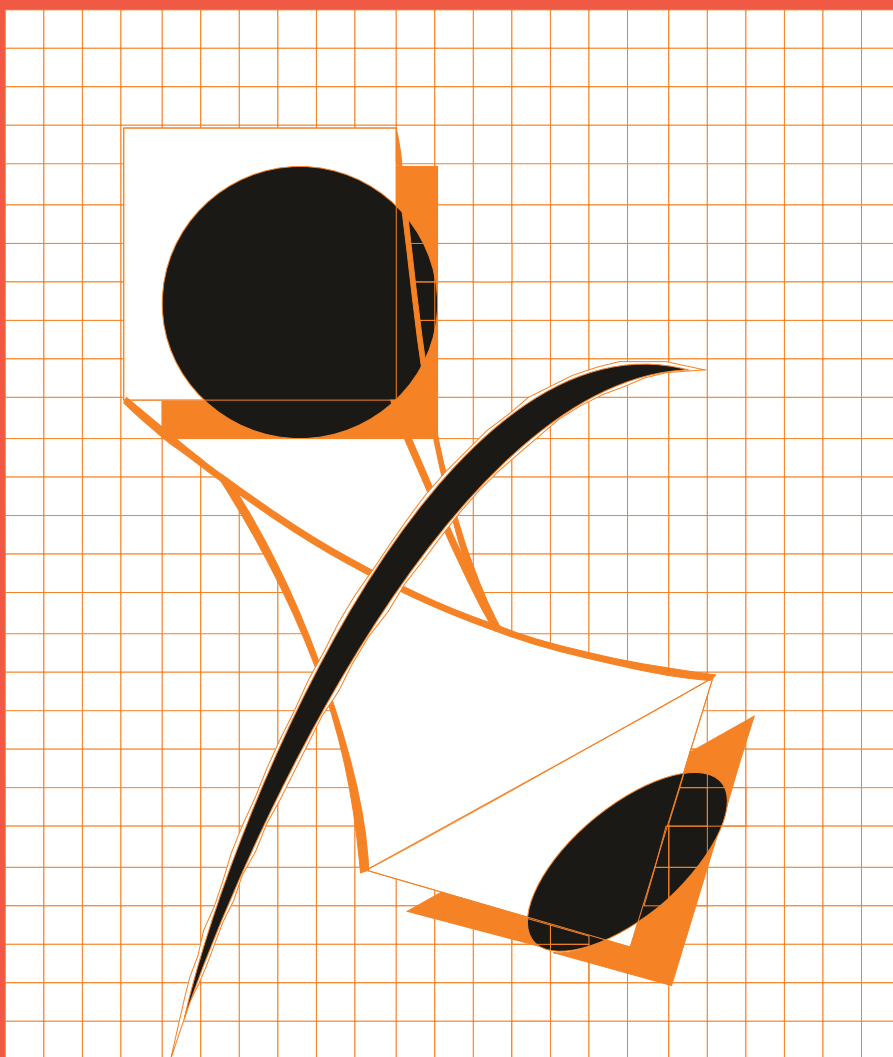


# ГАЛЬВАНОТЕХНИКА

# И ОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТИ

ELECTROPLATING & SURFACE TREATMENT



**Наука**

**Экология**

**Технология**

**Оборудование**

**Печатные платы**

**Образование**

**Science**

**Environments**

**Processes**

**Equipment**

**PC boards**

**Training**

## Редакционная коллегия

**И.о. гл. редактора 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. Виноградов С.С., Москва, Россия;  
к.т.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.х.н. Колесников В.А., Москва, Россия;  
д.х.н. Кузнецов В.В., Москва, Россия;  
к.т.н. Окулов В.В., Тольятти, Россия;  
к.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**

## Учредители

**Кудрявцев В.Н.**

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. Kudryavtsev V.N.**

**Acting 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;  
Okulov V.V., Togliatti, Russia;  
Schischkina S.V., Kirov, Russia;  
Skopintsev V.D., Moscow, Russia;  
Smirnov K.N., Moscow, Russia;  
Vinogradov S.S., Moscow, Russia;  
Zharskii I.M., Minsk, Belorussia

125047, Moscow, Miuskaya 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.

№ 2

2015 год

том XXIII

## Содержание

<i>Ответы на вопросы читателей</i>	<b>О возможности замены нанесения трехслойного покрытия Cu-Ni-Sr химическим никелированием</b>	<b>6</b>
	<b>О возможности увеличения габаритов ванны никелирования</b>	<b>7</b>
	<b>О способах и особенностях нагрева раствора в ванне химического никелирования</b>	<b>8</b>
	<b>Об отсутствии хромового покрытия в углах детали</b>	<b>11</b>
	<b>Об утрачивании черной окраски анодированным алюминием</b>	<b>11</b>
	<b>Причина обесцвечивания черного красителя на анодированном алюминии при складском хранении</b>	<b>12</b>
<i>Электроосаждение металлов и сплавов</i>	<b>Успехи гальванотехники. Обзор мировой специальной литературы за 2013-2014 годы</b> <i>Елинек Т.В.</i>	<b>20</b>
	<b>Некоторые физико-химические свойства сплава никель-фосфор, электроосажденного из сульфатно-глицинатно-хлоридного электролита</b> <i>Петрушова О.Ю., Цупак Т.Е., Крутских В.М., Жуликов В.В., Горюнов Г.Е.</i>	<b>29</b>
	<b>Электроосаждение композиционных хромовых покрытий из электролитов, содержащих частицы вюрцитоподобного нитрида бора</b> <i>Железнов Е.В., Смирнов К.Н., Кудрявцев В.Н.</i>	<b>34</b>
<i>Композиционные материалы</i>	<b>Свойства композиционных никелевых покрытий, полученных из низкотемпературных тартратных электролитов</b> <i>Антихович И.В., Черник А.А., Жарский И.М.</i>	<b>38</b>
	<b>Утилизации концентрированных гальванических растворов</b> <i>Руденок В.А.</i>	<b>44</b>
<i>Экология</i>	<b>Перспективные электрохимические процессы в технологиях обезвреживания сточных вод. Ч.III. Электрокоагуляция</b> <i>Харламова Т.А., Колесников А.В., Силос О.В., Алафердов А.Ф., Семенов Ю.В., Жуков В.Ю.</i>	<b>47</b>
	<b>С днем рождения, дорогая Татьяна Евгеньевна!</b>	<b>58</b>
<i>Персоналии</i>	<b>Учебник «Теоретическая электрохимия»</b>	<b>61</b>
	<b>Курсы повышения квалификации</b>	<b>68-69</b>
	<b>Выставки, конференции, семинары. Книги</b>	<b>67</b>

