

## УЛУЧШЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И СВАРОЧНЫХ СВОЙСТВ ЭЛЕКТРОДОВ ДЛЯ СВАРКИ И НАПЛАВКИ ОЛОВЯННЫХ БРОНЗ

Т. Б. МАЙДАНЧУК, Н. В. СКОРИНА

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

Приведены результаты исследования влияния различных видов щелочносиликатного связующего на технологичность изготовления и сварочные свойства покрытых электродов для сварки и наплавки оловянных бронз. В исследованиях использованы как стандартные (натриевые, калиевые и смешанные), так и опытные – литийсодержащие жидкие стекла. По разработанной в ИЭС им. Е. О. Патона методике определены пластические свойства электродной обмазочной массы и оценены прочность и гигроскопичность покрытий электрода. Также проведены исследования сварочно-технологических и санитарно-гигиенических свойств опытных электродов. В результате выбран оптимальный вид жидкого стекла, наиболее пригодный для изготовления покрытых электродов для сварки и наплавки оловянных бронз. Библиогр. 8, табл. 4, рис. 5.

*Ключевые слова:* оловянная бронза, наплавка, покрытые электроды, жидкое стекло, технологичность изготовления

В настоящее время оловянные бронзы находят широкое применение в узлах и парах трения машин и механизмов, работающих в условиях повышенного износа при различных режимах эксплуатации, чему в значительной степени способствует благоприятное сочетание их физических и технологических свойств. Для экономии этого дорогого цветного металла применяют различные сварочные процессы. Наиболее простым и дешевым способом является ручная дуговая сварка (наплавка) покрытыми электродами. В Украине отсутствует производство покрытых электродов для сварки и наплавки, для исправления брака литья оловянных бронз, а стоимость зарубежных электродов высока, поэтому в ИЭС им. Е. О. Патона были разработаны электроды марки АНБО [1, 2].

Покрытие имеет специфический состав, связанный с наличием в нем химически активных по отношению к связующему (жидкому стеклу) составляющих солей натрия (гексафторсиликата, гексафторалюмината и фторида), а также нетрадиционных металлических составляющих (оловянный, медно-фосфористый порошки). В связи с этим требуется проведение исследований и выбора оптимального вида щелочносиликатного связующего, свойства которого в значительной степени определяют технологию изготовления, качество и служебные свойства электродов.

Для исследования были подготовлены стандартные (натриевые, калиевые и смешанные на-

**Таблица 1. Физико-химические параметры жидких стекол, используемых при испытаниях**

Тип	Плотность $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Вязкость, $\eta + 20$ °С, МПа·с	Химический состав, мас. %				Модуль
			SiO <sub>2</sub>	Li <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	
Na	1,430	392	29,03	-	8,83	2,15	2,93
Na-K	1,435	606	28,80	-	6,94	4,56	2,99
K-Na	1,428	304	27,85	-	4,00	8,79	2,94
K	1,415	260	26,92	-	0,03	13,78	3,05
Na-Li	1,396	526	30,19	2,69	0,99	5,17	2,73
K-Li	1,421	554	27,93	1,42	0,94	10,67	2,65
Li	1,258	287	25,08	3,19	-	-	3,91

триевые и калиевые) и опытные — литийсодержащие жидкие стекла, которые придают уникальные свойства некоторым типам электродов [3]. Их физико-химические характеристики приведены в табл. 1.

Испытания включали определение пластических свойств электродных обмазочных масс, оценку прочности и гигроскопичности покрытий электродов, проверку сварочно-технологических свойств, определение санитарно-гигиенических свойств электродов.

