5. Типичные показатели плавления электродов АНОД-1

Отношение диаметра стержня к диаметру покрытия, мм	Коэффициент массы покрытия, %	Коэффициент наплавки, г/(А·ч)	Производительность наплавки, г/мин	Выход наплавленного металла, %
3/5,2	$\frac{60,9; 61,5; 61,9}{61,4}$	$\frac{9,6; 9,9; 9,9}{9,8}$	$\frac{19,3; 19,6; 19,8}{19,6}$	$\frac{109,2; 110,2; 110,4}{109,9}$
4/6,8	$\frac{55,5; 56,5; 56,5}{56,2}$	$\frac{9,5; 9,6; 9,7}{9,6}$	$\frac{28,2; 29,0; 29,0}{28,7}$	$\frac{104,9; 106,5; 107,9}{106,4}$

Таблица 6. Взаимосвязь напряжения дуги, при котором образуются поры в металле шва, с содержанием газов и характеристиками переноса электродного металла

Марка электрода (диаметр, мм)	Содержание газов в наплавленном металле, %			$\tau_{к.з.}$ , мс	$U_H/U_{пр}$ , В	$\frac{U_H - U_H}{U_H}$ , %
	[Н] <sub>сум</sub>	[N]	[O]			
УОНИ-13/55 (Ø3,0)	4,7	0,022	0,043	3,6	21,5/25,5	18,6
ЦЛ-39 (Ø2,5)	4,8	0,018	0,040	3,2	23,0/29,5	28,2
ЦУ-5 (Ø2,5)	5,4	0,014	0,039	2,7	23,5/30,0	27,7
АНОД-1 (Ø2,5)	3,9	0,013	0,037	2,3	21,5/30,0	39,5
АНОД-1 (Ø3,0)	4,5	0,016	0,034	2,2	22,0/31,0	40,9

Примечания. 1. Содержание диффузионного водорода (в миллилитрах на 100 г расплавленного металла), определяемое хроматографическим методом [21], дает данные, сравнимые с показателем ртутного метода МИСа. 2. Содержания кислорода, азота и остаточного водорода определяли методом вакуумной плавки. 3. Среднестатистическую продолжительность коротких замыканий определяли прибором ТХ-5000 при сварке в нижнем положении короткой дугой.

В22 Н10 в зависимости от диаметра электрода [20].

Типичные показатели плавления электродов АНОД-1 представлены в табл. 5, а содержание газов в наплавленном металле — в табл. 6.

Как следует из данных, приведенных в табл. 6, электроды АНОД-1 характеризуются мелкокапельным переносом электродного металла и его надежной защитой от окружающего воздуха. У них достаточно низкое номинальное  $U_H$  и, что очень важно, весьма высокое пороговое  $U_H$  напряжение дуги, достижение которого в процессе удлинения дуги вызывает образование пор в шве. Так, для электродов УОНИ-13/55, удлиняя дугу, можно лишь на 18 % повысить напряжение дуги, не опасаясь возникновения пористости. Электроды ЦУ-5 и ЦЛ-39, специально разработанные для теплоэнергетики, позволяют удлинить дугу, не опасаясь пористости, до тех пор, пока напряжение дуги не возрастет на треть по сравнению с их номинальным напряжением. Для электродов АНОД-1 этот показатель достигает 40 %.

Результаты выполненной в лаборатории Минздрава Украины оценки санитарно-гигиенических свойств электродов АНОД-1, включая расчетные показатели интенсивности воздухообмена, обеспечивающей безопасную концентрацию вредных веществ в зоне дыхания сварщика, следующие: выделение твердой составляющей сварочного аэрозоля (ТССА) — 17,0 г/кг и 0,64 г/мин; удельные выделения фтористых соединений — 0,83 г/кг растворимых фторидов и 1,37 г/кг малораствори-

мых; удельные выделения марганца — 0,78 г/кг. Класс по рекомендуемой интенсивности воздухообмена (ННЛ) — 1(3000 м<sup>3</sup>/ч); предельно допустимая концентрация (ТССА) в зоне дыхания сварщика — 4,5 мг/м<sup>3</sup>; интенсивность выделения ТССА — 40 г/ч.

Технология промышленного производства электродов АНОД-1 на прямоточных прессах фирмы «Oerlikon» освоена ОАО «Межгосметиз-Мценск». Разработан, изготовлен и отлажен двухпозиционный брикетировочный пресс: на одной позиции прессуется брикет для внутреннего, а на другой — для наружного слоя. Вкладывая одну заготовку в другую, получают двухслойный брикет, который закладывают в рабочий цилиндр электрообмазочного пресса.

При изготовлении двухслойных электродов в рамках освоенной технологии могут применяться все приемы обеспечения технологических и эксплуатационных характеристик электродов и свойств металла шва, которые используются при производстве низководородных электродов с традиционной конструкцией покрытия.

1. Baach H., Bossard U., Bertolaso B. U. Moeglichkeiten zur beeinflussung des Schweißverfahrens durch neue Erkenntnisse bei der Umhullung von Stabelectroden // Oerlikon Schweissmitteilungen. — 1981. — № 95. — S. 11–15.
2. Ерохин А. А. Кинетика металлургических процессов дуговой сварки. — М.: Машиностроение, 1964. — 254 с.
3. Некоторые пути улучшения характеристик переноса металла при сварке электродами с основным покрытием / И. К. Походня, В. Н. Горпенюк, С. С. Миличенко и др. // Автомат. сварка. — 1985. — № 1. — С. 33–36.