# ELECTROPLATING & SURFACE TREATMENT

Published since 1992

№ 2

2015

v. XXIII

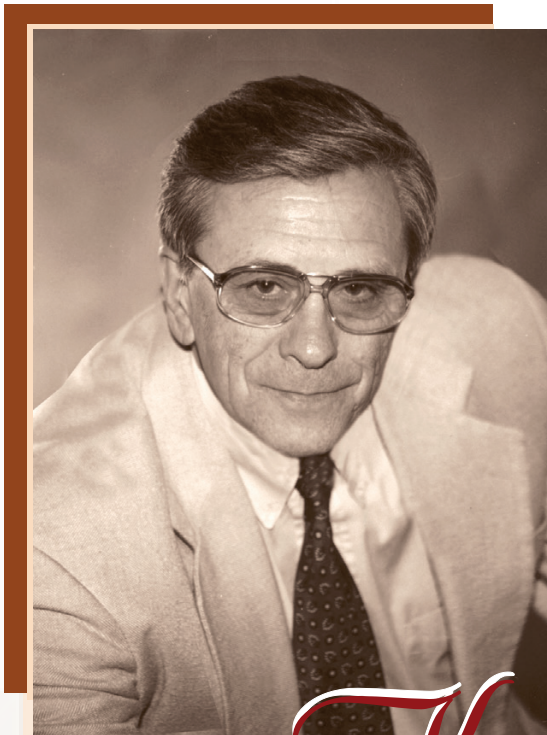
## Contents

<i>Answers for reader questions</i>	<b>On the possibility of the replacement of Cu-Ni-Cr coating by electroless Ni</b>	<b>6</b>
	<b>On the possibility of extension of the length</b>	<b>7</b>
	<b>On the methods of heating the tank for electroless nickel plating</b>	<b>8</b>
	<b>On the absence of chromium coating in the corners of a steel parts</b>	<b>11</b>
	<b>On the discoloration of black anodized aluminum</b>	<b>11</b>
	<b>What is the cause of dissolution of black color on anodized Al in the course of shelf storage?</b>	<b>12</b>
<i>Electroplating of metals and alloys</i>	<b>Advances in Metal Finishing - An Assessment of the International Literature 2013-2014</b> <i>Jelinek T. V.</i>	<b>20</b>
	<b>Some physico-chemical Characteristics of Nickelphosphorous Alloys Deposited from Sulfate-glycinate-chloride Baths</b> <i>Petrushova O. Yu., Tsupak T.E., Krutskih V.M., Zhulikov V. V., Goryunov G.K.</i>	<b>29</b>
	<b>Electrodeposition of composite chromium coatings from electrolytes with addition of vurcit-type boron nitride</b> <i>Zheleznov E. V., Smirnov K.N. Kudryavtsev V.N.</i>	<b>34</b>
<i>Composition materials</i>	<b>Properties of Nickel-based Composite Coatings Deposited from Tartrate Baths at Room Temperature</b> <i>Antikhovich I. V., Chernik A.A., Zharskii I.M.</i>	<b>38</b>
	<b>Utilization of Spent Electroplating Solutions</b> <i>Rudenok V.A.</i>	<b>44</b>
<i>Environmental problems</i>	<b>Perspective electrochemical processes for waste water treatment technology. P.III. Electrocoagulation</b> <i>Harlamova T. A., Kolesnikov A. V., Silos O.V., Alaferdov A.F., Semenov U.V., Zhukov V.U.</i>	<b>47</b>
	<b>On the training courses for plating engineers Congressess, Conferences, Meetings</b>	<b>68-69</b> <b>67</b>

Internet-site Russian Society of Platers  
[www.galvanicrus.ru](http://www.galvanicrus.ru)

*Владимир Николаевич*

**КУДРЯВЦЕВ**

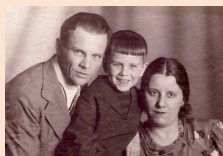


ЗАСЛУЖЕННЫЙ ДЕЯТЕЛЬ НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ,  
ПРОФЕССОР, ДОКТОР ХИМИЧЕСКИХ НАУК,  
ЗАВЕДУЮЩИЙ КАФЕДРОЙ  
ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ  
РОССИЙСКОГО ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО  
УНИВЕРСИТЕТА имени Д.И. Менделеева  
(1986-2013 гг.)

*К 80-летию*

со дня рождения

24.05.2015 г.



Семья:  
отец -  
Николай Тихонович Кудрявцев,  
мама - Валентина Николаевна,  
Володя



с внуком Ваней



Владимир  
Николаевич  
дома  
за работой



Владимир Николаевич  
на даче



Владимир Николаевич  
с женой  
Ириной Ивановной  
в Китае

В мае 2015 года Владимиру Николаевичу Кудрявцеву исполнилось бы 80 лет. Трудовую деятельность В.Н. Кудрявцев начал в 1958 году (после окончания учебы в Московском химико-технологическом институте им. Д.И. Менделеева на кафедре ТЭП) в качестве лаборанта лаборатории электроосаждения металлов Института физической химии АН СССР, руководимой в то время профессором, д.т.н. Ашотом Тиграновичем Ваграмяном. Выбор специальности был не случаен. Его отец Николай Тихонович Кудрявцев, профессор, д.х.н., был крупнейшим ученым – специалистом в области электрохимии, технологии электрохимических процессов, заведовал кафедрой ТЭП нашего университета.

Дипломники выпуска кафедры ТЭП 1958 г.:  
Валерий Цодиков, сотрудник кафедры  
Николай Иванович Михайлов, Татьяна Саргина,  
Инна Шимонис, Владимир Кудрявцев, Татьяна Цупак

Владимир Николаевич,  
жена - Ирина Ивановна,  
дочь - Ирина, сын - Алеша, 1970 г.

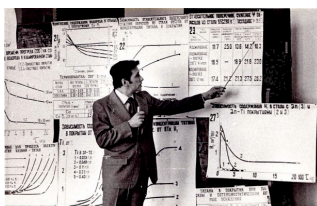


В.Н. Кудрявцев исследовал механизм наводороживания металлов при нанесении гальванических покрытий и предложил методы борьбы с этим очень опасным явлением для высокопрочных сталей авиакосмической промышленности и других отраслей машиностроения. Это направление научных исследований завершилось защитой им докторской диссертации.

На Селигере  
с семьей  
в походе,  
1972 г.



Защита докторской диссертации



На военных сборах,  
1957-58 г.



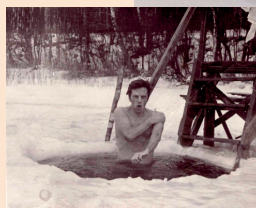
В 1972 году В.Н. Кудрявцев избирается заведующим лабораторией электроосаждения металлов Института физической химии АН СССР. Ведущим научным направлением работы лаборатории являлось изучение процессов хромирования, имеющих большое прикладное значение. В лаборатории был создан прибор "КОРИАН" для определения органических добавок к электролиту, который применяется на промышленных предприятиях в нашей стране, в США, Швейцарии.



На Памире



В походе по реке  
Ейтье за Уралом



На Новый год в Пустошке  
(Великие Луки)

В 1986 году В.Н. Кудрявцев был избран заведующим кафедрой технологии электрохимических производств МХТИ им. Д.И. Менделеева (ныне Российский химико-технологический университет). Много творческих сил, времени Владимир Николаевич отдает совершенствованию учебного процесса, подготовке инженеров-технологов, высококвалифицированных кадров, работе с аспирантами и соискателями, разработке и изданию учебно-методических пособий, редактированию монографий, используемых в учебном процессе как в РХТУ, так и в других университетах России.