**Пластичность обмазочных масс.** Пластические свойства обмазочных масс оценивали с помощью методик и приборов, разработанных в ИЭС им. Е. О. Патона [4–6]. Текучесть обмазочной массы определяли с помощью капиллярного вискозиметра ОБ1435 путем ее экструзии и через фильеру диаметром 4 мм и длиной 40 мм при минимальном (1 см<sup>3</sup>/с) и максимальном (10 см<sup>3</sup>/с) объемных расходах. При этом фиксировали давление  $P_z$  и характер экструзии обмазочной массы. Прочность (твердость) сырой обмазочной массы

Таблица 2. Пластические свойства обмазочных масс

Тип стекла	Доза стекла, %	Пластическая прочность $P_m \cdot 10^{-5}$ , Па	Давление экструзии $P_3$ , МПа, при расходе $Q$ , см <sup>3</sup> /с	
			1	10
Na	28,0	5,8	17,0	25,0
Na-K	28,0	3,45	17,5	24,5
K-Na	28,2	16,7	17,0	25,0
K	28,0	18,0	18,5	23,0
Na-Li	28,0	~0,4	9,0	16,0
K-Li	28,0	~0,4	9,0	15,0
Li	29,0	63,2	13,5	18,5

оценивали по значению пластической прочности  $P_m$ , измеряемой на коническом автопластометре ОБ2059. Более пластичной считается обмазочная масса, которая при одинаковой текучести имеет более высокие значения пластической прочности или при равноценной пластической прочности характеризуется более низкими давлениями экструзии.

Кроме того, по характеру и величине давления экструзии проверяли сохранность пластического состояния обмазочной массы во времени (до 3 ч), необходимой для ее переработки.

Результаты оценки пластичности обмазочных масс, изготовленных с использованием различных связующих, показаны в табл. 2 и рис. 1.

Как следует из данных, связующие влияют на пластичность электродных обмазочных масс. Обмазочные массы, приготовленные на четырех стандартных натриево-калиевых жидких стеклах, характеризуются плавной и стабильной экструзией как при минимальных, так и при максимальных расходах при практически одинаковых давле-

ниях экструзии (соответственно 17,0...18,5 МПа при  $Q = 1$  см<sup>3</sup>/с и 23...25 МПа при  $Q = 10$  см<sup>3</sup>/с). Однако наблюдается существенное отличие в прочностных свойствах обмазочных масс. Наиболее высокая пластическая прочность обмазочной массы достигается при использовании калиевого и калиево-натриевого жидких стекол; наименьшее значение пластической прочности у обмазочных масс, изготовленных на натриевых и натриево-калиевых связующих. Аналогичное явление наблюдается в обмазочных массах электродов, предназначенных для сварки сталей, и объясняется различиями в размерах и степени гидратации катионов калия и натрия.

По сравнению с натриево-калиевыми связующими чисто литиевое жидкое стекло обеспечивает наиболее благоприятное сочетание прочностных и экструзионных свойств обмазочных масс (пластическая прочность достигает  $63 \cdot 10^5$  Па при более низких давлениях экструзии).

Смеси литиево-натриевых и литиево-калиевых жидких стекол при равноценной их дозе образуют менее консистентные обмазочные массы (низкие пластическая прочность и давление экструзии), что, вероятно, связано с меньшим модулем указанных силикатов.

Обмазочные массы, изготовленные на исследованных натриево-калиевых связующих, не твердеют во времени (рис. 2). Давление экструзии практически не изменяется на протяжении двух часов. Литийсодержащие жидкие стекла неоднозначно изменяют консистенцию обмазочных масс при хранении. Так, у обмазочной массы, изготовленной на чисто литиевом связующем, вследствие взаимодействия с содержащимися в обмазочной массе фторидами, наблюдается заметное «разжижение» во времени — давление экструзии за три часа хранения понижается на 40 %. При применении калиево-литиевого жидкого стекла обмазочная масса за контролируемое время незначитель-

