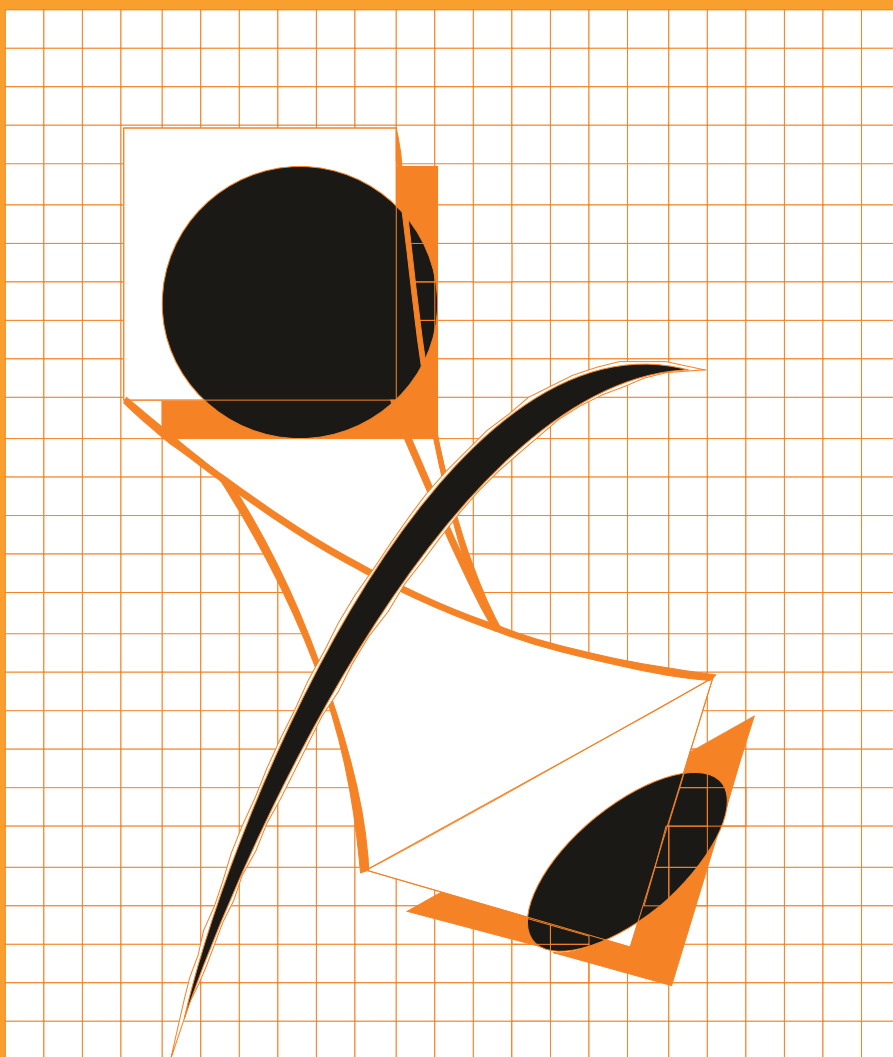


# ГАЛЬВАНОТЕХНИКА

# И ОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТИ

ELECTROPLATING & SURFACE TREATMENT



**Наука**

**Экология**

**Технология**

**Оборудование**

**Печатные платы**

**Образование**

**Science**

**Environments**

**Processes**

**Equipment**

**PC boards**

**Training**



## Редакционная коллегия

**Гл. редактор д.х.н. Кругликов С.С.**  
Российский химико-технологический  
Университет им.Д.И.Менделеева, Москва

д.х.н. Байрачный Б.И., Харьков, Украина;  
д.т.н. Ваграмян Т. А., Москва, Россия;  
д.т.н. Виноградов С.С., Москва, Россия;  
д.х.н. Винокуров Е.Г., Москва, Россия  
к.х.н. Григорян Н.С., Москва, Россия;  
д.х.н. Данилов Ф.И., Днепропетровск,  
Украина;  
д.х.н. Давыдов А.Д., Москва, Россия;  
к.х.н. Жарский И.М., Минск, Белоруссия;  
д.х.н. Кайдриков Р.А., Казань, Россия;  
д.т.н. Колесников В.А., Москва, Россия;  
д.х.н. Кузнецов В.В., Москва, Россия;  
к.т.н. Мамаев В.И., Киров, Россия;  
д.х.н. Парфенюк В. И. Иваново, Россия;  
д.т.н. Скопинцев В.Д., Москва, Россия;  
к.т.н. Смирнов К.Н., Москва, Россия;  
к.т.н. Шишкина С.В., Киров, Россия

Зав. редакцией Орехова Е.С.  
Компьютерная верстка Царева Е. В.

125047, Москва, Миусская пл., д.9  
Тел. редакции: 8(499)978-59-90,  
факс:8(495)609-29-64  
**E-mail: gtech@muctr.ru**

## Основатель журнала

Кудрявцев Владимир Николаевич,  
д.х.н., профессор  
Российский химико-технологический  
Университет им. Д.И. Менделеева

## Спонсоры

Компания "Умикор Гальванотехник",  
Швабиш-Гмюнд, Германия  
Перевод рефератов - проф. Кругликов С.С.

## Editorial Board

**Editor-in-Chief prof. S. Kruglikov**  
Mendeleev University of Chemical  
Technology of Russia, Moscow

Bajrachnyj B.J., Charkov, Ukraina;  
Danilov F.I., Dnepropetrovsk, Ukraina;  
Davydov A.D., Moscow, Russia;  
Grigoryan N.S., Moscow, Russia;  
Kajdrikov R.A., Kazan, Tatarstan, Russia;  
Kolesnikov V.A., Moscow, Russia;  
Kuznetsov V.A., Moscow, Russia;  
Mamaev V.I., Kirov, Russia;  
Parfenuk V.I., Ivanovo, Russia;  
Schischkina S.V., Kirov, Russia;  
Skopintsev V.D., Moscow, Russia;  
Smirnov K.N., Moscow, Russia;  
Vagramyan T.A., Moscow, Russia;  
Vinogradov S.S., Moscow, Russia;  
Vinokurov E.G., Moscow, Russia  
Zharskii I.M., Minsk, Belorussia

125047, Moscow, Miususkaya Sq.9  
Tel.: 7(499)978-59-90,  
Fax:7(495)609-29-64  
**E-mail: gtech@muctr.ru**

## Founders

Kudryavtsev V.N.  
Mendeleev University of Chemical Technology  
of Russia, Moscow

## Sponsors

"Umicore Galvanotechnik" GmbH,  
Schwaebisch Gmuend, Germany  
Russian-english abstracts translator  
prof.Kruglikov S.S.

**Интернет-сайт Российского общества гальванотехников [www.galvanicrus.ru](http://www.galvanicrus.ru)**

**Интернет-сайт журнала [www.galvanotehnika.info](http://www.galvanotehnika.info)**

# ГАЛЬВАНОТЕХНИКА и ОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТИ

Издаётся с 1992 г.

№ 4

2018 год

том XXVI

## Содержание

<i>Электроосаждение металлов и сплавов</i>	<b>Электрохимический синтез сплава никель-рений и его электрокаталитические свойства</b> Кузнецов В.В., Гамбург Ю.Д., Жуликов В.В., Баталов Р.С., Филатова Е.А.	<b>4</b>
	<b>О возможности получения термостойкого открытопористого пеноникеля электрохимическим способом</b> Салахова Р.К., Тихообразов А.Б.	<b>13</b>
	<b>Универсальная добавка для кислых электролитов кадмирования</b> Архипов Е.А., Григорян Н.С., Шувалов Д.А., Жирухин Д.А., Смирнов К.Н., Ваграмян Т.А.	<b>21</b>
	<b>Исследование электроосаждения сплава олово-висмут с блескообразующей добавкой SA-317</b> Юдин А.С., Попов А.Н., Колесников В.А.	<b>45</b>
<i>Обмен опытом</i>	<b>Подготовка поверхности безникелевой нержавеющей стали под покрытие</b> Руденок В.А.	<b>31</b>
<i>Экология и ресурсосбережение</i>	<b>Влияние природы ПАВ и флокулянта на электрофлотационный процесс извлечения смеси гидроксидов цветных металлов из сточных вод гальванохимических производств</b> Хейн Т.А., Колесников В.А.	<b>51</b>
	<b>Об оптимизации основных параметров процесса электрохимической регенерации хроматного раствора пассивирования кадмиевых покрытий</b> Филатова Е.А., Тележкина А.В., Кругликов С.С., Кругликова Е.С., Ильина К.В.	<b>59</b>
<i>Персоналии</i>	<b>Ушел из жизни Владимир Владимирович Бондарь</b>	<b>67</b>
<i>Информация</i>	<b>Курсы повышения квалификации</b>	<b>70-71</b>
	<b>Выставки, конференции, семинары</b>	<b>69</b>

Интернет-сайт Российского общества гальванотехников  
[www.galvanicrus.ru](http://www.galvanicrus.ru)

**ELECTROPLATING & SURFACE  
TREATMENT***Published since 1992***№ 4****2018****v. XXVI****Contents**

<i>Electroplating of metals and alloys</i>	<b>Electrochemical Synthesis of Nickel-Renium Alloy and Its Electrocatalytic Characteristics</b> <i>Kuznetsov V.V., Gamburg Yu.D., Zhulikov V.V., Batalov R.S., Filatova E.A.</i>	<b>4</b>
	<b>On the Formation of Nickel Form with Opened Porosity by Electrochemical Deposition</b> <i>Salachova R.K., Tichoobrazov A.B.</i>	<b>13</b>
	<b>Universal Additive for Acid Cadmium Plating Baths</b> <i>Arhipov E.A., Grigoryan N.S., Shuvalov D.A., Zhiruhin D.A., Smirnov K.N., Vagramyan T.A.</i>	<b>21</b>
	<b>Investigation of the Electrodeposition of Tin-bismuth Alloy from the Bath with Brightener SA-317</b> <i>Yudin A. S., Popov A. N., Kolesnikov V. A.</i>	<b>45</b>
<i>Experience exchange</i>	<b>Surface Preparation of Nickel-free Stainless Steel Under the Coating</b> <i>Rudenok V. A.</i>	<b>31</b>
<i>Environment and Resources Saving</i>	<b>The effect of the nature of surfactant and flocculant on the electroflotation process of extracting of a mixture of non-ferrous metal hydroxides from wastewater galvanochemical production</b> <i>Hein T. A., Kolesnikov V. A.</i>	<b>51</b>
	<b>Optimization of Major Process Parameters in the Electrochemical Regeneration of Chromate Solutions Used for the Passivation of Cadmium-Plated Parts</b> <i>Filatova T.A., Telezhkina A.V., Kruglikov S.S., Kruglikova E.S., Il'ina K.V.</i>	<b>59</b>
<i>Personal</i>	<b>Vladimir V. Bondar passed away</b>	<b>67</b>
<i>Information</i>	<b>On the training courses for plating engineers</b>	<b>70-71</b>
	<b>Congressess, Conferences, Meetings</b>	<b>69</b>

**Internet-site Russian Society of Platers**  
**www.galvanicrus.ru**

УДК 541.138.3

## **Электрохимический синтез сплава никель-рений и его электрокаталитические свойства**

**Кузнецов В.В.<sup>1</sup>, Гамбург Ю.Д.<sup>2</sup>, Жуликов В.В.<sup>2</sup>,  
Баталов Р.С.<sup>1</sup>, Филатова Е.А.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева,  
Москва, Россия, 125047 Москва А-47, Миусская пл., 9

<sup>2</sup>Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН;  
119071 Москва, Ленинский проспект, д.31/4.

Ключевые слова: электролитические сплавы, реакция выделения водорода, никель, рений, электрокатализ.

Исследованы химический и фазовый состав сплавов Ni-Re, полученных электроосаждением из цитратных электролитов, а также их каталитическая активность в реакции электрохимического выделения водорода (РВВ) в щелочных растворах. Проанализировано влияние химического состава сплава на кинетику РВВ. Высказано предположение, что высокая каталитическая активность электролитических осадков никель-рений связана с наличием в их составе оксидов рения.

## **Electrochemical Synthesis of Nickel-Rhenium Alloy and Its Electrocatalytic Characteristics**

**Kuznetsov V.V.<sup>1</sup>, Gamburg Yu.D.<sup>2</sup>, Zhulikov V.V.<sup>2</sup>, Batalov R.S.<sup>1</sup>,  
Filatova E.A.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, 125047,  
Miuskaya Sq., 9

<sup>2</sup> Frumkin Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry, Moscow

Keywords: electrolytic alloys, hydrogen evolution reaction, nickel, rhenium, molybdenum.

Ni-Re cathodes catalytic activity towards hydrogen evolution reaction (HER) in the solution of sodium hydroxide was studied. Ni-Re coatings were deposited onto the surface of a copper substrate from ammonium-citrate solutions in the galvanostatic regime. The obtained deposits were examined by modern physical methods, namely: XPS, XRD, and SEM with X-ray microanalyzer. It was established that the

full reduction of nickel species occurs during electrodeposition, while rhenium species electroreduction is incomplete. Large amounts of Rh(IV) oxide were detected in the electrode deposits.

The increase in rhenium content in Ni-Re deposits caused the increase in their catalytic activity towards HER that is accompanied by Tafel slope decreasing. This is due to high surface coverage by adsorbed hydrogen atoms ( $\theta_H$ ) and its dependence from electrode potential. The deposits obtained by electrodeposition contain a high amount of sorbed hydrogen.

Ni-Re coatings immediately after electrodeposition were X-ray amorphous. Heat treatment at 450 °C in vacuum resulted in the change in their crystal structure. After heat treatment, they were the solid solution of nickel in hexagonal rhenium lattice. This resulted in the decrease in catalytic activity towards HER.

### **Введение**

Развитие водородной энергетики требует усовершенствования процесса получения электролитического водорода высокой чистоты. В этой связи особый интерес представляет разработка новых электродных материалов, не содержащих благородных металлов. В качестве материала катода интерес представляют системы, состоящие из металлов группы железа (Fe, Co, Ni) и тугоплавких металлов (Mo, W, Re) [1,2]. Высказано предположение [3], что высокая каталитическая активность таких систем связана с электронным взаимодействием между d-орбиталями металла группы железа и тугоплавкого металла, при этом плотность электронных состояний сплава становится подобной платине, скорость РВВ на которой максимальна.

Исходя из феноменологических представлений, увеличение скорости РВВ связано с достижением оптимальной величины энтальпии связи металл электрода-водород [4,5]. Однако в случае реальных систем положение может осложняться многостадийностью РВВ и, соответственно, различным влиянием материала катода на разные стадии РВВ.

В этой связи необходимо отметить, что кинетика РВВ для подобных систем практически не изучена. Одной из причин этого является то, что в условиях эксперимента не удается получить протяженную тафелевскую область, распространяющуюся на несколько порядков величин плотностей тока, а следовательно, точно определить параметры РВВ. Например, авторы работы [6] приводят несколько значений тафелевского коэффициента  $b$  (для различных величин перенапряжений), но, строго говоря, на приведенных кривых невозможно выделить тафелевскую область. Кроме того, в обсуждаемых работах, ав-

торы часто не уделяют достаточного внимания структуре, химическому и фазовому составу изучаемых систем. В настоящее время в литературе представлен ряд работ, посвященных изучению кинетики РВВ как на рениевых электродах [7–11], так и на никель-рениевых сплавах [12,13].

Наиболее распространенными способами получения покрытий на основе сплавов тугоплавких металлов с металлами группы железа являются химическое и физическое осаждение из газовой фазы [14]. Удобной альтернативой этим методам является электроосаждение. Представлен ряд работ [14–16], посвященных изучению процесса электроосаждения сплавов рения с никелем из различных электролитов; наиболее целесообразно использование цитратных растворов [17,18]. Показано, что процесс выделения сплава протекает с меньшим перенапряжением по сравнению с процессом выделения чистого рения. Это может быть связано с большей ролью адсорбированного водорода в катодном процессе, а также с каталитическим действием свежееосажденного никеля на процесс восстановления перренат-ионов. Область получения компактных покрытий соответствует плотностям тока ниже 200 мА/см<sup>2</sup>, а выход по току при этом составляет 5–20%.

Целью данной работы было получение экспериментальных данных о кинетике РВВ на сплавах Ni-Re, полученных электроосаждением из цитратного электролита, а также установление механизма РВВ и природы высокой каталитической активности данных сплавов.

### **Методики экспериментов**

Электроосаждение сплавов проводили на предварительно подготовленную поверхность медных подложек ( $S_{\text{геом}} = 2 \text{ см}^2$ ) из цитратных электролитов, содержащих перренат калия, сер-

Таблица 1. Составы электролитов и условия процесса электроосаждения сплавов Ni-Re  
Table 1 Bath composition and electrolysis conditions for Ni-Re coatings electrodeposition

Состав раствора и условия процесса Solution composition and electroplating conditions	I	II	III	IV
KReO <sub>4</sub> , ммоль/л KReO <sub>4</sub> , mmol L <sup>-1</sup>	50	35	35	35
NiSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O, ммоль/л NiSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O, mmol L <sup>-1</sup>	50	120	200	300
Лимонная кислота, ммоль/л citric acid, mmol L <sup>-1</sup>	500	350	350	350
Температура осаждения, °C bath temperature, °C	55	55	55	55
pH	1,5	1,4	1,9	1,7

нокислый никель и лимонную кислоту. Перед нанесением покрытия образцы полировали на наждачной бумаге BUEHLER-MET P2500, после чего их поверхность подвергали электрохимической полировке (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> – 99 об. %, CH<sub>3</sub>CH(OH)COOH – 1 об. %  $i_a = 40$  А/дм<sup>2</sup>, 10 мин. [19]). Составы используемых электролитов и условия процесса осаждения приведены в таблице 1. Все электролиты были приготовлены из реактивов марки «х.ч.» и бидистиллированной воды. Рабочие значения величины pH во всех случаях соответствовали pH приготовления раствора, которые определяли с помощью универсального pH-ионметра Эко-тест-120. Благодаря наличию в составе электролитов лимонной кислоты, их буферная емкость была достаточно высокой, что позволяло в первом приближении пренебречь изменением pH при электролизе. Электролиз проводили в ячейке без разделения катодного и анодного пространств. В качестве растворимых анодов использовали никелевую фольгу.

Выход сплава по току определяли гравиметрическим методом. Содержание никеля в сплаве определяли титрованием стандартизированным раствором ЭДТА после растворения сплава. Сплав Re-Ni толщиной 10-15 мкм (суммарная масса покрытия 20 – 30 мг) наносили на платиновую основу (20×10мм). Полученный сплав растворяли в избытке концентрированной HNO<sub>3</sub>. Полученный раствор выдерживали до полного исчезновения бурой окраски, после чего разбавляли дистиллированной водой и нейтрализовывали 25 %-м водным раствором NH<sub>3</sub> до появления устойчивой светло-голубой окраски. Титрование проводили раствором ЭДТА (0,1 моль-экв./л) в присутствии индикатора

(мурексида) до пререхода окраски раствора из оранжево-желтой в винно-красную.

Содержание никеля в сплаве определяли по формуле:

$$\omega = T \cdot 2,93 / m \cdot 1000 \quad (1)$$

где  $\omega$  – массовая доля никеля в сплаве; T – количество раствора ЭДТА, пошедшее на анализ, мл; m – масса осажденного сплава, г.

Кинетика РВВ на полученных электродных материала была исследована методом снятия потенциодинамических поляризационных кривых с медленной (2 мВ/с) скоростью развертки потенциала. Для проведения поляризационных измерений использовали трехэлектродную ячейку с разделением катодного и анодного пространств. Измерения проводили при температуре 20±2 °C. Потенциал рабочего электрода задавали относительно обратимого водородного электрода в том же растворе.

Растворы для поляризационных измерений готовили на основе воды Milli-Q (удельное сопротивление 18 МОм·м, содержание органических примесей менее 5 ppb). Перед измерениями все детали ячейки промывали горячей водой MilliQ. Рабочий раствор деаэрировали аргоном (99,993%) в течение 15 мин. При проведении поляризационных измерений пространство ячейки над раствором непрерывно продували аргоном. Раствор NaOH для изучения кинетики РВВ на сплавах Re-Ni готовили из кристаллической щелочи (ос.ч.) и воды MilliQ. Перед проведением экспериментов щелочные растворы декарбонизировали. Декарбонизация проводилась согласно [20]. В парафинированной склянке растворяли гидроксид натрия в равном по массе количестве воды MilliQ, склян-



ку закрывали пробкой и оставляли на несколько дней. Карбонат натрия практически нерастворим в концентрированном растворе щелочи. По этой причине прозрачный раствор, декантированный с осадка  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , практически не содержал карбонатов. Его отбирали и разбавляли предварительно деаэрированной водой MilliQ.

Для проведения поляризационных измерений использовали цифровой потенциостат ИРС-Pro. Стабильность каталитического эффекта для Ni-Re электродов оценивали путем проведения длительного электролиза в 1 н растворе NaOH. Электролиз проводили в потенциостатическом режиме при различных значениях потенциала катода.

### Результаты и их обсуждение

#### Закономерности электроосаждения сплавов никель-рений

Отношение атомных процентов рения и никеля в сплаве – один из важнейших факторов, определяющих химико-каталитические свойства сплава. На рис. 1 представлена зависимость содержания рения в полученных покрытиях от плотности тока для различных составов электролитов. При расчете атомных долей никеля и рения в образующемся сплаве сумма количества их молей была принята за 100 %. Цифры, приведенные около каждой из кривых, показывают концентрации (ммоль/л) перрената калия и сульфата никеля в растворе, применявшемся для осаждения покрытий.

Содержание рения в электролитических осадках Ni-Re уменьшается при увеличении катодной плотности тока, причем наиболее сильно это проявляется в области относительно высоких плотностей тока (150–250  $\text{mA}/\text{cm}^2$ ). Указанный эффект наблюдался для всех исследованных значений pH (табл. 1) в интервале температур 40–80 °C.

Содержание рения в образующемся на катоде осадке зависело как от концентрации сульфата никеля, так и от концентрации перрената калия в растворе, применявшемся для электроосаждения. Обнаруженные зависимости были вполне ожидаемыми: при увеличении концентрации перрената калия в электролите его содержание в покрытии возрастало, а увеличение концентрации сульфата никеля приводило к небольшому снижению содержания рения в сплаве.

В этой связи необходимо отметить, что кинетика электроосаждения сплава никель-рений, по-видимому, отличается от классических

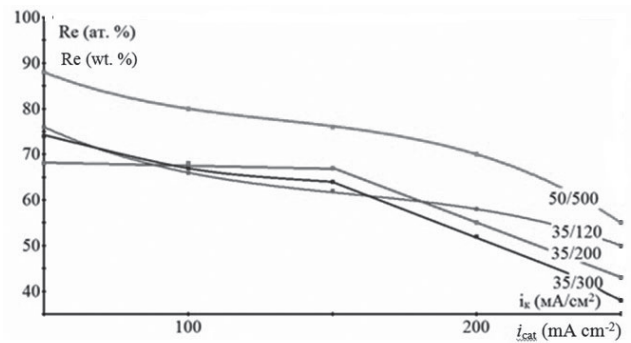


Рис. 1. Зависимость содержания рения в сплаве от плотности тока для различных концентраций соединений никеля и рения в электролите (пояснения в тексте)

Fig. 1. The dependence of rhenium content in Ni-Re deposits from electrodeposition current density for various concentration of nickel and rhenium species in the solution (see the text)

примеров «индуцированного» осаждения, когда количество включающегося в катодный осадок тугоплавкого металла напрямую зависит от содержания металла группы железа в нем, поскольку процесс электровосстановления соединений металла группы железа «индуцирует» электровосстановление тугоплавкого металла. В случае электроосаждения Ni-Re-покрытий электровосстановление соединений никеля и электровосстановление соединений рения протекают в значительной степени независимо друг от друга. Одним из возможных объяснений наблюдаемым закономерностям может быть то, что рений, в отличие от молибдена и вольфрама, может быть получен электролизом водных растворов.

Выход по току сплавов Ni-Re весьма низкий и возрастает при увеличении катодной плотности тока (рис. 2). При анализе зависимостей, приве-

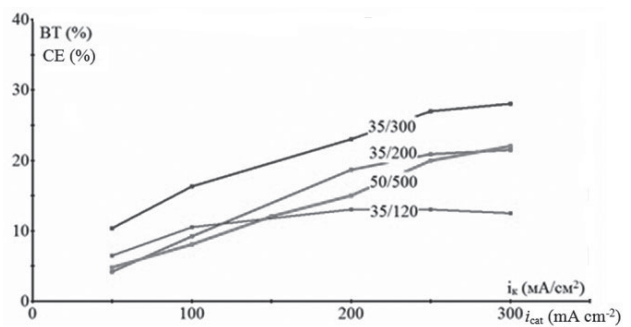
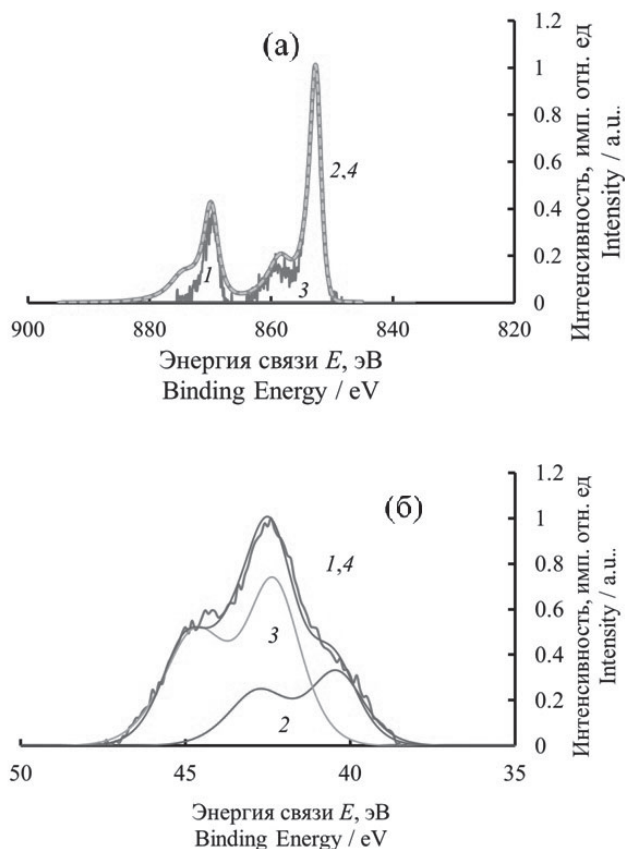


Рис. 2. Зависимость выхода по току сплава от содержания соединений никеля и рения в электролите, применяемом для электроосаждения

Fig. 2. The dependence of Ni-Re alloys current efficiency from nickel and rhenium species concentration in the solution used for electrodeposition



**Рис. 3.** Спектры РФЭС катодного осадка Ni–Re высокого разрешения: (а) – Ni 2р, (б) – Re 4f. Аналитическая глубина – 10 нм. 1 – экспериментальная кривая, 2 – элементы (Ni, Re) в металлическом состоянии, 3 – окисленные состояния элементов (Ni<sup>2+</sup> или Re<sup>4+</sup>), 4 – аппроксимированная кривая

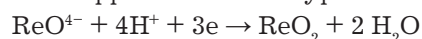
**Fig. 3.** High-resolution XPS spectra Ni 2p (a) and Re 4f (b) for Ni–Re deposits obtained by electrodeposition. Analytical depth – 10 nm. 1 – experimental data, 2 – metallic state of the elements (Ni, Re), 3 – oxidized forms of elements (Ni<sup>2+</sup> or Re<sup>4+</sup>), 4 – approximated curve

денных на рис. 2, можно заметить, что наибольшие выходы по току сплава соответствуют покрытиям с наименьшим содержанием рения. Это является косвенным подтверждением тому, что, по крайней мере в растворе, применяющемся для осаждения покрытий, увеличение содержания рения приводит к катализу РВВ.

#### Степени окисления элементов в электролитических осадках никель-рений и их фазовый состав

Согласно спектрам РФЭС высокого разрешения, никель включается в состав покрытия в металлическом состоянии. После проведения ионного травления на глубину ~15 нм, окисленные формы никеля практически перестают фиксироваться, а весь спектр описывается Ni(0) (рис. 3а).

Валентное состояние рения в полученных покрытиях несколько более сложное. Даже после проведения ионного травления на спектрах РФЭС высокого разрешения фиксируются как металлическая, так и окисленная (+4) формы рения. Количество рения в степени окисления +4, по-видимому, соответствующего оксидам, не уменьшается при увеличении глубины ионного травления. Это заставляет предположить, что окисленные формы рения образуются непосредственно в процессе электроосаждения в результате неполного восстановления перренат-ионов по уравнению:

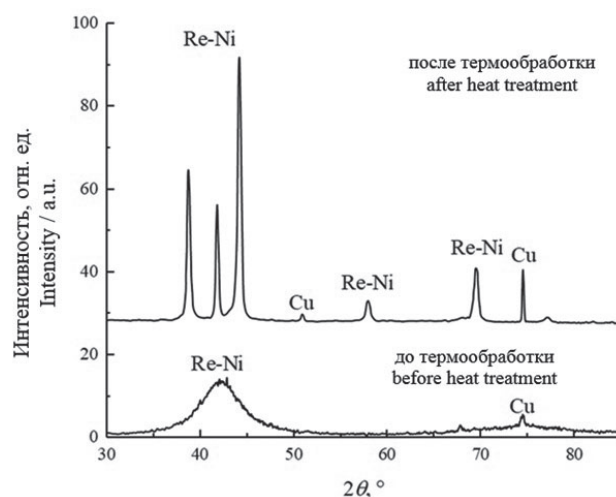


Сказанное является принципиальным отличием электролитических осадков Ni–Re от систем, полученных в процессе «индуцированного» осаждения (Ni–Mo, Co–Mo и др.). В этом случае тугоплавкий металл включается в состав катодного осадка только в нулевой степени окисления.

Полученные после электролиза покрытия являются рентгеноаморфными (рис. 4). Структура осадка, соответствующая твердым растворам никеля в рении, проявляется лишь после термообработки.

#### Содержание водорода в полученных покрытиях

Согласно измерениям, проведенным методом вакуумной экстракции, количество водорода



**Рис. 4.** Диффрактограммы Ni–Re осадков до и после термообработки (450 °С, 1 час). CuK<sub>α</sub> излучение. Осадки нанесены на поверхность медного образца

**Fig. 4.** Ni–Re deposits diffractograms before and after heat treatment. CuK<sub>α</sub> radiation. The coatings were deposited onto a copper substrate

Таблица 2. Кинетические параметры РВВ на сплавах никель-рений  
Table 2. HER kinetic parameters on Ni-Re alloys

№	x(Re), %	lg i <sub>0</sub> [A/cm <sup>2</sup> ]	b, мВ
1	55	-5,1	134
2	68	-4,1	115
3	72	-4,0	114
4	76	-4,3	93
5	76 (после термообработки) (after heat treatment)	-5	88
6	80	-3,6	81
7	88	-3,4	88

в катодных осадках велико – от 1,9 до 7,9 см<sup>3</sup>/г (рис. 5)

Содержание водорода в электролитических сплавах Ni-Re хорошо коррелирует с количеством никеля. В связи с этим можно предположить, что на поверхности выделяющегося сплава водород адсорбируется в основном вблизи атомов никеля, и растущий осадок «захоранивает» эти адсорбированные атомы. Скорость выделения никеля (в молях на см<sup>2</sup>) составляет  $i(\text{Ni})/2F$ , где  $i(\text{Ni})$  – парциальная плотность тока выделения никеля в сплав,  $F$  – число Фарадея. Скорость внедрения водорода (также в молях на см<sup>2</sup>) можно представить равной

$$v_{\text{вкл}} = k_{\text{вкл}} i(\text{Ni})\theta_{\text{H}}/F \quad (2)$$

где  $k_{\text{вкл}}$  – константа, характеризующая кинетику захвата атомов водорода растущим осадком,  $\theta_{\text{H}}$  – степень заполнения поверхности водородом. Тогда отношение концентраций водорода и никеля в сплаве составит  $[\text{H}]/[\text{Ni}] = 2k_{\text{вкл}}\theta_{\text{H}}$ . Если считать, что  $\theta_{\text{H}}$  в данных условиях приближается к единице, то из приведенных результатов следует, что

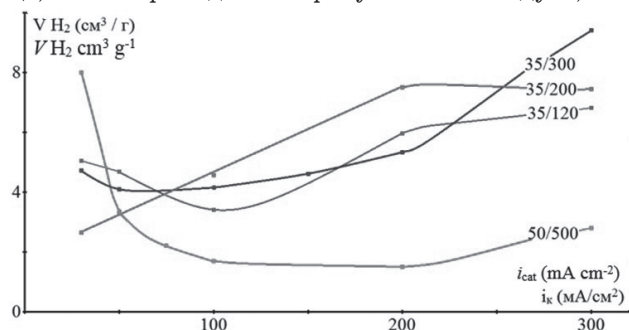


Рис. 5. Наводороживание электролитических осадков Ni-Re для различных составов электролита в зависимости от плотности тока, применявшейся для их осаждения

Fig. 5. Hydrogen content in Ni-Re coatings as a function of current density during electrodeposition for various compositions of solutions

$k_{\text{вкл}} \approx 0,07$ . Это близко к найденной в [21] величине коэффициента соосаждения водорода 0,06 для аморфных сплавов железо – вольфрам.

Значительные включения водорода в катодный осадок приводят к искажениям его кристаллической структуры и, как следствие, к рентгеноаморфности. При проведении термообработки избыточный водород выходит из покрытия, что приводит к восстановлению его кристаллической структуры. Возможно также, что в процессе термообработки происходит восстановление оксидов атомарным водородом, накопленным в процессе электроосаждения покрытий. В результате в полученных после термообработки сплавах никель и рений находятся в металлическом состоянии.

#### Кинетика РВВ на сплавах никель-рений

Кинетические параметры РВВ на катодных осадках Ni-Re зависят от относительного содержания рения в них, а также от наличия или отсутствия термообработки. Полученные в 1,0 М растворе гидроксида натрия кинетические параметры РВВ представлены в табл.2.

Как следует из представленных данных, увеличение содержания рения в катодном осадке приводит, с одной стороны, к увеличению его каталитической активности в РВВ, а, с другой стороны, – к снижению тафелевского угла наклона вольтамперных зависимостей. В работе [13] путем математической обработки экспериментальных данных нами было показано, что кинетика выделения водорода на электролитических сплавах Ni-Re хорошо описывается маршрутом Фольмера-Гейровского. При этом необходимо принимать во внимание высокую степень заполнения поверхности электрода атомарным водородом  $\theta_{\text{H}}$  (0,998

при равновесном потенциале РВВ) и ее зависимость от потенциала катода. По-видимому, эти эффекты наиболее существенны для сплавов с высоким содержанием рения, что и является причиной отклонения величины  $\eta$  от «классических» 120 мВ.