Совещание заведующих кафедрами электрохимии в 2006 г.



Кафедра ТЭП, 2005 г.

Организованные при кафедре курсы повышения квалификации специалистов в области гальванотехники и гальванохимической обработки поверхности металлов привлекают большое число специалистов и производственников.

Впервые в России с 1992 года В.Н. Кудрявцев стал издавать журнал "Гальванотехника и обработка поверхности". Владимир Николаевич являлся активным организатором международных и научно-практических конференций и выставок в области гальванотехники с привлечением иностранных фирм.

Владимир Николаевич – почетный член Федерации спортивного ориентирования России, 18 лет бессменно возглавлял это направление, мастер спорта СССР по туризму, судья всесоюзной категории, награжден нагрудным знаком «За заслуги в развитии туризма и экскурсий в РСФСР».

В.Н. Кудрявцев являлся председателем секции "Электроосаждение металлов" Научного совета по электрохимии Российской Академии наук, активным членом Московского отделения химического общества им. Д.И. Менделеева, член-корреспондент РАЕН, членом: Международного электрохимического общества; Европейской Академии технологии обработки металлов; Американского общества гальванотехников (AESF).



## ВЫСОКАЯ НАГРАДА АМЕРИКИ

В июне 2003 года В.Н. Кудрявцев удостоен наивысшей награды Американского Общества Гальванотехников за выдающиеся научно-технические достижения.

# Владимир Николаевич Кудрявцев

за огромную научную и общественную деятельность награжден орденами «Трудового Красного Знамени» и «Орденом Дружбы».



Встреча с ветеранами ВОВ в институте Физической химии РАН



В.Н. Кудрявцев и В.А. Колесников с зарубежными партнерами

Научный коллектив на кафедре



Слет туристов по спортивному ориентированию



Владимир Николаевич со студентами на конференции «Гальванотехника и обработка поверхности», 2012 г.



## Ответы на вопросы

### О возможности замены нанесения трехслойного покрытия Cu-Ni-Cr химическим никелированием

*On the possibility of the replacement of Cu-Ni-Cr coating by electroless Ni*

**ВОПРОС:** На деталь ("якорь") из стали 10880-III конструктор задает покрытие МЗН1Х6. Деталь работает во влажной среде, иногда обрабатывается паром (дезинфекция), а также испытывает некоторое механическое воздействие (ударяется о резиновую прокладку). В КД есть пункт - "магнитные свойства: магнитная индукция, коэрцитивная сила должны соответствовать ГОСТ 11036-75". Наш гальванический цех давно отказался от цианистого электролита меднения и просто физически не может обеспечить удовлетворительную адгезию меди по стали. Тогда конструктора пошли нам на встречу и поменяли покрытие на Н1МЗХ6. Но также ничего путного не вышло. Моё предложение было таким: нанести химический никель 15-20 мкм с последующей термообработкой 350-400 градусов в вакууме (а можно и без вакуума, но будут побежалости). На мой взгляд, для влажной среды степень антикоррозионной защиты у химического никеля толщиной 15-20 мкм куда выше, чем у трёхслойного пирога, предложенного конструкторами. Более того, дополнительная термообработка (350-400 градусов) увеличит твёрдость хим. никеля и она будет куда выше, чем у М-Н-Х покрытия. Еще можно провести дополнительное гидрофобизирование хим. никеля, но у него свои режимы сушки. Вопросы:

1. Годится ли покрытие МЗН1Х6 (Н1МЗХ6) в качестве антикоррозионного и износостойкого покрытия в условиях влажной среды?

2. Подвергается ли Сталь 10880-III коррозии без какого-либо покрытия?

3. Можно ли заменить покрытие МЗН1Х6 (Н1МЗХ6) на Хим.Н 15-20 с последующей термообработкой 350-400 градусов в вакууме? Каково влияние хим. никеля толщиной 15-20 мкм на магнитные свойства стали?

4. Может быть так, что наличие цветов побежалости (окислов) после термообработки благоприятно повлияют на антикоррозионные свойства и магнитные свойства (хотя насчет магнитных сомневаюсь)?

5. Если можно гидрофобизировать хим. никелевое покрытие, то в какой очередности выполнять операции? 1. Хим. никелирование 2. Термообработка в печи 350-400 °С 3. Гидро-фобизирование 4. Сушка в печи на 180 °С или 1. Хим. никелирование 2. Гидрофобизирование 3. Сушка в печи на 350-400 °С. Не уничтожит ли гидрофобный слой температура в 350 -400 °С?

*Уральский приборостроительный завод*

**ОТВЕТ:** 1. О коррозионной стойкости и защитной способности любого вида покрытия можно говорить только в том случае, если известен состав коррозионной среды её кислотность. К сожалению, в Вашем вопросе данная информация (кроме наличия влаги) отсутствует.

Покрытие МЗН1Х6, конечно, существенно повысит коррозионную стойкость электротехнической стали, но вследствие малой толщины никелевого подслоя это повышение будет не очень велико и не долговечно, так как хромовые покрытия и никель при толщине 1 мкм имеют очень высокую пористость. Выбор схемы многослойного покрытия и толщин отдельных слоёв производится с учётом коррозионной агрессивности среды, срока службы покрываемого изделия и сложности конфигурации детали. Кроме того, следует учитывать опасность попадания продуктов коррозии в среду, например, в медицинской технике.

Покрытие Н1МЗХ6 благодаря нижнему подслою никеля позволит предотвратить контактное выделение меди на стали, но технологически наносить такое покрытие довольно сложно, так как в процессе погружения деталей в электролит без тока тонкий слой меди может в значительной мере раствориться в агрессивном электролите хромирования. По этой причине время нахождения омеднённого изделия в электролите хромирования необходимо сокращать до минимума, что очень трудно сделать при работе в автоматической линии. Кроме того, исключение слоя никеля между слоями меди и хрома существенно снизит коррозионную стойкость покрытия, так как в значительной мере исчезает элемент электрохимического механизма защиты.

Целесообразнее было бы нанести покрытие по схеме Нм - М - Нб - Х. Толщины слоёв зависят от агрессивности коррозионной среды и сложности конфигурации деталей. Подбор толщин производится на основании коррозионных испытаний.



Назначение слоёв:

**Никель матовый.** Подслой матового никеля наносится для предотвращения контактного выделения меди на стали. Рекомендуемая толщина 1 – 3 мкм. Для плоских деталей можно ограничиться толщиной в 1 мкм. Для сложнопрофилированных деталей желательнее нано-суть до 3 мкм, так как во впадинах толщина никеля будет ниже.

**Подслой меди.** В коррозионной паре Cu – Ni медный подслой делает никель анодом, что существенно повышает защитную способность покрытия. Кроме того, по сравнению с никелем медь менее пориста и значительно дешевле. Толщина подслоя меди должна быть такой, чтобы отсутствовала сквозная пористость. Пористость медного покрытия зависит от толщины слоя, состава электролита и режимов электролиза (3 мкм – минимум).