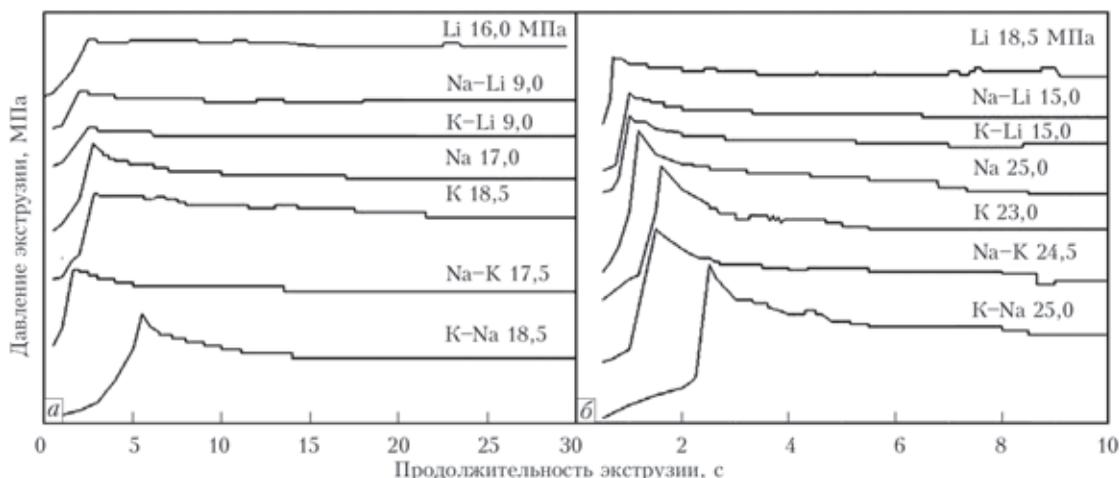


Рис. 1. Кривые экструзии обмазочной массы электродов АНБО, приготовленных на разных видах связующих: а —  $Q = 1$  см<sup>3</sup>/с; б — 10

но изменяет свою консистенцию. В то же время применение натриево-литиевого жидкого стекла вызывает твердение обмазочной массы. При этом давление экструзии в течение трех часов возрастает на 50 %, что свидетельствует о протекании химических реакций в обмазочной массе.

**Прочность обмазочной массы.** Механическую прочность покрытия оценивали по прочности на изгиб прокаленных при различных температурах цилиндрических образцов обмазочной массы диаметром 4 мм, которые были получены экструзией на капиллярном вискозиметре ОБ1453. Определение прочности осуществлялось методом трехточечного изгиба на специальной приставке, разработанной в ИЭС им. Е. О. Патона, к коническому автопластомеру. Результаты опытов приведены на рис. 3.

Из полученных данных следует, что прочность обмазочных масс электродов для сварки оловянистых бронз зависит от вида связующего и температуры прокалывания образцов. Как и в случае текучести обмазочных масс прочность на изгиб обмазочных масс, изготовленных из натриево-калиевых жидких стекол, в целом между собой отличается незначительно во всем диапазоне изученных температур прокалывания. При этом прочность снижается по мере повышения температуры прокалывания. Некоторое отличие наблюдается только при использовании калиевого связующего — прочность обмазочной массы несколько ниже при наименьшей температуре прокалывания (200 °С) и наибольшая при максимальной температуре (400 °С). В диапазоне температур 300...350 °С, характерных для термообработки электродов для сварки бронз, прочность обмазочной массы практически равноценна для всех натриево-калиевых связующих.

Натрий-литиевые и калий-литиевые связующие обеспечивают одинаковый уровень прочности обмазочной массы, несколько более низкий по сравнению с натрий-калиевым жидким стеклом (рис. 3, б).

Литиевое связующее ведет себя отлично от других исследованных связующих. Обмазочная масса на этом связующем характеризуется весьма низким уровнем прочности по мере повышения температуры прокалывания, чего не происходит при использовании других связующих.