Обращает на себя внимание изменение электрокаталитических свойств осадков Ni-Re после термообработки: их каталитическая активность снижается, в то время, как величина  $\eta$  изменяется незначительно. Отмеченные изменения могут быть вызваны, по крайней мере, тремя причинами:

1) Изменением фазовой структуры осадка при термообработке.

2) Уменьшением истинной площади поверхности катода  $S_{\text{ист}}$ , происходящем в результате термообработки.

3) Возможно, что высокая каталитическая активность электролитических осадков Ni-Re связана с наличием в их составе оксидов рения [7]. При термообработке происходит восстановление оксидов рения атомарным водородом, что и приводит к наблюдаемому изменению каталитической активности.

### **Выводы**

1. Разработаны составы растворов для электроосаждения слоев (5-15 мкм.) сплавов рений – никель, содержащих от 38 до 88 атомных процентов рения. Данные составы растворов и установленные оптимальные условия электролиза могут использоваться при практическом изготовлении электродов с никель-рениевым покрытием. Выход сплавов по току составляет в оптимальных условиях 15 – 25% в зависимости от состава сплава; наиболее высокий выход наблюдается в случае сплавов, обогащенных никелем.

2. Установлено, что при электроосаждении происходит практически полное восстановление соединений никеля до нулевой степени окисления. С другой стороны, в катодном осадке обнаружены существенные включения  $\text{Re}(+4)$ .

3. Кинетические параметры РВВ на сплавах Ni-Re, полученных электролизом, зависят как от содержания рения в них, так и от проведения термообработки.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ), грант № 18-03-00826*

### **Литература**

1. McCrory, Ch.C.L., Jung, S., Ferrer, I.M., Chatman, Sh.M., Peters, J.C., Jaramillo, T.F., Benchmarking HER and OER Electrocatalysts for Solar Water Splitting Devices // J. Am. Chem. Soc., 2015, V. 137, p. 4347-4357.
2. Safizadeh, F., Ghali, E., Houlachi, G., Electrocatalysis developments for hydrogen evolution reaction in alkaline solutions - A Review // Int. J. Hydr. Energy. 2015. V. 40, p. 256-274.
3. Jakšić M. M., Electrocatalysis of Hydrogen Evolution in the Light of the Brenner-Engel Theory for Bonding in Metals and Intermetallic Phases // Electrochimica Acta. 1984. V. 29, p. 1539-1550.
4. Trasatti, S., Electrochemical Theory. Hydrogen evolution, in Reference Module in Chemistry, Molecular Sciences and Chemical Engineering. Encyclopedia of Electrochemical Power Sources, Reedijk, J., Eds., Amsterdam: Elsevier Science Ltd., 2009, p. 41
5. Petrii O.A., Tsirlina, G.A. Electrocatalytic Activity Prediction for Hydrogen Electrode Reaction: Intuition, Art, Science // Electrochimica. Acta. 1994. V. 39. p. 1739-1747.
6. Neophytides S. G., Zafeiratos S., Papakonstantinou G. D., Jakšić J. M., Paloukis F. E., Jakšić M. M.. Extended Brewer hypohyper-d-interionic bonding theory II. Strong metal-support interaction grafting of composite electrocatalysts// Int. J. Hydrogen Energy. 2005. V. 30. P. 393-410
7. Garcia-Garcia A., Ortega-Zarzosa G. The Hydrogen evolution reaction on rhenium metallic electrodes: a selected review and new experimental evidence. // Electrocatalysis. 2015. V.6. p. 263-273.
8. Красиков В.Л. К вопросу о выделении водорода на рении. // Электрохимия. 1981. Т.17, №12, С. 1518-1522.
9. Красиков В.Л. К вопросу о механизме выделения водорода на рении. Влияние поверхностно-активных веществ и условий подготовки электрода // Электрохимия. 1983. Т.19, №2. С. 209-212.
10. Chun J., Jeon S. K. The phase-shift method for determining Langmuir adsorption isotherms of over-potentially deposited hydrogen for the cathodic H<sub>2</sub> evolution reaction at poly-Re/

aqueous electrolyte interfaces. // *Int. Journal Hydrogen Energy*. 2005. V.30. P. 485-499.

11. Joncich M. J, Stewart L. S. Hydrogen Overvoltage on Rhenium and Niobium electrodes // *J. Electrochem. Soc.* 1965. V.112. p.717-721.

12. В. В. Кузнецов, Ю. Д. Гамбург, Р. С. Баталов, В. В. Жуликов, В. А. Зайцев Реакция выделения водорода на каталитически активном сплаве Ni-Re, полученном электроосаждением. Исследование методом электрохимического импеданса // *Электрохимия*. 2018. Т. 54, № 7. С. 686-692.

13. В. В. Кузнецов, Ю. Д. Гамбург, М. В. Жалнегов и др. Реакция выделения водорода на электролитических сплавах Co-Mo (W) и Ni-Re в щелочных средах // *Электрохимия*. 2016. Т. 52. № 9. С. 1011-1021.

14. Eliaz E. Gileadi A. Induced codeposition of alloys of tungsten, molybdenum and rhenium with transition metals. // *Modern aspects of electrochemistry*. 2008. V. 42. p. 191-301.

15. Naor A. Eliaz N. Electrodeposition of rhenium-nickel alloys from aqueous solutions. // *Electrochimica Acta*. 2009, V.54, P.6028-6035.

16. Бусько В.И., Зверев А.А., Кузнецов В.В. Особенности процессов получения порошков сплавов железо-никель и железо-молибден при высоких плотностях тока. // *Гальванотехника и обработка поверхности*. 2014. Т. XXII. № 4. С.17-21.

17. Contu F. Taylor S.R. Further insight into the mechanism of Re-Ni electrodeposition from concentrated aqueous citrate baths. // *Electrochimica Acta*. 2012. V.70, P.34-41.

18. Березина С.И. Кешенер Т.Д., Иванов В.Т. Электроосаждение никель-ренийевых сплавов из цитратных электролитов. // *Защита металлов*, 1992, Т.28, №2, С. 282-286.

19. Гальванические покрытия в машиностроении: Справочник. Под ред. М.А. Шлугера - М.: Машиностроение. 1985. Т.1 - 240 с.

20. Карякин Ю.В., Ангелов И.И. Чистые химические вещества. - М.: Химия. 1974. - 408 с.

21. Захаров Е.Н., Гамбург Ю.Д. Некоторые закономерности осаждения сплава железа - вольфрама из цитратно - аммиачного раствора. // *Электрохимия*. 2005. Т. 41, №8. С. 1001 - 1004.

22. Enoy M. Hydrogen Electrode Reaction on Electrocatalytically Active Metals. //

*Comprehensive Treatise of Electrochemistry*. 1983. V.7. P.241-300.

### References

1. McCrory, Ch.C.L., Jung, S., Ferrer, I.M., Chatman, Sh.M., Peters, J.C., Jaramillo, T.F., Benchmarking HER and OER Electrocatalysts for Solar Water Splitting Devices // *J. Am. Chem. Soc.*, 2015, V. 137, p. 4347-4357.

2. Safizadeh, F., Ghali, E., Houlachi, G., Electrocatalysis developments for hydrogen evolution reaction in alkaline solutions - A Review // *Int. J. Hydr. Energy*. 2015. V. 40, p. 256-274.

3. Jakšić M. M., Electrocatalysis of Hydrogen Evolution in the Light of the Brenner-Engel Theory for Bonding in Metals and Intermetallic Phases // *Electrochimica Acta*. 1984. V. 29, p. 1539-1550.

4. Trasatti, S., *Electrochemical Theory. Hydrogen evolution*, in Reference Module in Chemistry, Molecular Sciences and Chemical Engineering. Encyclopedia of Electrochemical Power Sources, Reedijk, J., Eds., Amsterdam: Elsevier Science Ltd., 2009, p. 41

5. Petrii O.A., Tsirlina, G.A. Electrocatalytic Activity Prediction for Hydrogen Electrode Reaction: Intuition, Art, Science // *Electrochimica Acta*. 1994. V. 39. p. 1739-1747.

6. Neophytides S. G., Zafeiratos S., Papakonstantinou G. D., Jakšić J. M., Paloukis F. E., Jakšić M. M. Extended Brewer hypohyper-d-interionic bonding theory II. Strong metal-support interaction grafting of composite electrocatalysts // *Int. J. Hydrogen Energy*. 2005. V. 30. P. 393-410

7. Garcia-Garcia A., Ortega-Zarzosa G. The Hydrogen evolution reaction on rhenium metallic electrodes: a selected review and new experimental evidence. // *Electrocatalysis*. 2015. V.6. p. 263-273.

8. Krasikov V.L. K voprosu o vydelenii vodoroda na renii. // *Elekrohimiya*. 1981. V.17. Is.12. P.1518-1522].

9. Krasikov V.L. K voprosu o mehanisme vydeleniya vodoroda na renii. Vliyaniye poverhnostno-aktivnyh veshchestv I usloviy podgotovki elektroda // *Elekrohimiya*. 1983. V.19. Is.2. P.209-212].

10. Chun J., Jeon S. K. The phase-shift method for determining Langmuir adsorption isotherms of over-potentially deposited hydrogen for the cathodic H<sub>2</sub> evolution reaction at poly-Re/aqueous electrolyte interfaces. // *Int. Journal Hydrogen Energy*. 2005. V.30. P. 485-499.
11. Joncich M. J, Stewart L. S. Hydrogen Overvoltage on Rhenium and Niobium electrodes // *J. Electrochem. Soc.* 1965. V.112. p.717-721.
12. V. V. Kuznetsov, Yu. D. Gamburg, R. S. Batalov, V. V. Zhulikov, V. A. Zaitsev Hydrogen Evolution on Catalytically Active Electrodeposited Ni-Re Alloy: Electrochemical Impedance Study // *Russ. J. Electrochem.* 2018. V.54. Is.7. P.598-603].
13. V. V. Kuznetsov, Yu. D. Gamburg, M. V. Zhalnerov, V. V. Zhulikov, R. S. Batalov Reaction of Hydrogen Evolution on Co-Mo (W) and Ni-Re Electrolytic Alloys in Alkaline Media // *Russ. J. Electrochem.* 2016. V.52. Is.9. P.901-909].
14. Eliaz E. Gileadi A. Induced codeposition of alloys of tungsten, molybdenum and rhenium with transition metals. // *Modern aspects of electrochemistry*. 2008. V. 42. p. 191-301.
15. Naor A. Eliaz N. Electrodeposition of rhenium-nickel alloys from aqueous solutions. // *Electrochimica Acta*. 2009, V.54, P.6028-6035.
16. Bus'ko V.I., Zverev A.A., Kuznetsov V.V. Osobennosti processov polucheniya poroshkov splavov zhelezo-nikel i zhelezo-molibden pri vysokikh plotnostyakh toka. // *Galvanotekhnika i obrabotka poverkhnosti*. 2014. V.XXII, Is.3. P.17-21.
17. Contu F. Taylor S.R. Further insight into the mechanism of Re-Ni electrodeposition from concentrated aqueous citrate baths. // *Electrochimica Acta*. 2012. V.70, P.34-41.
18. Berezina S.I., Keshener T.D., Khodyrev Yu.P., Veselkov V.P. Elektroosazhdenie nikel-renievykh splavov iz tsitratnykh elektrolitov. // *Zashchita metallov*. 1992. V.28. Is.2. P.282-286].
19. Galvanicheskiye pokrytija v mashinostroyenii: Spravochnik. Pod red. M.A. Shlugera – M.: Mashinostroyeniye. 1985. V.1 – 240 p.]
20. Karyakin Yu.V., Angelov I.I. Chistyye himicheskiye veshchestva. – M.: Khimiya. 1974. – 408 p].
21. E. N. Zakharov, Yu. D. Gamburg Some Regularities of Deposition of an Iron-Tungsten Alloy from Citrate-Ammoniate Solutions // *Russ. J. Electrochem.* 2005. V.41. Is.8. P.892-895].
22. Enyo M. Hydrogen Electrode Reaction on Electrocatalytically Active Metals. // *Comprehensive Treatise of Electrochemistry*. 1983. V.7. P.241-300.

**Сведения об авторах**

**Кузнецов Виталий Владимирович** – доктор химических наук, профессор кафедры Общей и неорганической химии, e-mail: vitkuzn1@mail.ru; телефон 89150678349

**Гамбург Юлий Давидович** – доктор химических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории строения поверхностных слоев; ИФХиЭ РАН имени А.Н. Фрумкина, Москва, Ленинский проспект, 31

**Жуликов Владимир Владимирович** – кандидат химических наук, научный сотрудник.

**Баталов Роман Сергеевич** – инженер, НОЦ «Электрохимические процессы и электродные материалы», РХТУ имени Д.И. Менделеева

**Филатова Елена Алексеевна** – кандидат химических наук, доцент, кафедра аналитической химии, РХТУ им. Д.И. Менделеева, 125047, г. Москва, Миусская площадь, д. 9; e-mail: filatova1604@mail.ru; тел.: 89150678349

**Information about the authors**

**Kuznetsov Vitaliy V.** – Dr. Sci., Prof. Dept. General & Inorganic Chemistry, email: vitkuzn1@mail.ru, tel. 89150678349.

**Gamburg Yu.D.** – Dr. Sci., Frumkin Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry, Moscow, Leninskii Pr., 31

**Zhulikov Vladimir V.** – Ph.D, research worker  
**Batalov Roman S.** – engineer, D.I. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia

**Filatova Elena A.** – Ph.D, Ass. Prof, Dept. Analytical. Chem., e-mail: filatova1604@mail.ru; tel. 89150678349.

УДК 621.357

## **О возможности получения термостойкого открытопористого пеноникеля электрохимическим способом**

**Салахова Р.К., Тихообразов А.Б.**

Ульяновский научно-технологический центр Всероссийского института авиационных материалов (УНТЦ ВИАМ), РФ, 432010, г. Ульяновск, ул. Врача Михайлова, 34.

**Ключевые слова:** электроосаждение, пеноникель, металлизация пенополиуретана

Представлена технологическая схема получения пеноникеля электрохимическим способом обработкой ретикулированного пенополиуретана, включающая подготовку диэлектрика под осаждение электропроводящего медного подслоя, химическое меднение, электролитическое никелирование и вытравливание пенополимера. Качественное выполнение технологических операций обеспечивает получение прогнозируемых физико-химических свойств пеноникеля: плотность не более 200 кг/м<sup>3</sup>; пористость не менее 85 %; размер пор 3–5 мм, термостойкость – до 650°C. Для оценки акустических свойств материала были изготовлены композитные звукопоглощающие конструкции (ЗПК) резонансного типа с пеноникелевым наполнителем. Проведены механические испытания пеноникеля, построена диаграмма сжатия пенометалла.

Предложены возможные области применения пеноникеля в различных отраслях промышленности.

## **On the Formation of Nickel Form with Opened Porosity by Electrochemical Deposition**

**Salachova R.K., Tichoobrazov A.B.**

Ulyanovsk science-technology center of All-Russian institute of aviation materials (USTC VIAM)

**Key words:** electrodeposition nickel foam, metallization of polyurethane foam

The process for the preparation of nickel foam by the electrodeposition on polyurethane foam Polinazell treated in electroless copper bath for the deposition of conductive copper sublayer from the tartrate solution. Nickel was deposited from Watts bath. After depositing nickel polyurethane foam was dissolved in concentrated sulfuric acid. Physical and chemical properties of nickel foam were tested: its density not more than 200 kg /m<sup>3</sup>; porosity was not less than 85 % with pores 3–5 mm, heat resistance – up to 650°C (table 2). The appearance of nickel foam obtained is shown in Fig. 2. Metallographic study found that the thickness of the nickel coating was not more than 20 microns (Fig. 3), the thickness of copper sublayer is not more than 2 microns.

Mechanical tests of nickel foam were carried out, the compression diagram of metal foam was obtained, similar in shape to the compression diagram of plastic materials (Fig. 4).

Resonance-type composite sound-absorbing structures with a nickel foam filler were made (Fig. 1) in order to assess the acoustic properties of the material. They were investigated (Fig. 5). using Pulse Material Testing measuring complex by two - microphone method (transfer function method) at noise level up to 60 dB the absorption coefficients of WPC with perforated glass-and carbon fiber cladding in the frequency range from 16 to 6300 Hz

Possible applications of this foam metal in various industries were considered on the basis of experimental data and analysis of physico-chemical, mechanical and special properties of the nickel foam. The process of obtaining of nickel foam on the basis of polyethers (Table 1), including the preparation of the dielectric under the deposition of the conductive sublayer of copper (etching, sensitization, activation Bepalova), thin-layer chemical copper plating in tartrate solution; electrolytic nickel plating in a Watt's electrolyte and etching the foam in concentrated sulfuric acid was described. High-quality performance of the above mentioned technological operations ensures the predicted physical and chemical properties of the nickel foam: density not more than 200 kg/m<sup>3</sup>; porosity not less than 85 %; pore size 3-5 mm, heat resistance – up to 650°C (Table 2). The appearance of the nickel foam obtained by chemical-galvanic metallization of polyurethane foam is shown in figure 2. Metallographic study has found that the thickness of nickel coating was not more than 20 microns (figure 3), the thickness of the copper sublayer is not more than 2 microns.

Mechanical tests of nickel foam were carried out, the compression diagram of the foam metal was obtained, similar in shape to the compression diagram of plastic materials (Fig. 4).

Resonance-type composite were made in order to assess the acoustic properties of the material, sound-absorbing structures with a nickel foam filler (Fig. 1). The absorption coefficients of WPC with perforated glass-and carbon fiber cladding in the frequency range from 16 to 6300 Hz were investigated (Fig. 5).on the Pulse Material Testing measuring complex by two - microphone method (transfer function method) at noise level up to 60 dB.

Possible applications of this foam metal in various industries were considered on the basis of experimental data and analysis of physico-chemical, mechanical and special properties.

## **Введение**

Формирование нового технологического уклада в промышленности, синхронизированного с наукоёмкой авиационной отраслью, требует создания прорывных технологий в области материалов и глубокой переработки сырья [1]. Высокий уровень развития авиации в будущем могут обеспечить только принципиально новые конкурентоспособные материалы и технологии, так как традиционные уже исчерпали себя. Новые образцы будущих поколений летательных аппаратов диктуют необходимость активного развития и разработки следующих видов материалов: интеллектуальные, аддитивные, металломатричные и полиматричные композиционные материалы, долговечная керамика, сверхлегкие пеноматериалы и др. [2,3].

Пенометаллы представляют собой продукт необычной модификации традиционных металлов. Первые работы по получению и исследованию пенометаллов были проведены в середине прошлого века, но наибольший интерес к пористым проницаемым материалам приходится на пе-

риод 90-х годов. Это повышенное внимание объясняется наличием необычного комплекса свойств: низкая плотность, высокая пористость, конструктивная прочность, низкие значения коэффициентов тепло- и электропроводности. способность эффективно поглощать энергию удара и шум. Последняя характеристика особенно важна для авиационной техники, при эксплуатации которой необходимо выполнять современные международные требования стандарта ИКАО по шуму на местности.

Самые распространённые на сегодняшний день технологии получения пенометаллов – литейные. Наряду с явными преимуществами (высокая производительность и дешевизна) литейные технологии имеют ряд существенных недостатков и ограничений: в основном используются для получения пенометаллов с закрытой пористостью не более 65%; трудно управлять размером пор их распределением по объёму; затруднено введение вспенивающего вещества в расплав из-за поверхностного натяжения расплава. Широкое применение также нашли способы получения пе-



нометаллов с использованием порошковых технологий, особенно это практикуется при получении пеноалюминия [4,5]. К недостаткам твердофазного способа получения пенометаллов можно отнести высокую цену оборудования и исходных компонентов, а также повышенная взрыво- и пожароопасность процесса при выполнении работ с металлическими порошками.

Целью данной работы является получение пеноникеля путем химико-гальванической металлизации ретикулированного пенополиуретана, исследование его физико-химических и механических свойств, а также акустических характеристик звукопоглощающей конструкции (ЗПК) с пеноникелевым наполнителем. Предлагаемый электрохимический способ получения пеноникеля позволит создать новый вид сверхлегкого пенометалла с регулируемой пористостью не менее 85% (размер пор до 5 мм), плотностью не более 200 кг/м<sup>3</sup>. По существующей классификации пористых проницаемых материалов такой пеноникель можно отнести к классу высокопористых ячеистых проницаемых материалов [6].

Впервые предлагается нетрадиционный подход аддитивного формирования пеноникеля путем послойной химико-гальванической металлизации пенополиуретана (ППУ), при этом полученный пеноникель будет точной пространственной копией полимерной структурообразующей матрицы.

#### Методика исследований

В качестве исходного сырья для получения пеноникеля использовали высокопористый

полимерный материал – ретикулированный пенополиуретан Polinazell на основе простых полиэфиров.

Физико-химические свойства ППУ Polinazell представлены в таблице 1.

Пенополиуретан марки Polinazell представляет собой пространственный каркас, образованный перемычками, соединяющимися в узлах по четыре и имеющими в поперечном сечении форму криволинейного треугольника. Перемычки неоднородны по толщине и форма поперечного сечения представляет собой разомкнутую оболочку [7].

Для проведения экспериментов из листов ППУ были вырезаны образцы размером 60×40×10 мм.

Химико-гальваническая металлизация ППУ была выполнена согласно ГОСТ 9.313, электролит никелирования был приготовлен на базе электролита Уоттса [8] по ГОСТ 9.305-84. Режимы осаждения никелевого покрытия: рабочий ток – от 3,5 до 5 А, температура электролита 45-50 °С, рН электролита – 3,5-4,2.

Плотность пеноникеля (кг/м<sup>3</sup>) определяли по формуле (1)

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad (1)$$

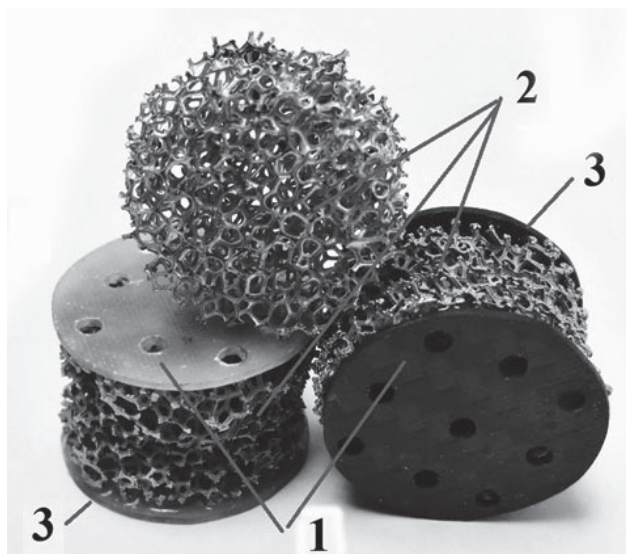
где m – масса образца пеноникеля, кг; V – объём образца пеноникеля, м<sup>3</sup>.

Пористость пеноникеля (%) рассчитывали по формуле (2)

$$\rho = 100 - R = 100 - \frac{\rho_0}{\rho}, \quad (2)$$

Таблица 1. Свойства ППУ  
Table 1. Properties of polymer foam

Структура Structure	Количество пор на дюйм поверхности, PPI № of pores per inch	Ориентировочная плотность, кг/м <sup>3</sup> Approximate value of density kg/m <sup>3</sup>	Химическая стойкость Chemical Stability	Класс пожароопасности согласно DIN53438 Inflammability class
сетчатоячеистая cellular	От 5 до 10	27-33	стоек в воде, в растворах кислот, солей, щелочей; не стоек в конц. серной и азотной кислотах Stable in aqueous, solutions of acids, alkalies; unstable in concentrated sulfuric acid, nitric acid	F1 (трудно-воспламеняемый) Hardly inflammable



**Рис. 1.** Внешний вид трёхслойной ЗПК с пеноникелевым наполнителем: 1. - наружная перфорированная обшивка (угле- и стеклопластик); 2. - пеноникелевый наполнитель; 3. - наружная «глухая» обшивка

**Fig.1.** Appearance of three-layer ZPR with nickel foam:  
1. – perforated cover; 2. – nickel foam; 3. – cover

где  $R$  – относительная плотность;  $\rho_0$  – плотность пеноникеля;  $\rho$  – плотность ППУ.

Исследование акустических характеристик ЗПКс пеноникелевым наполнителем проводили на измерительном комплексе Pulse Material Testing фирмы Brüel&Kjær Sound&Vibration Measurement A/S (В&К) двухмикрофонным методом (метод передаточной функции) при уровне шума до 60 дБ в диапазоне частот от 16 до 6300 Гц [9,10]. Внешний вид звукопоглощающей конструкции, помещенной в интерференционную трубу указанного комплекса, представлен на рисунке 1.

Предел прочности при сжатии пеноникеля определяли на испытательной машине Zwick Z050 по ГОСТ 25602-80.

Толщину никелевого покрытия и медного подслоя определяли металлографическим методом с использованием металлографического микроскопа OLYMPUS CX-41.

Микротвердость никелевого покрытия измеряли на стальных образцах – свидетелях с помощью микротвердомера ПМТ – 3 по ГОСТ 9450.

### Экспериментальная часть

Получение пеноникеля электрохимическим способом основано на общеизвестной и широко распространенной при обработке пластмасс и полимеров технологии гальванопластики. Основ-

ной задачей гальванопластики, обеспечивающей качественную металлизацию неметаллических материалов, является получение на поверхности диэлектрика прочно сцепленного токопроводящего покрытия-подслоя, в качестве которого чаще всего используют медные пленки [11,12].

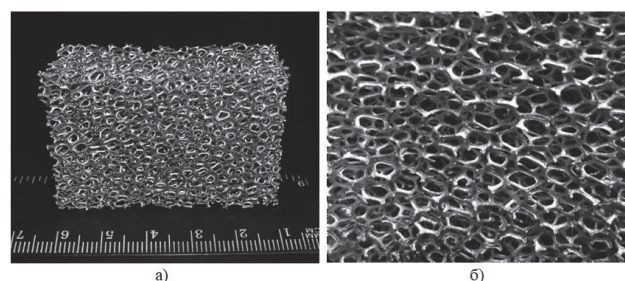
Для формирования на поверхности пенополиуретана электропроводного медного подслоя образцы ППУ последовательно прошли обработку по следующей технологической схеме:

- обезжиривание в этиловом спирте в ультразвуковой установке;
- травление в растворе: серная кислота ( $\rho = 1,84$ ) концентрацией 750-800 г/л, бихромат калия – 40-50 г/л;
- обезвреживание в соляной кислоте для удаления соединений хрома;
- сенсибилизация в растворе соли олова (II) с последующим гидролизом солей олова;
- активирование в растворе солей серебра.

Перед выполнением операции сенсибилизации необходимо провести контроль гидрофильных свойств диэлектрика [13]. Эффективная предварительная подготовка поверхности ППУ (обезжиривание, травление) обеспечила полную смачиваемость образцов водой.

При выполнении сенсибилизации для полноты гидролиза хлористого олова последующую промывку образцов ППУ проводили в теплой непроточной воде с добавлением аммиака ( $\text{pH}=9$ ) и лаурилсульфата натрия в количестве 0,01 г/л.

Следует отметить, что технологическая схема обработки пенополиуретана включает в себя ресурсосберегающую беспалладиевую активацию в аммиачном растворе серебра. Под действием света аммиачные соли серебра на активированной поверхности окрашиваются в бурый цвет [14]. По наличию бурого окрашивания судили о качественном выполнении операции активирования, т.е. о фор-



**Рис. 2.** Внешний вид пеноникеля:  
а) образец пеноникеля; б) – ретикулированная пространственная структура пеноникеля

**Fig.2.** Nickel foam:  
1. – without magnification; 2. – under magnification

мировании каталитически активной поверхности ППУ, способной инициировать автокаталитическую реакцию химического восстановления меди.

Для получения медного подслоя воспользовались наиболее распространенными тартратными растворами тонкослойного химического меднения со стабилизатором в виде тиосульфата натрия [15].

Никелирование ППУ с электропроводным медным слоем проводили в стандартном электролите Уоттса с добавлением блексообразователя сахарина. Режимы никелирования: температура

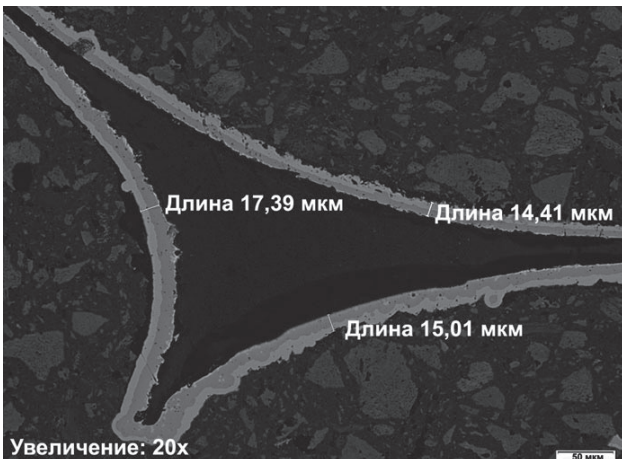


Рис. 3. Поперечный микрошлиф перемычки ретикулы пеноникеля

Fig.3. Cross-section of nickel foam, length, 20x

электролита - 40°C, продолжительность электроосаждения 20-30 мин до получения жёсткой пространственной композиции пеноникеля. Внешний вид пеноникеля представлен на рисунке 2.

Металлографическим исследованием установлено, что толщина никелевого покрытия составила не более 20 мкм (рисунок 3), толщина медного подслоя не более 2 мкм. Микротвердость



Рис. 4. Диаграмма сжатия пеноникеля  
Fig.4. Compression diagram of nickel foam

никелевого покрытия, измеренная на образцах – свидетелях, составила 5200-5800 МПа.

Перед исследованием технических характеристик полученного пеноникеля выполнили завершающую операцию технологического цикла – вытравливание полимерной матрицы в концентрированной серной кислоте. Этот экологически чистый способ удаления ППУ предпочтительней способа выжигания, при котором выделяются токсичные продукты горения.

Технические характеристики пеноникеля, полученного путем химико-гальванической металлизации ППУ, представлены в таблице 2.

На рисунке 4 представлена диаграмма сжатия пеноникеля в координатах «нагрузка-деформация». Как видно из графика, диаграмма сжатия пеноникеля близка по форме к диаграмме сжатия пластичных материалов. За пределом упругости  $\sigma_{упр}$  (точка при N = 400 Н) увеличение нагрузки приводит к уплотнению и осадке образца пеноникеля без видимых признаков разрушения материала.

Для исследования звукопоглощающих свойств пеноникеля были изготовлены звукопоглощающие конструкции с облицовочными па-

Таблица 2. Технические характеристики пеноникеля  
Table 2. Technical characteristics of nickel foam

Материал Material	Технические характеристики Properties				
	плотность, кг/м <sup>3</sup> Density, kg/m <sup>3</sup>	размер пор, мм pores size, mm	пористость, porosity, %	предел прочности при сжатии, МПа Ultimate strength under compression, МПа	Термостойкость, thermostability, °С
Пеноникель Ni foam	не более / less than 200	3-5	не менее / over 85	не менее / over 2	до / up to 650

Таблица 3. Технические характеристики пеноникеля  
Table 3. Technical characteristics of nickel foam

Отрасль промышленности Industry	Назначение Function	Используемые свойства Properties
Авиастроение Aviation	Заполнитель огнестойких перегородок, противоударных и звукопоглощающих трёхслойных панелей. Звукопоглощающие элементы силовых установок самолетов Fire-proof, sound-absorbing elements	Высокая термостойкость, демпферные и звукопоглощающие свойства High thermostability sound absorbing
Автомобилестроение Car manufacture	Выхлопные трубы (глушитель) Exhaust	Химическая стойкость и жаростойкость Chemical and fire resistance
Химическая Chemical industry	Различные фильтрующие элементы газов и жидкостей Filters for gases and liquids	Высокая удельная поверхность, проницаемость, химическая стойкость в активных средах High specific surface area
Металлургическая Metallurgy	Фильтрация расплавов металлов Filters for liquid	Высокая удельная поверхность, проницаемость, термо- и хим. стойкость в активных средах High specific surface area, chemical resistance
Нефте- и газодобывающая Oil and gas	Фильтрация и выравнивание газовых и жидкостных потоков (ламинаризация) в трубопроводах, изготовление перегородок в газопроводах как огне- и взрывопреградителей Filtration, stream control	Низкогидросопротивление, термостойкость и высокая сообщающаяся пористость Low hydraulic resistance

нелями из угле- и стеклопластика, внешний вид которых представлен на рисунке 1. Вид кривых зависимости коэффициента звукопоглощения ЗПК от частоты (рис. 5) аналогичен виду типичных кривых зависимости коэффициента поглощения от частоты для резонансных систем. Это системы, основанные на резонаторах, одним из способов формирования которых является использование перфорированных листов с расположенными за ними глухими стенками – для снижения перемещения акустических волн вдоль конструкции [16].

Как видно из графика, максимальный коэффициент звукопоглощения для ЗПК с обшивками из стеклопластика составляет 0,82 (частота 2000Гц), а для ЗПК с обшивками из углепластика – 0,98 (частота 2500 Гц). Таким образом, пеноникель, полученный путем химико-гальванической металлизации, может рассматриваться как звукопоглощающий материал-заполнитель трёх-

слойных конструкций в диапазоне частот от 2000 до 2500 Гц.

Обобщение экспериментальных данных и анализ физико-химических, механических и специальных свойств полученного пеноникеля позволяет определить возможные области его применения, наряду с пеноалюминием, полученным порошковым способом [4]. Перспективные направления применения сверхлегкого, прочного, термостойкого и звукопоглощающего пеноникеля, полученного путем химико-гальванической металлизации ретикулированного пенополиуретана, представлены в таблице 3.

### Выводы

1. Разработана технологическая схема получения термостойкого пеноникеля электрохимическим способом путем химико-гальванической металлизации пенополиуретана.

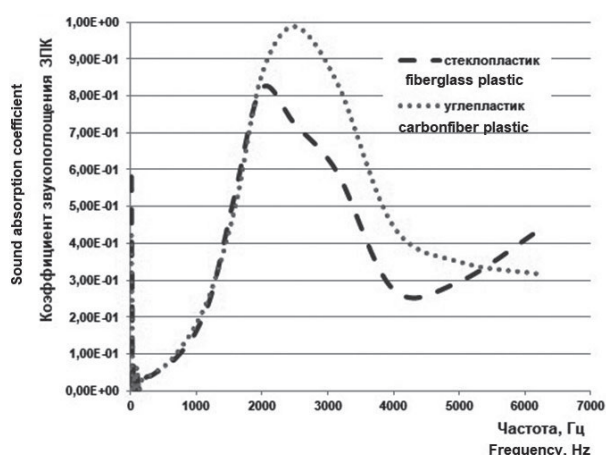


Рис. 5. Зависимость коэффициента звукопоглощения от частоты

Fig.5. Sound absorption as a function of frequency

2. Комплекс полученных свойств пеноникеля позволяет рекомендовать использование этого пенометалла в машиностроительной, металлургической, химической и нефтехимической отраслях промышленности.