4. Пути улучшения сварочно-технологических свойств фтористокальциевых электродов для монтажной сварки / В. Н. Горпенко, С. С. Миличенко, А. Е. Марченко, В. Д. Макаренко // Тр. Всесоюз. конф. по сварочным материалам. — Киев: Наук. думка, 1982. — С. 92–95.
5. Essers W. G., Jermorini G., Tichelaar G. W. Metal transfer from coated electrodes // Metal Construction and British Welding J. — 1971. — № 4. — Р. 151–154.
6. Баах Х. Возможности влияния новых достижений на сварочно-технологические свойства покрытых электродов // Сварочная промышленность. Эрликон Бюрле А. О. Швейцария: Материалы симпозиум. — Киев, 1980. — С. 1–10.
7. Пат. 84786 Чехословакия, кл. 21h,30/16, 49h, 36/01. Obalene kovove elektrody na svarovani nebo navarovani elektrickým obloukem a způsob jejich výroby / J. Cabelka, S. Horvat. — Приор. от 30.02.54. — Оpubл. 01.10.55.
8. Пат. 36806 Финляндия, кл. 21h, 30/16, /H05b/. Tapa valmistaa valokaarihitsaukseen sopiva hitsauspuikko, jossa on kahdesta kerroksesta muodostuva paaelyste. — Приор. от 16.02.56. — Оpubл. 15.03.68.
9. Пат. 353471 Швейцария, кл. 21 h, 30/16. Verfahren zur Herstellung vjn Eletktroden fuer die elertrische Lichtbogenschweissung mit einer aus zwei Schichten bestehenden Umhuellung / J. M. Magnusson, P. E. Petersen. — Оpubл. 15.05.61.
10. Пат. 116330 Норвегия, кл. 21h, 30/16, /B23k, 35/04/. Fremgangsmate for fremstilling av sveiseelektroder med flere dekkskikt / E. Kolstad. — Приор. от 30.10.67. — Оpubл. 21.06.69.
11. Пат. 349354 Швейцария. Verfahren und Vorrichtung zur Herstellung von mehrschtigen Pressmanelektroden / K. Gloor. — Оpubл. 30.11.60.
12. Пат. 10927 Япония, кл. 12В105, 2, /В23 к/. Электрод для дуговой сварки с трехслойным покрытием / Омори Нихэй, Мияо Нобуаки. — Приор. от 03.12.66. — Оpubл. 19.03.71.
13. Пат. 25973 Япония, кл. 12В105, 3, /В23 к/. Двойные электроды с покрытием для дуговой сварки / Омори Нихэй, Мияо Нобуаки. — Приор. от 03.12.66. — Оpubл. 27.08.70.
14. Пат. 32140 Япония, кл. 12В105, 3, /В23 к/. Электрод для дуговой сварки с двойным покрытием, использующий два источника тока / Омори Дзимпэй, Мино Нобуаки. — Приор. от 03.06.64. — Оpubл. 12.03.66.
15. Evans G. M. Basic low-alloy steel covered arc welding electrodes according to AWS A 5.5–81 // Oerlicon Schweissmittelungen. — 1987. — 113, № 2. — Р. 22–23.
16. А. с. 792745 СССР, кл. К 23к 35/10. Электродное покрытие / И. К. Походня, А. Е. Марченко, С. С. Миличенко и др. — Оpubл. 17.04.79.
17. Электроды основного типа с улучшенными сварочно-технологическими свойствами / И. К. Походня, С. С. Миличенко, В. Н. Горпенко и др. // Свароч. пр-во. — 1984. — № 7. — С. 33–34.
18. О результатах испытаний электродов АНО-Д при сварке изделий судостроения / И. К. Походня, С. С. Миличенко, А. Е. Марченко и др. // Технология судостроения. — 1987. — № 9. — С. 9–12.
19. Электроды АНО-Дс с основным покрытием для сварки изделий судостроения / И. К. Походня, С. С. Миличенко, А. Е. Марченко и др. // Свароч. пр-во. — 1986. — № 12. — С. 6–7.
20. Проценко Н. А., Марченко А. Е. Основные положения ДСТУ ISO 2560:2004 «Покрытые электроды для ручной дуговой сварки нелегированных и мелкозернистых сталей» // Сварщик. — 2006. — № 5. — С. 42–45.
21. Походня И. К., Пальцевич А. П. Хроматографический метод определения количества диффузионного водорода в сварных швах // Новые сварочные материалы: Материалы к краткосроч. сем., 2–3 февр. 1978. — Л., 1978. — С. 36–40.

The article gives generalised information on properties of low-hydrogen electrodes with a double-layer covering, as well as characteristics of metal of the welds made by using the above electrodes, including electrodes of the ANOD-1 grade, the technology of manufacture of which is oriented to the available feedstock.

Поступила в редакцию 01.10.2010

11-я международная специализированная выставка  
«Оборудование, приборы и инструменты  
для металлообрабатывающей промышленности»

# МЕТАЛЛООБРАБОТКА



Центральный  
выставочный комплекс  
«Экспоцентр»  
Москва, Россия

# 24–28 мая 2010

ЦВК «Экспоцентр»:  
123100, Россия, Москва, Краснопресненская наб., 14  
Дирекция машиностроительных выставок  
Тел.: (499) 795-28-21, 795-26-60  
Факс: (495) 609-41-68  
E-mail: metobr@expocentr.ru  
Интернет: www.metobr-expo.ru, www.expocentr.ru

Российская Ассоциация  
производителей станкоинструментальной продукции  
«Станкоинструмент»:  
125009, Россия, Москва, ул. Тверская, 22а, стр. 2, а/я 3  
Тел.: (495) 650-59-21, 650-58-04  
Факс: (495) 650-59-21, 650-38-11  
E-mail: slass@tsr.ru, slass.expo@tsr.ru  
Интернет: www.stankoinstrument.ru