**Гигроскопичность покрытий электродов.** Поглощение атмосферной влаги электродными покрытиями отрицательно влияет на качество электродов и сварочных швов. Основной причиной гигроскопичности покрытий является сухой остаток связующего в покрытии — щелочного силиката, определяемый его химическим составом и характеристиками. Гигроскопичность оценива-

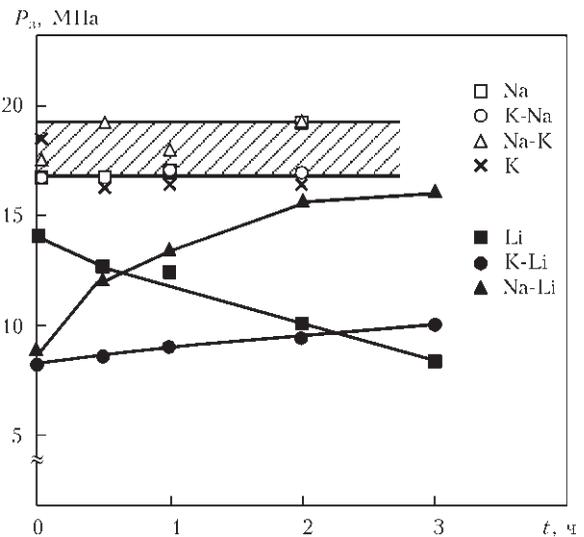


Рис. 2. Изменение давления экструзии  $P_3$  обмазочной массы электродов АНБО, изготовленной на разных связующих во времени ( $Q = 1 \text{ см}^3/\text{с}$ , фильера диаметром 4,0/40)

ли по кинетике сорбции влаги покрытием прокаленных в камерной печи при температуре 300 °С в гидростате электродов с относительной влажностью 84 % при комнатной температуре. Выполняли два цикла испытаний — при кратковременной (8 ч) и длительной (2 недели) экспозиции. Результаты приведены на рис. 4.

Видно, что вид связующего существенно влияет на гигросорбционную стойкость покрытий

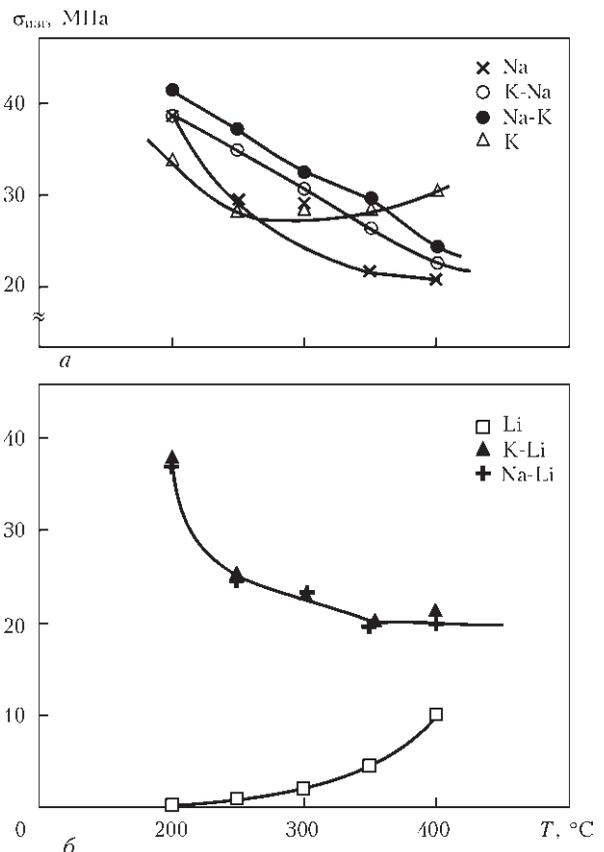


Рис. 3. Зависимости прочности на изгиб  $\sigma_{\text{изг}}$  от температуры прокалывания обмазочной массы электродов АНБО, изготовленных на разных типах связующего