### Литература

1. Доспехи для «Бурана». Материалы и технологии ВИАМ для МКС «Энергия-Буран» / Под общей ред. Каблова Е.Н. М.: Фонд «Наука и жизнь». 2013. 128 с.
2. Каблов Е.Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» // *Авиационные материалы и технологии*. 2015. № 1 (34). С. 3-33. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33.
3. Каблов Е.Н. Материалы нового поколения // *Защита и безопасность*. 2014. № 4. С. 28-29.
4. Анциферов В.Н., Храмов В.Д. Волокнистые проницаемые ячеистые металлы и сплавы. Области применения // *Перспективные материалы*. 2002. №2. С. 23-28.
5. Бутарович Д.О., Смирнов А.А., Рябов Д.М. Пеноалюминий как энергопоглощающий материал и его механические свойства // *Машиностроение*. 2011. № 7. С. 53-58.
6. Анциферов В.Н., Макаров А.А., Ханов А.М., Башкирцев Г.В. Модели и свойства высокопористых ячеистых материалов // *Перспективные материалы*. 2010. № 3. С. 5-9.
7. Ханов А.М., Сиротенко Л.Д., Матыгуллина Е.В. и др. Прогнозирование физико-механических свойств ВПЯМ на основе структурного моделирования // *Вестник Пермского государственного технического университета. Машиностроение, материаловедение*. Т.12. №1. С. 17-29.
8. Салахова Р.К., Семенычев В.В., Тихообразов А.Б. Исследование удельной электропроводности электролитов хромирования и никелирования // *Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королёва*. 2014. №3. С. 79-84.
9. Шульдешов Е.М., Краев И.Д., Платонов М.М. Полимерная композиционная звукопоглощающая панель // *Труды ВИАМ:электрон. науч.-технич. журн.* 2017. №5 (53). Ст. 07. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 16.07.2018). DOI:10.18577/2307-6046-2017-0-5-7-7.
10. Шульдешов Е.М., Лепешкин В.В., Платонов М.М., Романов А.М. Метод определения акустических характеристик звукопоглощающих материалов в расширенном до 15 кГц диапазоне частот // *Авиационные материалы и технологии*. 2016. № 2 (41). С. 45-49. DOI: 10.18577/2071-9140-2016-0-2-45-49.
11. Шалкаускас М., Вашкялис А. Химическая металлизация пластмасс. Л.: Химия. 1985. 144 с.
12. Семенычев В.В., Салахова Р.К. Получение нитевидной про-странственной композиции с ретикулированной структурой путем кластерного никелирования пенополимера // *Российские нанотехнологии*. 2016. Т.11. №3-4. С. 32-35.
13. Капица Марина. Подготовка поверхностей в производстве печатных плат // *Технологии в электронной промышленности*. 2005. №4. С.18-21.
14. Капица Марина. Активация поверхности диэлектрика // *Технологии в электронной промышленности*. 2005. №5. С. 22-25.
15. Капица Марина. Химическая металлизация диэлектрика // *Технологии в электронной промышленности*. 2006. №1. С.26-30.
16. Шашкеев К.А., Шульдешов Е.М., Попков О.В. и др. Пористые звукопоглощающие материалы (обзор) // *Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн.* 2016. №6 (42). Ст. 06. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 03.07.2018). DOI:10.18577/2307-6046-2016-0-6-6-6.

**References**

1. Armor for the «Buran». Materialyitekhnologii VIAM dlya MKS «Ehnergiya-Buran» / Pod obshchej red.Kablova E.N. M.: Fond «Naukaizhizn'». 2013. 128 p.

2. Kablov E.N. Innovative developments of FSUE "VIAM" of the SSC RF for the implementation of "Strategic directions for the development of materials and technologies for their processing for the period up to 2030" // Aviacionnye materialy i tekhnologii. 2015. № 1 (34). P. 3-33. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33.

3. Kablov E.N. Materials of the new generation // Zashchita i bezopasnost'. 2014. № 4. P. 28-29.

4. Anciferov V.N., Hramcov V.D. Fibrous permeable cellular metals and alloys. Areas of use // Perspektivnye materialy. 2002. №2. P. 23-28.

5. Butarovich D.O., Smirnov A.A., Ryabov D.M. Foam aluminum as an energy absorbing material and its mechanical properties // Mashinostroenie. 2011. №7. P. 53-58.

6. Anciferov V.N., Makarov A.A., Hanov A.M., Bashkircev G.V. Models and properties of highly porous cellular materials // Perspektivnye materialy. 2010. №3. P.5-9.

7. Hanov A.M., Sirotenko L.D., Matygullina E.V. idr. Prediction of physico-mechanical properties of VPPM based on structural modeling // Vestnik Permskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Mashinostroenie, materialovedenie. T.12. №1. P. 17-29.

8. Salahova R.K., Semenychev V.V., Tihooobrazov A.B. Investigation of the electrical conductivity of chromium and nickel electrolytes // Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo aehrokosmicheskogo universiteta im. akademika S.P. Korolyova. 2014. №3. P. 79-84.

9. Shul'deshov E.M., Kraev I.D., Platonov M.M. Polymer composite sound absorbing panel // Trudy VIAM: ehlektron. nauch.-tekhnich. zhurn. 2017. №5 (53). St. 07.URL: <http://www.viam-works.ru> (data obrashcheniya: 16.07.2018).DOI:10.18577/2307-6046-2017-0-5-7-7.

10. Shul'deshov E.M., Lepeshkin V.V., Platonov M.M., Romanov A.M. Method for determining the acoustic characteristics of sound-absorbing materials in the extended to 15 kHz frequency range // Aviacionnye materialy i tekhnologii. 2016. №2 (41). P. 45-49. DOI: 10.18577/2071-9140-2016-0-2-45-49.

11. Shalkauskas M., Vashkyalis A. Chemical plating of plastics. L.: Himiya.1985. 144 p.

12. Semenychev V.V., Salahova R.K. Obtaining of a filamentary spatial composition with a reticulated structure by cluster nickel plating of a foam polymer // Rossijskie nanotekhnologii. 2016. T.11. №3-4.P. 32-35.

13. Kapica M. Surface preparation in the manufacture of printed circuit boards // Tekhnologii v ehlektronnoj promyshlennosti.2005. №4. P.18-21.

14. Kapica M. Activation of dielectric surface // Tekhnologii v ehlektronnojpromyshlennosti.2005. №5.P. 22-25.

15. Kapica M. Chemical metallization of a dielectric // Tekhnologii v ehlektronnoj promyshlennosti 2006. №1.P.26-30.

16. Shashkeev K.A., SHul'deshov E.M., Popkov O.V. i dr. // Trudy VIAM: ehlektron. nauch.-tekhnich. zhurn. 2016. №6 (42). St. 06. URL: <http://www.viam-works.ru> (data obrashcheniya: 03.07.2018). DOI:10.18577/2307-6046-2016-0-6-6-6.

**Сведения об авторах**

**Салахова Розалия Кабировна** - кандидат технических наук, начальник сектора, Ульяновский научно-технологический центр Всероссийского института авиационных материалов (УНТЦ ВИАМ). 432010, Ульяновск, ул. Врача Михайлова, 34. Тел.: 8 (8422) 52-04-98. e-mail: [salahovark@viam.ru](mailto:salahovark@viam.ru)

**Тихообразов Андрей Борисович** - ведущий инженер-технолог, Ульяновский научно-технологический центр Всероссийского института авиационных материалов (УНТЦ ВИАМ). Тел.: 8 (8422) 52-04-98. e-mail: [lab2viam@mail.ru](mailto:lab2viam@mail.ru)

**Information about authors**

**Salakhova Rozalia Kabirovna** - candidate of technical science, head of sector, Ulyanovsk science-technology center of All-Russian institute of aviation materials (USTC VIAM). Tel. 8 (8422) 52-04-98; e-mail: [salahovark@viam.ru](mailto:salahovark@viam.ru)

**Tikhoobrazov Andrey Borisovich** - leading process-engineer, Ulyanovsk science-technology center of All-Russian institute of aviation materials (USTC VIAM). Tel. 8 (8422) 52-04-98; e-mail: [lab2viam@mail.ru](mailto:lab2viam@mail.ru)

УДК 621.357.7

## Универсальная добавка для кислых электролитов кадмирования

**Архипов Е.А.<sup>1,2</sup>, Григорян Н.С.<sup>1</sup>, Шувалов Д.А.<sup>1</sup>,  
Жирухин Д.А.<sup>1,2</sup>, Смирнов К.Н.<sup>1,2</sup>, Ваграмян Т.А.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, 125047, Москва,  
Миусская пл., д.9

<sup>2</sup> ООО ПК «НПП СЭМ.М», 127427, Москва, ул. Б.Марфинская, д.1, корп.2, оф.8; Тел.  
8(495) 9789442, e-mail: npp-semm@yandex.ru

**Ключевые слова:** покрытие, кадмий, кроющая способность, рассеивающая  
способность, катодный выход по току.

На кафедре Инновационных материалов и защиты от коррозии Российского химико-технологического университета им. Д.И. Менделеева разработаны универсальные добавки для хлористо-аммонийного, сульфатно-аммонийного и сульфатного электролитов кадмирования. Исследовано их влияние на технологические характеристики указанных электролитов. Разработанные добавки способствуют осаждению качественных кадмиевых покрытий в широком интервале плотностей тока, а также улучшают кроющую и рассеивающую способности электролитов.

## Universal Additive for Acid Cadmium Plating Baths

**Arkhipov E.A.<sup>1,2</sup>, Grigoryan N.S.<sup>1</sup>, Shuvalov D.A.<sup>1</sup>,  
Zhiruhin D.A.<sup>1,2</sup>, Smirnov K.N.<sup>1,2</sup>, Vagramyan T.A.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, 127045,  
Miuskaya Sq., 9

<sup>2</sup> NPP "SEM.M" Co., Moscow, 127427, B.Marfinskaya Str., 1/2, of.8

**Keywords:** coating, cadmium, covering power, throwing power, current efficiency.

A number of universal additives for all major acid cadmium plating baths (Tables 1, 2, 3) have been developed. New bath compositions have expanded current density ranges (Figs. 1, 4, 7), have high current efficiency (Figs. 3, 6, 9) and improved throwing power and covering power (Fig.10) owing to the shape of cathodic polarization curves (Figs. 2, 5, 8)

### Введение

Основным видом покрытий, применяемым для защиты от коррозии стальных деталей, эксплуатируемых во всеклиматических условиях, является кадмиевое покрытие. Вследствие высокой токсичности кадмия в стране многие годы ведутся работы по замене кадмиевого покрытия. Разработанные покрытия по защитной способности приближаются к кадмиевым покрытиям, однако усложнение технологии их нанесения препятствует широкому внедрению альтернативных кадмиевому покрытий [1-8]. Поэтому, в настоящее время кадмиевое покрытие в авиа- и судостроительной, военной технике, ответственной автоматике и некоторых других областях промышленности используется в качестве основного коррозионного покрытия [9]. Это обусловлено сочетанием таких уникальных свойств кадмиевых покрытий, как высокая пластичность, способность к пайке после длительного хранения, хорошая защитная способность в сочетании с высокой (по сравнению с цинковыми покрытиями) коррозионной устойчивостью, особенно во влажном морском климате [10, 11].

Наряду с цианидными электролитами, применение которых в современном производстве

сильно ограничено в связи с наличием в составе цианистого натрия, являющегося сильнодействующим ядовитым веществом (СДЯВ), на практике применяют кислые электролиты кадмирования. Наиболее широкое распространение получили хлористо-аммонийный, сульфатно-аммонийный и сульфатный электролиты. На современных гальванических производствах хлористо-аммонийный электролит, который характеризуется низким наводороживанием покрываемых в нем изделий, используют, как правило, для кадмирования высокопрочных и пружинных сталей, а сульфатно-аммонийный или сульфатный электролиты - для кадмирования углеродистых сталей.

Вышеназванные электролиты содержат в своем составе поверхностно-активные вещества (ПАВ) различной природы, присутствие которых позволяет получать покрытия удовлетворительного качества. Однако применение известных ПАВ сопряжено с некоторыми особенностями. Так, например, мездровый клей, входящий в состав хлористо-аммонийного электролита, характеризуется плохой растворимостью, сложностью введения в электролит и коротким сроком службы из-за биоразложения, приводящего к выходу

Таблица 1. Составы электролитов и их технологические параметры  
Table 1. Baths composition and operating conditions

Компонент Component	Электролит 1 (ГОСТ 9.305-84) Bath №1 (standard)	Электролит 2 (разработанный электролит) Bath №2 (new)
Кадмий хлористый, г/л Cadmium chloride, g/l	40-50 (50)*	40-50 (50)
Аммоний хлористый, г/л Ammonium chloride, g/l	200-280 (250)	200-280 (250)
Натрий хлористый, г/л Sodium chloride, g/l	30-40 (35)	30-40 (35)
Тиомочевина, г/л Thiourea, g/l	7-10 (8)	7-10 (8)
Клей мездровый, г/л Glue, g/l	1-2 (2)	-
ЦКН-05, мл/л TsKN-05, ml/l	-	0-10 (0)
ЦКН-05С, мл/л TsKN-05 С, ml/l	-	15-20 (15)
рН электролита Bath pH	1	1
Плотность тока, А/дм <sup>2</sup> Current density, A/dm <sup>2</sup>	0,8-1,2	0,05-3,0
КС, сек Covering power, s	11	3

\*В скобках приведены оптимальные значения.

\* Optimum values are given in brackets



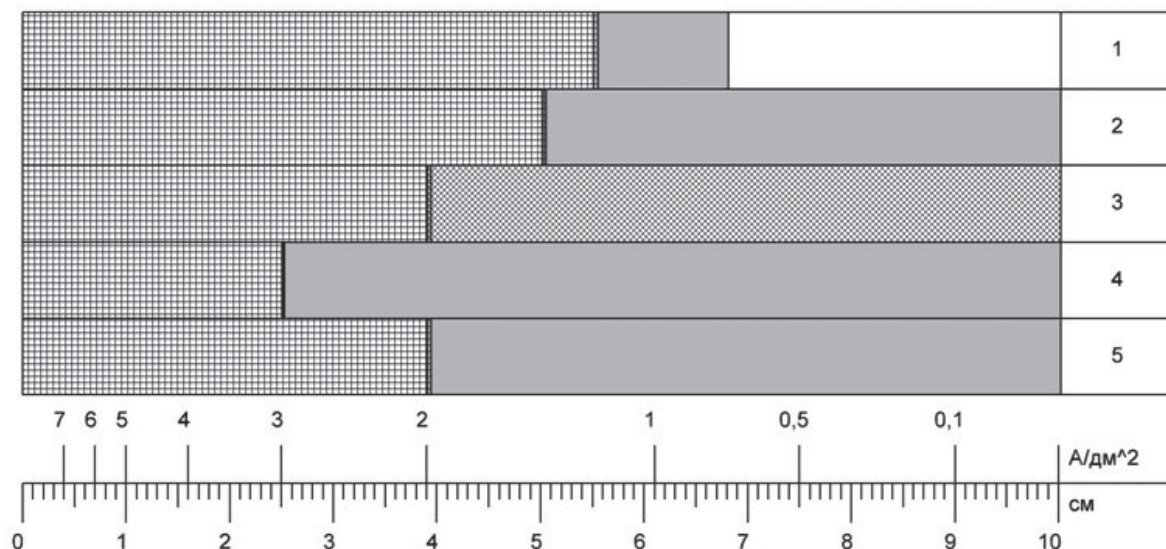


Рис 1. Диаграмма качества покрытий, осажденных на катодной пластине ячейки Хулла

Fig 1. Appearance of the surface of Hull cell cathode after plating

Усл. Обозн. Designations	Вид покрытия Coating appearance	№	Электролит Bath
	НЕПРОКРЫТИЕ No Coating	1	Без добавок Without additives
	НЕОДНОРОДНОЕ Non-uniform	2	Электролит 1 Bath № 1
	СВЕТЛОЕ, КОМПАКТНОЕ Dull compact	3	Электролит 2 + ЦКН - 05 - 5 мл/л Bath № 2 + TsKN - 05 - 5 ml/l
	ПОЛУБЛЕСТЯЩЕЕ Semibright	4	Электролит 2 + ЦКН - 05С Bath № 2 + TsKN - 05S
	БЛЕСТЯЩЕЕ Bright	5	Электролит 2 + ЦКН - 05 + ЦКН - 05С Bath № 2 + TsKN - 05 + TsKN - 05S
	ПОДГАР Burning		

электролита из строя. В состав сульфатно-аммонийного электролита входят диспергатор НФ, имеющий нестабильное качество, и смачиватели ОП-7 или ОС-20, обладающие склонностью к коагулированию при высоком содесодержании раствора и являющиеся биологически жесткими веществами. Наряду с перечисленными недостатками аммонийные электролиты кадмирования характеризуются узким диапазоном рабочих плотностей тока (0,8-1,2 А/дм<sup>2</sup>).

Сульфатный электролит кадмирования позволяет осаждать качественные кадмиевые покрытия в более широком диапазоне рабочих плотностей тока, однако в его состав входит импортная добавка «Лимеда БК-10А», актуальность замены которой обострилась в условиях санкционной политики.

Настоящая работа направлена на устранение указанных недостатков вышеописанных электролитов кадмирования.

### Методика эксперимента

Все электролиты готовили с применением дистиллированной воды по ГОСТ 6709-72 и химических реактивов квалификации не ниже «ч».

Поляризационные катодные кривые снимались в потенциодинамическом режиме на потенциостате Potentiostat P-8S, подключенном к трехэлектродной ячейке ЯСЭ-2, со скоростью развертки 5 мВ/с. В качестве электрода сравнения использовали насыщенный хлорсеребряный электрод. В качестве рабочего электрода использовался платиновый электрод площадью 1 см<sup>2</sup> с кадмиевым покрытием толщиной 10 мкм. Все исследования проводились при температуре окружающей среды 25 °С.

Выход по току определяли гравиметрическим методом с помощью аналитических весов «WA-21» с точностью до 0,0001 г.

Величину рассеивающей способности (РС) электролитов по металлу определяли с помощью щелевой ячейки Моллера с пятисекционным разборным катодом (ГОСТ 9.309-86). Источником то-

ка служил стабилизированный источник питания НУ1505D.

Качество покрытий определяли визуально тестированием электролитов в угловой ячейке Хулла. Осаждение кадмия проводили при токовой нагрузке 1 А в течение 10 минут.

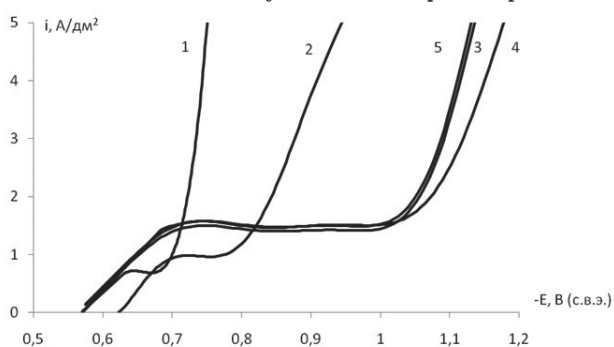
Кроющую способность (КС) электролитов оценивали при помощи ячейки Хулла по следующей методике. Электроосаждение кадмия проводили на медные катоды пластины в течение 10 мин при токовой нагрузке 1 А. В процессе осаждения фиксировалось время (с), в течение которого на поверхности образца формировалась сплошная пленка кадмиевого покрытия в области низких катодных плотностей тока [12].

В рамках данной работы объектами сравнения были выбраны электролиты с составом по ГОСТ 9.305-84 и проанализированы их характеристики в присутствии предлагаемых добавок.

### Экспериментальные данные и их обсуждение

В РХТУ им. Менделеева на протяжении долгого времени ведутся работы, направленные на улучшение технологических характеристик электролитов кадмирования [13–15]. Результаты исследований показывают, что улучшить такие параметры электролита как РС, КС и расширить интервал катодных плотностей тока возможно с помощью применения новых более эффективных ПАВ, не изменяя при этом минеральный состав электролита.

В результате проведенных совместно с фирмой НПП «СЭМ.М» лабораторных исследований и промышленных испытаний были разработаны универсальные добавки ЦКН-05 и ЦКН-05С, которые могут успешно применяться во всех выше-названных типах электролитов. Разработанные добавки позволяют существенно расширить ин-



**Рис. 2.** Катодные потенциодинамические поляризационные кривые: 1 – без добавок; 2 – электролит 1; 3 – электролит 2 + ЦКН-05 (5 мл/л); 4 – электролит 2 + ЦКН-05С; 5 – электролит 2 + ЦКН-05 + ЦКН-05С

**Fig.2.** Cathodic potentiodynamic polarization curves: 1. – without additives; 2. – bath №1; 3. – bath №2 + TsKN-05 (5 ml/l); 4. – bath №2+TsKN-05S; 5. – bath №2 + TsKN-05+ TsKN-05S

тервал рабочих плотностей тока, увеличить срок службы электролитов и отказаться от применения импортных добавок.

Добавки представляют собой композиции органических соединений, содержащие современные биологически мягкие катионогенные (ЦКН-05) и неионогенные (ЦКН-05С) ПАВ.

### 1. Хлористо-аммонийный электролит

Была исследована возможность замены добавок в хлористо-аммонийном электролите, состав которого включен в ГОСТ 9.305-84, на разработанные добавки ЦКН. Составы электролитов и технологические параметры приведены в табл. 1:

Как видно из приведенной на рис. 1 диаграммы качества в отсутствие в хлористо-аммонийном электролите ПАВ имеет место непрокрытие основы при низких плотностях тока (до 0,75 А/дм<sup>2</sup>) (рис. 1, строка 1). Качественные покрытия на катодной пластине ячейки Хулла в стандартном электролите осаждаются до 1,5 А/дм<sup>2</sup>.

При использовании в качестве добавки композиции ЦКН-05С интервал плотностей тока, в котором осаждаются качественные покрытия, расширяется до 3 А/дм<sup>2</sup> (строка 4 диаграммы на рис. 1). Было экспериментально установлено, что в этом случае существенно выше и кроющая способность: в электролите 1 сплошная пленка кадмиевого покрытия в области низких катодных плотностей тока формировалась за 11, а в электролите 2 – за 3 секунды.

Приведенные на рисунках зависимости (здесь и далее) соответствуют оптимальным концентрациям компонентов в электролите.

Поляризационные кривые, приведенные на рис. 2, отражают влияние добавок на катодный процесс электроосаждения кадмия в хлористо-аммонийном электролите.

Площадка предельного тока для электролита без добавок (кр. 1) имеет диффузионную природу, что было подтверждено нами экспериментами на вращающемся дисковом электроде (ВДЭ) и расчетами.

Видно, что введение добавок в состав электролита кадмирования (рис. 2, кр. 2,3,4,5) приводит к увеличению поляризации процесса электроосаждения кадмия по сравнению с электролитом без добавок (кр. 1) и появлению на поляризационных кривых площадок предельного тока, адсорбционная природа которого также была подтверждена нами экспериментами на ВДЭ. При этом поляризация в случае использования композиций ЦКН (кр. 3,4,5) существенно выше, чем при использовании мездрового клея. Кроме того, в первом случае несколько выше и значения наблюдаемого предельного тока, что, вероятно, связано с образованием менее плотных адсорбционных пленок и объясняет более высокую кроющую

Таблица 2. Составы электролитов и их технологические параметры  
Table 2. Baths compositions and operating conditions

Компонент Component	Электролит 1 (ГОСТ 9.305-84) Bath №1 (standard)	Электролит 2 (разработанный электролит) Bath №2 (new)
Кадмий сернокислый, г/л Cadmium sulfate, g/l	40-60 (50)	40-60 (50)
Аммоний сернокислый Ammonium sulfate	240-260 (250)	240-260 (250)
Препарат ОС-20, г/л Additive OS-20, g/l	0,7-1,2 (1)	-
Уротропин, г/л Hexamethylene tetra amine, g/l	15-20 (15)	-
Диспергатор НФ, марка Б, г/л Dispergator NF, type B, g/l	50-10 (100)	-
ЦКН-05, мл/л TsKN-05, ml/l	-	10-15 (10)
ЦКН-05С, мл/л TsKN 05S, ml/l	-	10-15 (10)
рН электролита Bath pH	4-6	3-5
Плотность тока, А/дм <sup>2</sup> Current density, A/dm <sup>2</sup>	0,8-1,2	0,05-5,0
КС, сек Covering power, s	35	3

способность электролита и расширение рабочего интервала плотностей тока в этом случае.

Несмотря на совпадение поляризационных кривых 3 и 5, покрытия хорошего качества (светлые, компактные) в интервале плотностей тока 0,05 – 3,0 А/дм<sup>2</sup> осаждаются только в присутствии добавки композиции ЦКН-05С. При использовании в качестве добавки композиции ЦКН-05 (во всем исследованном диапазоне концентраций 1-10 мл/л) осаждаются неоднородные по внешнему виду покрытия (рис.1, строка 3). Сочетание в электролите добавок ЦКН-05

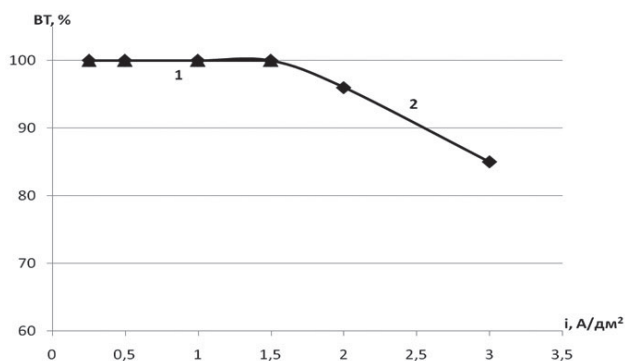


Рис. 3. Зависимость ВТк кадмия от  $i_k$ ; номера кривых соответствуют номерам электролитов

Fig.3. Effect of  $i_k$  on current efficiency. Curves numbers correspond to bath numbers

и ЦКН-05С также приводит к некоторому ухудшению качества покрытий и снижению допустимого верхнего значения плотности тока до 2,0 А/дм<sup>2</sup>. (рис. 1, строка 5). Можно предположить, что это связано с аддитивным ингибирующим действием добавок.

На рис. 3 представлены зависимости катодного выхода по току от плотности тока для хлористо-аммонийного электролита.

В интервале 0,25 – 1,5 А/дм<sup>2</sup> выход по току кадмия в обоих электролитах практически совпадает и приближается к 100%. При плотностях тока выше 1,5 А/дм<sup>2</sup> качество покрытий, осаждающихся в электролите 1, ухудшается – они становятся осыпающимися, поэтому корректное определение ВТк для этих условий невозможно. С ростом катодной плотности тока до 3 А/дм<sup>2</sup> ВТк в электролите 2 снижается до 85%. С целью снижения наводороживания при использовании электролита 2 для кадмирования высокопрочных сталей процесс в электролите следует осуществлять прикатодной плотности тока не более 1,5 А/дм<sup>2</sup>

## 2. Сульфатно-аммонийный электролит

Составы исследованных сульфатно-аммонийных электролитов и их технологические параметры приведены в табл. 2.

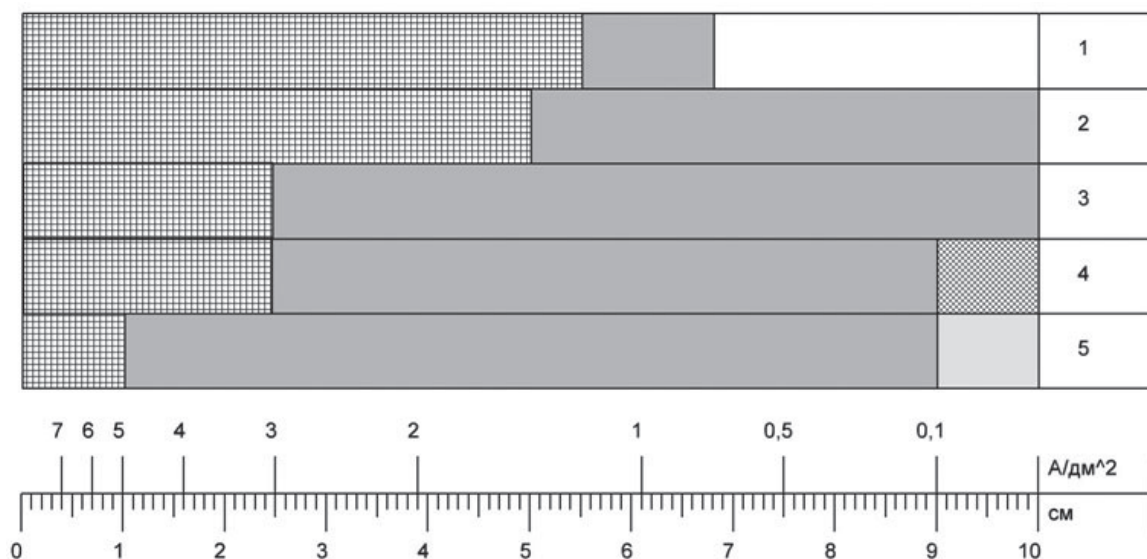


Рис 4. Диаграмма качества покрытий, осажденных на катодной пластине ячейки Хулла

Fig 4. Appearance of the surface of Hull cell cathode after plating

Усл. Обозн. Designations	Вид покрытия Coating appearance	№	Электролит Bath
	НЕПРОКРЫТИЕ No Coating	1	Без добавок Without additives
	НЕОДНОРОДНОЕ Non-uniform	2	Электролит 1 Bath № 1
	СВЕТЛОЕ, КОМПАКТНОЕ Dull compact	3	Электролит 2 + ЦКН - 05 Bath № 2 + TsKN - 05
	ПОЛУБЛЕСТЯЩЕЕ Semibright	4	Электролит 2 + ЦКН - 05С Bath № 2 + TsKN - 05S
	БЛЕСТЯЩЕЕ Bright	5	Электролит 2 + ЦКН - 05 + ЦКН - 05С Bath № 2 + TsKN - 05 + TsKN - 05S
	ПОДГАР Burning		

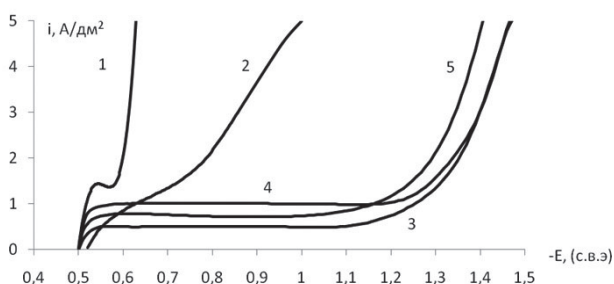


Рис. 5. Катодные потенциодинамические поляризационные кривые: 1 - без добавок, 2 - электролит 1, 3 - электролит 2 + ЦКН-05, 4 - электролит 2 + ЦКН-05С, 5 - электролит 2 + ЦКН-05 + ЦКН-05С

Fig.5. Cathodic potentiodynamic polarization curves: 1. - without additives; 2. - bath №1; 3. - bath №2 + TsKN-05; 4. - bath №2+TsKN-05S; 5. - bath №2 + TsKN-05+ TsKN-05S

Влияние добавок ЦКН-05 и ЦКН-05С на внешний вид покрытий представлено на рис. 4.

В данном случае в отсутствие в электролите ПАВ также имеет место непрокрытие основы при низких плотностях тока (до 0,75 А/дм²) (рис.1,

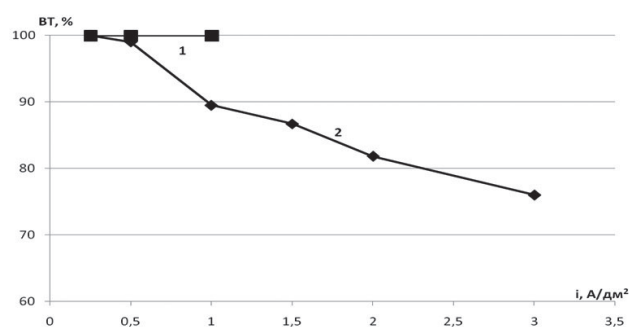


Рис. 6. Зависимость ВТк кадмия от  $i_c$ ; номера кривых соответствуют номерам электролитов

Fig.6. Cadmium current efficiency at different current densities; curves number correspond to bath numbers

строка1). Качественные покрытия на катодной пластине ячейки Хулла в стандартном сульфатно-аммонийном растворе осаждаются до 1,4 А/дм². В электролите с добавками ЦКН наилучший результат дает сочетание добавок ЦКН-05 и ЦКН-

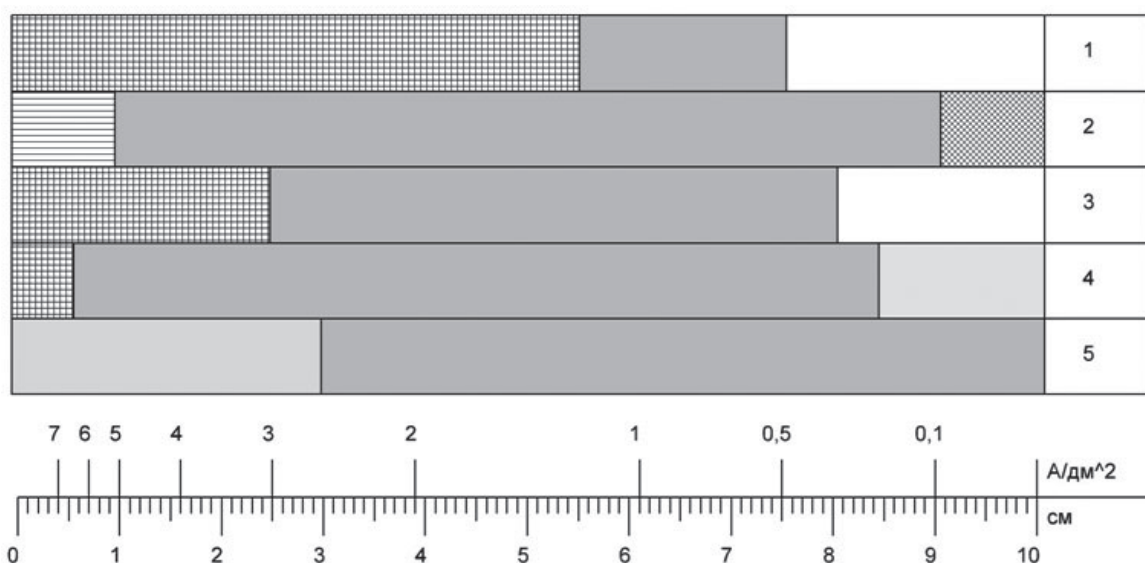


Рис 7. Диаграмма качества покрытий, осажденных на катодной пластине ячейки Хулла  
Fig 7. Appearance of the surface of Hull cell cathode after plating

Усл. Обозн. Designations	Вид покрытия Coating appearance	№	Электролит Bath
	НЕПРОКРЫТИЕ No Coating	1	Без добавок Without additives
	НЕОДНОРОДНОЕ Non-uniform	2	Электролит 1 Bath № 1
	СВЕТЛОЕ, КОМПАКТНОЕ Dull compact	3	Электролит 2 + ЦКН - 05 Bath № 2 + TsKN - 05
	ПОЛУБЛЕСТЯЩЕЕ Semibright	4	Электролит 2 + ЦКН - 05С Bath № 2 + TsKN - 05S
	БЛЕСТЯЩЕЕ Bright	5	Электролит 2 + ЦКН - 05 + ЦКН - 05С Bath № 2 + TsKN - 05 + TsKN - 05S
	ПОДГАР Burning		

05С, которое позволяет расширить диапазон осаждения качественных покрытий до 5 А/дм<sup>2</sup>.