**Никель блестящий.** Никель, благодаря очень высокой склонности к пассивации, является основным защитным слоем. Кроме того, он повышает поверхностную твёрдость покрытия. В кислых средах в коррозионном процессе никель, будучи анодом по отношению к меди, принимает коррозионный удар на себя. По этой причине в кислых средах в процессе эксплуатации никель будет частично растворяться. Таким образом, толщина никелевого подслоя будет зависеть как от pH среды, так и длительности эксплуатации изделия.

**Хромовое покрытие.** Хромовое покрытие повышает поверхностную твёрдость покрытия, а благодаря высокой пассивности хром повышает коррозионную стойкость. Если механическое воздействие на деталь в процессе эксплуатации заключается только в ударе о резиновую прокладку, то при увеличении толщины слоя никеля толщину хромового покрытия можно уменьшить до 1-2 мкм.

1. Сталь 10880-III практически не содержит легирующих компонентов. По этой причине в обычных условиях эксплуатации она не является коррозионностойкой. Относительно коррозионной стойкой такая сталь может быть только в достаточно щелочной среде.

2. Коррозионная стойкость и защитная способность химического никеля толщиной 20 мкм может быть и не хуже, чем у многослойного покрытия, предложенного конструкторами, но только за счёт значительно большей толщины покрытия и при условии полной беспористости. Дело в том, что никелевое покрытие по отношению к железу является катодом и защищает сталь только механически.

Себестоимость химического никеля может оказаться существенно выше, чем себестоимость многослойного покрытия. Кроме того, время нанесения толстослойного химического никеля выше, чем суммарное время нанесения тонких слоёв меди никеля и хрома. Так, в обычных электролитах время нанесения 20 мкм химического никеля составит ~ 1,5 часа, а в современных более дорогих электролитах химического никелирования – не менее 30 – 40 минут. Также нужно иметь в виду, что растворы химического никелирования требуют довольно частой корректировки или замены. Растворы химического никелирования в процессе эксплуатации менее стабильны.

Для решения вопроса о целесообразности замены многослойного покрытия на химический никель необходимо провести сравнительные коррозионные и эксплуатационные испытания и рассмотреть экономическую сторону вопроса.

Поскольку железо-никелевые сплавы относятся к магнитомягким материалам можно предположить, что никелевое покрытие не существенно повлияет на магнитные свойства изделия.

3. Наличие цветов побежалости на должно существенно повлиять на коррозионную стойкость никеля, так как никель практически всегда находится в пассивном состоянии.

4. Не понятна цель гидрофобизации химического никеля на детали, которая подвергается трению. Гидрофобизацию, как правило, проводят для высокопористых материалов, например, для деталей, изготовленных методом порошковой металлургии. Большинство гидрофобизирующих составов включают вещества органического происхождения. Большинство таких составов при температуре 350-400°C будет разрушено. Кроме того, при отсутствии существенной пористости гидрофобизирующий состав будет находиться только на поверхности изделия в виде плёнки с низкой адгезией и низкой износостойкостью.

*К.т.н. Мамаев В.И.*

### **О возможности увеличения габаритов ванны никелирования**

*On the possibility of extention of the length*

**ВОПРОС:** У меня на заводе установлены ванны гальванического никелирования размером 550x410x310 (ДxШxГ). Работаем мы на стандартном электролите Уоттса. Встал вопрос об увеличении производительности: можно ли увеличить длину ванны и соответственно длину анодов, без

ущерба для качества покрытия, а все остальные параметры оставить без изменения.

**Мастер гальванического участка**

**ОТВЕТ:** Конечно, можно! Но оставлять все параметры без изменения нельзя. При увеличении загрузки (производительности) необходимо пропорционально увеличению загрузки увеличить величину тока, подаваемого на ванну. По этой причине, возможно, что не хватит мощности выпрямителя и его придётся заменить.

Более рационально увеличивать не длину, а глубину ванны. В этом случае Вы сможете увеличить производительность без увеличения производственных площадей. В более глубокой ванне детали можно навешивать не в один ряд, а в несколько рядов. (При увеличении глубины ванны потребуются увеличить не длину, а высоту анодов.) Преимущества более глубокой ванны заключаются ещё и том, что не будет увеличена поверхность зеркала электролита, а это значит, что не будет иметь место увеличение испарения и понижения уровня за счёт испарения.

По-видимому, при столь малой глубине ванны (310 мм) детали навешиваются в ванну без подвесок путём вязки на проволоку непосредственно на катодную штангу.

При увеличении глубины придётся подвешивать детали в два уровня, либо использовать подвески с крючками в два или несколько рядов.

Нужно иметь в виду, что нежелательно второй уровень деталей подвешивать к деталям первого уровня, так как в этом случае распределение тока между первым и вторым уровнем может быть неравномерным и на деталях второго нижнего уровня покрытие будет более тонким. По этой причине предпочтительно к каждой детали ток подводить индивидуально с помощью крючков подвески или индивидуальной проволоки.

*К.т.н. Мамаев В.И.*

**О способах и особенностях нагрева раствора в ванне химического никелирования**  
*On the methods of heating the tank for electroless nickel plating*

**ВОПРОС:** Здравствуйте. Скажите можно ли заполнить пространство между внутренней и внешней ванной паром при химическом никелировании (паровая рубашка). Если нет, то почему. И как рассчитывается расход пара паровой рубашки при хим. никелировании.

**ОТВЕТ:** При обогреве растворов паровой рубашкой форма ёмкости (реактора), как правило, должна быть цилиндрической или сферической формы. Дело в том, что при температуре промышленного пара 120 или 130 °С его давление составляет от 2 до 3 атмосфер, соответственно. Для эффективного нагрева раствора химического никелирования до температуры выше 90 °С температура греющего пара должна быть не менее 120 °С. Если пар с такой температурой и соответствующим давлением подать в ёмкость с прямоугольными стенками, то вероятность, что её раздует, очень велика.

В том случае, если никелирование проводится в низкотемпературных растворах, то рубашку можно заполнить водой, а её подогрев проводить с помощью ТЭНа.

Ванны химического никелирования могут нагреваться либо непосредственно ТЭНами, либо с помощью паровой или водяной рубашки, либо погружными или выносными пластиковыми теплообменниками.

*Достоинством парового обогрева является:*

- большая греющая поверхность и, соответственно, более низкая температура греющей поверхности, что снижает вероятность саморазложения раствора из-за перегрева;
- меньшие расходы на теплоноситель, так как нагрев ТЭНами, как правило, дороже.

*Недостатками парового нагрева раствора являются:*

- необходимость устройства паровой рубашки, подведения пара и отвода конденсата;
- сложность устройств автоматического поддержания температуры рабочего раствора;
- требуется наличие на предприятии самого пара;
- предъявляются более высокие требования к прочности корпуса ванны, так как пар подаётся под давлением;
- требуется установка конденсатоотводчика (устройство, которое пропускает только конденсат и не пропускает пар), для исключения вероятности неполной конденсации пара (пролётный пар).

*Достоинства непосредственного обогрева ТЭНами:*

- простота конструкции ванны (отсутствие рубашки);
- простота и удобство регулирования температуры;

· отсутствие коммуникаций для подвода пара и отвода конденсата.