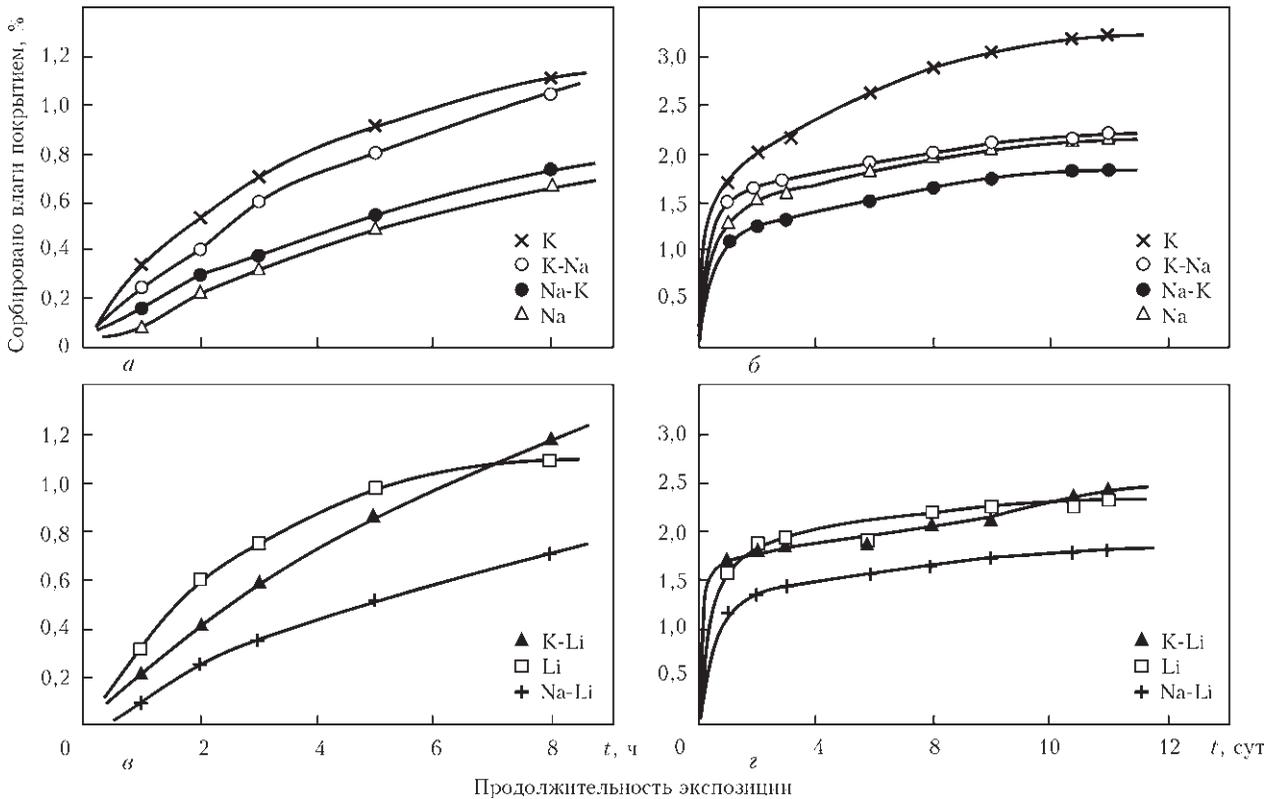


Рис. 4. Кинетика сорбции влаги покрытием электродов АНБО диаметром 4 мм, изготовленных с использованием разных типов связующих: натриево-калиевых (а, б) и литийсодержащих (в, з) при кратковременной (а, в) и длительной (б, з) экспозиции (относительная влажность 84 %, температура 20...23 °С)

электродов для сварки бронзы. При этом закономерности поглощения влаги покрытиями, изготовленными на натриево-калиевых связующих, аналогичны покрытиям электродов для сварки сталей. Наибольшую гигросорбционную стойкость имеют покрытия на натриевом и натриево-калиевом связующих, наименьшую — на калиевом и калиево-натриевом связующем. Уровень поглощения влаги покрытием достаточно высок: за 8 ч покрытия поглощают 0,6...0,8 % влаги при использовании натриевого и натриево-калиевого связующих и около 1,1 % для калиевого и калиево-натриевого связующих; за 14 сут поглощение влаги для всех связующих достигает от 1,8 до 3,3 % (рис. 4, а, б).