Поляризационные измерения показали (рис.5), что в случае стандартного электролита на катодной поляризационной кривой предельного тока не наблюдается, а в случае кадмирования в присутствии добавок ЦКН поляризация возрастает более чем на 600 мВ и наблюдается предельный ток, адсорбционная природа которого была выявлена экспериментами на ВДЭ. Крюющая способность у хлористо-аммонийного электролита с добавками ЦКН выше, чем у стандартного: 3 с против 35 с.

На рис. 6 представлены зависимости катодного выхода по току от плотности тока.

В интервале 0,25 – 0,5 А/дм<sup>2</sup> выход по току кадмия в обоих электролитах совпадает и приближается к 100 %. В стандартном сульфатно-аммонийном электролите, как и в хлористо-аммонийном, при плотностях тока выше 1,5 А/дм<sup>2</sup> покрытия

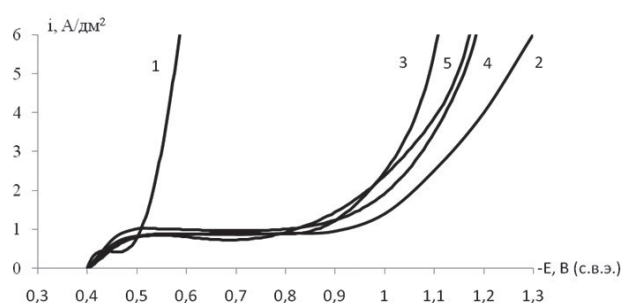


Рис. 8. Катодные потенциодинамические поляризационные кривые: 1 – без добавок; 2 – электролит 1; 3 – электролит 2 + ЦКН-05; 4 – электролит 2 + ЦКН-05С; 5 – электролит 2 + ЦКН-05 + ЦКН-05С

Fig.8. Cathodic potentiodynamic polarization curves: 1. – without additives; 2. – bath №1; 3. – bath №2 + TsKN-05 (5 ml/l); 4. – bath №2+TsKN-05S; 5. – bath №2 + TsKN-05+ TsKN-05S

Таблица 3. Составы электролитов и их технологические параметры  
Table 3. Baths compositions and operating conditions

Компонент Component	Электролит 1 (по ГОСТ 9.305-84) Bath №1 (standard)	Электролит 2 (разработанный электролит) Bath № 2 (new)
Кадмия окись, г/л Cadmium oxide, g/l	12-22 (20)	12-22 (20)
Серная кислота, г/л Sulfuric Acid, g/l	30-50 (50)	30-50 (50)
Блескообразующая добавка Лимеда БК-10А, мл/л Limeda BK-10A brightener, ml/l	18-27 (25)	-
ЦКН-05, мл/л TsKN-05, ml/l	-	3-5 (5)
ЦКН-05С, мл/л TsKN-05S, ml/l	-	15-20 (15)
рН электролита Bath pH	1	1
Плотность тока, А/дм <sup>2</sup> Current density, A/dm <sup>2</sup>	1,5-3,0	0,05-20,0
КС, сек Covering power, s	9	5

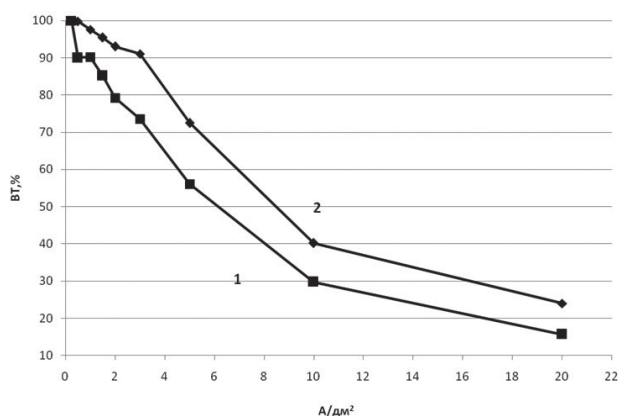


Рис. 9. Зависимость ВТ кадмия от  $i_k$ ; номера кривых соответствуют номерам электролитов

Fig.9. Effect of  $i_k$  on current efficiency. Curves numbers correspond to bath numbers

становятся осыпающимися, поэтому корректное определение ВТ также становится невозможным.

В электролите с добавками ЦКН с ростом катодной плотности тока ВТ падает, что наряду с высокой поляризуемостью позволит получать более равномерные по толщине покрытия на поверхности сложно профилированного изделия.

### 3. Сульфатный электролит

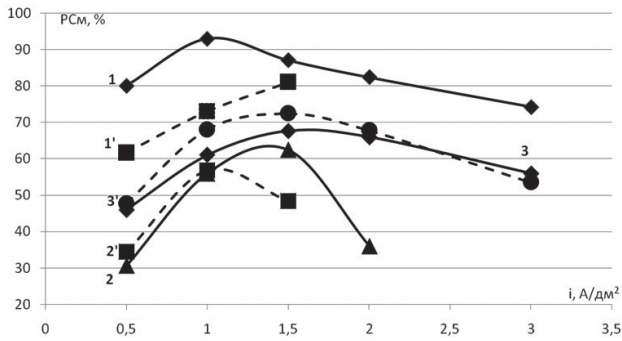
На рис.7 приведена диаграмма, отражающая влияние добавок на внешний вид покрытий, осаждающихся в сульфатных электролитах.

В отсутствие добавок в сульфатном электролите, как и в двух предыдущих случаях, имеет

место непокрытия основы при низких плотностях тока (до 0,5 А/дм<sup>2</sup>) (рис. 7, строка1). В электролите с добавкой Лимеда БК-10А при плотностях тока до 0,1 А/дм<sup>2</sup> наблюдается неоднородное по внешнему виду покрытие. При использовании добавки ЦКН-05С (15 мл/л) покрытия осаждаются светлыми и компактными в интервале 0,05 – 6,0 А/дм<sup>2</sup>, а при ее сочетании с добавкой ЦКН-05 (5 мл/л) диапазон плотностей тока расширяется, а покрытия становятся полублестящими, начиная с 3,0 А /дм<sup>2</sup>. Эксперименты в ячейке Хулла при токовой нагрузке 3А показали, что максимальное допустимое значение плотности тока в этом случае составляет 20 А/дм<sup>2</sup>. Также стоит отметить, что добавка Лимеда при плотности тока выше 5 А/дм<sup>2</sup> позволяет получать зеркально блестящие кадмиевые покрытия.

На рис. 8 приведены катодные поляризационные кривые для сульфатного электролита без добавок (кр. 1) и с добавками Лимеда (кр.2) и ЦКН (кр. 3-5). Видно, что в электролитах с добавками площадки предельного тока практически совпадают. Предельный ток во всех случаях также имеет адсорбционную природу (подтверждено экспериментально). Кроме того, электролиты с добавкой Лимеда (кр.2) и сочетанием добавок ЦКН-05 и ЦКН-05С (кр. 5) характеризуются примерно одинаковой поляризуемостью и поляризацией.

Сульфатные электролиты с добавками Лимеда (электролит 1) и ЦКН (электролит 2) имеют примерно одинаковый характер зависимости ВТ от катодной плотности тока (рис. 9), при этом ВТ в электролите с добавками ЦКН примерно на 10 % выше



**Рис. 10.** Зависимость РСм от  $i_k$ : 1 и 1' – сульфатно-аммонийный электролит; 2 и 2' – хлористо-аммонийный электролит; 3 и 3' – сульфатный электролит; 1, 2, 3 – электролиты с добавками ЦКН; 1', 2', 3' – стандартные электролиты (по ГОСТ 9.305-84)

**Fig.10.** Throwing power at different current densities; 1, 1' – ammonium sulfate bath; 2, 2' – ammonium chloride bath; 3, 3' – sulfate bath; 1, 2, 3 – baths with TsKN additives; 1', 2', 3' – standard bath

во всем интервале рабочих плотностей тока. Следует отметить, что характер зависимостей в обоих случаях благоприятен для рассеивающей способности электролитов по металлу. Что касается кроющей способности, то она соизмерима: 9 с в стандартном электролите и 5 с – в электролите с добавками ЦКН.

#### 4. Рассеивающая способность электролитов

Данные по РС электролитов по металлу приведены на рис. 10. Приведенные диаграммы показывают, что РС электролитов существенно зависит от катодной плотности тока и имеет экстремумы при плотностях тока 1 – 1,5 А/дм<sup>2</sup>. При этом максимальной РС обладает сульфатно-аммонийный электролит с добавками ЦКН, а минимальной РС – хлористо-аммонийный электролит.

#### Выводы

Разработанные универсальные добавки ЦКН-05 и ЦКН-05С позволяют осаждать качественные кадмиевые покрытия из хлористо-аммонийного, сульфатно-аммонийного и сульфатного электролитов кадмирования.

Применение добавок ЦКН позволяет увеличить срок службы хлористо-аммонийного электролита, исключить применение биологически жестких компонентов (ОП-7, ОП-10, ОС-20 и пр.), существенно улучшить КС и РСм электролитов и расширить рабочий диапазон катодных плотностей тока.

#### Литература

1. Вячеслав П.М. Электролитическое осаждение сплавов. Л.: Машиностроение, 1986, 112 с.
2. Таранцева К.Р., Николотов А.Д. Электроосаждение сплава олово-цинк из стабилизированного пирофосфатного электролита как аль-

- тернатива кадмиевому покрытию // Коррозия: материалы, защита. 2014. № 3. С. 37-30;
3. Целуйкин В.Н., Корешкова А.А. О коррозионных свойствах композиционных покрытий цинк-углеродные нанотрубки // Коррозия: материалы, защита. 2014. № 3 С. 31-34;
4. Каримова С.А., Павловская Т.Г. Разработка способов защиты от коррозии конструкций, работающих в условиях космоса // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2013. № 4. Ст. 02;
5. Виноградов С.С., Никифоров А.А., Балахонов С.В. Замена кадмия. Этап 1. Повышение защитной способности цинковых покрытий: термоиммерсионное и модифицированное покрытия // Авиационные материалы и технологии. 2015. № 4. С. 53-60;
6. Виноградов С.С., Губенкова О.А., Мамонтова Н.Н., Никифоров А.А., Балахонов С.В. Свойства модифицированного цинкового покрытия // Коррозия: материалы, защита. 2015. № 3. С. 24-30;
7. Булгакова Ю.В., Колесниченко Е.А. Замена кадмиевого покрытия цинковым покрытием с хроматированием // «Гальванотехника и обработка поверхности». 2014. № 3. С. 59-60;
8. Виноградов С.С. Экологически безопасное гальваническое производство. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Глобус, 2002. С. 352;
9. Никифоров А.А., Смирнов К.Н., Кравченко Д.В., Архипов Е.А., Закирова Л.И., Виноградов С.С. Применимость сульфатно-аммонийного электролита кадмирования с добавкой ЦКН-04 для авиационной промышленности // Труды ВИАМ. М., 2016. № 12 (48). С. 93-102;
10. Ильин В.А. Цинкование, кадмирование, лужение и свинцевание. Библиотечка гальванотехника, Л., «Машиностроение», 1977, 96 с.
11. Ажогин Ф.Ф. и др. Гальванотехника. Справочник под ред. А.М. Гинберга, Москва, «Металлургия», 1987, 736 с.
12. Смирнов К.Н., Кравченко Д.В., Архипов Е.А. Кроющая способность электролитов кадмирования // «Гальванотехника и обработка поверхности». 2013. Т.21, № 4. С. 30-32;
13. Смирнов К.Н., Кравченко Д.В., Архипов Е.А. Новый электролит кадмирования с добавкой модифицированного диспергатора НФ // Мир гальваники. Санкт-Петербург, 2015. №2 (30). С. 21-24;
14. Смирнов К.Н., Архипов Е.А., Кравченко Д.В. Безаммонийный электролит кадмирования // Гальванотехника и обработка поверхности. М., 2015. Т. 23, № 4. С. 20-24;
15. Смирнов К.Н., Архипов Е.А., Кравченко Д.В. Добавки для сульфатно-аммонийного электролита кадмирования. Практика применения // Гальванотехника и обработка поверхности. М., 2016. Т. 24, № 2, С. 35-38.

**References**

1. Vyacheslavov P.M. Electrodeposition of alloys. Л.: Mashinostroenie, 1986, 112 p.
2. Taranzeva K.P., Nikolotov A.D. Electrodeposition of Sn-Zn alloy from stabilized pyrophosphate bath as an alternative to Cd plating // Corrosion: materials, protection. 2014. № 3. P. 37-30;
3. Tseluykin V.N., Koreshkova A.A. Corrosion characteristics of composite zinc-carbon nanotubes // Corrosion: materials, protection. 2014. № 3 P. 31-34;
4. Karimova S.A., Pavlovskaya T.G. Development of methods of corrosion protection for the equipment operating in the outer space // Trans. VIAM, 2013. № 4. Ст. 02;
5. Vinogradov S.S., Nikiforov F/F., Balakhonov S.V. Substitution of Cd. 1st step. Improvements in the protective properties of zinc coatings: immersion and modified coatings. // Aviation materials and technology. 2015. № 4. P. 53-60;
6. Vinogradov S.S., Gubenkova O.A., Mamontova N.N., Nikiforov A.A., Balakhonov S.V. Properties of modified zinc coatings. Corrosion: materials, protection. 2015. № 3. P. 24-30.
7. Bulgakova Yu.V., Kolisnichenko E.A. Chromated Zinc coating as a substitute for Cadmium // Galvanotekhnika I obrabotka poverkhnosti. 2014. V.22, № 3, P. 59-60.
8. Vinogradov S.S. Environmentally safe plating shop. М.: Globus, 2002. 352 p.
9. Nikiforov A.A., Smirnov K.N., Kravchenko D.V., Arkhipov E.A., Zakirova L.I., Vinogradov S.S. On the use of ammonium-sulfate cadmium plating bath with TsKN-04 in the aviation industry // Trans. VIAM. М., 2016. № 12 (48). С. 93-102.
10. Il'in V.A. Plating of Zinc, tin and lead. Plater's Library, L., Mashinostroenie, 1977, 96 p.
11. Azhogin F.F. et al. Electroplating, Ref.book. ed.A.M.Ginberg, M., Metallurgy, 1987, 736 p.
12. Smirnov K.N., Kravchenko D.V., Arkhipov E.A. Covering Power of Cadmium Plating Solutions // Galvanotekhnika I obrabotka poverkhnosti. 2013. V.21, № 4, P. 30-32.
13. Smirnov K.N., Kravchenko D.V., Arkhipov E.A. New Plating Bath with Dispergator NF // Galvanic World. S.-Petersburg, 2015. №2 (30). P. 21-24;
14. Smirnov K.N., Kravchenko D.V., Arkhipov E.A. Безаммонийный электролит кадмирования // Galvanotekhnika I obrabotka poverkhnosti. М., 2015. V.23, № 4. P. 20-24.
15. Smirnov K.N., Arkhipov E.A., Kravchenko D.V. Additives for Ammonium Sulfate Cadmium Plating Solution. Practical Experience. // Galvanotekhnika I obrabotka poverkhnosti. М., 2016. V. 24, № 2, P. 35-38.

**Сведения об авторах**

**Архипов Евгений Андреевич** – генеральный директор, ООО ПК «НПП СЭМ.М», Москва, 127427, г. Москва, ул. Б.Марфинская, д. 1, корп.2, оф.8; e-mail: npp-semm@yandex.ru, тел. 8(495)978-94-42

**Григорян Неля Сетраковна** – к.х.н., доцент, кафедра ИМИЗК ФГОУ ВО «Российский химико-технологический университет имени Д.И.Менделеева», e-mail: ngrig108@mail.ru

**Шувалов Дмитрий Александрович** - студент, кафедра ИМИЗК, ФГОУ ВО «Российский химико-технологический университет имени Д.И.Менделеева», e-mail: dmitrishuvalov1996@gmail.com

**Жирухин Денис Александрович** – аспирант, кафедра ИМИЗК, ФГОУ ВО «Российский химико-технологический университет имени Д.И.Менделеева», e-mail: d.npp-semm@yandex.ru

**Смирнов Кирилл Николаевич** – к.т.н., доцент, кафедра ТНВ и ЭП, ФГОУ ВО «Российский химико-технологический университет имени Д.И.Менделеева», 125047, г. Москва, Миусская пл., д. 9. Тел. 8(499)978-59-90; e-mail: gtech@muctr.ru

**Ваграмян Тигран Ашотович** – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой Инновационные материалы и защита от коррозии ФГОУ ВО «Российский химико-технологический университет имени Д.И.Менделеева», e-mail: vagramyan@muctr.ru, tel. 8(499)978-95-42

**Information about authors**

**Arkhipov Evgeniy A.** – general director, NPP "SEM.M", Moscow, 127427, Moscow, st.B.Marfinckaya, 1/2, of.8; e-mail:npp-semm@yandex.ru, bestgalvanik.ru, tel.: 8(495)978-94-42

**Grigoryan Nelya S.** – ass. Prof., Cand. of Sci., Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, e-mail: ngrig108@mail.ru

**Shuvalov Dmitriy A.** – student, Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Dept. Innovative materials and corrosion protection, dmitrishuvalov1996@gmail.com

**Zhirukhin Denis A.** – postgraduate student; Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Dept. "Innovative materials and corrosion protection, e-mail: d.npp-semm@yandex.ru

**Smirnov Kirill N.** – Ass. Prof., Ph.D., Dept.of Electrochemical Technology, Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, tel.: 8(499)978-59-90; e-mail: gtech@muctr.ru

**Vagramyan Tigran A.** – professor, Doctor of technical science, Head of Dept. Composite materials and technilgies of protection against corrosion Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, e-mail: vagramyan@muctr.ru, tel. 8(499)978-95-42



УДК 621.357.5

## Подготовка поверхности безникелевой нержавеющей стали под покрытие

**Руденок В.А.**

Ижевская Государственная сельскохозяйственная академия,  
426069, Россия, Удмуртская Республика, г. Ижевск, ул. Студенческая, 11

Ключевые слова: нержавеющая сталь; электрохимическое травление; щелочной раствор; селективное растворение.

Предложена технология подготовки поверхности безникелевой нержавеющей стали под покрытие анодной обработкой в растворе щелочи.

## Surface Preparation of Nickel-free Stainless Steel Under the Coating

**Rudenok V. A.**

Izhevsk Academy of Agriculture, Izhevsk, Studencheskaya Str., 11

Key words: stainless steel; electrochemical pickling; alkaline solution; selective dissolution.

The technology of preparation of a surface of stainless steel for coating by anodic treatment in an alkaline solution is offered.

### **Введение**

Нержавеющая сталь содержит в своем составе хром, придающий ее поверхности присущую ей пассивность. Благодаря этому свойству стали она не требует дополнительных усилий по ее защите от коррозии. Но в отдельных случаях возникает необходимость изменения механических

характеристик или цвета ее поверхности, для чего потребуется нанесение на нее гальванических или лакокрасочных покрытий. Известно, что особенность свойств поверхности нержавеющей стали не позволяют это сделать, используя традиционные способы подготовки поверхности. Нанесенное покрытие не имеет достаточной адгезии

с подложкой, и легко отделяется от нее. Изменить ситуацию можно только исключив влияние хромовой составляющей сплава на его свойства. Например, селективным растворением примеси хрома с поверхности нержавеющей стали. В гальванотехнике применяется технология удаления недоброкачественных хромовых покрытий с поверхности стальных деталей электрохимическим травлением в растворе щелочи [1]. Эта технология и была применена для подготовки под покрытие на примере стали 40X13.

### Методика исследований

Для подготовки поверхности нержавеющей стали пластины из сплава 40X13 анодно поляризовали в растворе 20 г/л щелочи при плотности тока 20 А/дм<sup>2</sup> в течение 30 минут. В результате их поверхность потеряла первоначальный блеск, стала матовой, и приобрела более темный оттенок. После такой подготовки на детали наносили никелевое покрытие из стандартного сернокислого электролита, хромовое твердое покрытие из стандартного раствора шестивалентного хрома, а также покрытие черным хромом. Покрытия имели хорошее сцепление, не имели следов вздутия и признаков шелушения. Никелевое и твердое хромовое покрытия имели характерный металлический блеск.

### Результаты исследований

Поверхность нержавеющей стали после анодной обработки в растворе щелочи исследова-

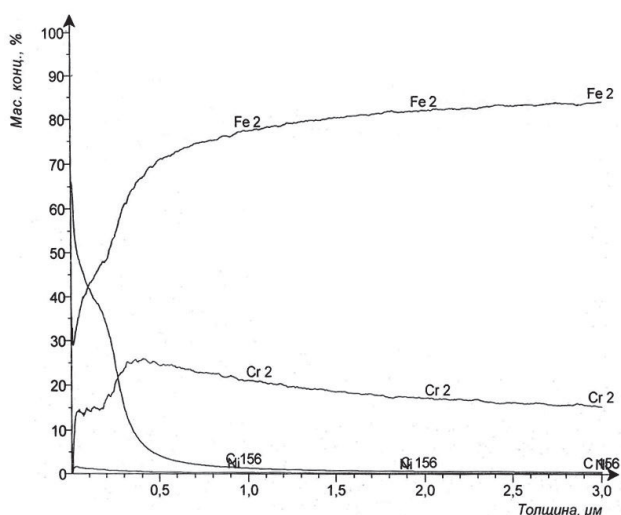


Рис. 1. Распределение компонентов сплава 40X13 в поверхностном слое после анодной поляризации в растворе щелочи

Fig.1. Distribution of alloy 40X13 components in the surface layer after the anode polarization in an alkaline solution

ли при помощи оптического эмиссионного спектрометра, результаты представлены на рис. 1. Видно, что в очень тонком поверхностном слое хром полностью отсутствует. По-видимому, отсутствие хрома в поверхностном слое и позволило обеспечить хорошую адгезию гальванических покрытий с модифицированной поверхностью. Кроме того, было установлено, что модифицированная поверхность нержавеющей стали хорошо паяется мягкими припоями, например, припоем ПОС 40.

Из рассмотрения приведенной диаграммы видно, что в приповерхностном слое пластин наблюдается резкое повышение концентрации углерода. Очевидно, в процессе анодной обработки наряду с хромом происходит также частичное растворение железа, в результате высвобождается углеродная составляющая сплава. Накопление углерода может отрицательно влиять на адгезию покрытий, и для различных по составу нержавеющих сталей потребуются более тщательная отработка технологии подготовка поверхности под покрытие.

### Выводы

Разработана технология подготовки поверхности безникелевой нержавеющей стали путем селективного растворения хрома из состава сплава в процессе анодной поляризации в растворе щелочи.

### Литература

1. Черкез М.Б., Богорад Л.Я., под редакцией П.М. Вячеславова. Хромирование. (Библиотечка гальванотехника, вып.4.) Л., «Машиностроение», 1978.

### References

1. Cherkez M.B., Bogorad L.Ya., ed. P.M. Vyacheslavov. Chromium (Platers library, iss. 4). L.: Mashinostroenie, 1978.

### Сведения об авторах

**Руденок Владимир Афанасьевич** – к.х.н., заведующий кафедрой, Ижевская ГСХА; 426069, Россия, Удмуртская Республика, г.Ижевск, ул. Студенческая, 11; тел.:8-912-8554226

### Information about authors

**Rudenok Vladimir A.** – Acc. Prof., Cand. of Sci., Head of Dept. of Chemistry: Izhevsk Academy of Agriculture; 426069, Izhevsk, Studencheskaya Str., 11.

# CRS

INDUSTRIAL POWER EQUIPMENT



- Реверс полярности
- Импульсный режим (PED)
- Программируемое изменение режима работы
- Функциональный встроенный или выносной пульт управления

— Гарантия 2 года —

- > Точность управления и высокая стабильность выходных параметров
- > Независимая стабилизация по току или напряжению
- > Низкая пульсация выходного тока (1%)
- > Высокая эффективность (КПД 92%)
- > Минимальное время отклика (1 мс.)
- > Высокий коэффициент мощности (0,95)
- > Модульная архитектура
- > Защищенность
- > Компактность



Серия Quasar – это современные выпрямители, разработанные для использования в гальванике, в процессах электрохимического извлечения металлов или очистки воды. Применение техники широтно-импульсной модуляции и IGBT транзисторов обеспечивает более высокую эффективность и производительность, а также компактность и сниженный вес по сравнению с обычными выпрямителями. 20-летний опыт компании CRS – лидера европейского рынка промышленных выпрямителей – гарантирует надежность работы, простоту управления и удобство обслуживания оборудования. Модульная архитектура, широкая линейка выходных параметров и увеличенный гарантийный срок позволяют оптимизировать затраты и снизить себестоимость продукции.

ХАРАКТЕРИСТИКИ		Q100	Q300	Q500
Входные параметры		3 × 400 В ± 10%, 50 – 60 Гц		
Номинальные выходные параметры	Напряжение, В	5, 10, 12, 16, 20, 25, 30, 50, 60, 100, 160	10, 12, 16, 20, 25, 30, 50, 60, 80, 90, 100, 130, 160, 250, 360, 400	5, 10, 12, 16, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 100, 130, 150, 160, 200, 235, 250, 360, 400, 450
	Ток, А	10, 25, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 450, 500	25, 30, 40, 50, 75, 80, 90, 120, 140, 150, 210, 240, 250, 280, 300, 400, 420, 500, 600, 800, 1000, 1200, 1800	100, 154, 200, 264, 300, 360, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 2000, 3000, 4000, 5000, 6000, 7000, 8000, 9000, 10000, 11250, 12000, 13500, 15000, 15750, 18000
Диапазон регулирования		2 – 100% от номинального значения тока 5 – 100% от номинального значения напряжения		
Стабильность		99% во всем диапазоне регулирования		
Интерфейсы и протоколы		RS232, RS 485, Ethernet / Modbus-RTU, Profibus DP, Modbus/TCP, Profinet, Ethernet/IP		

От единичного модуля в 10 А—50 А...



...до силового агрегата в 32 000 А!



## Galvex

ООО «ГАЛЬВЭКС» — эксклюзивный поставщик промышленного силового оборудования CRS S.r.l в России [www.galvex.ru](http://www.galvex.ru), Тел. 8 (495) 108 0727, [sales@galvex.ru](mailto:sales@galvex.ru)



## ТЕХНОЛОГИИ И ХИМИКАТЫ ДЛЯ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ

Фирма UMICORE (Германия) - ведущий в Европе разработчик, производитель и продавец технологий и электролитов для нанесения гальванических покрытий из драгоценных и основных металлов, соединений драгоценных металлов, платинированных анодов.

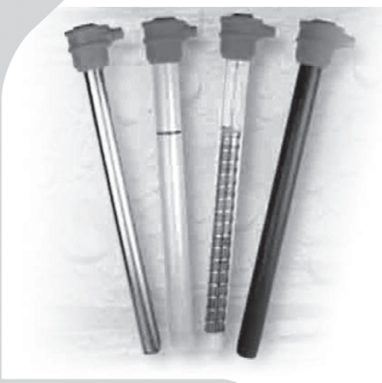


- **AURUNA®** - электролиты золочения для нанесения декоративных и функциональных покрытий. Серия AURUNA® включает следующие процессы: гальваническое, иммерсионное золочение, прямое нанесение золота на нержавеющую сталь, электролитическое золочение.
- **ARGUNA®** - разработаны и производится целый ряд электролитов серебрения для нанесения декоративных и функциональных покрытий. Покрытия из серебра обладают специальными оптическими и электрическими свойствами.
- **MIRALLOY®** - процесс нанесения сплава медь-олова и медь-оловоцинк в качестве защитного и декоративного покрытия с целью замены никелевого покрытия.
- **NIRUNA®** - процесс нанесения на печатные платы химического никеля и иммерсионного золота. Химически осажденные покрытия никеля и золота отличаются оптимальной защитой от коррозии, хорошо подвергаются паянию и бонддеризации.
- **AURUNA-FORM®** - процесс гальванопластики при изготовлении ювелирных изделий
- **PLATINODE®** - специальные фигурные аноды, стойкие в коррозионных средах для электроосаждения драгоценных металлов, платинированные молибденовые ленты и проволоки для светотехнической промышленности.



## ТЕПЛОЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛИ

Фирма MAZURCZAK (Германия) - одна из ведущих европейских фирм, специализирующихся на производстве теплоэлектронагревателей, в том числе для гальванического производства. Нагревательные элементы подходят для любых производственных условий и нагревают жидкости, расплавленные массы, пары и газы. Фирма MAZURCZAK предлагает широкий спектр нагревателей, датчиков, вспомогательного оборудования производимого компанией, в том числе:



- Нагреватели для ванн ROTKAPPE для нагрева всех технологических сред и для различных областей применения.
- Нагревательные стержни из PTFE GALMAFORM и GALMAFLEX предназначенные для прямого электрического нагрева в установках и резервуарах, где требуются самые маленькие размеры и отличная степень устойчивости по отношению к сильно агрессивным технологическим растворам.
- Тефлоновые нагревательные элементы GALMATERM для прямого электрического нагрева установок и резервуаров, где требуются небольшие размеры, высокая производительность и отличная степень устойчивости по отношению к агрессивным технологическим растворам.
- Патронные нагревательные элементы CALOR для прямого нагрева жидкостей, расплавленных масс, паров и газа.
- Поплавковые датчики уровня жидкости, электроконтактные зонды уровня, датчики температуры и соответствующая электроника для регулирования и контроля температуры и уровня раствора.



ОФИЦИАЛЬНЫЙ ПРЕДСТАВИТЕЛЬ ФИРМ UMICORE и MAZURCZAK В РОССИИ:  
**ЗАО "ХИМСНАБ"**  
420030, г. Казань, ул. Набережная, 4 тел.: (843) 214-52-25  
E-MAIL: INFO@CHEMPRU, WWW.CHEMPRU



Щелочное цинкование

Цинкамин-02 (блескообразователь)  
ДС-ЦО (очиститель)  
БНК (усилитель блеска)

Слабокислое цинкование

ЛГ-50 (А, И) ЛГ-09 (А, Б)

Цианистое цинкование

ДС-3

Осаждение сплавов

Цинкамин-ZF (цинк-железо)

Цинкамин-ZN (цинк-никель)

Никелирование

НХС-1, 2, 3



## Лучшая химия для гальванотехники



Пассивирующие концентраты (CrVI-free)  
Финишная обработка покрытий

Ирида-ХромТри (А, В, АF, ВF, К)

Ирида-СилХром

Силатек-08 (top-coat)

Коррозионностойкие пленки полностью свободные от шестивалентного хрома радужного, голубого и черного цветов



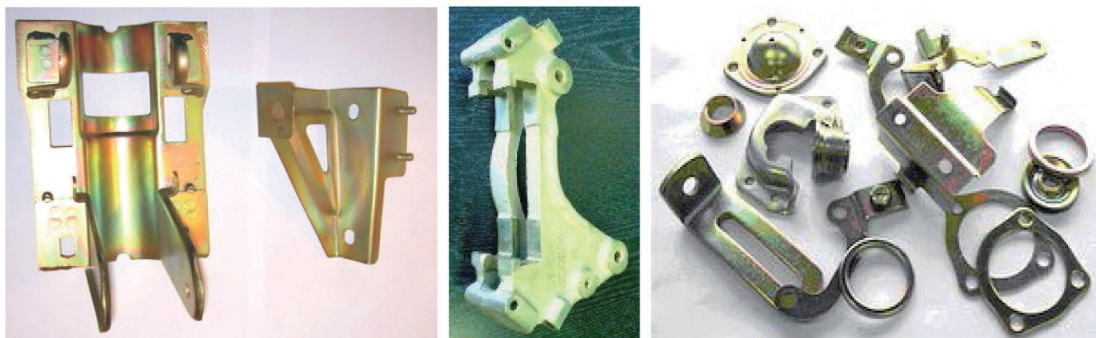
606008, г. Дзержинск, Нижегородская обл., а/я175; тел/факс: (8313) 25-23-46, +7-951-902-91-65  
E-mail: igor@chimsn.ru http: www.chimsn.ru

## ООО «АРБАТ»

445017, г. ТОЛЬЯТТИ, Молодежный бульвар 22-110,  
тел/факс 8482-254632, факс 8482-220352

ГАЛЬВАНИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ, БЛЕСКООБРАЗУЮЩИЕ ДОБАВКИ,  
ХИМИЧЕСКАЯ ПРОДУКЦИЯ ДЛЯ ГАЛЬВАНОТЕХНИКИ,  
ХРОМИТИРОВАНИЕ без Cr(VI)

Подробнее на: [www.galvanicrus.ru](http://www.galvanicrus.ru)



Цинкование в щелочном и слабокислом электролитах



Хромирование без Cr(VI)

Механическое цинкование

### Наша продукция:

Блескообразующие композиции **НТЦ-Р** для щелочного цинкования,

**Дипо-цинк А и Б** для слабокислого цинкования;

Добавки **ЦМ-1А и ЦМ-2А** для механического цинкования;

Композиции **Хромит-1А и Хромит-2А** для бесцветного и радужного пассивирования (хромирования) цинковых покрытий, не содержит Cr(VI);

**Смесь БФЦ-А** для хромирования алюминия;

**Стеарат СФ-А** для пропитки «мылом» фосфатированных заготовок перед холодным выдавливанием.

**Фирма «АРБАТ» производит более 30 химических продуктов для машиностроения**

### Наши партнеры:

**Свыше 40 предприятий применяют продукцию фирмы «АРБАТ»**



ООО «НАВИКОМ» представляет

программное обеспечение «СМАРТ-Контроль»



Программное обеспечение «СМАРТ-Контроль» позволяет осуществлять управление выпрямительными агрегатами «ПУЛЬСАР» с удаленного персонального или промышленного компьютера.