*Недостатки непосредственного обогрева ТЭНами:*

· Более высокая температура поверхности ТЭНов, что может привести к инициированию саморазложения раствора химического никелирования вблизи и на поверхности ТЭНа.

*Достоинства подогрева теплообменниками:*

· простота конструкции ванны (отсутствие рубашки);

· большая величина поверхности теплообменника по сравнению с поверхностью ТЭНа, что позволяет снизить температуру теплообменника и таким образом снизить вероятность саморазложения раствора.

*Недостатки подогрева теплообменниками:*

· если в теплообменник подаётся пар, то требуются коммуникации для подвода пара и отвода конденсата;

· более сложная и дорогая запорно-регулирующая арматура для автоматического поддержания температуры;

· необходимость установки конденсатоотводчика.

При расчёте расхода пара для первоначального разогрева раствора и поддержания рабочей температуры необходимо учитывать расход тепла на разогрев раствора и потери тепла через стенки ванны и зеркало электролита.

*Расчёт расхода теплоты на разогрев ванны*

Количество теплоты  $Q_{\text{раз}}$ , необходимое для разогрева ванны, рассчитывается по формуле:

$$Q_{\text{раз}} = Q_1 + Q_2 / 2,$$

где,  $Q_1$  – расход теплоты на разогрев раствора, материала, из которого изготовлена сама ванна, и на разогрев футеровки ванны;  $Q_2$  – тепловые потери за время разогрева ванны.

В процессе разогрева ванны температура повышается от цеховой до рабочей, поэтому принимается, что в процессе разогрева средняя величина тепловых потерь равна ( $Q_2 / 2$ ).

Величину  $Q_1$  определяют как:

$$Q_1 = (V_1 \cdot c_1 \cdot \gamma_1 + c_2 \cdot m_2 + c_3 \cdot m_3) \cdot (t_k - t_n),$$

где  $V_1$ ,  $c_1$ ,  $\gamma_1$  – объем, удельная массовая теплоемкость и плотность нагреваемого раствора, соответственно;  $c_2$  и  $c_3$  – теплоемкости материалов корпуса ванны и футеровки (для стали – около 500 Дж/кг·град., для винипласта – около 1630 Дж/

кг·град., для полипропилена и поливинилиденфторида – 1930 Дж/кг·град.;  $m_2$  и  $m_3$  – массы корпуса ванны и футеровки;  $t_k$  и  $t_n$  – конечная и начальная температуры раствора.

Для ориентировочных расчётов для разбавленных растворов (с общей концентрацией компонентов до 100 г/л) допустимо принять плотность и теплоемкость воды 1000 г/л и 4180 Дж/кг·град.

Для концентрированных растворов теплоемкость можно рассчитать по принципу аддитивности:

$$c_1 = \sum c_i \cdot p_i,$$

где  $c_i$  и  $p_i$  – соответственно, теплоемкости и массовые доли компонентов раствора, включая воду.

Количество теплоты, расходуемой на компенсацию тепловых потерь в окружающую среду, складывается из потерь теплоты  $Q_3$ , отдаваемой нагретой жидкостью через стенки ванны, и потерь теплоты  $Q_4$  через зеркало электролита за счёт испарения:

$$Q_2 = Q_3 + Q_4,$$

Потери теплоты через стенки ванны:

$$Q_3 = k \cdot F_k \cdot t_p \cdot (t_k - t_n),$$

где  $k$  – коэффициент теплопередачи через стенки ванны от раствора в ванне к воздуху;  $F_k$  – поверхность корпуса ванны;  $t_p$  – время разогрева (обычно 3600-7200 с).

Коэффициент теплопередачи может быть рассчитан как:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}},$$

где  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  – коэффициенты теплоотдачи на границе поверхности стенки с раствором и с воздухом (при свободном движении раствора и воздуха соответственно  $\alpha_1 = 900$  Вт/м<sup>2</sup>·град,  $\alpha_2 = 6$  Вт/м<sup>2</sup>·град);  $\delta$  – толщины слоев стенки, м;  $\lambda$  – теплопроводность отдельных слоев стенки, Вт/(м·град):

для стали – 46; для полипропилена – 0,163 ÷ 0,22; винипласта – 0,15 ÷ 0,16; асбеста, иногда используемого для наружной изоляции ванн, – 0,15; минеральной ваты 0,05.

Пример расчёта коэффициента теплопередачи для полипропиленовой и поливинилиденфторидной ванны с толщиной стенки 15 мм, толщиной теплоизоляционного слоя минеральной ваты 50 мм и толщиной теплоизоляционного кожуха 5 мм.

$$k = \frac{1}{\frac{1}{900} + \frac{0,015}{0,163} + \frac{0,05}{0,05} + \frac{0,005}{0,163} + \frac{1}{6}} = 0,775 \text{ Bm}^2 / \text{m}^2 \cdot \text{grad},$$

Если нет минеральной ваты и кожуха, то

$$k = \frac{1}{\frac{1}{900} + \frac{0,015}{0,163} + \frac{1}{6}} = 3,95 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{град}$$

Коэффициенты  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  могут быть определены по эмпирическим уравнениям с учетом величины критериев Грасгофа и Прандтля. Однако иногда расчет по этим уравнениям затруднен из-за отсутствия в технической литературе целого ряда справочных величин, используемых в уравнениях. По этой причине нередко теплотери  $Q_3$ , а также и  $Q_4$  определяют приближенно путем перемножения величины теплоотдающей поверхности (корпуса ванны  $F_k$  или зеркала электролита  $F_3$ ) на величину удельных потерь теплоты  $q$  через стенки ванны или через зеркало электролита и на время разогрева ванны  $t_p$ :

$$Q_3 = q_3 \cdot F_k \cdot t_p,$$

$$Q_4 = q_4 \cdot F_3 \cdot t_p,$$

Величина удельных потерь теплоты  $q_3$  (Вт/м<sup>2</sup>) через стенки ванны в интервале температур  $t$  в ванне 40-100°C равна:

$$q_3 = b_0 + b_1 \cdot t,$$

Коэффициент	Толщина теплоизоляционного слоя, мм			
	0	25	50	75
$b_0$	- 397	- 40,54	- 24,85	- 13,92
$b_1$	15,23	2,435	1,357	0,909

Значения коэффициентов  $b_0$  и  $b_1$  в уравнении (только для стальных ванн!)

Удельные теплотери  $q_4$ , (Вт/м<sup>2</sup>) через зеркало электролита в интервале его температуры  $t = 30-100^\circ\text{C}$  могут быть вычислены по эмпирическому уравнению  $q_4 = 82 + 0,0115 \cdot t^3$ .