Литийсодержащие связующие в покрытиях электродов для сварки бронзы проявляют противоположный покрытиям электродов для сварки сталей эффект. Наблюдается усиление гигроскопичности покрытия до уровня, близкого к покрытиям на калиевом и калиево-натриевых силикатах (рис. 4, в, з). При этом наиболее высоким уровнем сорбции влаги характеризуется покрытие на чистом литиевом силикате. Такое влияние вероятно связано со взаимодействием литийсодержащих связующих с находящимися в шихте фтористыми соединениями натрия в процессе приготовления обмазочных масс. В результате катион лития из жидкого стекла связывается в практически нерас-

творимый фторид лития, а натрий замещает литий в силикате.

**Сварочно-технологические свойства электродов.** Оценку сварочно-технологических свойств электродов проводили по методике балльного ранжирования [7, 8] процесса сварки и формирования сварного шва. При этом были внесены некоторые изменения из-за специфических требований к использованию электродов АНБО. Для сравнения в качестве контрольных использовали электроды производства АО «Спецэлектрод» ОЗБ-2М и немецкие УТР-32.

Стабильность горения дуги оценивали с использованием автоматизированного комплекса диагностики и контроля параметров сварочных процессов с последующей программной обработкой результатов исследований. Результаты исследований приведены в табл. 3.

Анализ сварочно-технологических свойств показал, что при наплавке исследуемыми электродами за исключением ОЗБ-2М наблюдается хорошее возбуждение дуги, при этом можно увидеть, что показатели эластичности дуги наиболее высокие у электродов УТР-32, что, возможно, связано с большим коэффициентом массы покрытия в сравнении с электродами ОЗБ-2М и АНБО, изготовленных с использованием разного вида стекла. Равномерное распределение пиковых значений напряжения и тока при исследовании всех элект-

Таблица 3. Сварочно-технологические свойства покрытых электродов

Тип электрода	Возбуждение дуги	Качество формирования шва	Стабильность горения дуги	Эластичность дуги	Крошащее свойство шлака	Отделимость шлака	Характер плавления покрытия	Разбрызгивание металла шва	Дефекты в наплавленном металле	Суммарное количество баллов
ОЗБ-2М	3	2	4	3	2	2	1	4	3	24
Na	5	4	4	4	3	3	4	4	5	36
K	5	4	4	3	3	3	5	5	2	34
K-Na	5	4	5	4	3	3	4	5	5	38
Na-K	4	5	5	4	3	3	4	5	5	38
K-Li	5	4	5	3	3	3	3	5	3	34
Na-Li	5	4	5	3	3	3	4	5	5	37
Li	5	4	5	4	3	3	4	5	5	38
УТР-32	5	3	5	5	5	4	5	3	5	40