**Функциональные возможности:**

- Сбор, отображение и хранение (архивирование и выгрузка) данных о работе агрегата выпрямительного (АВ), в том числе следующих параметров:
  - ✓ Ток
  - ✓ Напряжение
  - ✓ Полярность
  - ✓ Время
  - ✓ Режим работы (ручной/по программе)
- Управление параметрами работы:
  - ✓ Ток
  - ✓ Напряжение
  - ✓ Полярность
  - ✓ Запуск/останов
  - ✓ Запуск программы
- Просмотр и редактирование программ (как встраиваемых в АВ, так и хранимых в ПК).
- Протоколирование выбранных пользователем параметров АВ.
- Ведение архива протоколов (хранение, визуализация, экспорт в файл, вывод на печать).
- Работа с диагностическими данными (сбор, хранение, визуализация, экспорт в файл для целей удаленной диагностики, импорт из файла).
- Возможность управления несколькими АВ одновременно.
- Несколько уровней пользователей: оператор, технолог, администратор; управление доступом к функциональным блокам программы.

RS-485/ Ethernet/ Modbus

**Способы коммуникации:**

- Подключение к АВ по выбору пользователя:
  - RS-485
  - TCP/IP
- Подключение к нескольким агрегатам (в том числе входящим в состав выпрямительного комплекса).

**Программное обеспечение «СМАРТ-Контроль» имеет демонстрационную и лицензированную версии!**

Доступность полного функционала программы определяется наличием в файле-лицензии серийного номера агрегата (модуля управления). Вы можете приобрести ПО и лицензии как для управления одним выпрямителем, так и несколькими выпрямителями.

**Уровни доступа пользователей**

Функционал	Демо-версия	Лицензированная версия		
		Оператор	Технолог	Администратор
Редактирование списка выпрямителей	+	-	-	+
Редактирование списка пользователей	-	-	-	+
Просмотр данных с выпрямителей	+	+	+	+
Просмотр данных с силовых блоков	-	-	-	+
Выгрузка накопленных данных в файл во внутреннем формате программы	+	+	+	+
Выгрузка накопленных данных в файл в форматах txt/dbf/xls	-	+	+	+
Прямое управление выпрямителями	-	+	+	+
Управление запуском программ	-	+	+	+
Редактирование программ	-	-	+	+
Изменение настроек выпрямителя	-	-	-	+

Заказать программное обеспечение «СМАРТ-Контроль» возможно, указав данную потребность при заполнении опросного листа или обратившись в ООО «Навиком» по тел./факс: (4852) 74-11-21, 74-15-67 или на e-mail: [commerce@navicom.org](mailto:commerce@navicom.org).

Получить информацию о возможностях программного обеспечения, ознакомиться с интерфейсом программы, скачать демо-версию ПО «СМАРТ-Контроль» и «Краткие рекомендации по настройке ПО «СМАРТ-Контроль» Вы можете в соответствующем разделе сайта нашей компании <http://www.navicom.org/>.

## ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ХИМИКО-ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ И ПОДГОТОВКИ ПЕРЕД ОКРАШИВАНИЕМ ОТ ООО «СОНИС»

- ОБЕЗЖИРИВАНИЕ
- ТРАВЛЕНИЕ
- ЦИНКОВАНИЕ
- ХРОМАТИРОВАНИЕ
- МЕДНЕНИЕ
- НИКЕЛИРОВАНИЕ
- ХРОМИРОВАНИЕ
- ФОСФАТИРОВАНИЕ
- ХОЛОДНОЕ ЧЕРНЕНИЕ

Мы помогаем цеховым  
технологам находить  
оптимальные решения!



Современные блескообразующие добавки  
для цинкования

Качество выше – затраты ниже!

«Колцинк АЦФ-2»	«Колсид АР-НТ»
<b>Бесцианистый щелочной</b>	<b>Аммонийно-хлоридный</b>
<ol style="list-style-type: none"><li>1. Высокая рассеивающая способность- процесс идеален для цинкования сложнопрофилированных изделий</li><li>2. Высокоблестящие нетемнеющие покрытия без "пузырей" осаждаются в широком диапазоне параметров</li><li>3. Толщину покрытий можно увеличивать до 35 мкм и выше</li><li>4. Покрытия пластичные – выдерживают ударные нагрузки, развальцовки, изгибы и т.д.</li></ol>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. При разогреве электролита до 55 °С и выше качество покрытий сохраняется</li><li>2. Электролит пенится мало</li><li>3. Цинковать можно в барабанах и на подвесках</li><li>4. Покрытия получаются без пригаров на выступающих частях и отлично поддаются хромированию</li><li>5. Шелушение покрытий отсутствует до значительных толщин (25 мкм и выше)</li><li>6. Работает при высоком содержании железа в ванне</li></ol>



Начиная с 1995 года, более 500  
предприятий России и стран СНГ  
перешли на цинкование  
с добавками от **ООО «СОНИС»**

Ждём Ваших обращений!

Тел.: (495) 545-76-24

517-46-51

info@sonis-co.ru

[www.ooo-sonis.ru](http://www.ooo-sonis.ru)





Сделано в России

РТС  RTS  
инжиниринг



- ✓ Разработка и производство современных гальванических линий по европейским стандартам;
- ✓ Комплексное оснащение гальванических производств;
- ✓ Поставка отдельных единиц оборудования;
- ✓ Изготовление вентиляционных систем из пластика с очисткой воздуха;
- ✓ Модернизация гальванических линий;



Сертификат ISO 9001

Декларация соответствия  
Таможенного союза

Свидетельство СРО

ООО «РТС Инжиниринг»  
107076, Москва, ул. Атарбекова 4 • Тел.: +7(495) 964-47-48 • Факс: +7 (495) 964-47-39  
e-mail: main@rts-engineering.ru • <http://www.rts-engineering.ru>

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ИЗГОТОВЛЕНИЕ, МОНТАЖ, ПУСКОНАЛАДКА И СЕРВИСНОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ЛЮБОЙ СЛОЖНОСТИ

**TAGAT.RU**



Современный модернизированный комплекс  
АО «ТАГАТ» им. С.И. Лившица. 2016-2017 г.

АО «ТАГАТ» им. С.И. Лившица: единственное в стране специализированное предприятие по проектированию и изготовлению оборудования для нанесения гальванических, химических и анодизационных покрытий и систем очистки сточных вод от гальваностоков.

С февраля 2012 года АО «ТАГАТ» им. С.И. Лившица входит в группу компаний «АРТИ».

**Гальваническое оборудование  
любой сложности  
«под ключ»**



**ПЛАНИРОВАНИЕ**

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ**

**ПРОИЗВОДСТВО**

**РЕЗУЛЬТАТ**

**ПОДДЕРЖКА**

### АО «ТАГАТ» им. С.И. Лившица предлагает :

- Линии автооператорные автоматические и механизированные
- Линии кареточные овалынные подвесочные, конвейерного типа
- Комплексы для очистки сточных вод гальванического производства
- Системы управления автооператорами в механизированном и автоматическом режиме
- Установки хромирования длинномерных штоков
- Средства малой механизации
- Ванны для подготовки поверхности и нанесения покрытий
- Лабораторные установки
- Автооператоры подвесные, порталные и консольные
- Барабаны для нанесения гальванических и химических покрытий
- Корзины титановые для анодов различных типоразмеров
- Сушильные камеры для сушки мелких деталей насыпью
- Фильтровальные установки для фильтрации электролитов от механических загрязнений
- Запасные части для различных узлов гальванического оборудования
- Ванны и ёмкости
- Системы приточной и вытяжной вентиляции из различных материалов



392030, Россия, г. Тамбов, Моршанское шоссе, 21  
Тел.: +7 (4752) 53 70 03, +7 (4752) 53 25 03;  
Факс: +7 (4752) 45 04 15  
115088, Россия, г. Москва,  
ул. Шарикоподшипниковская, д.13, ст.2  
Тел.: +7 (495) 797 85 67, +7 (495) 797 85 68  
Факс: +7 (495) 642 05 78  
www.tagat.ru office@tagat.ru

## ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

ООО "БМТ"   
г. Владимир

### Технологические решения:

- Очистка сточных вод от тяжелых металлов до требуемых нормативов ПДК для слива в канализацию
- Глубокая очистка сточных вод до нормативных показателей ГОСТ 9.314-90, кат. 1,2,3 «Вода для гальванического производства и схемы промывок. Общие требования» для создания экологически чистого производства с замкнутым циклом по воде
- Обезвреживание гальванических шламов
- Регенерация отработанных травильных растворов кислот и электролитов
- Переработка СОЖ, очистка моющих и обезжиривающих растворов

**Внедрено более 80 локальных и комплексных сооружений очистки сточных вод гальванических производств**



Свидетельства НП СРО ОПВО и ОСВО на допуск к строительно-монтажным и проектным работам

Россия, 600033, Владимир, ул. Элеваторная 6  
Тел.: (4922) 52-23-43, Тел./Факс: (4922) 52-23-52  
E-mail: vladimir@vladbmt.ru  
[www.zaobmt.com](http://www.zaobmt.com)



## ГАЛЬВАНИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

- Добавки для гальваники  
LIKONDA, КЕММИКС
- Выпрямительные агрегаты  
FlexKraft с пультами ДУ
- Фильтровальные установки  
Mefiag
- Электронагреватели  
SCANDYMET
- Проектирование и изготовление  
оснастки для гальваники
- Изоляция подвесочных  
приспособлений



Тел.: (831) 275-82-60, 275-82-61, 275-82-62

[www.galvanotech.ru](http://www.galvanotech.ru)

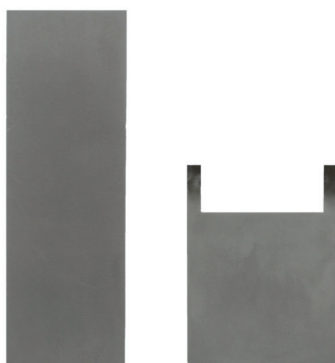
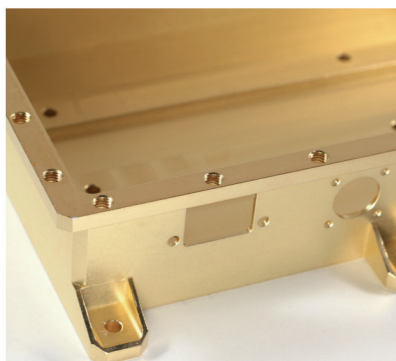


## Научно-производственное предприятие «ЭКОМЕТ»

Технологии и оборудование для гальванических производств

### Химические продукты от Российского производителя

- подготовка поверхности
- добавки для гальванических процессов
  - цинкование
  - меднение
  - никелирование
  - оловянирование
  - хромирование и пр.
- обработка алюминия и его сплавов
- электролиты золочения и серебрения
- лаковые покрытия (катафорез)
- травление, активация и электрополирование
- временная консервация и пассивация деталей



### Услуги

- внедрение технологических процессов
- нанесение серебра, золота и его сплавов
- изготовление платинированных титановых анодов
- химический анализ гальванических растворов



### Гальваническое оборудование

- фильтровальные установки Мефиаг
- фильтровальные материалы
- химически стойкие насосы
- выпрямители ФлексКрафт
- пластиковые теплообменники Калорпласт
- ячейки Хулла

Почтовый адрес: 119071, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 31, корпус 4, ИФХЭ РАН, «ЭКОМЕТ»

Тел./факс: (495) 955-45-54, 955-40-33, 954-86-61

Электронная почта: [info@ecomet.ru](mailto:info@ecomet.ru) • Интернет: [www.ecomet.ru](http://www.ecomet.ru) или [ecomet.ru](http://ecomet.ru)

## Научно-производственное предприятие "СЭМ.М"

*НПП "СЭМ.М" – предприятие, специализирующееся в области гальванотехники, образовано в 1994 г. выпускниками и сотрудниками старейшей в России кафедры Технологии электрохимических производств РХТУ им. Д.И.Менделеева*

Мы предлагаем блескообразующие добавки и специальные композиции собственных разработок для гальванических процессов:

- химическое обезжиривание
- электрохимическое обезжиривание
- травление сталей
- цинкование щелочное
- цинкование слабокислое
- пассивация цинковых покрытий - радужная, бесцветная, с голубым оттенком
- пассивация цинковых покрытий на основе соединений хрома (III)
- кадмирование бесцианистое
- никелирование блестящее и матовое
- никелирование из сульфаматных электролитов
- никелирование химическое блестящее
- хромирование
- свинцевание
- оловянирование и нанесение сплавов олова
- меднение из кислых и щелочно-тарtratных электролитов
- меднение печатных плат
- патинирование меди и ее сплавов
- травление и химическое оксидирование алюминия
- холодное чернение сталей
- фосфатирование
- адгезионное оксидно-титановое покрытие под ЛКП



**ЦКН**

зарегистрированный товарный знак  
Научно-производственного предприятия "СЭМ.М"

Мы осуществляем разработку, внедрение и сервисное сопровождение электрохимических технологий, отвечающих современным техническим и экологическим требованиям.

**НПП "СЭМ.М" – это стабильное качество,  
разумная ценовая политика,  
квалифицированные консультации.**

Тел/факс +7-495-978-94-42 +7-901-517-94-42  
E-mail: [npp-semm@yandex.ru](mailto:npp-semm@yandex.ru) <http://bestgalvanik.ru>

## **Предприятие «РАДАН» (ООО)**

190103, г. Санкт-Петербург, ул. 8-я Красноармейская, 20а, лит.А (а/я 179)

т. +7 (812) 251-4917, т/ф +7 (812) 251-1348

т. +7 (911) 916-0706 +7 (911) 233-7916

E-mail: info@radan.su & radan2000@mail.ru Url: www.radan.su

-----  
Предприятие «РАДАН» является инжиниринговой компанией и более 26 лет специализируется на выполнении комплекса работ по техническому перевооружению, новому строительству производственных мощностей предприятий от проектирования до ввода в эксплуатацию:

- *Гальвано-химических производств на отечественном или импортном оборудовании*
- *Очистных сооружений промышленных сточных вод от гальвано-химических производств, в том числе с полным или частичным возвратом воды на повторное использование*
- *линий подготовки изделий под порошковые покрытия*

### **Разработка проектов**

Проекты любой сложности, в том числе с прохождением государственной экспертизы, от сбора и обработки исходных данных и составлением Задания на проектирование или Технологических заданий. Взаимодействия с отраслевыми (головными) проектными институтами и различными структурами по данной специализации.

### **Экспертные заключения**

Экспертиза технологических решений в разработанных или реализованных проектах, технических предложениях по гальвано-химическим производствам и очистным сооружениям. Эффективность и гарантии получения конечных результатов реализации принимаемых решений.

### **Реализация проектов. Поставка, шеф-монтаж или монтаж комплектов или единичного оборудования:**

- ✓ Автоматизированные, ручные гальванические линии и очистные сооружения в полной комплектации
- ✓ Оборудование для гальванических линий и очистных сооружений (фильтры, деминерализаторы, сепараторы, холодильные установки, выпарные установки, абсорберы, емкостное оборудование, пресс-фильтры, отстойники и т.д.)

### **Ввод оборудования в эксплуатацию (пуско-наладочные работы)**

Проведение работ высококвалифицированным персоналом, имеющих большой практический опыт в области современных требований к реализации проектных решений и к эксплуатации гальвано-химического оборудования.

### **Разработка эксплуатационной документации**

Разработка Технологических регламентов, Руководств по эксплуатации, Технических паспортов на комплексы оборудования гальванического производства и очистных сооружений, отвечающих требованиям безопасной эксплуатации таких производств.

**Комплексный подход по организации гальвано-химических производств и очистных сооружений позволяет максимально снизить капитальные и эксплуатационные затраты и обеспечить экологическую и промышленную безопасность предприятиям любых отраслей промышленности.**

УДК 621.357

## **Исследование электроосаждения сплава олово-висмут с блескообразующей добавкой SA-317**

**Юдин А.С., Попов А.Н., Колесников В.А.**

Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, 125480, Москва, ул. Героев Панфиловцев, д.20; e-mail: anton.yudin3@mail.ru

**Ключевые слова:** электроосаждение, микроэлектроника, паяемые покрытия, электролитические припои, сплавы, олово-висмут, блескообразующие добавки, ПАОВ, ПАВ.

В статье рассмотрено влияние новой блескообразующей добавкой SA-317 на процесс осаждения блестящих покрытий олово-висмут в серноокислом электролите, применяемых в изготовлении печатных плат, интегральных микросхем и других паяемых элементов в микроэлектронике.

## **Investigation of the Electrodeposition of Tin-bismuth Alloy from the Bath with Brightener SA-317**

**Yudin A. S., Popov A. N., Kolesnikov V. A.**

D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, 125480, Heroev Panfilovtsev St., 20; e-mail: anton.yudin3@mail.ru

**Keywords:** electrodeposition, microelectronics, solderable coatings, electrolytic solders, alloys, Sn-Bi, brighteners, organic surface-active substances, surfactants.

The article describes the influence of new brightener SA-317 for bright Tin-Bismuth alloy plating. This alloy is used for the production of printed wire boards, integrated circuits and other components for microelectronics.

Bath composition is given in Table 1. To determinate the amount of Bismuth in the electrolyte they built calibration curve (Fig. 1). Curves of quality of deposits with the brightener additive at different concentrations (Table 1) are presented, at Figs.1-2. Curves of quality of deposits with brightener SA-317 vs. cathodic current density are presented Fig. 3.

The curves of the composition of Tin-Bismuth alloy vs. cathodic current density are presented at Fig. 4. The dependence of the current efficiency of the alloy on the concentration of Bismuth in the electrolyte is presented at Fig. 5. Polarization curves are presented at Figs. 6-8. From figures 6 to 8 we can see different composition of electrolyte: salts + acid + OS-20B agent; then to this solution brightener was added SA-317, and finally 15 ml/l of Formalin 37% solution in water was added.

On the basis of the obtained results, an optimal electrolyte for the deposition of the Tin-Bismuth alloy with brighteners SA-317 (Table 2) was developed.

**Введение**

В современной технологии изготовления деталей для радио-электронного оборудования, а также для производства ЭВМ, большое значение имеют паяемые покрытия сплавами олова, в частности покрытия сплавом олово-висмут.

Покрyтия сплавами олова нашли широкое применения в этой области из-за их химической устойчивости и высокой способности к пайке. Поскольку современное радиоэлектронное оборудование эксплуатируется в различных климатических условиях, оно подвержено резким перепадам температур, влиянию на него высокой относительной влажности, что приводит к ускорению коррозионных процессов.

Оловянные покрытия характеризуются хорошим сцеплением с основным металлом и эластичностью. Они выдерживают свинчивание, механические удары, деформацию. Блестящие покрытия сплавами олова хорошо паяются и не теряют это свойство в течение длительного времени [1, 6, 7] - до 2 лет.

Блестящие покрытия сплавами олова после длительного хранения сохраняют высокие защитные свойства и декоративный вид [2].

В последние годы, как в нашей стране, так и за рубежом большое распространение находят блестящие покрытия сплавами олова. Они заметно отличаются от таких же по составу, но матовых покрытий.

Блестящие покрытия не нуждаются в окраске, дольше матовых свыше 12-24 месяцев сохраняют способность к пайке с бескислотными

флюсами, более устойчивы к коррозии, менее пористы. Такие покрытия значительно меньше подвержены иглообразованию, а также они более устойчивы к такому явлению как «оловянная чума».

Блестящие покрытия олово-висмут не нуждаются в дополнительном оплавлении, что сокращает затраты производства.

Несмотря на значительные успехи в электроосаждении блестящих покрытий сплавами олова [2-5], данное направление нуждается в постоянном совершенствовании и разработке новых блескообразующих композиций и электролитов.

В нашей работе представлены результаты исследования электроосаждения покрытий сплавом олово-висмут с блескообразующей добавкой SA-317. Реактивы для синтеза добавки SA-317 импортированы из Германии, так как после 90-х годов они не производятся в России с классом чистоты, подходящем для синтеза добавки.

Цель работы - разработка оптимального электролита для электроосаждения блестящих покрытий сплавом олово-висмут с блескообразующей добавкой SA-317 и диспергатором ОС-20Б, содержащих от 0,2-0,6% висмута и получаемых в диапазоне тока от 5 до 10 А/дм<sup>2</sup>. Данные покрытия должны хорошо паяться и сохранять способность к пайке в течение 2-х лет.

**Методика эксперимента**

В исследованиях использован электролит, представленный в таблице 1.

Для приготовления электролита применялся серийный промышленный образец добавки -

**Таблица 1. Состав электролита  
Table 1. Electrolyte composition**

Состав Composition	Концентрация, г/л Concentration, g/l
Олово сернокислое Tin (II) sulfate	40
Висмут азотнокислый Bismuth (III) nitrate	1
Кислота серная Sulfuric acid	100
ОС-20 Б Dispersant OC-20B	25
Формальдегид (37% р-р) Formaldehyde 37%	15
SA-317 Brighteners SA-317	4-8 мл/л



диспергатора ОС-20Б, который производится на ОАО ПО «ТОС».

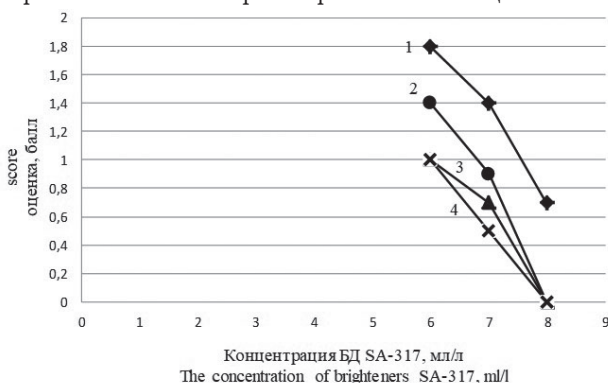
Для выбора оптимальной концентрации блескообразующей добавки электроосаждения проводили при катодной плотности тока  $i_k = 4-10$  А/дм<sup>2</sup>, температуре 18-25°C, время электролиза составило 5 минут. Аноды были изготовлены из олова. Катод - медный, с рабочей поверхностью 10 см<sup>2</sup>.

При помощи фотометра КФК-3-01(ЗОМС) определяли содержание висмута в сплаве.

Для получения зависимости выхода сплава олово-висмут от состава электролита и катодной плотности тока использовался математический метод планирования эксперимента.

В связи с достаточно хорошим описанием зависимостей выхода по току от условий электролиза линейными уравнениями, мы использовали ортогональную матрицу планирования 2<sup>k</sup>. Независимыми переменными являются концентрация олова, висмута и катодная плотность тока. Функцией оптимизации была зависимость выхода сплава по току. Интервалы варьирования независимых переменных выбирали на основании предварительных опытов таким образом, чтобы в рамках всей матрицы осаждались блестящие осадки сплава.

Необходимым условием использования метода линейных уравнений регрессии является монотонный характер зависимости оптимизируемых функций от каждой независимой переменной внутри выбранных интервалов варьирования. Если хотя бы одна из зависимостей независимых переменных от параметра оптимизации носит



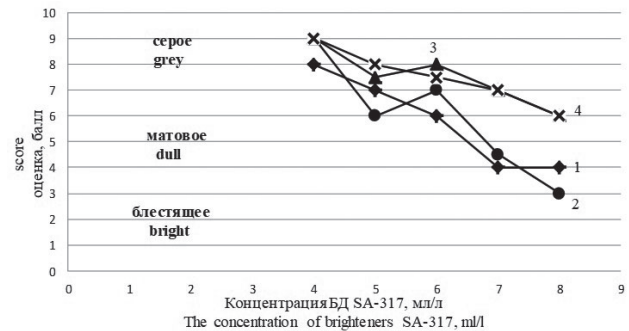
**Рис. 2.** Зависимость качества покрытий от количества введенной блескообразующей добавки с перемешиванием в сернокислом электролите (Табл. 1) при плотности тока: 1.- 4 А/дм<sup>2</sup>; 2.- 6 А/дм<sup>2</sup>; 3.- 8 А/дм<sup>2</sup>; 4.- 10 А/дм<sup>2</sup>

**Fig. 2.** The dependence of the coating quality on the amount of the brightener with mixing in the sulfuric acid electrolyte (Table 1) at current density:

1.- 4 A/dm<sup>2</sup>; 2.- 6 A/dm<sup>2</sup>; 3.- 8 A/dm<sup>2</sup>; 4.- 10 A/dm<sup>2</sup>

экстремальный характер, то в результате обработки экспериментальных данных уравнения регрессии не будут адекватно отражать зависимость функций оптимизаций от варьируемых параметров электролиза.

**Поляризационные измерения.** Поляризационные кривые снимали в потенциодинамическом режиме с помощью потенциостата Р-8S (ЭЛЛИНС, Россия). В качестве вспомогательно-



**Рис. 1.** Зависимость качества покрытий от количества введенной блескообразующей добавки без перемешивания в сернокислом электролите (табл. 1) при плотности тока: 1.- 4 А/дм<sup>2</sup>; 2.- 6 А/дм<sup>2</sup>; 3.- 8 А/дм<sup>2</sup>; 4.- 10 А/дм<sup>2</sup>

**Fig. 1.** The dependence of coating quality on the amount of the brightener without agitation in the sulfuric acid electrolyte (Table 1) at current density:

1.- 4 A/dm<sup>2</sup>; 2.- 6 A/dm<sup>2</sup>; 3.- 8 A/dm<sup>2</sup>; 4.- 10 A/dm<sup>2</sup>

го электрода использовался оловянный электрод, электродом сравнения служил насыщенный хлор-серебряный электрод. Рабочим электродом служили образцы из меди площадью 0,01 дм<sup>2</sup>. Перед началом измерений катод покрывали слоем сплава олово-висмут толщиной 10 мкм. При построении графиков значения потенциала выражали относительно нормального водородного электрода. Скорость развертки составляла 2 мВ/с.

### Результаты экспериментов и их обсуждение

Задачей исследований, в конечном счете, была разработка сернокислого электролита для осаждения блестящих покрытий сплавом олово-висмут, обладающих хорошей паяемостью. С целью получения блестящих покрытий сплавом олово-висмут была синтезирована блескообразующая добавка SA-317.

Для получения равномерного блестящего покрытия по всей площади образца концентрацию БД SA-317 в электролите варьировали от 4 до 8 мл/л с интервалом 1 мл/л.

Результаты исследования влияния блескообразующей добавки SA-317 на качество покрытий при различных плотностях тока приведены на рисунке 1.

Далее были проведены исследования с перемешиванием при таких же плотностях тока и концентрациях блескообразующей добавки.

Результаты исследований БД SA-317 приведены на рисунке 2.

Из полученных результатов можно сделать вывод, что при перемешивании были получены

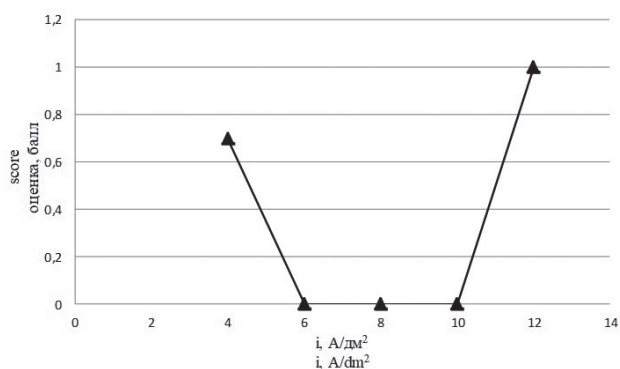


Рис. 3. Зависимость качества покрытия от катодной плотности тока (Табл. 1)

Fig. 3. The dependence of the quality of the coating on the cathodic current density (Table 1)

блестящие и ровные покрытия.

Из рисунка 2 видно, что оптимальная концентрация блескообразующей добавки SA-317 при различных плотностях тока составляет 8 мл/л.

Также были проведены исследования по влиянию катодной плотности тока на качество осаждаемых покрытий из электролита с БД SA-317 с концентрацией 8 мл/л. Результаты исследований приведены на рисунке 3.

Исследования проводили с перемешиванием, при  $t = 20$  °С,  $i_k = 2-14$  А/дм<sup>2</sup>, время электролиза составило 5 минут.

Из графика можно сделать вывод, что блестящие покрытия получают при плотностях тока от 4 до 10 А/дм<sup>2</sup>. При дальнейшем повышении плотности тока качество покрытия ухудшается. Следовательно, оптимальная катодная плотность тока для данного электролита составляет от 5 до 10 А/дм<sup>2</sup>.

Исследования содержания висмута в осадке сплава олово-висмут. По результатам анализа осадка сплава олово-висмут были получены данные по содержанию висмута в сплаве. Зависимость содержания висмута в сплаве олово-вис-

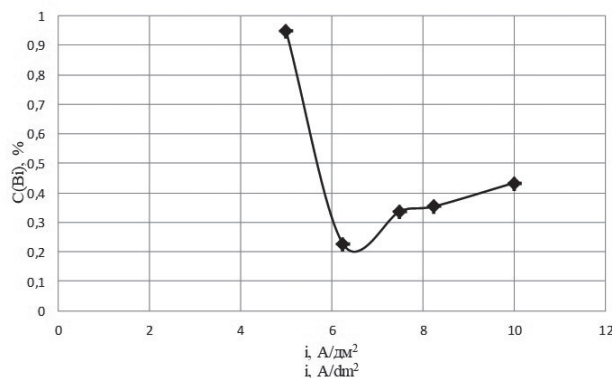


Рис. 4. Зависимость содержания висмута в осадке олово-висмут от плотности тока в оптимальном электролите  
Fig. 4. The dependence of Bismuth content in the Tin-Bismuth alloy on the current density in the optimal electrolyte

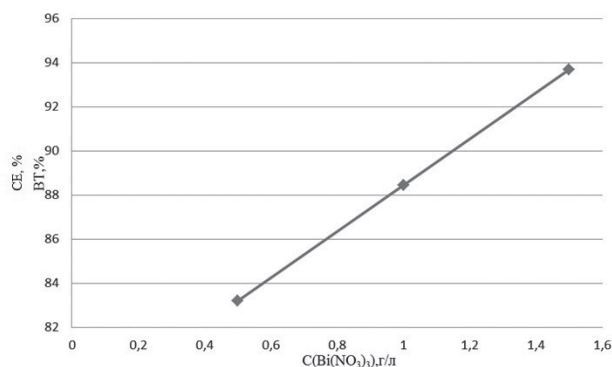


Рис. 5. Зависимость ВТ сплава олово – висмут от концентрации висмута в исследуемом электролите  
Fig. 5. The dependence of current efficiency of Tin – Bismuth alloy on the concentration of Bismuth

мут, который получили из оптимального электролита при различных плотностях тока, показана на рисунке 4.

Полученное покрытие было проверено на паяемость с бескислотными флюсами. Паяемость хорошая и соответствует ОСТ 223 МРП.

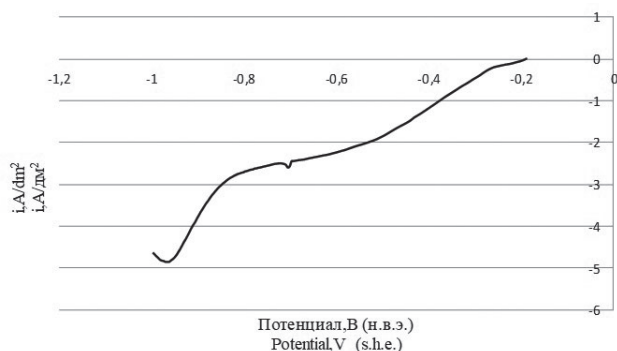
Для электролита с БД SA-317 содержание висмута варьируется от 0,5 до 1,5 г/л, соли олова от 20 до 60 г/л, катодная плотность тока от 5 до 10 А/дм<sup>2</sup>.

На основании экспериментальных данных о зависимости выхода сплава по току от концентрации олова и висмута в электролите и катодной плотности тока получили коэффициенты безразмерного уравнения регрессии (1):

$$Y = 88.55875 \cdot x_0 + 5.118752 \cdot x_3, \quad (1)$$

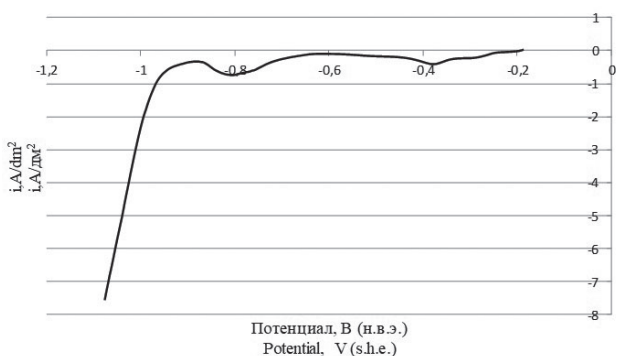
Далее было получено натуральное уравнение для выхода сплава по току (2):

$$ВТ, \% = 78.32125 + 10.2375 \cdot CВi, \quad (2)$$



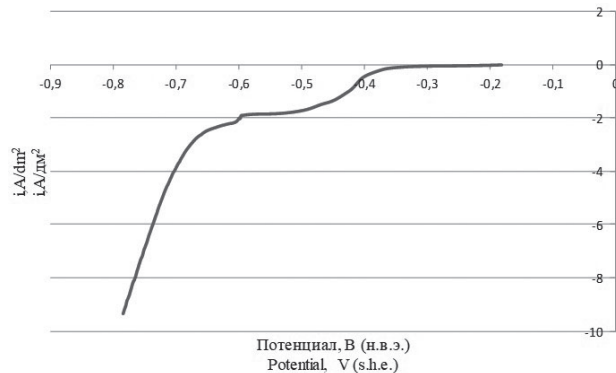
**Рис. 6.** Зависимость катодной плотности тока от потенциала в электролите, содержащий соли олова и висмута с диспергатором ОС-20Б (соли и минеральные компоненты, как в табл. 1) 25 г/л

**Fig. 6.** The dependence of cathode current density on potential in Tin-Bismuth electrolyte with a dispersant OC-20B (salts and mineral components, like in Table 1) 25 g/l



**Рис. 7.** Зависимость катодной плотности тока от потенциала в электролите без формалина (Соли и минеральные компоненты, как в табл. 1) 25 г/л + SA-317 8 мл/л

**Fig.7.** The dependence of cathode current density on potential in electrolyte without formalin (Salts and mineral components, like in Table 1) 25 g/l OC-20B + SA-317 8 ml/l



**Рис. 8.** Зависимость катодной плотности тока от потенциала в электролите с концентрацией формалина 15 г/л в оптимальном электролите

**Fig. 8.** The dependence of cathode current density on potential in electrolyte with formalin concentration of 15 g/l in optimal electrolyte

На основании полученного натурального уравнения регрессии был построен график зависимости выхода по току от концентрации висмута в электролите (рис.5).

Далее были проведены поляризационные исследования.

Из кривой на рисунке 6 видно, что диспергатор незначительно тормозит катодный процесс. При введении в этот электролит блескообразующей добавки SA-317, катодный процесс сильно ингибируется (рис. 7), в оптимальном электролите, из которого получают блестящие осадки, формалин деполаризует катодный процесс (рис. 8).