*Расход теплоты на поддержание рабочей температуры.*

Количество теплоты  $Q_{\text{раб}}$ , необходимое для поддержания рабочей температуры в ванне химической обработки, складывается из расхода теплоты  $Q_2$  на компенсацию тепловых потерь в окружающую среду и расхода теплоты  $Q_5$  на нагрев приспособлений с деталями, периодически поступающих в ванну.

$$\text{Таким образом, } Q_{\text{раб}} = Q_2 + Q_5.$$

Расчёт величины  $Q_{\text{раб}}$  удобно вести на 1 час. В этом случае величины  $Q_2$  и  $Q_5$  могут быть вычислены по уравнениям:

$$Q_2 = 3600 \cdot (q_3 \cdot F_k + q_4 \cdot F_3); ,$$

где  $c_4$  и  $c_5$  - удельные теплоемкости материалов приспособления и обрабатываемых деталей;  $m_4$  и  $m_5$  - массы приспособления и обрабатываемых де-

талей одной единичной загрузки;  $n_{\text{ес}}^{\text{час}}$  - количество загрузочных единиц, обрабатываемых в ванне за 1 час;

*Расчёт поверхности паровой рубашки или парового теплообменника*

При разогреве ванны интенсивность тепловыделения значительно выше, чем в период поддержания рабочей температуры. Поэтому расчёт греющей поверхности рассчитываются, исходя из величины  $Q_{\text{раз}}$ .

Минимально необходимая греющая поверхность  $S_{\text{зм}}$  равна:

$$S_{\text{греющ}} = \frac{Q_{\text{раз}}}{k \cdot \Delta t_{\text{ср}} \cdot \tau_p},$$

где  $k$  - коэффициент теплопередачи от конденсирующегося пара к нагреваемому водному раствору, Вт/(м<sup>2</sup>·град);  $\Delta t_{\text{ср}}$  - средний температурный напор, град;  $\tau_p$  - время разогрева ванны, с.

Величина  $k$  зависит от характера движения жидкости в ванне и толщины теплопередающей стенки. В случае вынужденного движения электролита в ванне  $k = 800 \div 3500$ , а при свободном движении  $k = 300 \div 1200$  Вт/(м<sup>2</sup>·град). При расчете рекомендуется использовать следующие значения  $k$ :

- при отсутствии перемешивания в ванне - 800÷1000 Вт/(м<sup>2</sup> · град);
- при перемешивании - 1400÷1500 Вт/(м<sup>2</sup>·град).

Средний температурный напор в нагреваемых ваннах вычисляют по формуле:

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{(t_n^n - t_n) - (t_k^{\text{конд}} - t_k)}{\ln \frac{t_n^n - t_n}{t_k^{\text{конд}} - t_k}},$$

где  $t_n^n$  и  $t_n$  - начальные температуры пара и нагреваемого раствора, соответственно; и  $t_k$  - конечные температуры конденсата и раствора.

Обычно температуры пара и конденсата одинаковы, так как теплосодержание конденсата существенно ниже теплоты испарения.

Расход пара в период разогрева составит:

$$m_{\text{раз}}^n = \frac{Q_{\text{раз}}}{I_n - I_{\text{конд}}},$$

где  $I_n$  и  $I_{\text{конд}}$  - соответственно удельное теплосодержание (энтальпия) греющего пара и конденсата ( $I_n = 2726$  кДж/кг;  $I_{\text{конд}} = 546,8$  кДж/кг).

Аналогично часовой расход пара на поддержание рабочей температуры будет равен:

$$m_{\text{раб}}^n = \frac{Q_{\text{раб}}}{I_n - I_{\text{контд}}}$$

К.т.н. Мамаев В.И.

**Об отсутствии хромового покрытия в углах детали**

*On the absence of chromium coating in the corners of a steel parts*

**ВОПРОС:** Подскажите, что можно сделать, чтобы покрыть деталь X18.tv

Деталь не большая, но с загнутыми стенками высотой 25 мм, Габариты детали 300×200×25, мы не можем прокрыть углы, а требования жесткие, внутренняя поверхность дальше не чем не красится. Скорее всего у нас недостаточный толчок тока т.к. выпрямитель у нас Пульсар 12 В. Мы и дополнительный анод сконструировали из свинца прямоугольный под внутренние габариты, но углы совсем не покрываются. Подскажите, какой лучше формы сделать доп. анод. Или что еще попробовать. Хотим сделать медный анод, но переживаем, что сильно загрязним ванну, состав электролита: серная кислота, хромовый ангидрид. Деталей много. Как нам добиться нужного покрытия X18.tv?

**ОТВЕТ:** Чтобы прокрыть хромом углубленные поверхности необходимо, во-первых, как Вы правильно отметили, подготовить поверхность под покрытие. Сначала дать анодную активацию при плтока 25-40А/дм<sup>2</sup> в течение 30-40сек., потом переключить на катодный ток с толчком тока, в 2-3 раза превышающим рабочий (20-60сек). Конечно, одной предобработкой поверхности добиться прокрытия сложно, т.к. электролит хромирования имеет плохую рассеивающую способность, следовательно, плохую равномерность покрытия.

Анод должен повторять профиль покрываемого изделия, находиться очень близко к катоду (5-10мм).

Материал катода - свинец или его сплав с оловом (3-5%). Ни в коем случае нельзя использовать медь в качестве анода. Медь растворяется в хромовокислом электролите и приведет к бракованным покрытиям.

К.т.н. Солодкова Л.Н.

**Об утрачивании черной окраски анодированным алюминием**

*On the discoloration of black anodized aluminum*

**ВОПРОС:** Плотность тока 1 А/дм<sup>2</sup>. Анодированная деталь из сплава Д16Т в растворе H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-190 г/л (60 мин),окрашенная в чёрном красителе, уплотнённая в горячей, дистиллированной воде (30 мин) изменила цвет с чёрного на порыжевший после нахождения в течение недели на открытом воздухе при свете.

Необходима качественная чёрная деталь, устойчивая к внешним условиям. Что Вы посоветуете, также, по поводу использования глубоко чёрного светопрочного красителя для алюминия Совелан М.

Нижнетагильский институт испытания металлов

**ОТВЕТ:** Вы, к сожалению, не описали подробно, как проводится нанесение покрытия; особенно это касается операции окрашивания. Поэтому приходится делать различные предположения.

Параметры самого процесса анодного оксидирования, указанные Вами, в принципе позволяют создать необходимую для качественного окрашивания толщину покрытия и систему пор в оксидном слое. Правда, не указана температура раствора; если она была завышена, то образуется покрытие с повышенной пористостью, которое плохо удерживает краситель, что отрицательно скажется на цвете покрытия. Это особенно важно для деталей сложной конфигурации, при обработке которых температура на разных участках детали может существенно отличаться от температуры в объеме электролита.

После анодирования необходимо очень тщательно промывать детали, поскольку оставшаяся в объеме пор кислота будет в дальнейшем растравливать поры, увеличивая их размер, что приведет к плохому удерживанию красителя в порах и ослаблению интенсивности окраски.

В операции окрашивания в органическом красителе присутствует несколько нюансов, которые могут привести к ухудшению качества окрашенного оксида. Применимы различные красители, но необходимо помнить, что для каждого конкретного красителя существует оптимальная кислотность раствора (рН) и температура, при которой будет достигаться наилучший результат. Для получения глубокого черного цвета полезно также

увеличивать концентрацию красителя. Все эти факторы должны способствовать максимальной сорбции красителя в порах оксидного покрытия.

Последующая операция уплотнения покрытия призвана вызвать гидратацию стенок пор, которая будет препятствовать удалению красителя из покрытия. В этой операции важный момент: необходимость небольшого подкисления дистиллированной воды до pH 5-6. Температура должна быть близкой к кипению. В противном случае часть красителя будет удаляться из внешнего слоя покрытия, что приведет к ослаблению интенсивности окраски.

