



## РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОДОВ ДЛЯ СВАРКИ И НАПЛАВКИ АЛЮМИНИЕВЫХ БРОНЗ

**В. В. КОРЧЕМНЫЙ**, инж., **Н. В. СКОРИНА**, канд. техн. наук, **В. А. АНОШИН**, инж.  
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Приведены характеристики и некоторые особенности технологии изготовления покрытых электродов для ручной дуговой сварки и наплавки алюминиевых бронз, разработанных в ИЭС им. Е. О. Патона. Установлена оптимальная температура прокалки электродов, обеспечивающая низкую склонность покрытия к поглощению влаги.

*Ключевые слова:* дуговая наплавка, алюминиевая бронза, покрытые электроды, обмазочная масса, режимы термообработки, сварочно-технологические свойства, наплавленный металл, химический состав, погонная энергия, механические свойства

Алюминиевая бронза широко применяется в разных отраслях промышленности благодаря высоким механическим и физическим свойствам (жаропрочности, коррозионной стойкости, низкому коэффициенту трения и т. д.). Для экономного расходования этого дефицитного и дорогого цветного металла применяют наплавку — эффективный способ восстановления размеров изношенных деталей и изготовления биметаллических изделий с заданными эксплуатационными характеристиками.

Наиболее простым и дешевым способом является ручная дуговая наплавка (сварка) покрытыми электродами. Анализ зарубежных проспектов показывает, что в развитых странах многие фирмы-производители электродов (Alunox, МТС, УТР и др.) имеют в своей номенклатуре несколько марок электродов для сварки и наплавки бронз. Вместе с тем высокая стоимость импортных электродов ограничивает их использование в требуемых объемах на предприятиях Украины.

Учитывая, что в Украине отсутствует производство электродов для сварки и наплавки алюминиевых бронз, в Институте электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины был проведен комплекс научно-исследовательских работ по созданию таких электродов. В результате исследований предложены специальные покрытые электроды марки АНБА-1 со стержнями из стандартной проволоки БрАМц9-2.

Обычно к основным требованиям к электродам относят: необходимость обеспечения заданных служебных свойств наплавленного металла, требуемых сварочно-технологических характеристик электродов и приемлемой технологичности их изготовления. Как правило, сварочно-технологичес-

кие свойства электродов и качество наплавленного металла в значительной мере обусловлены выбором связующего и шлакообразующей системы электродного покрытия, поэтому большое внимание было уделено подбору именно этих составляющих покрытия.

При выборе основы шлаковой системы наилучшие результаты получены при использовании в составе покрытия электродов криолита и фторидов щелочноземельных металлов. Криолит, который является легкоплавким и низкогигроскопичным компонентом, имеет низкую плотность, хорошо смачивает поверхность наплавленного металла и характеризуется малой химической активностью к металлу сварочной ванны, способствует растворению пленки оксида алюминия. Благодаря способности взаимодействовать с парами воды с образованием фтористого водорода фтористые соли щелочноземельных металлов снижают склонность металла к образованию пор.

В качестве связующего электродных покрытий выбрали натрийкалиевое жидкое стекло, которое характеризуется минимальной водоудерживающей способностью и обеспечивает стабильный процесс горения дуги. Были определены оптимальные параметры жидкого стекла и условия технологии изготовления, которые обеспечивают устойчивый процесс приготовления обмазочной массы (что предотвращает опасность комкования) и требуемую стабильную во времени консистенцию обмазочной массы. Последняя характеризуется плавным режимом экструзии при опрессовке электродов (рис. 1) и достаточно высокой прочностью сырого покрытия на электроде.

Гигроскопичность покрытий электродов определяли по увеличению их массы  $\Delta W$  в результате поглощения влаги в гидростате с постоянной влажностью 84 % (насыщенный раствор бромистого калия при комнатной температуре).

Выбраны оптимальные условия термообработки электродов. Как показали исследования, оптимальной является температура прокалки электродов 300 °С. В этом случае достигается мини-

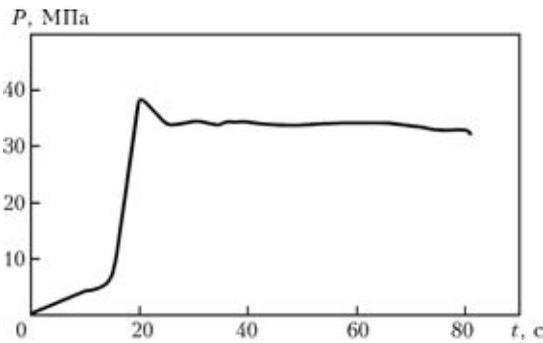


Рис. 1. Кривая экструзии обмазочной массы электродов марки АНБА-1 (фильера  $\varnothing 4,0$  мм при расходе массы  $Q = 1 \text{ см}^3/\text{с}$ )