На основе полученных результатов можно сделать вывод, что оптимальным, с точки зрения качества и свойств покрытий является электролит, приведенный в таблице 2.

Таблица 1. Состав оптимального электролита  
Table 2. The optimal composition of the electrolyte

Состав/Composition	Концентрация, г/л / Concentration, g/l
Олово сернокислое Tin (II) sulfate	40
Висмут азотнокислый Bismuth (III) nitrate	1
Кислота серная Sulfuric acid	100
ОС-20 марки Б Dispersant OC-20B	25
SA-317 Brighteners SA-317	8
Формальдегид (37% р-р) Formaldehyde 37%	15

Режим электролиза: катодная плотность тока  $i_k = 5 - 10$  А/дм<sup>2</sup>, температура от 20 до 25 °С. Аноды – оловянные. Отношение площади анода к площади катода:  $S_a : S_k = 2 : 1$ . Чехлы для анодов из полипропиленовой ткани.

### **Выводы**

Из результатов данной работы следует, что данный электролит является оптимальным для осаждения блестящих покрытий сплавов олово-висмут с блескообразующей добавкой SA-317 и диспергатором ОС-20Б. Он позволяет получать качественные блестящие покрытия в диапазоне плотности тока от 5 до 10 А/дм<sup>2</sup>. Данные покрытия обладают хорошей паяемостью.

*Работа выполнена в РХТУ им. Д. И. Менделеева, Москва, Россия.*

### **Литература**

1. Мельников П.С. Справочник по гальванопокрытиям в машиностроении. М.: Машиностроение, 1979. – 296 с.
2. Дасоян М.А., Пальмская И.Я., Сахарова Е.В. Технология электрохимических покрытий. Л.: Машиностроение, 1989. – 391 с.
3. Попов А.Н., Тютютина К.М., Вальдес А.П., Шапкин Н.И. // Интенсификация электрохимических процессов. Тр. МХТИ им. Д. И. Менделеева. 1984. Вып.131. с.78
4. Гальванотехника. Справочник под ред. А.А. Гинберга, А. Ф. Иванова, Л.А. Кравченко. М.: Металлургия, 1987. –735 с.
5. Попов А.Н. Логические исследования блескообразующих композиций// Защита металлов. №5, 1993, Т. 29, с.773-781.
6. Гребенчиков Р.В., Колесников В.А., Угрюмова Е.С. Исследование электроосаждения блестящих покрытий сплавом олово-висмут для процессов производства печатных плат по субтрактивной технологии // Гальванотехника и обработка поверхности, Том XXV, №1, 2017, стр. 55-59.
7. Попов А.Н., Асеева А.В. Разработка электролитов для производства компонентов в микроэлектронике //Химическая технология, № 6, 2013, стр. 324 – 330.

### **References**

1. Melnikov P. S. Handbook of electroplating in mechanical engineering. M.: Mechanical Engineering, 1979. 296 p.

2. Dalian M. A., Palma I. Ya., Sakharova E. V. Technology of electrochemical coatings. - L.: Mechanical Engineering, 1989. 391 p.
3. Popov, Tyutina K. M., Valdes, A. P., Shapkin N. And. /Intensification of electrochemical processes. Tr. Mchti them. D. I. Mendeleev. 1984. V. 131. P. 78.
4. Electroplating. Handbook ed. by A. A. Grinberg, A. F. Ivanov, L. A. Kravchenko. M.: Metallurgy, 1987. -735 p.
5. Popov A. N. Logical investigations of brightening compositions // Zashita Metallov №5, 1993, V. 29, P.773-781.
6. Grebenchikov R.V., Popov A. N., Kolesnikov V.A., Uryumova E.S. Study of electrodeposition of Bright Tin - Bismuth coatings for production of Printed Wire Borders under Subtractive technology // Electroplating & Surface Treatment, V. XXV, №1, 2017, P. 55-59.
7. Popov A. N., Aseeva A. V. Elaboration of electrolytes for microelectronics //Chemical Technology, № 6, 2013, P. 324 – 330

### **Сведения об авторах**

**Юдин Антон Сергеевич** - магистрант, кафедра Технология неорганических веществ и электрохимических процессов, Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, 125480, Москва, ул. Героев Панфиловцев, д.20; e-mail: anton.yudin3@mail.ru; тел.89160863834

**Попов Андрей Николаевич** - доктор химических наук, профессор, e-mail: popov@rusobr.ru; тел.:89039681049; факс: 74954952157, доб. 5102.

**Колесников Владимир Александрович** - доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой.

### **Information about the authors**

**Yudin Anton Sergeevich** - Undergraduate, Dept. of Inorganic & Electrochem. Technol., Mendeleev Univetrs, 125480 Moscow, Heroev Panfilovtsev St., 20; e-mail:anton.yudin3@mail.ru; tel.89160863834

**Popov Andrey Nikolaevich** - Dr. Sci., Prof., e-mail: popov@rusobr.ru ; tel: 89039681049; fax: 84954952157

**Kolesnikov Vladimir Aleksandrovich** - Dr. Tech., Prof., Head of Dept.

УДК. 544.6;621.793; 628.34

**Влияние природы ПАВ и флокулянта  
на электрофлотационный процесс извлечения смеси  
гидроксидов цветных металлов из сточных вод  
гальванохимических производств**

**Хейн Т.А., Колесников В.А.**

Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, 125047,  
Москва, Миусская пл., 9

Ключевые слова: электрофлотация, фильтрация, сточные воды, железо, никель, цинк, кобальт и медь, катионные флокулянт, анионный флокулянт, неионогенные флокулянт.

Изучено влияние природы ПАВ и флокулянта на физико-химические параметры (размер частиц и электрокинетический потенциал) дисперсной фазы гидроксидов цветных металлов при концентрации поверхностно-активных веществ катионной, анионной и неионогенной природы 100 мг/л при pH 10 (Таблица 3, 4 рис. 2). Определена их эффективность при электрофлотационном извлечении гидроксидов цветных металлов.

**The effect of the nature of surfactant and flocculant on the  
electroflotation process of extracting of a mixture  
of non-ferrous metal hydroxides from wastewater  
galvanochemical production**

**Hein T. A., Kolesnikov V. A.**

D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, 125047,  
Miusskya Sq., 9

Keywords: electroflotation, filtration, wastewater, iron, nickel, zinc, cobalt and copper, cationic flocculant, anionic flocculant, nonionic flocculant.

The influence of the nature of surfactants and flocculants on the physico-chemical parameters (particle size and electro-kinetic potential) of the dispersed phase of non-ferrous metal hydroxides has been studied

for a number of surfactants (Table 1). Data on toxic effect of surfactants are given (Table 1). These compounds produce different effect on the separation process made by electroflotation (Table 2). Experimental data for metal hydroxides of Cu, Ni, Zn, Fe, Co are given. Experimental electroflotation unit is shown in Fig.1. Data on surfactants effects are summarized in Table 3. None of surfactants tested produces positive effect of the degree of separation (Fig.2). The only exception is flocculant "Praestol 859" (A), which gives efficiency 97%, while in the absence of surfactants the efficiency was equal to 96% (Table 4). All experiments have been performed at constant pH 10.

### **Введение**

Сточные воды гальванохимического производства содержат большое количество токсичных компонентов:  $Fe^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Co^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Cr^{3+}$ ,  $Al^{3+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Ti^{4+}$ , анионы  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $NO_2^-$ ,  $HPO_4^{2-}$ ,  $PO_4^{3-}$ , а также большое количество различных ПАВ: ОС-20, NaDDS, NaDBS, ALM-10, ПЭО-1500 и другие загрязнения [1, 2, 3]. Разработаны и реализованы различные технологии очистки сточных вод гальванохимических производств, в первую очередь от ионов цветных металлов в составе многокомпонентных систем [4, 5, 6].

К перспективным технологиям извлечения гидроксидов металлов относится электрофлотация с нерастворимыми электродными материалами. Опубликовано большое количество статей, обзоров и монографии [7, 8, 9, 10, 11].

Сложность очистки сточных вод гальванохимического производства связана с тем, что сказывается влияние попадания поверхностно-активных веществ и других органических загрязнений в сточные воды. Анализ показал, что присутствующие органические вещества можно разделить на несколько групп:

#### **Группа 1**

Лиганды для комплексообразования с ионами металлов (Cu, Ni, Zn, Cd);

- Тартрат, ЭДТА, пирофосфат
- Сульфонаты, этаноламин, диэтанолламин, триэтанолламин, органические кислоты и др.

#### **Группа 2**

Поверхностно-активные вещества для обезжиривания, травления в процессах обработки поверхности.

Неионогенные ПАВ: ОП-7, ОП-10, Синтанол, NaDDS, NaDBS.

#### **Группа 3**

Ингибиторы коррозии при обработке поверхности. Cu, Al, стали.

- Бензотриазол, катионные ПАВ.

#### **Группа 4**

Смывки для удаления полимерных композиций, лаков, окраски.

- Растворители: спирты, ацетон, диметилформамид, диэтанолламин.

#### **Группа 5**

Растворы травления (Cu, Sn, Sn-Pb, Al).

- Кислоты: неорганические, органические;
- Органические лиганды;
- Ингибиторы коррозии.

#### **Группа 6**

Добавки для выравнивания при осаждении металлов (Cu, Ni, Zn).

- Спирты, ПАВ, альдегиды, кетоны.

Оценка экологической опасности органических компонентов, выполненная проф., д.т.н. Виноградовым С.С. [1], показывает высокую токсичность применяемых ПАВ, комплексообразователей для некоторых ПАВ и лигандов. Данные представлены в таблице 1.

Наиболее низкие значения ПДК характерны для катапина, синтанола ДС-10.

В работах выполненных ранее [2, 9], показано, что присутствие в сточной воде органических компонентов различной природы оказывает влияние на эффективность процессов разделения твердой фазы и жидкости.

Некоторый обобщающий материал представлен в таблице 2.

Анализ показывает, что для сточных систем вод, содержащих ПАВ, эмульсии, растворители, флотация и электрофлотация имеет преимущество в процессах извлечения взвешенных веществ.

В данной статье опубликованы результаты лабораторных исследований влияния природы ПАВ и флокулянтов на электрофлотационный процесс извлечения гидроксидов Cu, Ni, Zn, Fe, Co в составе многокомпонентных систем.

Влияние ПАВ на электрофлотационное извлечение отдельных гидроксидов Cu, Ni, Zn опубликовано в ряде работ [8,12].

#### **Методика эксперимента**

Исследования проводили на модельных многокомпонентных растворах, содержащих различные поверхностно-активные вещества.

Были использованы катионные флокулянты: PRAESTOL 859, анионные – PRAESTOL 2503; неионогенные – FERROCUYL 8737, PRAESTOL 2500. А также катионные ПАВ: ХЭВ; анионные –

Таблица 1. Экологическая опасность органических компонентов в электролитах  
Table 1. Environmental hazard of organic components in the electrolytes

Компонент (процесс) Component (process)	ПДК рыбохозяйственных водоемов, мг/л Limited concentration for natural water with fish (LC)	Экологическая опасность $C_0$ /ПДК Environment Hazard, $C_0$ /LC
Этилендиамин (меднение) Ethylen diamin (copper plating)	0,001	$(70-30) \cdot 10^6$
Катапин (травление сталей) Catapin (steel pickling)	0,0007	$10 \cdot 10^6$
ПЭИ (цинкование) PEI (zinc plating)	0,001	$3 \cdot 10^6$
ОС-20 (цинкование, обезжиривание) OS-20 (zinc plating, alkaline cleaning)	0,01	$0,5 \cdot 10^6$
Диспергатор НФ (цинкование) Dispergator NF (zinc plating)	0,25	$0,4 \cdot 10^6$
Синтанол ДС-10 (обезжиривание) Sintanol DS-10 (alkaline cleaning)	0,0005	$20 \cdot 10^6$
Пенוגаситель КЭ-10-12 (обезжиривание) Foam suppressor KE10-12 (alkaline cleaning)	0,001	$2 \cdot 10^2$
Синтамид-5 (обезжиривание) Sintsmid-5 (alkaline cleaning)	0,1	$8 \cdot 10^4$
Сульфанола НП-3 (обезжиривание) Sulfanol NP-3 (alkaline cleaning)	0,1	$6 \cdot 10^4$
Сульфанола НП-5 (обезжиривание) Sulfanol NP-5 (alkaline cleaning)	0,1	$6 \cdot 10^4$
Сульфирола-8 (обезжиривание) Sulfanol-8 (alkaline cleaning)	0,1	$3 \cdot 10^4$
ОП-7 (обезжиривание) OP-7 (alkaline cleaning)	0,3	$1,7 \cdot 10^4$

NaDDSI; неионогенные - синтанол АЛМ-10 и препарат ОС-20.

В качестве катионных были использованы алкилбензилдиметиламмоний хлорид (Катапав), алкилдиметил (2-гидроксиэтил) аммоний хлорид (Катинол), дидецилдиметиламмоний хлорид (септапав), представляющие собой соли аминов с различными органическими радикалами.

В качестве анионных ПАВ были изучены додецилбензолсульфонат натрия (NaDBS, Сульфанола,  $C_n H_{2n} + 1 C_6 H_4 SO_3 Na$ , где  $n=12$ ) и алкилбензолсульфонат натрия (А-40) применяемые как основы композиций для очистки поверхности металлов, промывки бумагоделательных машин, пенообразующие агенты для домашнего хозяйства, первичный эмульгатор при эмульсионной полимеризации, смачиватели при подготовке поверхности металлов под лакокрасочное покрытие; для улучшения качества наносимых на готовые изделия гальванических покрытий; в радиотехни-

ческой промышленности, машиностроении - для очистки деталей и изделий.

В качестве неионогенных ПАВ, исследуемых в работе, применялись моноалкиловые эфиры полиэтиленгликоля с различными количествами оксиэтилированных групп, применяемые как активная основа синтетических моющих средств, эмульгаторы, смачиватели, и для обезжиривания металлических поверхностей, такие как: полиэтиленоксид ( $H[OCH_2CH_2]_n OH$ , ПЭО-1500), синтанол АЛМ-10 ( $C_n H_{2n} + 1 O(C_2 H_4 O)_m H$ , где  $n=10 \div 14$ ;  $m=8 \div 10$ ) и препарат ОС-20 ( $C_{18} H_{37} O(C_2 H_4)_2 OH$ ).

Анализ раствора на содержание в нем ионов меди, никеля, цинка, железа и кобальта проводили атомно-абсорбционным методом. Для полного растворения гидроксидов, после отбора пробы в мерную колбу добавляли несколько миллилитров  $HNO_3$ .

Схема лабораторной электрофлотационной установки представлена на рисунке 1. Дополни-

Таблица 2. Эффективность процессов разделения твёрдая фаза/жидкость  
в присутствии органических компонентов  
Table 2. Efficiency of separation processes of solid phase from liquid phase  
in the presence of organic components

Стадии разделения твёрдая фаза/жидкость Separation stages for solid/liquid phases	ПАВ Surfactants	Эмульсия Emulsion	Растворитель Solvent	Полимерный электролит (флокулянт) Polymer electrolyte (floculant)
Седиментация Sedimentation	Снижает Reduces	Снижает Reduces	Не влияет Does not effect	Повышает Is increases
Микрофльтрация Microfiltration	Снижает Reduces	Снижает Reduces	Затрудняет Supressing	Снижает Is reduces
Флотация Flotation	Повышает Increases	Повышает Increases	Не влияет No effect	Повышает Is increases
Электрофлотация Electro flotation	Повышает Increases	Повышает Increases	Не влияет No effect	Повышает Is increases

тельную фильтрацию проб осуществляли с помощью фильтровальной бумаги.

Концентрацию меди и цинка определяли по стандартной методике на приборе КВАНТ-АФА методом атомно-абсорбционной спектрометрии. Измерения выполнены на оборудовании Центра Коллективного Пользования имени Д.И. Менделеева.

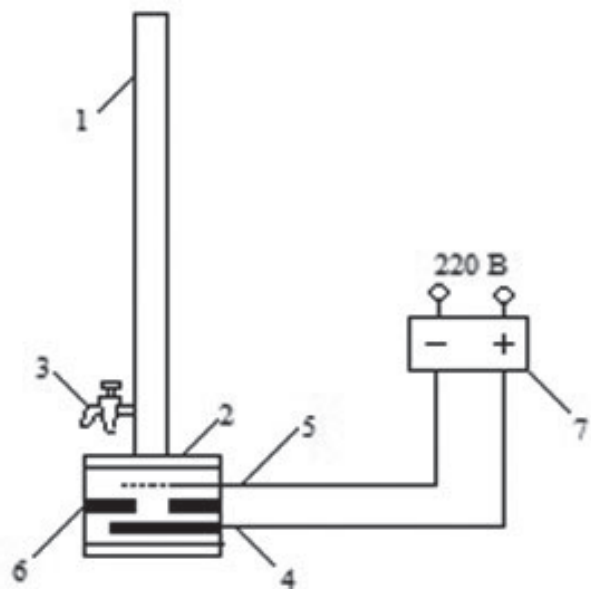


Рис. 1. Схема лабораторной установки по исследованию процессов электрофлотации:

1. - колонна электрофлотатора; 2. - электродный блок;
3. - вентиль; 4. - анод; 5. - катод; 6. - резиновая прокладка;
7. - источник постоянного тока

Fig. 1. Scheme of the laboratory installation for the study of electroflotation processes: 1. – electroflotator column; 2. – electrodes; 3. – valve; 4. – anode; 5. – cathode; 6. – rubber washer; 7. – d.c. current supply

Весьма актуальной задачей с точки зрения экологии является обезвреживание стоков, содержащих ионы тяжёлых металлов (ИТМ) [2].

Для извлечения примесей из водного раствора использовали непроточный электрофлотатор с нерастворимыми анодами. Анод, изготовленный из титановой пластинки с пленочным покрытием из оксидов кобальта и рутения (ОРТА), находится под катодом, который представляет собой сетку из нержавеющей стали с размером ячеек 0,5×0,4 мм и толщиной проволоки 0,3 мм. Лабораторный аппарат (с объемом раствора 0,5 дм<sup>3</sup> и высотой 800 мм) изготовлен из стекла, площадь поперечного сечения 10,2 см<sup>2</sup>, что соответствует рабочей поверхности анода. С помощью источника постоянного тока НУ-3005 осуществляли контроль напряжения и питание электрофлотатора (рис. 1).

Содержание органических компонентов определяли бихроматным методом по Лейте и оценивали в единицах химического потребления кислорода (ХПК). [19] Анализ на содержание ионов металлов ( $C_{исх}$  и  $C_{ост}$ ) проводили на атомно-адсорбционном спектрофотометре марки «КВАНТ – АФА».

Основным параметром, определяющим эффективность ЭФ процесса? является степень извлечения  $\alpha$  дисперсной фазы:

$$\alpha_{ЭФ} = \frac{C_{исх} - C_{ост}}{C_{исх}} \cdot 100 \%,$$

где  $C_{исх}$ ,  $C_{ост}$  – соответственно исходная и остаточная концентрация дисперсной фазы в водной среде, г/м<sup>3</sup> (мг/л).



**Размер и заряд частиц  
дисперсной фазы**

Определение дисперсного состава ( $\varnothing$ , мкм) и измерения электрокинетического  $\zeta$ -потенциала (мВ) проводились с помощью лазерного анализатора характеристик частиц субмикронного и нано-диапазона методом МЗ-PALS (Phase Analysis Light Scattering). Измерения выполнены на оборудовании Центра коллективного пользования имени Д. И. Менделеева.

**Результаты экспериментов  
и их обсуждение**

Исследование влияния природы ПАВ и флокулянта на электрофлотационное извлечение гидроксидов цветных металлов многокомпонентного раствора выполнено при оптимальном значении pH 10 электрофлотационного процесса при концентрации поверхностно-активных веществ 100 мг/л. В таблице представлены экспериментальные результаты, полученные в лаборатории «Новые электрохимические технологии и материалы», показывающие влияние  $\alpha$  на эффективность электрофлотационного извлечения гидроксидов цветных металлов многокомпонентного

раствора при pH=10 и времени электрофлотации 5, 10 и 30 минут.

В связи с тем что оценка степени извлечения по каждому металлу в определённых условиях различается, наиболее точная оценка может быть дана по суммарному извлечению ИТМ в таблице В.В  $\Sigma\text{Me}(\text{OH})_2$ , тем более что ПДК по ионам Fe, Ni, Zn, Co, Cu, находится на уровне 0,01-0,1 мг/л [4].

Анализ показал, что наиболее положительное влияние оказывают флокулянты, катионы PRAESTOL 859 (К) и PRAESTOL 2503 (А). Сильное подавление процесса электрофлотации происходит в присутствии неионогенных ПАВ ALM-10 (Н) и ПРЕПАРАТА ОС-205 (Н). Представленные в таблице данные характеризуют поведение системы в начальном периоде электрофлотации (время 5 мин).

Анализ процесса электрофлотации в течение 10 минут обработки воды (начальное время пребывания в промышленном аппарате) представлено на диаграмме (рис. 2).

Анализ показывает, что степень извлечения достигает 90-94%, если не используется неионогенные ПАВ и флокулянты.

В таблице 2 представлены данные для времени электрофлотационной обработки 30 минут и

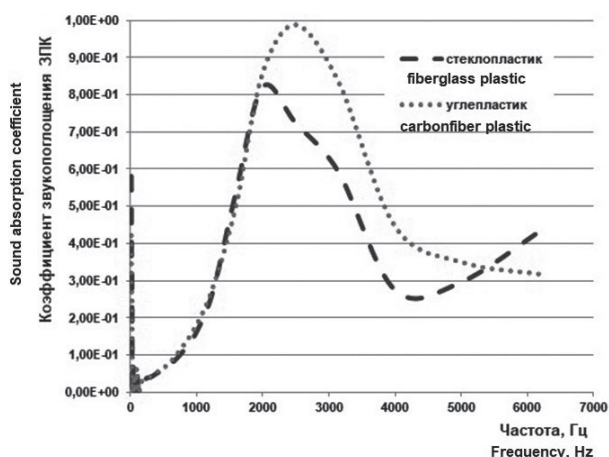
Таблица 3. Влияние ПАВ и флокулянта на степень электрофлотационного извлечения гидроксидов цветных металлов в многокомпонентном растворе при pH 10 и  $\tau = 5$

Table 3. Effect of surfactant and flocculant on the degree of electroflotation extraction of non-ferrous metal hydroxides of multicomponent solution at pH 10 and  $\tau = 5$

Система System	$\alpha$ %,					
	Fe	Ni	Zn	Co	Cu	В.В $\Sigma\text{Me}(\text{OH})_2$
Без Добавок Without additives	63	84	80	87	82	83
Флокулянт и ПАВ floculant and additives	85	92	88	92	81	83
Флокулянт/Flocculant PRAESTOL 859 (К)	80	91	91	92	89	89
(ПАВ) ХЭВ (К)	20	21	20	23	20	21
Флокулянт/flocculant PRAESTOL 2503 (А)	75	90	87	91	89	86
(ПАВ) NaDDS II (А)	81	91	87	90	68	84
Флокулянт/flocculant FERROCUYL 8737 (Н)	72	93	91	94	88	88
Флокулянт/flocculant PRAESTOL 2500 (Н)	47	58	75	61	65	61
(ПАВ) ALM-10 (Н)	8	6	5	6	5	6
(ПАВ) ПРЕПАРАТ ОС-205 (Н)	4	4	7	7	5	5

Условия Эксперимента:  $\text{Fe}^{+2}$ ,  $\text{Ni}^{+2}$ ,  $\text{Zn}^{+2}$ ,  $\text{Co}^{+2}$ ,  $\text{Cu}^{+2}$  20 мг/л,  $\Sigma\text{Me}$  100 мг/л;  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  1 г/л; pH 10;  $i_v = 0.4$  А/л;  $C_{\text{орг. колп.}} = 5$  мг/л.

Experiments conditions:  $\text{Fe}^{+2}$ ,  $\text{Ni}^{+2}$ ,  $\text{Zn}^{+2}$ ,  $\text{Co}^{+2}$ ,  $\text{Cu}^{+2}$  20 mg/l,  $\Sigma\text{Me}$  100 mg/l;  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  1 g/l; pH 10;  $i_v = 0.4$  A/l;  $C_{\text{орг. колп.}} = 5$  mg/l.



**Рис. 2.** Степень извлечения гидроксидов цветных металлов многокомпонентного раствора,  $\tau = 5$ , Условия Эксперимента:  $\text{Fe}^{+2}$ ,  $\text{Ni}^{+2}$ ,  $\text{Zn}^{+2}$ ,  $\text{Co}^{+2}$ ,  $\text{Cu}^{+2}$  20 мг/л,  $\Sigma\text{Me}$  100 мг/л;  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  1 г/л; pH = 10; iv = 0.4 А/л

**Fig 2.** Degree of recovery of nonferrous metals hydroxides from multicomponent solution,  $\tau = 5$  min, the conditions of the Experiment:  $\text{Fe}^{+2}$ ,  $\text{Ni}^{+2}$ ,  $\text{Zn}^{+2}$ ,  $\text{Co}^{+2}$ ,  $\text{Cu}^{+2}$  20 mg/l,  $\Sigma\text{Me}$  100 mg/l;  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  with 1 g/l; pH = 10; iv = 0.4 A/l

последующей дополнительной фильтрации. Анализ этих данных показал, что все присутствующие ИТМ извлекаются в оптимальных условиях на 96–97% (в электрофлотации за 10 минут на 92–94%). Сложности возникают при попадании ПАВ и

флокулянтов неионогенной природы: ПРЕПАРАТ ОС-205 (Н), ALM-10 (Н), PRAESTOL 2500 (Н).

Приведённые исследования по изучению влияния органических лигандов [11]: тартрата, ЭДТА, пирофосфата, триэтанолamina на электрофлотационное извлечение Cu, Zn, Ni показывают, что процессы седиментации, флотации, электрофлотации обеспечивают эффективность 70–80% только при соотношении концентраций МЕ: лиганд > 1,0.

### Заклучение

В настоящей работе изучено влияние природы ПАВ и флокулянта на электрофлотационный процесс извлечения гидроксидов цветных металлов.

Отмечено положительное влияние анионных и катионных флокулянтов и ПАВ вследствие их адсорбции на поверхности гидроксидов, увеличения размера флотируемых частиц, что ведет к повышению эффективности электрофлотационного процесса.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках Соглашения о предоставлении субсидии №14.574.21.0169 от 26 сентября 2017 г., уникальный идентификатор работ (проекта) RFMEFI57417X0169.*

Таблица 4. Влияние флокулянта и ПАВ на степень электрофлотационного извлечения цветных металлов из многокомпонентного раствора

Table 4. The effect of flocculants and surfactants on the degree of flotation separation of non-ferrous metals multi-component solution

Система System	$\alpha$ %,					
	Fe	Ni	Zn	Co	Cu	В.В $\Sigma\text{Me}(\text{OH})_2$
Без Добавок Without additives	81	99	95	100	98	96
Флокулянт и ПАВ Flocculant and additives	96	99	96	99	88	96
Флокулянт/flocculant PRAESTOL 859 (A)	89	99	97	99	99	97
(ПАВ) ХЭВ (К)	69	99	98	99	90	91
Флокулянт/flocculant PRAESTOL 2503 (A)	87	99	92	99	98	95
(ПАВ) NaDDS II (A)	72	85	81	84	65	77
Флокулянт/flocculant FERROCUYL 8737 (H)	74	99	95	99	93	92
Флокулянт/flocculant PRAESTOL 2500 (H)	36	63	78	64	69	62
(ПАВ) ALM-10 (H)	88	99	94	100	50	86
(ПАВ) ПРЕПАРАТ ОС-205 (H)	78	97	86	91	61	83

**Литература**

1. Виноградов С.С. Организация гальванического производства. Оборудование, расчёт производства, нормирование. /Под редакцией проф. В.Н. Кудрявцева. – Изд. 2-е, пере раб. и доп.; "Глобус". М., 2005. – 240 с.
2. Колесников А.В., Гайдук В.А., Колесников В.А. Роль поверхностно-активных веществ в интенсификации и повышении эффективности электрофлотационного процесса извлечения трудно растворимых соединений лантана. Теоретические основы химической технологии. – 2016. – Т. 50, № 2. – С. 147-152
3. Харламова Т.А., Колесников А.В., Бродский В.А., Кондратьева Е.С. Перспективные электрохимические процессы в технология очистки сточных вод // Гальванотехника и обработка поверхности. – 2013. – Т. 21, № 1. – С 54.
4. Колесников А.В., Кузнецов В.В., Колесников В.А., Капустин Ю.И. Роль поверхностно-активных веществ в электрофлотационном процессе извлечения гидроксидов и фосфатов меди, никеля и цинка // Теоретическое основы хим. технологии. – 2015. – Т. 49, № 1. – С 3.
5. Мембраны и мембранные технологии / коллектив авторов. Отв. Редактор А.Б. Ярославцев. – М.: Научный мир, 2013. – 612 с.: ил.
6. Колесников В.А., Ильин В.И., Капустин Ю.И., Варакин С.О., Кисиленко П.Н., Кокарев Г.А. Электрофлотационная технология очистки сточных вод промышленных предприятий. – М.: Химия. 2007. – 175 с.
7. Бродский В. А., Колесников В.А., Ильин В.И. Подходы к интенсификации электрофлотационного процесса извлечения труднорастворимых соединений Ni из сточных вод гальванических производств. Гальванотехника и обработка поверхности. – 2010. – Т. 18, № 3. – С 41.
8. Колесников В. А., Ильин В. И., Бродский В. А., Колесников А. В. Электрофлотация в процессах водоочистки и извлечения ценных компонентов из жидких техногенных отходов (Обзор, часть I) // Теоретические основы химической технологии. – издательство Наука (М). – 2017. –Т 51, № 4. – С 361.
9. Колесников В. А., Меньшутина Н. В., Десятков А. В. Оборудование, технология и проектирование систем очистки сточных вод. – М.: ДеЛи плюс, 2016. – 289 с.
10. Chen X.M., Chen G.H., Yue P.L. Novel electrode system for electroflotation of wastewater. Environmental Science and Technology. – 2002. – Vol. 36, № 4. – P. 778-778.
11. Колесников А.В., Воробьева О.И., Капустин Ю.И. Исследование извлечения тяжелых ме-

таллов в присутствии эмульсий масла, дизельного топлива и ПАВ Химическая промышленность сегодня. 2009. Т. 17. № 4. С.31.

12. Kotti M., Ksentini I., Ben Mansour L. Bubble hydrodynamic influence on oxygen transfer rate at presence of cationic and anionic surfactants in electroflotation process // Journal of Hydrodynamics. 2013. №25 (5). P. 747.

13. Kotti M., Ksentini I., Ben Mansour L. Impact of hydrodynamic regime on the capacity of oxygen transfer in a stirred electroflotation column // Desalination and Water Treatment. 2014. № 52 (7 – 9). P. 1693.

**References**

1. Vinogradov S.S. Organization of plating shop. Ed. Kudryavtsev V.N. 2nd ed., M., "Gloбус", 2005. – 240 с.
2. Kolesnikov A.V., Gaidukov V.A., Kolesnikov V.A. Role of surfactants in intensifying and increasing efficiency of recovery of sparingly-soluble lantan compound. // Theoretical Foundation of Chemical Technology, 2016. – V. 50, № 2. – P. 147-152
3. Kharlamova T.A., Kolesnikov A.V., Brodski V.A., Kondratyeva E.S. Promising electrochemical processes in the waste treatment. //Galvanotekhnika i obrabotka poverkhnosti. – 2013. – V. 21, № 1. – P 54.
4. Kolesnikov A.V., Kuznetsov V.V., Kolesnikov V.A., Kapustin Yu.I. Role of surfactants in the electroflotation process used for the recovery of copper, nickel and zinc hydroxides and phosphates. //Theoretical Foundation of Chemical Technology. – 2015. – V. 49, № 1. – P. 3.
5. Membranes and membrane technology. Ed. A.V.Yaroslavtsev, M.: Sci.World., – 612 с.
6. Kolesnikov V.A., Il'in V.I., Kapustin Yu.I., Varaksin S.O., Kisilenko P.N., Kokarev G.A. Purification industrial waste water using electroflotation. M.: Khimya. 2007. – 175 p.
7. Brodski V.A., Kolesnikov V.A., Il'in I.I. Possible ways for the intensification of recovery of sparingly soluble nickel compounds by electroflotation. //Galvanotekhnika i obrabotka poverkhnosti, 2010. – V. 18, № 3. – P. 41.
8. Kolesnikov V.A., Il'in V.I., Brodski V.A. // Theoretical Foundation of Chemical Technology. Nauka, M. – 2017. –V. 51, № 4. – P. 361.
9. Kolesnikov V.A., Menshutina N.V., Desyatov A.V. Equipment, technology and designing waste water purification systems. – М.: DeLiplus, 2016. – 289 p.
10. Chen X.M., Chen G.H., Yue P.L. Novel electrode system for electroflotation of wastewater. // Environmental Science and Technology. – 2002. – V. 36, № 4. – P. 778-778.

11. Kolesnikov A.V., Vorobyeva O.I., Kapustin Yu.I. A study of the recovery of heavy metals in the presence of oil emulsions, diesel oil and surfactants. *Khimicheskaya Promyshlennost Segodnya*. - 2009. - V. 17, № 4. - P.31.

12. Kotti M., Ksentini I., Ben Mansour L. Bubble hydrodynamic influence on oxygen transfer rate at presence of cationic and anionic surfactants in electroflotation process // *Journal of Hydrodynamics*. - 2013. V. 25, № 5. - P. 747.

13. Kotti M., Ksentini I., Ben Mansour L. Impact of hydrodynamic regime on the capacity of oxygen transfer in a stirred electroflotation column.// *Desalination and Water Treatment*. - 2014. - V. 52, № 7 - 9. - P. 1693.