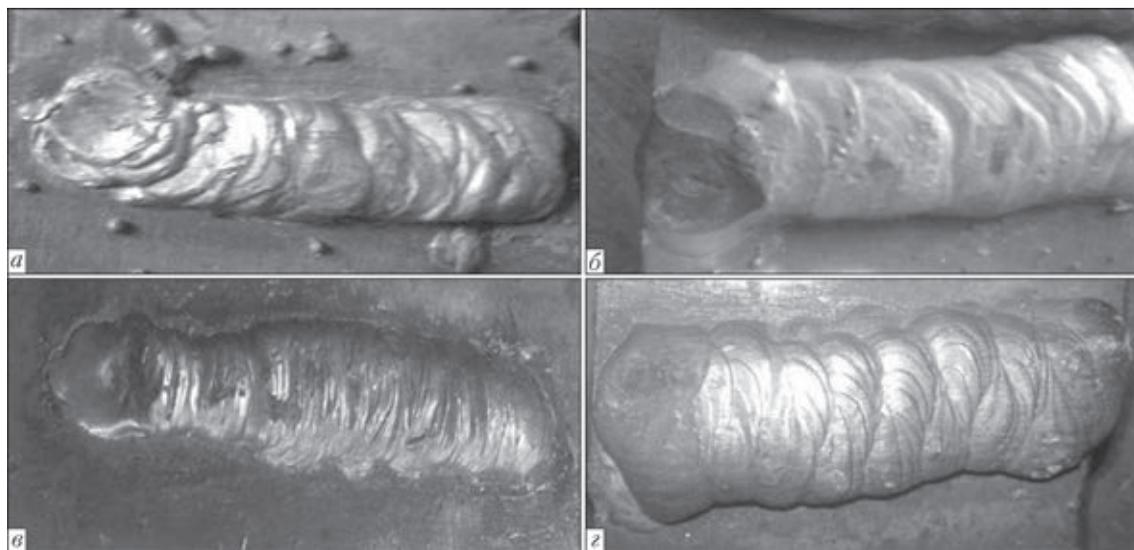


Рис. 5. Внешний вид наплавленного металла: а — УТР-32, однослойная наплавка; б — УТР-32, трехслойная наплавка; в — электрод на Na-K стекле, однослойная наплавка; з — трехслойная наплавка электродом, изготовленном на Na-K стекле

родов свидетельствуют о высокой стабильности горения дуги. Несмотря на то, что крошащие свойства электродов УТР-32 наилучшие, при этом наблюдается большое разбрызгивание и поверхность валика крупночешуйчатая, особенно при наплавке первого слоя на сталь (рис. 5). Визуальный контроль валиков и поперечных макрошлифов поры выявили при использовании электродов марки ОЗБ-2М, электродов, изготовленных на K и K-Li стеклах. Исходя из этого, по сварочно-технологическим свойствам наилучшими электродами являются УТР-32, а также электроды, изготовленные на Li, Na-K и K-Na жидких стеклах.

**Санитарно-гигиенические характеристики электродов.** Санитарно-гигиенические характеристики электродов оценивали по интенсивности образования  $V_a$  и удельному выделению  $G_a$  твердой составляющей сварочного аэрозоля (ТССА). Определение интенсивности образования и удель-

ного выделения ТССА проводили гравиметрическим методом. Полученные результаты представлены в табл. 4.

Видно, что наиболее низкие уровни выделения ТССА достигаются при сварке электродами, изготовленными с применением натрий-литиевых стекол ( $V_a = 0,393$  г/мин,  $G_a = 8,71$  г/кг); Близкие к ним по выделению ТССА электроды,

Таблица 4. Санитарно-гигиенические характеристики электродов для сварки бронз (диаметром 4 мм,  $I_{св} = 120...130$  А,  $U_d = 23...25$  В)

Связующее	Интенсивность образования ТССА, $V_a$ , г/мин	Удельное выделение ТССА, $G_a$ , г/кг
Натриевое	0,461	10,2
Натриево-калиевое	0,404	9,13
Калий-натриевое	0,435	10,0
Калиевое	0,493	11,29
Натрий-литиевое	0,393	8,71
Калий-литиевое	0,484	11,35
Литиевое	0,414	9,23

изготовленные на натриево-калиевом и литиевом связующих. Наиболее благоприятными по санитарно-гигиеническим показателям являются электроды на калиевом и калиево-литиевом связующих. Так, например, интенсивность образования и удельные выделения у электродов, изготовленных на калиевом связующем, соответственно на 22,0 и 23,6 % выше, чем у электродов на натриево-калиевом стекле. Электроды, изготовленные на калиево-натриевом и натриевом связующих, по санитарно-гигиеническим свойствам занимают промежуточные положения между двумя крайними группами электродов.

### Выводы

По методике, разработанной в ИЭС им. Е. О. Патона, были исследованы стандартные натриевые, калиевые и смешанные натриево-калиевые и опытные литийсодержащие жидкие стекла, используемые при изготовлении электродов для сварки и наплавки оловянных бронз.