Насколько вы проконтролировали все эти факторы, из Вашего письма неясно. Попробуйте проконтролировать всю цепочку технологических операций, чтобы понять, где происходит сбой.

*К.т.н. Скопинцев В.Д.*

**Причина обесцвечивания черного красителя на анодированном алюминии при складском хранении**

*What is the cause of dissolution of black color on anodized Al in the course of shelf storage?*

**ВОПРОС:** С чем может быть связано выцветание черного красителя при покрытии ан.оксч?

Выцветает краситель на деталях, которые находятся на сборке в течении 3-5 месяцев, детали лежат на стеллажах в конденсаторной бумаге или на столе у сборщика при искусственном и естественном освещении. Анодирование проводится в серной кислоте 196 г/л, t 17-19 °С. Затем наполнение в черном красителе 10 г/л, t 60-65 °С и промывка в горячей дистиллированной воде.

**ОТВЕТ:** Даже при наличии правильно сформированной структуры оксидного слоя (достаточной толщине и пористости) возможны несколько причин для получения некачественной окраски:

1. Каждый краситель работает при строго определенном значении pH. Например, черный для алюминия требует pH 3,5-4,5, глубоко-черный для алюминия - pH 3,5-5, кислотный черный ЗМ - 5,6-7. Вы не указали, какой использовали краситель и каково значение pH в его растворе. Если есть несоответствие, то возможно ухудшение интенсивности окраски.

2. Каждый краситель дает интенсивную окраску при определенной температуре обра-

ботки. Существуют красители, работающие при комнатной температуре (например, черный для алюминия), и есть красители, требующие нагрева (глубоко-черный или кислотный черный; для них оптимальная температура 50 - 60 град). Превышение температуры приведет к частичному зарастанию пор в процессе окрашивания, что также может отрицательно сказаться на интенсивности окраски оксидного покрытия.

3. Такой же эффект может дать недостаточная концентрация красителя и продолжительность обработки. Для получения черного цвета обычно берут 10-15 г/л красителя и время 20-30 мин.

4. Очень важно качество промывки оксида перед окрашиванием. Если недостаточно отмыть кислоту, ее остатки в порах будут при хранении растравливать пористую структуру оксида, способствуя вымыванию красителя и изменению его структуры, что также приведет к изменению цвета. При использовании горячей промывки начнется гидратация пор, что не даст закрепиться в порах достаточному количеству покрытия. Лучше всего детали после оксидирования хранить в холодной воде до процесса окрашивания.

5. Процесс уплотнения также может повлиять на интенсивность окраски. Наличие солей жесткости в воде приведет к образованию их налета, снижающего степень черноты. При этом опыт показывает, что соли жесткости обнаруживаются даже в дистиллированной воде, особенно при ее длительном хранении. Рекомендуется применять для уплотнения подкисленную до pH 4-6 воду или специальные составы для безналетного уплотнения, сохраняющие качество окраски органическим красителем.

6. Снижение интенсивности окраски может проявиться не сразу при получении покрытия, а при его хранении, поскольку при нарушении того или иного параметра технологического режима в порах покрытия при его хранении могут протекать процессы, снижающие интенсивность окраски. Способствовать этому могут и условия хранения: выдержка в атмосфере цеха с повышенной влажностью и наличием кислых паров в воздухе будет вызывать частичное разрушение внешнего слоя покрытия и изменения в структуре органических молекул.

Вам придется проконтролировать все стадии технологического процесса, чтобы выявить конкретную причину выцветания оксидного покрытия.

*К.т.н. Скопинцев В.Д.*

## ВЫПРЯМИТЕЛИ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ



# ПУЛЬСАР СМАРТ

### Повышенная надежность

- перераспределение нагрузки
- новая система охлаждения
- защита класса IP65
- 2 года гарантии

### Управление и автоматизация

- сенсорная панель управления
- совместимость с Пульсар ПРО
- подключение датчиков и исполнительных устройств
- гибкость настроек

### Эффективность

- коэффициент мощности  $\approx 0,97$
- стоимость обслуживания снижена в разы
- КПД  $\approx 90\%$

### Новая модульная система

- легкость конфигурирования
- облегчённая конструкция
- улучшенная эргономика
- простое обслуживание
- компактный размер

### Качество получаемого покрытия

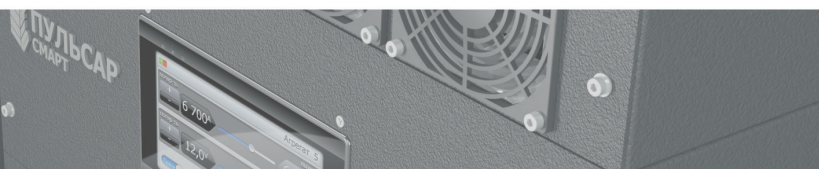
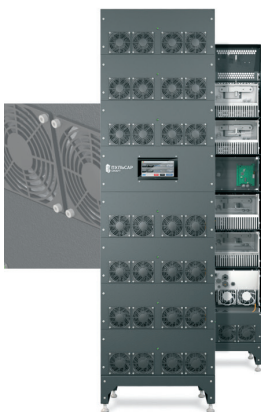
- равномерное нанесение
- ровная форма тока



## Безупречная и бесперебойная работа при максимальных нагрузках!

### Особенности:

- отправка подменного модуля в течение 1-го дня
- самостоятельная замена модуля за 30 минут
- увеличенное время наработки на отказ
- использование меньшей площади
- защищённость от внешней среды
- до 16 независимых выходов
- легкость управления
- высокий КПД и cosφ
- модульная система
- ток без пульсаций



г. Ярославль, ул. Университетская, д. 21  
тел.: (4852)741-121, 741-567  
e-mail: [commerce@navicom.org](mailto:commerce@navicom.org)  
[www.navicom.org](http://www.navicom.org)



- ✓ 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

Разрешение РОСТЕХНАДЗОРА

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](mailto:main@rts-engineering.ru) • <http://www.rts-engineering.ru>





**ЭЛМА**  
торговый дом

Тел./факс: многоканальный:  
+7 (812) 490-75-03,  
+7 (812) 921-48-02  
info@td-elma.ru www.td-elma.ru

**ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ РЕШЕНИЕ БЫСТРО И КАЧЕСТВЕННО**

## Новые решения для Вашего производства

- ТВЕРДОЕ ИЗНОСОСТОЙКОЕ ХРОМИРОВАНИЕ
- БЕСПОРИСТОЕ ХРОМИРОВАНИЕ
- МНОГОСЛОЙНОЕ ХРОМИРОВАНИЕ

### Технологии и оборудование «под ключ»

а также любой этап цикла:  
проектирование, изготовление,  
авторский надзор, поставка,  
шефмонтаж, запуск в эксплуатацию,  
обучение персонала

Более подробную информацию Вы можете получить  
на нашем сайте: [www.galvanochrom.ru](http://www.galvanochrom.ru)  
по электронной почте: [manager@galvanochrom.ru](mailto:manager@galvanochrom.ru)  
по телефону: +7 (812) 336-93-82

**ГАЛЬВАНОХРОМ**  
GALVANOCHROME  
Санкт-Петербург



**Нестандартные задачи и их решение - это наш профиль!**



## 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-олово-цинк 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 бондеризации.
- **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

Проблемы с качеством покрытий?