#### Сведения об авторах

**Хейн Тху Аунг** - к.т.н., докторант, кафедра технологии неорганических веществ и электрохимических процессов, РХТУ имени Менделеева,

Москва, Миусская пл., 9; моб.: +7-915-332-23-18; E-mail: spiritlay@yandex.ru

**Колесников Владимир Александрович** - д.т.н., профессор, заведующий кафедрой. Тел.:(495) 495-21-57 \*50-25; E-mail: kolesnikov-tnv-i-ep@yandex.ru

#### Information about authors

**Hein Thu Aung**. - Ph. D., doctoral student, Department of technology of inorganic substances and electrochemical processes, Mendeleev University, Moscow, Miusskaya sq., 9; mob.: +7-915-332 - 23-18; E-mail: spiritlay@yandex.ru

**Kolesnikov Vladimir Alexandrovich** - doctor of technical Sciences, Professor, Head of the Department. Tel.: (495) 495-21-57 \*50-25; E-mail:kolesnikov-tnv-i-ep@yandex.ru

## СОВРЕМЕННОЕ ГАЛЬВАНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ



### ООО «ГРАНИТ-М»

Россия, 393462, Тамбовская обл., г. Уварово, ул. Большая Садовая, 29,

Тел./факс в г. Уварово: 8(47558) 4-67-17, 4-68-98, 4-67-15

Тамбовское представительство: 392036 г. Тамбов, ул. Лаврова, д.5 кв.1

Тел./факс в г. Тамбов: 8(4752) 72-97-52

E-mail: oogradit68@granit-m.ru • granit@tamb.ru • bark@granit-m.ru

[www.granit-m.ru](http://www.granit-m.ru)

УДК 628.16.067:661.183.12:669.73

## **Об оптимизации основных параметров процесса электрохимической регенерации хроматного раствора пассивирования кадмиевых покрытий**

**Филатова Е.А.<sup>1</sup>, Тележкина А.В.<sup>1</sup>, Кругликов С.С.<sup>1</sup>,  
Кругликова Е.С.<sup>2</sup>, Ильина К.В.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, 125047, Москва, Миусская площадь, д. 9; skruglikov@mail.ru

<sup>2</sup> Московский политехнический университет, Москва, 107023, Б.Семеновская ул., 38

**Ключевые слова:** электромембранные процессы, очистка от ионов кадмия, кадмирование, регенерация, пассивирование

Измерена скорость извлечения ионов кадмия из хроматного раствора пассивирования с помощью электромембранного метода. Проведена оценка эффективности процесса при различной степени извлечения кадмия и удельного расхода электроэнергии. Показано, что для снижения скорости поступления ионов кадмия в сточные воды участка необходимо первую промывку пассивированных деталей проводить в ванне с непроточной водой (ванне улавливания), оборудованной электромембранной установкой, что позволяет уменьшить вынос ионов кадмия в 100-1000 раз.

## **Optimization of Major Process Parameters in the Electrochemical Regeneration of Chromate Solutions Used for the Passivation of Cadmium-Plated Parts**

**Filatova T.A.<sup>1</sup>, Telezhkina A.V.<sup>1</sup>, Kruglikov S.S.<sup>1</sup>, Kruglikova E.S.<sup>2</sup>, Il'ina K.V.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Mendeleev University of Chemical Technology, 125047, Moscow, Miusskaya Sq., 9

<sup>2</sup> Moscow Polytechnic University, Moscow, 107023, B. Semyenovskaya st, 38.

**Keywords:** electromembrane processes, recovery of cadmium, cadmium [plating, regeneration, passivating.

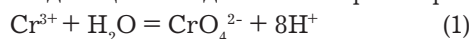
The rates of migration of cadmium ions from the anolyte – chromate-based cadmium passivating solution (the anolyte) to the catholyte – an auxiliary solution containing sulfuric acid have been measured over wide range of concentrations of cadmium ions (Table 1). The rate of metal deposition at the cathode was also measured (Table 2), as well as the concentration changes of trivalent chromium ions in the anolyte (Table 3) caused by their migration into the catholyte and anodic oxidation. Results obtained allow to determine optimum operating conditions which correspond to efficient purification degree and minimum energy consumption.

### Введение

Регенерация хроматных растворов пассивирования оцинкованных деталей с помощью электромембранного метода уже 25 лет используется в промышленности [1-5]. Аналогичный процесс разработан и для кадмиевых покрытий [6-9]. Можно ожидать, что регенерация растворов пассивирования кадмиевых покрытий электромембранным методом скоро станет одним из главных объектов применения электромембранных процессов в гальванических цехах. Традиционный реагентный метод обработки сточных вод чаще всего не в состоянии обеспечить выполнение требований по ПДК для ионов кадмия из-за высокой растворимости гидроксида кадмия и образования устойчивых растворимых комплексов с молекулами аммиака, образующимися при обработке щелочными реагентами сточных вод, содержащих ионы аммония. Поэтому для удаления ионов кадмия из различных растворов разрабатывались безреагентные методы [10-35]. Однако для практического использования представляют интерес только те методы, которые позволяют регенерировать технологические растворы, содержащие соединения кадмия и, таким образом, полностью устраняют необходимость полного или частичного сброса таких растворов. Кроме того, благодаря непрерывной регенерации в процессе эксплуатации растворов пассивирования и непрерывному извлечению из них ионов кадмия, снижается их вынос в ванну промывки. Ввиду этого основное внимание в данной работе было уделено процессу извлечения ионов кадмия непосредственно из раствора пассивирования.

При электромембранной регенерации хроматных растворов, применяемых для пассивирования кадмиевых покрытий, в электролизере идут следующие процессы:

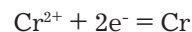
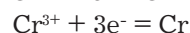
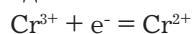
1. Анодное окисление ионов трехвалентного хрома, сопровождающееся подкислением раствора:



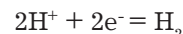
2. Удаление ионов кадмия из регенерируемого раствора-анолита путем миграционного переноса через мембрану или иную проницаемую для ионов перегородку во вспомогательный раствор - католит.

3. Ряд побочных процессов

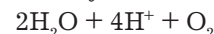
3.1. Неполное и полное восстановление катионов хрома на катоде:



3.2. Разряд ионов водорода на катоде:



3.3. Разряд молекул воды на аноде:



3.4. Миграционный перенос из анолита в католит катионов хрома (3), водорода и катионов щелочных металлов, если последние входят в состав раствора пассивирования.

3.5. Миграционный перенос анионов из католита в анолит через катионообменную мембрану (если в качестве католита используют раствор серной кислоты – то перенос ионов сульфата).

Следует отметить, что на операции пассивирования вынос ионов кадмия вместе с обрабатываемыми деталями происходит только непосредственно из ванны пассивирования и ванн последующей промывки. Поэтому для решения задачи практически полного прекращения поступления ионов кадмия в ванны проточной промывки и из них – в сточные воды цеха необходимо использовать ванну улавливания и эксплуатировать ванну пассивирования в таком режиме, чтобы стационарное значение концентрации ионов кадмия в хроматном растворе находилось на минимальном уровне, а те остаточные количества ионов кадмия, которые будут заноситься в ванну улавливания, практически полностью извлекались из нее. Согласно недавно полученным данным применение ванны улавливания с установленным в ней погружным электрохимическим модулем, представляющим собой электромембранную установку, позволяет снизить вынос ионов кадмия в сточные воды участка в 100-1000 раз.

В данной работе проанализированы основные факторы, определяющие величину концентрации ионов кадмия в ванне пассивирования и разработаны рекомендации по комплексу мер, позволяющих максимально снизить их вынос из этой ванны при минимальных энергозатратах..

### Методика экспериментов

Регенерацию раствора пассивирования кадмиевых покрытий проводили в двухкамерном электролизере с катионообменной мембраной МК-40Л. Объемы анодной и катодной камер – по 300 мл. Анодом служила титановая пластинка с площадью поверхности 11см<sup>2</sup>, на которой было сформировано электропроводное покрытие, состоящее из оксидов титана, олова и иридия. На это покрытие был нанесен слой диоксида свинца

толщиной около 15 мкм путем электроосаждения из азотнокислого электролита свинцевания. Методика подготовки анода недавно опубликована [7]. Катодом служила медные пластинки с площадью поверхности 26-48 см<sup>2</sup>.

Для регенерации был выбран раствор пассивирования, широко используемый в промышленности: Na<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 10 г/л, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 10 г/л, HNO<sub>3</sub> 10 г/л. Перед началом экспериментов в этом растворе растворяли порошок кадмия. Катодную камеру заполняли раствором серной кислоты с концентрацией 10 г/л. Электролиз проводили при силе тока 0,5 и 1 А с перерывами, во время которых анолит и католит находились в отдельных емкостях, а анодная и катодная камеры были заполнены водой. Суммарная продолжительность электролиза – 30 часов. Таким образом, во время каждой серии экспериментов через электролит было пропущено около 50 или 100 А·ч/л.

В процессе электролиза периодически контролировали изменение концентрации ионов кадмия и трехвалентного хрома в анолите, а также количество выделившегося на катоде металлического кадмия. Концентрацию ионов кадмия в растворе определяли с помощью титрования раствором ЭДТА с концентрацией 0,005 моль/л в аммиачном буферном растворе pH=10 в присутствии индикатора эриохрома черного Т до перехода окраски раствора из красно-фиолетовой в синюю.

### **Экспериментальные результаты и их обсуждение**

Поскольку кадмий и его соединения обладают высокой токсичностью, целесообразно в максимальной степени ограничить возможность попадания его соединений в сточные воды гальванического цеха. Вынос ионов кадмия из ванны пассивирования определяется в основном двумя параметрами: площадью поверхности обрабатываемых деталей и концентрацией ионов кадмия в рабочем растворе. В свою очередь, скорость накопления ионов кадмия в растворе растёт пропорционально площади обрабатываемой поверхности. При уста-

новившемся режиме работы участка кадмирования стационарная величина концентрации ионов кадмия в растворе пассивирования будет отвечать равенству скоростей его поступления в хроматный раствор и суммы скорости миграционного переноса в католит и скорости выноса на поверхности обработанных деталей. Таким образом, для фиксированного значения производственной программы основным средством регулирования концентрации ионов кадмия в хроматном растворе является скорость их миграционного переноса из анолита в католит. Для расчета этой величины были использованы результаты измерений концентрации ионов кадмия в анолите, представленные в табл. 1.

Рассчитанные на их основе величины удельной скорости миграционного переноса ионов кадмия из анолита в католит составляют около 0,04-0,1 г/Ач для диапазона концентраций ионов кадмия 1-8 г/л и 0,001-0,01 г/Ач для диапазона 0,03-0,5 г/л.

Принимая, что программа участка кадмирования не очень велика – около 1 м<sup>2</sup>/ч и концентрация ионов кадмия в растворе пассивирования находится в диапазоне 1-8 г/л, а количество кадмия, стравливаемого с 1 м<sup>2</sup> поверхности кадмированных деталей, составляет 1 г, находим, что для извлечения такого количества ионов кадмия из раствора пассивирования потребуется постоянный ток порядка 10-20 А. Если принять, что напряжение на электродах – около 4 В, то расход электроэнергии составит 40-80 Вт·ч/ч то есть около 1-2 кВт·ч/сутки при непрерывном режиме работы. При таком режиме работы концентрация ионов кадмия в растворе пассивирования при стабильной производственной программе не будет постепенно увеличиваться, как это обязательно происходит в отсутствие непрерывной регенерации. Соответственно, не будет постепенно увеличиваться и вынос ионов кадмия в ванны последующей промывки. Для вышеуказанного диапазона концентрации 1-8 г/л и программе участка 1 м<sup>2</sup>/ч занос ионов кадмия в первую промывную ванну составит 1-8 г/ч. Присутствие таких количества

**Таблица 1. Изменение концентрации ионов кадмия в анолите в процессе электролиза**  
Table 1. Concentration of cadmium ions in the anolyte in the course of electrolysis

Сила тока, А Current, A	Концентрация ионов кадмия в анолите, г/л Concentration of cadmium ions in the anolyte, g/l	Продолжительность электролиза, час Electrolysis time, hrs					
		0	6	12	18	24	30
0,5		2,072	0,616	0,504	0,35	0,336	0,308
1		8,24	6,49	4,08	3,36	1,62	0,88

Таблица 2. Масса металла, выделившегося на катоде.  
Table 2. Amount of cadmium deposited at the cathode

Продолжительность электролиза, час Electrolysis time, hrs	Масса осажденного на катоде металла, г Mass of the deposited metal, g.	
	Сила тока, А Current, A	
	0,5	1
6	0,28	0,695
12	1,22	0,695
18	1,98	0,695
24	2,214	6,695
30	2,645	8,525

Таблица 2. Масса металла, выделившегося на катоде.  
Table 2. Amount of cadmium deposited at the cathode

Продолжительность электролиза, час Electrolysis time, hrs	Концентрация ионов трехвалентного хрома в анолите, г/л Concentration of trivalent chromium ions in the anolyte, g/l	
	Сила тока, А Current, A	
	0,5	1
0	2,25	2,55
6	0,66	1,83
12	0,54	1,29
18	0,38	0,9
24	0,36	0,39
30	0,33	0,36

ионов кадмия в сточных водах участка крайне нежелательно, поэтому целесообразно перед промывкой в проточной воде ввести в технологический цикл первую промывку в ванне с непроточной водой – ванне улавливания.

Опыт длительной промышленной эксплуатации ванн улавливания на участке кадмирования показывает, что концентрацию ионов кадмия в слабокислой промывной воде удастся стабилизировать на уровне 100-200 мг/л, что означает стократное снижение их выноса в сточные воды участка.

Большая часть ионов кадмия, перешедших через мембрану в католит, разряжается на катоде. В табл. 2 приведены данные, характеризующие скорость этого процесса.

Сопоставление этих данных с данными о переносе ионов кадмия из анолита в католит обнару-

живает определенный дисбаланс, указывающий на совместный разряд на катоде ионов кадмия и хрома и образование на катоде сплава кадмий-хром, поскольку масса металла, выделившегося на катоде, не соответствует количеству ионов кадмия, перешедших из анолит в католит. Анализ катодного осадка подтвердил эти предположения.

В табл. 2 приведены экспериментальные данные о количестве кадмия (или сплава кадмий-хром), выделившегося на катоде.

Экспериментальные данные об изменении концентрации ионов ионов трехвалентного хрома в анолите - растворе пассивирования кадмия приведены в табл.3.

Необходимо подчеркнуть, что изменение концентрации хрома(III) отражает суммарный результат двух процессов: миграционного переноса из анолита в католит и анодного окисления ионов хрома (III) в ионы хромата. Тем не менее,



концентрация ионов кадмия за 30 часов снижалась исключительно за счет переноса почти в 10 раз, в то время как для хрома (III) – менее чем в 8 раз, причем это снижение – суммарный результат переноса в католит и анодного окисления.

В заключение следует рассмотреть возможные пути снижения расхода электроэнергии при проведении рассматриваемого процесса. Для минимизации энергетических затрат целесообразно увеличивать площадь мембраны и электродов. Достижимое при этом снижение плотности тока приведет к снижению напряжения. Кроме того, увеличение площади поверхности анода будет способствовать повышению эффективности процесса анодного окисления ионов трехвалентного хрома и снижению их потерь в результате переноса в католит.

Удельный расход энергии также будет снижаться, если вести процесс обработки деталей в хроматном растворе при значениях pH вблизи верхнего предела рабочего диапазона. В этом случае положительный эффект будет достигаться за счет снижения числа переноса ионов водорода и увеличения чисел переноса других видов ионов – в том числе и ионов кадмия.

### Заключение

Как следует из приведенной выше приближенной оценки расхода электроэнергии, энергозатраты оказываются весьма скромными. Капитальные затраты – один погружной электрохимический модуль (ПЭМ) для ванны пассивирования и еще один для ванны улавливания в комплекте с анодами и источниками питания – около 200000 руб. – также существенно ниже, чем при использовании других методов очистки.

### Литература

- Kruglikov S.S. The Use of Electrochemical Modules (IEMs) in Plating Industry. Proc. NASF SUR/FIN'2006 Conference Milwaukee, USA. 18-21 Sept. 2006, P. 432-435.
- Yurchuk T.Y., Bergmann H., Kruglikov S.S. Verfahren der elektrochemischen Umweltschutztechnik am Beispiel der Regenerierung chromathaltiger Baeder der Galvanotechnik // Chemie-Ingenieur-Technik. 1997. Bd. 69. Nr. 9. S. 43-44
- Bergmann H., Yurchuk T.Y., Kruglikov S.S. Die Elektrochemische Regenerierung von Lösungen zur Passivierung von Zink und Zinklegierungen // Galvanotechnik. 1997. Bd. 88. Nr. 12. S. 3964-3971
- Kruglikov S.S., Kruglikova E.S. Operation of passivation solutions without periodic dumping. Industrial experience. Proceeding, NASF, SUR/FIN'2011, 14-17 June, Rosemont, IL, USA, p.837-844
- Kruglikov S.S., Kolesnikov V.A., Brodski V.A., Gubin A.F., Nekrasova N.E., Kruglikova E.S. // The use of immersed electrochemical modules in plating shops for the regeneration of process solutions and purification of water in reclaim tanks // Galvanotechnik. - 2018. - V. 109, Nr. 2. - S. 246-252.
- Кругликов С.С., Тележкина А.В., Капустин Е.С., Кравченко Д.В. Анодные материалы для электролиза хроматно-нитратных растворов // Гальванотехника и обработка поверхности. 2017. Т. 25. № 3. С. 37-40.
- Некрасова Н.Е., Кругликова Е.С., Тележкина А.В., Капустин Е.С., Кравченко Д.В. Применение анода  $Ti/IrO_2-SnO_2/PbO_2$  в растворе пассивирования кадмия // Гальванотехника и обработка поверхности. — 2017. — Т. 25, № 4. — С. 4-9
- Кругликов С.С., Некрасова Н.Е., Филатова Е.А., Кузнецов В.В., Тележкина А.В., Волков М.А. Модифицированный процесс электрохимической регенерации хроматных растворов пассивирования кадмия // Гальванотехника и обработка поверхности — 2018. — Т. 26, № 3. — С. 41-46.
- Кругликов С.С. Применение электромембранных процессов для стабилизации и регулирования состава растворов в электролизерах // Гальванотехника и обработка поверхности. — 2018. — Т. 26, № 2. — С. 41-47.
- Saljoughi E., Mousavi S.M. Preparation and characterization of novel polysulfone membranes for the removal of cadmium from contaminated water // Sep. Purif. Technol. - 2012. - Vol. 90. - P. 22-30.
- Marder L., Bernardes A.M., Ferreira J.Z. Cadmium electroplating wastewater treatment using a laboratory-scale electro dialysis system // Sep. Purif. Technol.- Vol. 37. - 2004. P.247-255.
- Allioux F.M., Kapruwan P., Milne N., Kong L., Fattacioli J., Chen Y., Dumez L.F. Electro-capture of heavy metal ions with carbon cloth microfluidic devices // Sep. Purif. Technol. - Vol. 194 - 2018. P. 26-32.
- Bulgariu L., Bulgariu D. Selective extraction of Hg(II), Cd(II) and Zn(II) ions from aqueous media by a green chemistry procedure using aqueous two-phase systems // Sep. Purif. Technol. Vol. - 118. -2013.- P. 209-216.
- Landaburu Aguirre J., Pongracz E., Keiski R.L. Separation of cadmium and copper from

phosphorous rich synthetic waters by micellar enhanced ultrafiltration // *Sep. Purif. Technol.* Vol. 81. – 2011. – P. 41-48.

15. Vasudevan S., Lakshmi J. Effects of alternating and direct current in electrocoagulation process on the removal of cadmium from water – a novel approach // *Sep. Purif. Technol.* Vol. 80. – 2011. – P. 643-651.

16. Singh V., Panley S., Singh S.K., Sanghi R. Removal of cadmium from aqueous solutions by adsorption using poly(acrylamide) modified guar gum-silica nanocomposites // *Sep. Purif. Technol.* Vol. 67. – 2009. – P. 251-261.

17. Bhunia P., Chatterjee S., Rudra P., De S. Chelating polyacrylonitrile leads for the removal of lead and cadmium from wastewater // *Sep. Purif. Technol.* Vol. 193. – 2018. – P. 202-213.

18. Cay S., Uyanik A., Ozasik A. Single and binary component adsorption of copper(II) and cadmium(II) from aqueous solutions using teaindustry waste // *Sep. Purif. Technol.* Vol. 38. – 2004. – P.273-280.

19. Zhai Y., Wei X., Zeng G., Zhang D., Chu K. Study of adsorbent derived from sewage sludge for the removal of Cd<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup> in aqueous solutions // *Sep. Purif. Technol.* Vol. 38. – 2004. – P. 191-196.

20. Reddy B.R., Priya D.N., Park K.H. Separation and recovery of cadmium(II), cobalt(II) and nickel(II) from sulfate leach liquors of spent Ni-Cd batteries using phosphorous based extractants // *Sep. Purif. Technol.* Vol. 50. – 2006. – P. 161-166.

21. Abbasn I.A., Al-Amer A.M., Laoui T., Atieh M.A. Heavy metal removal by advanced carbon nanotubes: Critical review of adsorption applications // *Sep. Purif. Technol.* Vol. 157. – 2016. – P. 141-161.

22. Okieimen F.E., Sokbaike C.E., Ebhoaye J.E. Removal of cadmium and copper ions from aqueous solution with cellulose graft copolymers // *Sep. Purif. Technol.* Vol. 44. – 2005. P. 85-89.

23. Shenashen M.A., Elshehi E.A., Sherif A. ElSafy, Khairy M. Visual monitoring and removal of divalent copper, cadmium, and mercury ions from water by using mesoporous cubic Ia3d aluminosilica sensors // *Sep. Purif. Technol.* Vol. 116. – 2013. – P. 73-86.

24. Denisli A., Garipcan. B., Karabakan A., Sai R., Patir S. Metal-complexing ligand methacryloylamidocysteine containing polymer beads for Cd(II) removal // *Sep. Purif. Technol.* Vol. 30. – 2003. - P. 3-10.

25. Salehi E., Madaleni S.S., Heidari F. Dynamic adsorption of Ni(II) and Cd(II) ions from water

using 8-hydroxyquinoline ligand immobilized PVDF membrane isotherms, thermodynamix and kinetics // *Sep. Purif. Technol.* Vol. 94. – 2012. P 18

26. Fiol N., Escusa I.V., Martinez M., Miralles N., Seratols J. Sorption of Pb(II), Ni(II), Cu(II) and Cd(II) from aqueous solution by olive stone waste // *Sep. Purif. Technol.* Vol. 59. – 2006. – P. 132-140.

27. Charles O., Hamouz S. Al., Estatie M., Tawfik A. Saleh. Removal of Cadmium ions from wastewater by dithiocarbamate functionalized pyrrole-based terpolymers // *Sep. Purif. Technol.* Vol. 177. – 2017. – P. 101-109.

28. Jiha M.K., Gupta D., Choubey P.K., Kumar V., Lee J.-Ch. Solvent extraction of copper, zinc, cadmium and nickel from sulfate solution in mixer settler unit (MSU) // *Sep. Purif. Technol.* Vol. 122. – 2014. – P. 119-127.

29. Mauchauffee S., Meux E., Schneider M. Selective precipitation of cadmium from nickel cadmium sulfate solutions using sodium deaconate // *Sep. Purif. Technol.* Vol. 62. – 2008. - P. 394-400.

30. Ghaeabaghi M., Irannajad M., Azadmehr A.R. Leaching behaviour of cadmium from hazardous waste // *Sep. Purif. Technol.* Vol. 86. – 2012. – P. 9-18.

31. Mahandra H., Singh R., Gupta B. Liquid-liquid extraction studies on Zn(II) and Cd (II) using phosphonium ionic liquid (Cyphos IL 104) and recovery of zinc from zinc plating mud // *Sep. Purif. Technol.* Vol. 177. – 2017. – P. 281-292.

32. Sharma R.K., Puri A., Monga Y., Adholeya A. Newly modified silica-based magnetically-driven nano-adsorbent: A sustainable and versatile platform for efficient and selective recovery of cadmium from water and fly-ash ameliorated soil // *Sep. Purif. Technol.* Vol. 127. – 2014. – P. 121-130.

33. Segund J.O.D.V, Salazar-Banda G.R., Feitoza A.C.O., Vilar E.O., Cavalcanti E.B. Cadmium and lead removal from aqueous synthetic waste utilizing Chemelec electrochemical reactor: Study of the operating conditions // *Sep. Purif. Technol.* Vol. 88. – 2012. – P. 1107-1115.

34. Yaftian M.R., Zamani A.A., Parinejad M., E. Shams. Ion-pair extraction of cadmium complex anions from hydrochloric acid media using oxonium dicyclohexyl-18-crown-6-complex // *Sep. Purif. Technol.* Vol. 42. – 2005. – P. 175-180.

35. Svecova L., Spanelova M., Kubal M., Guibal E. Cadmium, lead and mercury biosorption on waste fungal biomass issued from fermentation industry. I. Equilibrium studies // *Sep. Purif. Technol.* Vol. 52. – 2006. – P. 142-153

## References

1. Kruglikov S.S. The Use of Electrochemical Modules (IEMs) in Plating Industry. Proc. NASF SUR/FIN'2006 Conference Milwaukee, USA. 18-21 Sept. 2006, P. 432-435.
2. Yurchuk T.Y., Bergmann H., Kruglikov S.S. Verfahren der elektrochemischen Umweltschutztechnik am Beispiel der Regenerierung chromathaltiger Baeder der Galvanotechnik // Chemie-Ingenieur-Technik. 1997. Bd. 69. Nr. 9. S. 43-44
3. Bergmann H., Yurchuk T.Y., Kruglikov S.S. Die Elektrochemische Regenerierung von Lösungen zur Passivierung von Zink und Zinklegierungen // Galvanotechnik. 1997. Bd. 88. Nr. 12. S. 3964-3971
4. Kruglikov S.S., Kruglikova E.S. Operation of passivation solutions without periodic dumping. Industrial experience. Proceeding, NASF, SUR/FIN'2011, 14-17 June, Rosemont, IL, USA, p.837-844
5. Kruglikov S.S., Kolesnikov V.A., Brodski V.A., Gubin A.F., Nekrasova N.E., Kruglikova E.S. // The use of immersed electrochemical modules in plating shops for the regeneration of process solutions and purification of water in reclaim tanks // Galvanotechnik. - 2018. - V. 109, Nr. 2. - S. 246-252.
6. Kruglikov S.S., Telezhkina A.V., Kapustin E.S., Kravchenko D.V. Anode Materials for The Operation in Chromate/Nitrate Solutions // Galvanotekhnika i Obrabotka Poverkhnosti, 2017, No 3, p. 37-40.
7. Nekrasova N.E., Kruglikova E.S., Telezhkina A.C., Kapustin D.V., Kravchenko D.V. The Use of  $Ti/IrO_2 / SnO_2 / PbO_2$  Anode in Cadmium Passivating Solution // Galvanotekhnika i Obrabotka Poverkhnosti, 2017, V. 25, No 4, p. 4-9.
8. Kruglikov S.S., Nekrasova N.E., Filatova E. A., Kuznetsov V.V., Telezhkina A.V., Volkov M.A. Modified Process of Electrochemical Regeneration of Chromate Cadmium Passivating Solutions. // Galvanotekhnika i obrabotka poverkhnosti. -2018.- V, 26, No 3.- P. 41-46.
9. Kruglikov S.S. The Use of Electromembrane Processes for the Stabilization and Control of Solutions in Plating Tanks. // Galvanotekhnika i obrabotka poverkhnosti - 2018.- V/ 26.- No 2.- P.41-47.
10. Saljoughi E., Mousavi S.M. Preparation and characterization of novel polysulfone membranes for the removal of cadmium from contaminated water // Sep. Purif. Technol. - 2012. - Vol. 90. - P. 22-30.
11. Marder L., Bernardes A.M., Ferreira J.Z. Cadmium electroplating wastewater treatment using a laboratory-scale electro dialysis system // Sep. Purif. Technol.- Vol. 37. - 2004. P.247-255.
12. Allieux F.M., Kapruwan P., Milne N., Kong L., Fattacioli J., Chen Y., Dumez L.F. Electro-capture of heavy metal ions with carbon cloth microfluidic devices // Sep. Purif. Technol. - Vol. 194 - 2018. P. 26-32.
13. Bulgariu L., Bulgariu D. Selective extraction of Hg(II), Cd(II) and Zn(II) ions from aqueous media by a green chemistry procedure using aqueous two-phase systems // Sep. Purif. Technol. Vol. - 118. -2013.- P. 209-216.
14. Landaburu Aguirre J., Pongracz E., Keiski R.L. Separation of cadmium and copper from phosphorous rich synthetic waters by micellar enhanced ultrafiltration // Sep. Purif. Technol. Vol. 81. - 2011. - P. 41-48.
15. Vasudevan S., Lakshmi J. Effects of alternating and direct current in electrocoagulation process on the removal of cadmium from water - a novel approach // Sep. Purif. Technol. Vol. 80. - 2011. - P. 643-651.
16. Singh V., Panley S., Singh S.K., Sanghi R. Removal of cadmium from aqueous solutions by adsorption using poly(acrylamide) modified guar gum-silica nanocomposites // Sep. Purif. Technol. Vol. 67. - 2009. - P. 251-261.
17. Bhunia P., Chatterjee S., Rudra P., De S. Chelating polyacrylonitrile leads for the removal of lead and cadmium from wastewater // Sep. Purif. Technol. Vol. 193. - 2018. - P. 202-213.
18. Cay S., Uyanik A., Ozasik A. Single and binary component adsorption of copper(II) and cadmium(II) from aqueous solutions using tea industry waste // Sep. Purif. Technol. Vol 38. - 2004. - P.273-280.
19. Zhai Y., Wei X., Zeng G., Zhang D., Chu K. Study of adsorbent derived from sewage sludge for the removal of  $Cd^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$  in aqueous solutions // Sep. Purif. Technol. Vol. 38. - 2004. -P. 191-196.
20. Reddy B.R., Priya D.N., Park K.H. Separation and recovery of cadmium(II), cobalt(II) and nickel(II) from sulfate leach liquors of spent Ni-Cd batteries using phosphorous based extractants // Sep. Purif. Technol. Vol. 50. - 2006. - P. 161-166.
21. Abbasn I.A., Al-Amer A.M., Laoui T., Atieh M.A. Heavy metal removal by advanced carbon nanotubes: Critical review of adsorption applications // Sep. Purif. Technol. Vol. 157. - 2016. - P. 141-161.
22. Okieimen F.E., Sokbaike C.E., Ebhoaye J.E. Removal of cadmium and copper ions from

aqueous solution with cellulose graft copolymers // Sep. Purif. Technol. Vol. 44. – 2005. P. 85-89.

23. Shenashen M.A., Elshehi E.A., Sherif A. ElSafty, Khairy M. Visual monitoring and removal of divalent copper, cadmium, and mercury ions from water by using mesoporous cubic Ia3d aluminosilica sensors // Sep. Purif. Technol. Vol. 116. – 2013. – P. 73-86.

24. Denisli A., Garipcan. B., Karabakan A., Sai R., Patir S. Metal-complexing ligand methacryloylamidocysteine containing polymer beads for Cd(II) removal // Sep. Purif. Technol. Vol. 30. – 2003. - P. 3-10.

25. Salehi E., Madaleni S.S., Heidari F. Dynamic adsorption of Ni(II) and Cd(II) ions from water using 8-hydroxyquinoline ligand immobilized PVDF membrane isotherms, thermodynamix and kinetics // Sep. Purif. Technol. Vol. 94. – 2012. P 18

26. Fiol N., Escusa I.V., Martinez M., Miralles N., Seratols J. Sorption of Pb(II), Ni(II), Cu(II) and Cd(II) from aqueous solution by olive stone waste // Sep. Purif. Technol. Vol. 59. – 2006. – P. 132-140.

27. Charles O., Hamouz S. Al., Estatie M., Tawfik A. Saleh. Removal of Cadmium ions from wastewater by dithiocarbamate functionalized pyrrole-based terpolymers // Sep. Purif. Technol. Vol. 177. – 2017. – P. 101-109.

28. Jiha M.K., Gupta D., Choubey P.K., Kumar V., Lee J.-Ch. Solvent extraction of copper, zinc, cadmium and nickel from sulfate solution in mixer settler unit (MSU) // Sep. Purif. Technol. Vol. 122. – 2014. – P. 119-127.

29. Mauchauffee S., Meux E., Schneider M. Selective precipitation of cadmium from nickel cadmium sulfate solutions using sodium deaconate // Sep. Purif. Technol. Vol. 62. – 2008. - P. 394-400.

30. Ghaeabaghi M., Irannajad M., Azadmehr A.R. Leaching behaviour of cadmium from hazardous waste // Sep. Purif. Technol. Vol. 86. – 2012. – P. 9-18.

31. Mahandra H., Singh R., Gupta B. Liquid-liquid extraction studies on Zn(II) and Cd (II) using phosphonium ionic liquid (Cyphos IL 104) and recovery of zinc from zinc plating mud // Sep. Purif. Technol. Vol. 177. – 2017. – P. 281-292.

32. Sharma R.K., Puri A., Monga Y., Adholeya A. Newly modified silica-based magnetically-driven nano-adsorbent: A sustainable and versatile platform for efficient and selective recovery of cadmium from water and fly-ash ameliorated soil // Sep. Purif. Technol. Vol. 127. – 2014. – P. 121-130.

33. Segund J.O.D.V, Salazar-Banda G.R., Feitoza A.C.O., Vilar E.O., Cavalcanti E.B. Cadmium

and lead removal from aqueous synthetic waste utilizing Chemelec electrochemical reactor: Study of the operating conditions // Sep. Purif. Technol. Vol. 88. – 2012. – P. 1107-1115.

34. Yaftian M.R., Zamani A.A., Parinejad M., E. Shams. Ion-pair extraction of cadmium complex anions from hydrochloric acid media using oxonium dicyclohexyl-18-crown-6-complex // Sep. Purif. Technol. Vol. 42. – 2005. – P. 175-180.

35. Svecova L., Spanelova M., Kubal M., Guibal E. Cadmium, lead and mercury biosorption on waste fungal biomass issued from fermentation industry. I. Equilibrium studies // Sep. Purif. Technol. Vol. 52. – 2006. – P. 142-153

#### **Сведения об авторах**

**Филатова Елена Алексеевна** - кандидат химических наук, доцент, кафедра аналитической химии, РХТУ им. Д.И. Менделеева, 125047, г. Москва, Миусская площадь, д. 9; e-mail: filatova1604@mail.ru; телефон 89150678349

**Тележкина Алина Валерьевна** – аспирантка; кафедра ТНВиЭП, РХТУ им. Д.И. Менделеева, 125047, Москва, Миусская площадь, д. 9 e-mail: cianic-acid@yandex.ru; телефон – 89254172342

**Кругликов Сергей Сергеевич** - доктор химических наук, профессор; e-mail: skruglikov@mail.ru; телефон 89166169699

**Кругликова Елена Сергеевна** – кандидат химических наук, доцент, кафедра Экологической безопасности технических систем, Московский политехнический университет, Москва, 107023, Б.Семеновская ул., 38., e-mail 1321260@mail.ru, телефон – 89161321260

**Ильина Ксения Викторовна** – студентка-магистрант.

#### *Information about the authors*

**Elena A. Filatova** - Ph.D, Ass. Prof, Dept. Analytical. Chem., e-mail: filatova1604@mail.ru; tel. 89150678349.

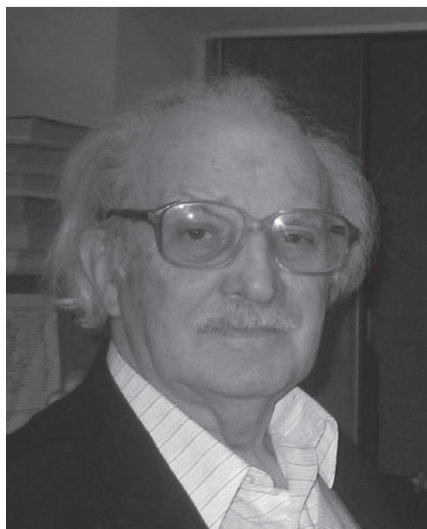
**Alina V. Telezhkina** - post-graduate student, Department of Inorganic & sand Electrochem. Technology, email: cianic-acid@ yandex.ru, tel. 89254172342.