Как показали комплексные исследования свойств опытных электродов, наилучшие результаты по технологичности изготовления и сварочно-технологическим свойствам обеспечивает натрий-калиевое жидкое связующее.

1. *Выбор* шлакообразующей основы покрытия электродов для дуговой сварки и наплавки литейных оловянных бронз / В. М. Илюшенко, В. А. Аношин, В. Н. Скорина, Т. Б. Майданчук // Сварка и родственные технологии: Материалы VII науч.-техн. конф. молодых ученых и специалистов. – Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 22-24 мая 2013 г. – 155 с.
2. *Разработка* электродных материалов для сварки и наплавки сложнотермостойких бронз / В. М. Илюшенко, В. А. Аношин, А. Н. Бондаренко и др. // Сварка и родственные технологии – настоящее и будущее: Сб. тез. студ. докл. Междунар. конф. (25–26 ноябр. 2013 г.). – Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 2013. – С. 72–73.
3. *Свойства* литийсодержащих жидких стекол для производства сварочных электродов / Н. В. Скорина, М. О. Кисилев, А. П. Пальцевич, О. Г. Левченко // Сб. докл. IV Междунар. конф. по сварочным материалам стран СНГ. – Краснодар, 2011. – С. 75–82.
4. *Сравнительная* оценка технологических свойств обмазочных масс Руен, Витоша и УОНИ-13, полученная с помощью капиллярного и конического пластометров / А. Е. Марченко, М. Ф. Гнатенко, А. И. Чалыков и др. Информ. материалы СЭВ. – Киев: Наук. думка, 1983. – Вып. 1/23. – С. 69–74.
5. *Автопластометр* / В. А. Соколов, В. П. Сотченко, А. Е. Марченко, Н. В. Скорина. – Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1981. – С. 1–4.
6. *Марченко А. Е., Шкурко С. А.* Исследование электродных масс методом капиллярного пластометра // Свароч. пр-во. – 1975. – № 5. – С. 11–13.
7. *РД 03-613-03.* Порядок применения сварочных материалов при изготовлении, монтаже, ремонте и реконструкции технических устройств для опасных производственных объектов, 2006. – Введ. 19.06.2003 г. – 31 с.
8. *Еришов А. В., Еришов А. А.* Сварочно-технологические свойства сварочных электродов, используемых для сварки строительных металлических конструкций // Сварка и диагностика. – 2013. – № 3. – С. 56–60.

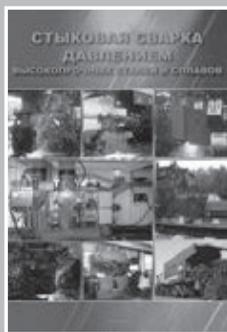
Поступила в редакцию 15.04.2014

## ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ДОМ «ПАТОН»

www.patonpublishinghouse.com

### СТЫКОВАЯ СВАРКА ДАВЛЕНИЕМ ВЫСОКОПРОЧНЫХ СТАЛЕЙ И СПЛАВОВ.

– Киев: Международная ассоциация «Сварка», 2011. – 132 с. Мягкий переплет, 200×290 мм.



Сборник включает 24 статьи, опубликованные в журнале «Автоматическая сварка» за период 2005-2010 гг., по проблемам контактной стыковой сварки оплавлением и другим способам сварки давлением. Разделы сборника посвящены разработке технологии и оборудования для контактной сварки рельсов, стальных труб, арматуры и проката из высокопрочного алюминия. Рассматриваются также технологии прессовой сварки магнитоуправляемой дугой и сварки трением. Авторами статей являются известные в Украине и за рубежом ученые и специалисты в области сварки давлением. Сборник предназначен для научных сотрудников, инженеров, технологов, конструкторов и аспирантов, занимающихся проблемами сварки давлением сталей, алюминиевых и титановых сплавов, интерметаллидов и других материалов.

Заказы на книгу просьба направлять в редакцию журнала «Автоматическая сварка»