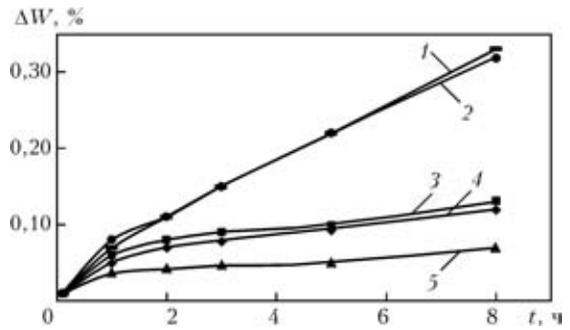


Рис. 2. Кинетика поглощения атмосферной влаги покрытием электродов АНБА-1, прокаленных при разных температурах: 1 — 100; 2 — 150; 3 — 200; 4 — 250; 5 — 300 °С

мальная гигроскопичность покрытия (рис. 2) и обеспечиваются требуемые сварочно-технологические свойства электродов. Дальнейшее повышение температуры прокалки незначительно отражается на гигросорбционной способности покрытий, но увеличивает энергозатраты на изготовление электродов.

Проведена сравнительная оценка сварочно-технологических свойств электродов АНБА-1 с российским аналогом ЛПИ-73. Для каждой марки электрода проводили одно- и трехслойную наплавку на пластину из стали марки 09Г2С. Исследования показали, что при наплавке наблюдается стабильный процесс горения дуги, мелкокапельный перенос электродного металла с минимальным разбрызгиванием. Несколько большие потери электродного металла на разбрызгивание наблюдали при наплавке электродами ЛПИ-73. Поверхность валиков мелкочешуйчатая, с плавным переходом к основному металлу. При наплавке электродами ЛПИ-73 шлаковая корка отделялась несколько хуже. Визуальный контроль валиков и поперечных макрошлифов пор не выявил, лишь в кратере первого слоя при многослойной наплавке электродами ЛПИ-73 имелась трещина.

Проведенные испытания показали, что сварочно-технологические свойства электродов АНБА-1 выше, чем у электродов ЛПИ-73. Химический состав металла, наплавленного электродами АНБА-1 и ЛПИ-73, соответствует составу низколегированной алюминиевой бронзы (табл. 1).

Учитывая, что медные сплавы при наплавке на сталь склонны к проникновениям по границам зерен основного металла [1–3], проведены исследования микрошлифов наплавки с помощью оптического микроскопа. Металлографический анализ показал, что при погонной энергии 29 кДж/см в отдельных местах наблюдали межкристаллитные проникновения алюминиевой бронзы в сталь (рис. 3, а). Глубина проникновений составляла не более 0,2 мм. При уменьшении погонной энергии наблюдалась тенденция к снижению количества проникновений и

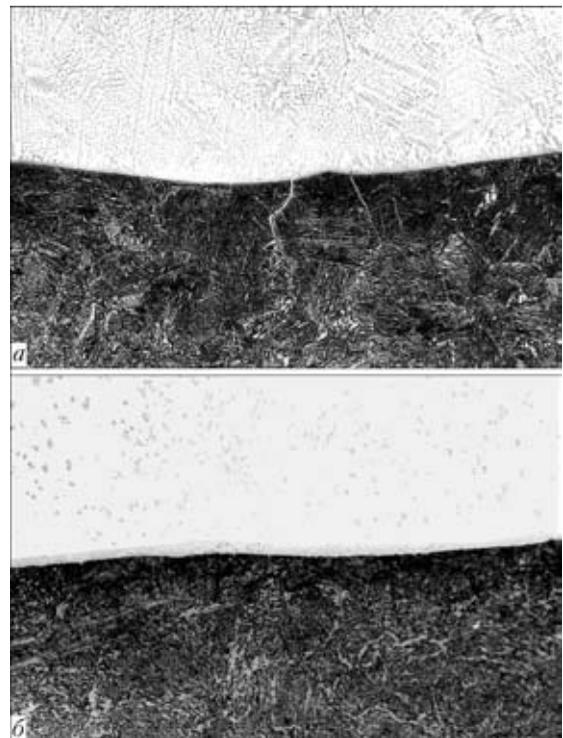


Рис. 3. Микроструктуры ( $\times 200$ ) зоны сплавления алюминиевой бронзы со сталью при разных значениях погонной энергии: а —  $q_{п} = 29$ ; б — 22 кДж/см

при значении 22 кДж/см проникновения в сталь уже отсутствовали (рис. 3, б). В работе [4] показано, что проникновение медного сплава в сталь на глубину до 0,8 мм не влияют отрицательно на прочность биметаллического соединения.