**Sergey S. Kruglikov** - Dr. Sci., Prof.; e-mail: skruglikov@mail.ru; телефон 89166169699

**Kruglikova Elena S.** – Ph.D, Ass.prof.; Dept. Environment Protection, Moscow Polytechnic University, Moscow, 107023, B. Semyenovskaya st, 38.

**Il'ina Ksenya V.** – magistrant.

## Ушел из жизни Владимир Владимирович Бондарь



Владимир Владимирович Бондарь скончался 29 ноября 2018 года. Владимир Владимирович был доктор химических наук, академик Международной академии информатизации, профессор, главный научный сотрудник отдела химии и главный редактор

Реферативного журнала "Химия" ВИНТИ РАН Владимира Владимировича Бондаря.

После окончания в 1951 г. химического факультета Одесского Госуниверситета В.В. Бондарь работал в г. Владивостоке в лаборатории коррозии Дальзавода.

В 1955 г. В.В. Бондарь поступил в аспирантуру ИФХ АН СССР в лабораторию строения поверхностных слоев. В 1959 г. защитил кандидатскую диссертацию "Влияние условий электролиза на фазовое строение электроосажденных сплавов". Наиболее интересными результатами явились получение аморфных сплавов в системе Cu-Bi, которые проявляли сверхпроводящие свойства в отличие от кристаллических сплавов в равновесном состоянии, а также получение пересыщенных твердых растворов Pb в Cu при потенциалах положительное равновесного потенциала свинца. По существу, были получены данные, которые в дальнейшем в литературе рассматривались как явление «underpotential».

С 1960 г. В.В. Бондарь работал во Всесоюзном институте научной и технической информации АН СССР и ГКНТ ст.н. сотрудником, с 1965 г. зав. отделом химии, в период 1982-92 г. зам. директора института по науке. Все это время он продолжал ис-

следовательскую деятельность в ИФХ АН СССР. Были определены условия формирования аморфных сплавов при электролизе и получено значительное их число в бинарных системах. Впервые были получены аморфные ферромагнетики (Fe-P, Co-P, Co-W и др.) и установлено, что в этом состоянии они относятся к магнитномягким материалам. По результатам исследований и анализу литературы В. В. Бондарь сформулировал принцип, согласно которому любое вещество может существовать в твердом некристаллическом состоянии в той или иной его форме. Свыше 10 специалистов защитили кандидатские диссертации под его руководством.

В 1978 г. Бондарем была защищена докторская диссертация "Исследование электрохимического синтеза аморфных сплавов и некоторых их свойств".

В дальнейшем В.В. Бондарем были получены интересные результаты – одновременное формирование двух аморфных фаз при электроосаждении сплава Cu-Cd (и понят аналогичный характер строения у ранее полученных сплавов Cu-Bi), а также условия формирования коррозионностойких аморфных сплавов Cr-P и высоко коррозионно-стойкого кристаллического интерметаллида Co<sub>2</sub>P.

Большую работу В.В. Бондарь вел в области научной информации. Им была предложена и реализована база данных "Обзоры" по всему профилю научно-технической литературы. При его активном участии была создана автоматизированная система НТИ ВИНТИ. Реферативный журнал и База данных "Коррозия и защита от коррозии" являются наиболее репрезентативными по данной тематике.

На протяжении многих лет В.В. Бондарь был членом Научного совета РАН по электрохимии и коррозии, специализированных советов по защите диссертаций, членом редколлегий журналов: "Электрохимия" и "Гальванотехника и обработка поверхности".

Мы всегда будем помнить Владимира Владимировича Бондаря.

*Редколлегия журнала  
Гальванотехника и обработка поверхности*

## Vladimir V. Bondar passed away

Dr. Vladimir V. Bondar, Chief Editor of Russian Chemical Abstracts, has recently celebrated his 90th birthday. Apart from his long-term active work at the Institute of Scientific and Technical Information ("VINITI") and as a member of the Council "Corrosion and Protection" as well as a member of the Editorial Board of two journals ("Electrochemistry" and "Electroplating and Surface Treatment") he

has carried out experimental research in the field of electrodeposition of numerous alloys (e.g. Cu-Bi amorphous alloys, oversaturated Pb-Cu allous, etc.) A number of ferromagnetic alloys were obtained first by him (Fe-P, Co-P, Co-W).

We will remember Dr. V.V. Bondar.

*Editorial Board of Journal*



22–24 октября 2019  
Москва, Крокус Экспо



17-я Международная выставка материалов и оборудования для обработки поверхности, нанесения покрытий и гальванических производств

ПРЕСС-РЕЛИЗ ПО ИТОГАМ ВЫСТАВКИ

Москва, 12 ноября 2018

С 23 по 25 октября 2018 года в Москве, в МВЦ «Крокус Экспо» прошла 16-я Международная выставка технологий, оборудования и материалов для обработки поверхности и нанесения покрытий ExpoCoating Moscow.

ExpoCoating Moscow – единственная в России специализированная международная выставка технологий, оборудования и материалов для обработки поверхности и нанесения покрытий на металлы, сплавы, пластические массы, дерево, керамические материалы и бетон.

В 2018 году в выставке приняли участие 78 компаний из России, Австрии, Беларуси, Италии, Китая, Турции, Украины, Франции и Швеции, которые продемонстрировали широкий выбор гальванического оборудования, оборудования и материалов для очистки сточных вод, обработки поверхности и нанесения покрытий.

В числе новинок, которые были представлены на выставке:

- Реагенты для гальванического цинкования, никелирования, ламельного цинкования на стенде «Химсинтез»
- Технологии и химические продукты для гальванического производства и химической обработки металлов, фильтровальные установки, теплообменники, выпрямители и ячейки Хуллана на стенде компании «ЭКОМЕТ»
- Гальванические линии цинкования, фосфатирования, никелирования, хромирования, меднения, кадмирования, оловянирования, железнения, серебрения, а также станции очистки сточных вод на стенде компании «КР Групп»
- Препараты для подготовки поверхности перед окраской, деформацией и других операций, в числе которых моющие и обезжиривающие средства, фосфатирующие концентраты, электроизоляционные составы на стенде компании «ФК»
- Установки для высокоскоростной экологически чистой электролитно-плазменной обработки металлов и противозносный антифрикционный состав, значительно снижающий коэффициент трения и износа от НПО «Промтехнопарк»
- Технологии для химико-гальванических производств и подготовки поверхности, блескообразующие добавки для цинкования, меднения, никелирования на стенде компании «СОНИС»
- Гальваническое оборудование из полимерных материалов на стенде компании «Гранит-М»
- Оборудование для гальванических производств, для очистки стоков и контроля технологических жидкостей на стенде компании «Тесар-ЭКОГАЛЬ»
- Инверторные источники тока для гальванических производств от 1мА до 10000А и напряжения от 6В до 1000В для нанесения различных покрытий на стенде НТЦ «Магистр»
- Высокотехнологичное оборудование для обработки поверхности и для очистки промышленных стоков на стенде компании CORELEC Equipements
- Более 10 инновационных разработок на стенде «Сколково»

В этом году выставку ExpoCoating Moscow посетили 1 803 специалиста. Одновременно с выставкой ExpoCoating Moscow состоялись международные промышленные выставки NDT Russia, Testing&Control, PowerElectronics, PCVExpo, FastTec, и HEAT&POWER. С экспозицией всех 7 выставок ознакомились 14 082 посетителя.

17-я Международная выставка материалов и оборудования для обработки поверхности, нанесения покрытий и гальванических производств ExpoCoating Moscow состоится с 22 по 24 октября 2019 года в Москве, МВЦ «Крокус Экспо».

22–24 октября 2019

Россия, Москва, Крокус  
Экспо

Организатор:



Международная  
Выставочная  
Компания

(812) 380 60 13 / 00

expocoating@mvk.ru

expocoating-moscow.ru

## Календарь выставок, конференций и семинаров 2019 года Exhibitions, Conferences, Seminars

1. **17-я Международная выставка** химического анализа, лабораторных технологий, биотехнологий и диагностики «Аналитика Экспо 2019», **23–26 апреля 2019 года**, Москва, МВЦ «Крокус Экспо»

2. **22-я Международная выставка** химической промышленности и науки «Химия – 2019», **16-19 сентября 2019 года**, Москва, ЦВК «Экспоцентр».

3. **17-я Международная выставка** материалов и оборудования для обработки поверхности, нанесения покрытий и гальванических производств - **22-24 октября 2019 г.** Москва, МВЦ «КРОКУС ЭКСПО»

### ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ГАЛЬВАНИКИ НАСОСЫ    ФИЛЬТРЫ    НАГРЕВАТЕЛИ    МЕШАЛКИ

The advertisement displays six pieces of industrial equipment against a green background with a hexagonal pattern and chemical symbols (H, CH, OH, N(CH)). The equipment includes: a blue motorized pump, a tall cylindrical filter unit, a blue and yellow immersion heater, a blue motorized stirrer, a red motorized pump, and a grey motorized stirrer.

ООО «ТД «Элма» Санкт-Петербург, пр. Просвещения 85  
тел./факс: (812) 490-75-03; моб. тел.: (911) 921-48-02  
[www.td-elma.ru](http://www.td-elma.ru); [info@td-elma.ru](mailto:info@td-elma.ru)

## МОСКОВСКОЕ ХИМИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО им. Д.И. МЕНДЕЛЕЕВА

Главному инженеру предприятия

Приглашаем Вас принять участие в работе курсов повышения квалификации

### ГАЛЬВАНОТЕХНИКА И ГАЛЬВАНО - ХИМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛОВ

*Курсы проводятся высококвалифицированными специалистами по двум направлениям.*

#### Основное содержание программ:

##### **Курсы повышения квалификации специалистов в области гальванотехники и гальвано-химической обработки поверхности металлов.**

Общие закономерности и особенности процессов электрохимического и химического нанесения металлических и конверсионных покрытий. Зависимость свойств и качества покрытий от состава электролитов, условий электролиза, рассеивающей и кроющей способности электролитов.

Современные технологии и оборудование отечественных и зарубежных производителей.

Процессы электрохимического нанесения цинка, кадмия, никеля, хрома, меди, олова, драг-металлов и их сплавов, многослойные и композиционные покрытия, а также нанесения оксидных, хроматных и фосфатных покрытий на металлы и сплавы.

Принципы управления и контроля процессами нанесения покрытий. Основные причины выхода из строя растворов и электролитов. Совершенствование и модификация процессов в условиях действующего производства.

Экология гальванического производства. Организация водопотребления. Системы локальной очистки сточных вод и воздуха. Регенерация технологических растворов.

##### **Мастер-класс: обучение работе на ячейке Хулла.**

*Для повышения качества обучения, результативности и эффективности курсов желательно, чтобы слушатели хорошо знали свои техпроцессы и подготовили вопросы по проблемам производства.*

##### **Курсы повышения квалификации специалистов в области аналитического контроля.**

Объекты химико-аналитического контроля. Аналитическое обеспечение современного гальванического производства и новых технологий.

Химический анализ технологических растворов, методы определения основных и неосновных компонентов, примесей и микропримесей: титриметрия, фотометрия, гравиметрия, тест-методы. Корректировка составов электролитов на основе аналитических данных, устранение типичных неполадок в работе электролитов.

Специфика химико-аналитического контроля сточных вод и воды, поступающей в цех; особенности анализа микро-количества веществ.

Современные инструментальные методы анализа: атомная абсорбция и эмиссия, инверсионная вольтамперометрия, ионная хроматография. Анализ приоритетных органических загрязняющих веществ.

Выбор метода анализа для решения конкретных задач. Качество результатов химического анализа, аттестация методик. Аккредитация и сертификация аналитических лабораторий. Основные положения ГОСТ Р ИСО 5725-(1-6)2002.

**Слушателям выдаются государственные свидетельства о повышении квалификации**



## СРОКИ ПРОВЕДЕНИЯ И УСЛОВИЯ УЧАСТИЯ В 2019 ГОДУ

**Курсы: «Гальванотехника и гальвано – химическая обработка поверхности металлов»**

Группа (шифр)	Дата проведения	Стоимость, руб.
Группа № 56 (КГ - 56)	04 февраля – 08 февраля	28100 – 00
Группа № 57 (КГ - 57)	01 апреля – 05 апреля	28100 – 00
Группа № 58 (КГ - 58)	13 мая – 22 мая	33600 – 00
Группа № 59 (КГ - 59)	14 октября – 23 октября*	33600 – 00
Группа № 60 (КГ - 60)	25 ноября – 29 ноября	28100 – 00

\*Посещение Международной выставки технологий, оборудования и материалов для обработки поверхности и нанесения покрытий «ExpoCoating Moscow 2019»

**Курсы: «Аналитический контроль в гальваническом производстве»**

Группа (шифр)	Дата проведения	Стоимость, руб.
Группа № 23 (АКГ - 23)	22 апреля – 26 апреля**	27900 – 00
Группа № 24 (АКГ - 24)	28 октября – 01 ноября***	27900 – 00

\*\* Посещение 17-ой международной выставки химического анализа, лабораторных технологий, биотехнологий и диагностики «Аналитика Экспо 2019»

\*\*\* Посещение 11-ой Международной выставки аналитического и лабораторного оборудования, лабораторной мебели и посуды, химических реактивов («ХИМ-ЛАБ-АНАЛИТ») в рамках 22-ой международной выставка химической промышленности и науки («ХИМИЯ-2019»)

**Стоимость обучения НДС не облагается.** Оплата перечислением.

**Регистрация слушателей** в день начала курсов **с 10-00 до 13-00 часов** в МХО имени Д.И. Менделеева по адресу: 107045, г. Москва, Колокольников пер., д.17. **Проезд:** м. «Сухаревская» и далее пешком по ул. Сретенка в сторону центра до Колокольникова переулка.

**Участникам курсов бронируются места:**

- в гостинице «Вега» (Измайловский гостиничный комплекс). Проезд: м. «Партизанская». Поселение в гостиницу в комнате 609 корпуса «Вега» (6 этаж). Стоимость одного места проживания составит 2000 – 4000 руб. в сутки.

**Платежные реквизиты МОО МХО им. Д. И. Менделеева:**

**ИНН 7710056339, р/сч. 4070381030000000060 Банк ВТБ (ПАО), г. Москва  
Кор/сч. 30101810700000000187, БИК 044525187, КПП 770201001**

В графе «назначение платежа» следует указать соответствующий **шифр.**

Прибывшие на курсы должны предоставить копию платежного поручения с отметкой банка об оплате. Об участии в курсах следует заявить по телефону не позднее, чем за 3 дня до начала занятий, указав потребность в гостинице и дату приезда. В заявке просим указать: реквизиты предприятия, кто подписывает договор (ФИО полностью) и на основании какого документа.

**Телефон для подачи заявок и справок:**

тел/факс: (495) 625-86-00, (495)742-04-22,

(977) 543-49-01 – МХО им. Д.И. Менделеева

e-mail: mosmho@yandex.ru http: www.mmho.ru

тел/факс: (499) 978-59-90 – РХТУ им. Д.И. Менделеева.

e-mail: gtech@muctr.ru http: www.muctr.ru

## Информация для авторов

Журнал «Гальванотехника и обработка поверхности» публикует статьи и обзоры, содержащие результаты оригинальных научных и технологических исследований, относящихся к проблемам электрохимии и электрохимической технологии формирования покрытий, их свойств и характеристик, областей применения, коррозии и защиты от коррозии, а также к проблемам смежных областей науки и техники.

Для публикации в журнале принимаются оригинальные материалы (статьи), не публиковавшиеся ранее в других периодических изданиях. Все представляемые для публикации материалы рецензируются.

При направлении материалов для публикации (обзоры, статьи, краткие сообщения, письма в редакцию, информация и т.д.) авторы должны руководствоваться следующими правилами.

1. Размер статей не должен превышать 20 страниц машинописного текста, включая библиографию и подписи к рисункам.
2. Количество рисунков не должно превышать 6, в кратких сообщениях - 2. Таблицы, схемы и иллюстрации должны быть информативны. Данные таблиц и рисунков не должны дублироваться.
3. Статьи, представляющие собой обзор работ, могут иметь объем до 30 страниц.
4. Материал статьи должен характеризоваться оригинальностью и новизной результатов исследований и обобщений, логикой изложения, четкостью формулировок, математической грамотностью, обоснованностью используемых методик.
5. Список литературы и правильность выбора цитируемых источников должны составляться с учетом их доступности для отечественных и зарубежных читателей. Для объективного отражения современного состояния и актуальности решаемой в статье проблемы с последующим определением цели работы, в списке литературы должно быть не менее 15-20 цитируемых источников за последние 10-15 лет (более ранние ссылки и ссылки на материалы конференций не должны превышать 10%). Ссылки на статьи авторов или статьи, опубликованные в журнале «Гальванотехника и обработка поверхности» (самоцитирование), не должны превышать 30%. **Ссылки на диссертации и авторефераты, учебные и методические пособия не допускаются.**

6. Материалы для публикации представляются в редакцию журнала (адрес редакции: Россия, 125047 г. Москва, Миусская площадь, д. 9, Российский химико-технологический университет им. Д.И.Менделеева, кафедра технологии электрохимических процессов) **по электронной почте [gtech@muctr.ru](mailto:gtech@muctr.ru) а также на CD** или на бумажном носителе в двух экземплярах (в качестве вторых экземпляров могут быть использованы ксерокопии). Материал, оформленный не по правилам, не рассматривается.

7. Оформление рукописи статьи

Текст набирают в Microsoft Word, шрифт - Times New Roman, кегль - 14 пт, цвет - черный, межстрочный интервал - 1.5-2, поля - 20 мм со всех сторон, переносы в тексте не используют. Все страницы рукописи имеют сплошную нумерацию.

На титульном листе приводятся: код УДК; название статьи; фамилия и инициалы автора(ов); организация, в которой выполнена работа, с полным почтовым адресом; электронная почта и телефон ответственного автора; расширенная аннотация (не менее 200 слов со ссылками на рисунки и таблицы статьи), отражающая основное содержание статьи (аннотация не должна полностью дублировать выводы статьи); ключевые слова статьи (см. пример ниже). В заголовок статьи и аннотацию не следует вводить формулы и сокращения.

**Пример**

УДК 621.357.7

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ХИМИЧЕСКОГО СЕРЕБРЕНИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ УГЛЕПЛАСТИКА

© И.О. Спешилов<sup>1</sup>, П.Ю. Лазарев<sup>1,2</sup>, Т.А. Ваграмян<sup>1</sup>

Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, 125047, Москва, Миусская пл., 9  
Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН 127368, Москва, Ленинский проспект, 31

Тел. 8(499)9785990, e-mail: speshilov@mail.ru

Определено влияние способов подготовки поверхности диэлектрического материала на основе углепластика (таблица 1, рис. 2, 3), состава раствора серебрения (рис. 4, 5) и режима его работы (рис. 1, 6) на качество формируемого покрытия. Исследована зависимость блеска формируемого покрытия от шероховатости исходного

материала (рис. 7). Определён оптимальный состав раствора травления для получения блестящих покрытий (таблица 2).

Далее указывается предыдущая информация (Название, И.О. Фамилии авторов, и т.д., расширенная аннотация, ключевые слова) на английском языке.

Затем следует текст статьи, в котором должны быть выделены следующие разделы.

**Введение.**

**Методическая часть.**

**Экспериментальные результаты и их обсуждение.**

**Заключение или выводы.**

**Благодарности** (если необходимо указать, что статья подготовлена в рамках гранта, поблагодарить коллег, которые не являются авторами статьи, но при их содействии подготовлен материал или проведены исследования)

**Список литературы** выполняется в 2 вариантах:

1 вариант включает русские и иностранные (английские, немецкие, испанские, итальянские, португальские, французские и т.п.) источники в оригинальном написании,

2 вариант (References) – все русскоязычные источники не имеющие переводных версий, должны быть указаны на английском языке (фамилии и название журналов записываются латиницей (транслитерация), а название статьи дается в переводе на английский язык.

**Пример.**

Azarko O.E., Kuznetsov V.V., Shakhmaier S.R., Vinokurov E.G., Kudryavtsev V.N. Electrodeposition of thick solid chromium coatings from electrolytes based on trivalent chromium // *Galvanotekhnika i Obrabotka Poverkhnosti*. 1997. V. 5, N. 4. P. 25-32.

Все иностранные источники записываются аналогично списку 1.

**Сведения об авторах (на русском и английском языках)**

фамилия, имя, отчество автора полностью (если авторов больше чем один, указываются все авторы);

звание, ученая степень, должность

полное название места работы каждого автора в **именительном падеже**. Важно чётко, не допуская иной трактовки, указать место работы каждого автора.

контактная информация (телефон рабочий, e-mail) для каждого автора

Рисунки, таблицы, а также подписи под рисунками, заголовки и примечания к таблицам на русском и английском языках должны размещаться в тексте статьи.

## Подготовка электронного текста

1. Текст набирают в Microsoft Word, шрифт - Times New Roman, кегль - 14 пт, цвет - черный, межстрочный интервал - 1.5-2, поля - 20 мм со всех сторон, переносы в тексте не используют. Все страницы рукописи имеют сплошную нумерацию.

2. Библиографическое описание цитируемых работ в списке литературы следует оформлять в соответствии с приведенными ниже примерами.

### СТАТЬИ ИЗ ЖУРНАЛОВ И СБОРНИКОВ

Кругликов С.С., Некрасова Н.Е., Касаткин В.Э., Корнилова С.И. Применение импульсного тока для получения механически прочных гальванических покрытий с развитой поверхностью // *Гальванотехника и обработка поверхности*. 2016. Т. 24. № 4. С. 30-38.

Винокуров Е.Г., Бурухина Т.Ф., Колесников В.А., Фаина С.В. Концентрационный критерий классификации ресурсосберегающих составов растворов для электроосаждения металлических покрытий // *Теоретические основы химической технологии*. 2012. Т. 46, № 5. С. 569-575

Pavlov S.Yu., Kulov N.N. and Kerimov R.M. Improvement of chemical engineering processes using systems analysis // *Theor. Found. Chem. Eng.* 2014. V. 48, N. 2. p. 117-123.

Кузнецов, А. Ю. Консорциум – механизм организации подписки на электронные ресурсы // *Российский фонд фундаментальных исследований: десять лет служения российской науке*. М.: Науч. мир, 2003. С.340-342.

### МОНОГРАФИИ:

Тарасова В. И. Политическая история Латинской Америки : учеб. для вузов. – 2е изд. – М. : Проспект, 2006. – С. 305–412.

Философия культуры и философия науки: проблемы и гипотезы : межвуз. сб. науч. тр. / Саратов. гос. ун-т; [под ред. С. Ф. Мартыновича]. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та. - 1999. - 199 с.

Райзберг Б. А., Лозовский Л. Ш., Стародубцева Е. Б. Современный экономический словарь. 5е изд., перераб. и доп. М.: ИНФРАМ, 2006. - 494 с.

### ПАТЕНТЫ:

Патент №2592601, МПК С23С 18/50. Способ химического нанесения покрытий из сплава никель-медь-фосфор / Скопинцев В.Д., Винокуров Е.Г., Жигунов Ф.Н., Невмятулина Х.А. №2015128839/02, заявл.16.07.2015, опубл. 27.07.2016. Бюл. №21.

**МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИЙ**

Скопинцев В.Д., Фирсова Т.Д. Базальтовые волокна и ткани с металлическими покрытиями // Покрытия и обработка поверхности: Тез. докл. 12-й международной научно-практической конференции. – М., 2015. – С. 97-98.

**ИНТЕРНЕТ-ДОКУМЕНТЫ:**

Официальные периодические издания : электронный путеводитель / Рос. нац. б-ка, Центр правовой информации. [СПб.], 2005–2007. URL: <http://www.nlr.ru/lawcenter/izd/index.html> (дата обращения: 18.01.2007).

Логинова Л. Г. Сущность результата дополнительного образования детей // Образование: исследовано в мире: междунар. науч. пед. интернет-журн. 21.10.03. URL: <http://www.oim.ru/reader.asp?номер=366> (дата обращения: 17.04.07).

Рынок тренингов Новосибирска: своя игра [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://nsk.adme.ru/news/2006/07/03/2121.html> (дата обращения: 17.10.08).

**3. Требования к файлам, предоставляемым в электронном виде:**

Рисунки к статьям, а также рекламные материалы должны быть выполнены с использованием следующих программ:

**Corel Draw версия до 12 включительно** (В Corel Draw все шрифты должны быть переведены в кривые или предоставляются файлы шрифтов)

**Adobe Photoshop 6.0** (изображение должно быть «плоским» - без слоев и дополнительных каналов, но если требуется вносить изменения, то все слои необходимо оставить)

**Adobe InDesign CS3** (должны присутствовать файлы всех шрифтов, а также все связанные файлы)

Допускается представление рисунков, выполненных с использованием **Excel, Origen**.

Цифры и надписи на оси абсцисс и ординат должны быть выполнены в одном кегле и гарнитуре.

(Рекомендуемый кегль - 18, гарнитура - JournalSansC).

**На рисунках не должно быть посторонних линий кроме осей и кривых.**

Рисунки должны быть выполнены в чёрно-белом варианте.

Поддерживаемые носители: CD, e-mail.

**4. Оформление формул в тексте.**

Во избежание недоразумений и ошибок редакция рекомендует авторам не использовать в формулах русских букв. Все формулы должны быть набраны в редакторе формул

**Статьи, оформленные с нарушением вышеприведенных Правил, не будут приняты для публикации в журнале.**

## **Submission of papers Zur Achtung den Autoren**

Two copies should be submitted, in doublespaced typing on pages of uniform size with wide margins. Some flexibility of presentation will be allowed but authors are urged to arrange the subject matter clearly under such headings as: Introduction, Experimental details, Results, Discussion, etc. An abstract at ~300 words should accompany papers.

References should be numbered consecutively (in square brackets) throughout the text and collected together in a reference list at the end of the paper. Journal titles should be abbreviated according to the Chemical Abstracts Service Source Index, 1970 edition, and supplements. The abbreviated title should be followed by volume number, year (in parentheses) and page number.

Two sets of figures should be submitted. One set of line drawings should be in a form suitable for reproduction, drawn in black ink on drawing paper (letter height, 35 mm). Photographs should be submitted as clear blackandwhite prints on glossy paper. Each illustration must be clearly numbered. Legends to the illustrations must be submitted in a separate list. All tables and illustrations should be numbered consecutively and separately throughout the paper.

We take articles for publication in any languages they will be translated into Russian by professional translators and edited. Translation cost of 1 page text of article is 9 US dollars. According to our rules 1 page consist of 1800 signs including commas and lacunas.

**Журнал «Гальванотехника и обработка поверхности»  
К сведению подписчиков!**

Подписка на журнал производится через местные почтовые отделения.

Журнал включен в Объединенный каталог «Пресса России» 2018/1; каталог стран СНГ 2018/1; Каталог Украины 2018/1; адресный каталог «Библиотечный каталог» 2018/1.

Агентство АРЗИ. Индекс 87867.

В редакции также можно приобрести:

Журнал "Гальванотехника и обработка поверхности" и книги	Цена, руб
2017 год (4 номера)	900
2016 год (4 номера)	900
2015 год (4 номера)	800
2014 год (4 номера)	800
2013 год (4 номера)	760
2012 год (4 номера)	680
<b>Фосфатирование.</b> (Изд. 2-е, дополн. и перераб.) Григорян Н.С., и др.	300
<b>Цинкование. Техника и технология.</b> Окулов В.В. (Электронная версия)	100
<b>Электролитическое хромирование.</b> Солодкова Л.Н., Кудрявцев В.Н.	300
<b>Организация гальванического производства.</b> Оборудование, расчет производства, нормирование. Виноградов С.С. Электронная версия.	100
<b>Экологически безопасное гальваническое производство.</b> (Изд. 2-е, дополн. и перераб.) Виноградов С.С. Электронная версия.	100
<b>Промывные операции в гальваническом производстве.</b> Виноградов С.С. Электронная версия.	100
<b>Никелирование.</b> Мамаев В.И., Кудрявцев В.Н.	300
<b>Оксидирование алюминия и его сплавов.</b> Скопинцев В.Д.	300

Все цены включают стоимость пересылки; НДС не облагается.

ООО "Гальванотех" находится с 01.01.08 УСНО, № 107412 А от 31.03.2015

Адрес редакции: 125047 г. Москва, Миусская пл., д. 9, РХТУ им. Д.И. Менделеева

Кафедра ТЭП. Главный редактор **Кругликов С.С.**

**Тел:** (499) 978-59-90; **Факс:** (4 95) 609-29-64; **E-mail:** [gtech@muctr.ru](mailto:gtech@muctr.ru)

Интернет-сайт журнала: [www.galvanotehnika.info](http://www.galvanotehnika.info)

За вышеуказанные журналы и книги деньги перечислять на р/с журнала. Ниже приведен образец заполнения платежного поручения:

Банк плательщика

Сбербанк России ПАО, г. Москва <b>Банк получателя</b>	БИК Сч.№	044525225 3010181040000000225
ИНН 7708253114; КПП 770801001 ООО «Гальванотех» <b>Получатель</b>	Р/с	40702810738000034332
<b>Назначение платежа: и Полный почтовый адрес предприятия (для рассылки)</b>		

Интернет-сайт Российского общества гальванотехников: [www.galvanicrus.ru](http://www.galvanicrus.ru)

## Адреса организаций и фирм, поместивших рекламу

**ООО "АРБАТ" (стр. 36)**  
445012, г. Тольятти, Молодежный бульвар  
22-110, тел/факс (8482) 25-46-32, факс (8482) 22-  
03-52, E-mail: arbat00@mail.ru

**ООО "БМТ" (стр. 41)**  
600033 г.Владимир, ул. Элеваторная 6;  
E-mail: vladimir@vladbnt.ru, www.vladbmt.ru; (4922)  
522343, 522348, факс (4922)522314

**Гальванические технологии (стр. 41)**  
г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, 178-Е;  
тел. (831)275-82-60, 275-82-62, 415-75-16; info@  
galvanotech.ru

**ООО "ГРАНИТ-М" (стр. 58)**  
393462 г.Уварово, Тамбовской обл.,  
ул.Б.Садовая, 29, тел/факс (47558) 467-17; 468-98;  
г.Тамбов тел/факс (4752) 72-97-52

**НАВИКОМ (стр. 37)**  
150007, г. Ярославль, ул. Университетская  
д.21;тел (4852)741-121, 741-567;E-mail: commerce@  
navicom.yar.ru;www.navicom.yar.ru

**"Предприятие "РАДАН" ООО (стр. 44)**  
190103 Санкт-Петербург, ул. 8-я Красно-  
армейская, 20 (а/я 179);E-mail: radan2000@mail.ru;  
www.radan@fromru.com;тел/факс: +7(812)251-13-  
48, тел +7(812)251-49-17

**РТС Инжиниринг (стр. 39)**  
Москва, ул. Атарбекова, д.4; тел.: (495)  
964-47-48, факс: (495) 964-47-39; e-mail: main@rts-  
engineering.ru; http://www.rts-engineering.ru

**ООО "Гальвэкс" (стр. 33)**  
Тел. 8(495)1080727, www.galvex.ru; E-mail:  
sales@galvex.ru

**Компания "СОНИС" (стр. 38)**  
108841, г. Троицк, ул. Полковника Курочки-  
на, д. 19, пом. 12

тел:(495)545-76-24, 517-46-51; факс: 8(499)272-24-  
08; E-mail:bmb@sonis-co.ru; www.sonis-co.ru

**ООО ПК "НПП СЭМ.М" (стр. 43)**  
1125047, Москва, Миусская пл., д. 9; тел/  
факс: 8(495)978-94-42, +7(901)517-94-42: npp-semm@  
yandex.ru; www.bestgalvanik.ru

**АО "ТАГАТ" ТАМБОВ ГАЛЬВАНОТЕХНИКА  
им. С.И. Лившица (стр. 40)**  
392030, Тамбов, Моршанское шоссе,  
21.; Тел./факс:8(4752)53-25-03 (приемная); Тел.:  
8(4752)53-70-03, 53-18-89; Факс:8 (4752)45-04-15;  
E-mail: market@tagat.ru; office@tagat.ru ; http://  
tagat.pф; http://www.tagat.ru

**ООО "ХИМСИНТЕЗ" (стр. 35)**  
606008, г. Дзержинск Нижегородс-  
кой обл., а/я 175; тел/факс: (8313) 25-23-46,  
+7(951)902-91-65;e-mail: chimsn@kis.ru

**НПП "ЭКОМЕТ" (стр. 42)**  
119071, Москва, Ленинский пр., д.31, стр.5,  
ИФХ и Э РАН,тел: (495) 955-40-33; тел/факс (495)  
955-45-54; E-mail: info@ecomet.ru; www.ecomet.ru

**КОРИАН – 3 (стр. с3)**  
125047, Москва, Миусская пл.,д.9, РХТУ  
им.Д.И.Менделеева, кафедра ТЭП, тел.: (8499)  
978 – 59 – 90, факс: 8(495)609-29-64; E-mail: lns42@  
bk.ru; gtech@muctr.ru

**АО "ХИМСНАБ" (стр. 34)**  
420030, г.Казань, ул. Набережная, 4.  
тел: (843)214-52-25; E-mail: info@chemp.ru, www.  
chemp.ru

**ТД "Элма" (стр. 69)**  
Тел.: +7(812)490-75-03, +7(812)921-48-02;  
e-mail: info@td-elma.ru; www. info@td-elma.ru

Информация для авторов журнала "Гальванотехника и обработка поверхности" размещена на сайте  
**www.galvanotekhnika.info**

Заказ № 12-090. Тираж 700 экз.

Отпечатано в типографии ООО «АльфаСтайлС»  
107023, г. Москва, ул. Электrozаводская, дом 21, этаж 3,  
помещение СХІХ, комната 157,160



# ExpoCoating Moscow

17-я Международная выставка  
материалов и оборудования  
для обработки поверхности,  
нанесения покрытий  
и гальванических производств

22–24  
октября  
2019

Москва,  
Крокус Экспо



Организатор — компания MVK  
Офис в Санкт-Петербурге



Международная  
Выставочная  
Компания

+7 (812) 380 6010/00  
coating@mvk.ru

Подробнее о выставке:

[expocoating-moscow.ru](http://expocoating-moscow.ru)

12+