Таблица 1. Химический состав металла литой бронзы и металла, наплавленного покрытиями электродами, мас. %

Материал	Cu	Al	Mn	Fe	Ni	Si	
Бронзовое литье БрА9Мц2Л по ГОСТ 473–79	Основа	8,0...9,5	1,5...2,5	—	—	—	
Металл, наплавленный на сталь, электродами:	АНБА-1	8,0	1,8	3,6	0,7	0,5	
	ЛПИ-73	Основа	6,5	1,6	4,5	2,8	0,8



Таблица 2. Механические свойства металла литой бронзы и металла, наплавленного электродами АНБА-1

Материал	$\sigma_T$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$\delta$ , %	$\psi$ , %	Твердость HB
Бронзовое литье БрА9Мц2Л по ГОСТ 473–79	150	400	20	—	90...120
Металл, наплавленный электродами АНБА-1	$\frac{207,7...216,3}{212,0}$	$\frac{549,8...562,2}{556,0}$	$\frac{37,2...42,0}{39,6}$	$\frac{35,5...45,5}{40,5}$	$\frac{146...162}{154}$

Исследования механических свойств металла, наплавленного электродами АНБА-1, проводили путем измерения прочностных свойств и твердости по Бринеллю. Испытания на статическое растяжение проводили на круглых пропорциональных образцах с диаметром рабочей части 6 мм (ГОСТ 6996–66). Результаты испытаний приведены в табл. 2. Анализ механических свойств показал, что у литой бронзы БрА9Мц2Л прочностные характеристики ниже, чем у наплавленной алюминиевой бронзы, твердость в наплавленном металле выше, чем в литом, что объясняется содержанием в наплавленной бронзе железа и никеля.

Опытное производство небольших партий новых электродов освоено в ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины.

1. Миличенко С. Л., Гамов Н. С. Особенности формирования структуры и свойств алюминиевой бронзы, наплавленной на сталь // Теоретические и технологические основы наплавки. Наплавка в машиностроении и ремонте. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона АН УССР, 1981. — С. 99–105.
2. Джевага И. И., Лебедев Ю. М., Иващенко Г. М. Исследование зоны сплавления сварного соединения углеродистой стали с алюминиевой бронзой // Автомат. сварка. — 1970. — № 8. — С. 11–14.
3. Тимофеев В. Н., Исаев Н. И. Наплавка сплавов меди на стальные поверхности // Там же. — 1965. — № 4. — С. 34–37.
4. Вайнерман А. Е. Влияние проникновений медного сплава на свойства соединений, полученных наплавкой медных сплавов на стали // Наплавка металлов: Л.: ЛДНТП, 1970. — Ч. 2. — С. 25–35.

The paper gives the characteristics and some features of the technology of manufacturing coated electrodes for manual arc welding and surfacing of aluminium bronzes developed at the E. O. Paton Electric Welding Institute. The optimum temperature of electrode baking is determined, which guarantees a low susceptibility of the coating to moisture absorption.

Поступила в редакцию 29.03.2007

## ТЕХНОЛОГИИ ВЫПЛАВКИ ТИТАНОВЫХ СЛИТКОВ ИЗ НЕДОСЕПАРИРОВАННОГО ГУБЧАТОГО ТИТАНА В СЕКЦИОННОМ КРИСТАЛЛИЗАТОРЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО НАГРЕВА

Снижение затрат при получении губчатого титана и его переплаве в слитки является основной производственной задачей. Один из способов ее решения заключается в сокращении на 20...30 % времени технологических процессов магнийтермического восстановления титана из его хлоридов с последующей отгонкой продуктов реакции в вакууме (сепарация). Это позволяет на 20 % снизить расход энергоносителей и увеличить срок службы дорогостоящего оборудования для получения губчатого титана. Полученный по сокращенному циклу губчатый титан содержит до 1 мас. % соединений хлора вместо 0,08 по стандарту. Губчатый титан с повышенным содержанием хлоридов может быть переплавлен в слитки с помощью процесса индукционной плавки в секционном кристаллизаторе. Суть этого метода заключается в том, что при помощи индуктора небольшой высоты в охлаждаемом медном кристаллизаторе создают зону с высокой напряженностью электромагнитного поля, в которой производят расплавление и рафинирование металла, который подают порциями во время плавки. Для последовательного формирования слитка зону перемещают вдоль кристаллизатора или оставляют ее неподвижной, а слиток вытягивают из кристаллизатора.

**Контакты:** 03680, Украина, Киев-150, ул. Боженко, 11  
 Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, отд. № 20  
 Тел./факс: (38044) 287 60 57  
 E-mail: shapovalov@paton.kiev.ua  
<http://www.paton.kiev.ua>