Проблемы с обработкой стоков?

Проблемы с очисткой?

Покупайте  
оборудование

**SERFILCO!**

Вертикальные насосы

Погружные системы фильтрации

Компактные системы фильтрации

Угольные и ионнообменные системы очистки

Насосы с магнитной муфтой

Насосы с прямым приводом

Многокартриджные системы фильтрации

Системы фильтрации

Самовсасывающие насосы

Портативные системы фильтрации

Дозирующие насосы

Гравитационные системы фильтрации

Насосы для бочек

Закажите полный каталог оборудования SERFILCO



**POPOV Consulting**

Официальный дилер компании SERFILCO International Ltd., Англия  
Тел./факс: (495)968-10-49, (499)259-24-55,  
E-Mail: [popov@popovconsulting.com](mailto:popov@popovconsulting.com)  
[www.serfilcoequipment.popovconsulting.com](http://www.serfilcoequipment.popovconsulting.com)



## Научно-производственное предприятие

# «ЭКОМЕТ»

Компания «ЭКОМЕТ» производит и поставляет эффективные блескообразующие добавки и специальные композиции для гальванических производств и химической обработки металлов, а также предлагает к внедрению современные технологии, которые используются многими предприятиями России и стран СНГ. Компания «ЭКОМЕТ» является эксклюзивным представителем в России фирмы **COVENTYA**, которая предлагает составы для гальванических процессов, используемые ведущими мировыми производителями.

*Предлагаем технологии и химические компоненты к ним:*

- **обезжиривание, травление, совместное обезжиривание-травление**, для всех металлов, в том числе эффективные «холодные» растворы;
- **цинкование**: щелочное, слабокислое, сплавы цинка;
- **пассивация цинка**: радужная, желтая, черная, оливковая, бесцветная (голубая), **пассивация на соединениях хрома (III)**; пассивация без соединений хрома; составы для усиления защитной способности цинковых покрытий с пассивацией;
- **никелирование**: блестящее, матовое, коррозионностойких сталей, химическое;
- **меднение (бесцианидное)**: блестящее, пирофосфатное, для защиты от цементации;
- **оловянирование**: кислое, щелочное, сплав олово-висмут;
- **хромирование**: износостойкое, декоративное, черное;
- **холодное чернение** (черное оксидирование) стали, чугуна, меди;
- **многослойные покрытия**, в том числе по алюминию;
- **обработка алюминиевых сплавов**: обезжиривание-травление (в том числе кислое), хро-матирование, бесхроматное оксидирование под окрашивание, анодирование (в том числе цветное), холодное наполнения анодного оксида, окрашивание анодных пленок, химическая и электрополировка алюминия, матирование, травление и др.;
- **ингибиторы**: для растворов травления стали, для временной консервации деталей;
- **электрофоретические лаковые покрытия** (бесцветные и цветные);
- **покрытия драгметаллами** – бесцианидные электролиты;
- **пассивирование и электрополирование** нержавеющей сталей;
- **фосфатирование** стали и алюминия, пропитка для фосфатных покрытий (вместо масла);
- **подготовка металлов к окраске**, в том числе порошковыми материалами;
- **разработка технологий покрытий и обработки металлов** по заданию заказчика.

*Предлагаем следующее оборудование:*

- **выпрямители** (промышленные и лабораторные), в том числе выпрямители модульного типа фирмы **KRAFTELEKTRONIK** (Швеция);
- **теплообменники** (погружные и выносные) фирмы **CALORPLAST** (Германия) для нагрева или охлаждения ванн;
- **ячейки Хулла** в полной комплектации;
- **фильтровальные установки и насосы**, картриджи к ним;
- **нагреватели** (ТЭНы) для ванн из различных материалов и терморегуляторы;
- **полипропиленовые ванны, резервуары и небольшие гальванические линии с ручным управлением** собственного изготовления.

*Оказываем предприятиям помощь в подборе и заказе нового оборудования для современных технологических процессов. Выполняем работы по созданию новых и модернизации существующих гальванических цехов и участков, очистных сооружений.*

Адрес: 119991, Москва, Ленинский проспект, д. 31, ИФХЭ РАН, «ЭКОМЕТ»

Телефоны/факсы: (495)955-45-54, 954-86-61, 955-40-33 (офис), 545-58-56 (склад)

Мобильные телефоны: (495) 790-82-63 (группа технологов), 8-903-758-28-90 (офис)

Http:// [www.ecomet.ru](http://www.ecomet.ru), E-Mail: [info@ecomet.ru](mailto:info@ecomet.ru)

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



Основанное в 1941 году Открытое акционерное общество «Тамбовгальванотехника» имени С. И. Лившица (ОАО «ТАГАТ» им. С. И. Лившица), с 1961г - специализированное предприятие по проектированию и изготовлению оборудования для нанесения гальванических, химических и анодизационных покрытий.

С февраля 2012 года ОАО «ТАГАТ» входит в группу компаний «АРТИ».

- Предлагаем гальваническое оборудование любой сложности со сдачей “под ключ”, в том числе многопроцессные линии с компьютерной системой управления, системы водоподготовки, очистные сооружения, системы приточной и вытяжной вентиляции.
- ОАО «ТАГАТ» владеет 84 авторскими свидетельствами на изобретения, многочисленными патентами и свидетельствами на промышленные образцы гальванического оборудования.
- Изделия проектируются, изготавливаются и сдаются под конкретные технические условия заказчика.
- Осуществляем поставки отдельных узлов гальванооборудования для ремонтных нужд, реставрации и модернизации (фильтровальные установки, специальные химстойкие насосы, воздушные фильтры, источники питания).
- ОАО «ТАГАТ» предоставляет своим потребителям информационную поддержку в поиске и выборе поставщиков расходных материалов, в том числе блескообразующих добавок и специальных композиций для гальванических процессов.
- ОАО «ТАГАТ» применяет широкий спектр полимерных материалов и металлов (полипропилен, полиэтилен, фторопласт, поливинилхлорид, нержавеющие стали и сплавы, титан, медь и другие).

ОАО «ТАГАТ» им. С.И.Лившица предлагает:

- Линии автооператорные автоматические и механизированные.
- Линии кареточные оральные подвесочные, конвейерного типа.
- Комплексы для очистки сточных вод (КОС) гальванического производства.
- Системы управления автооператорами в механизированном и автоматическом режиме.
- Установка 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.

**Наш адрес:**

392030, Россия, г.Тамбов, Моршанское шоссе, 21  
Телефон: 8 (4752) 53-25-03, 8 (4752) 53-70-03, 8 (4752) 53-18-89  
факс: 8 (4752) 45-04-15,  
e-mail: market@tagat.ru, office@tagat.ru

<http://www.tagat.ru>, <http://tagat.pф>

**ОАО «ТАМБОВГАЛЬВАНОТЕХНИКА»  
имени С.И.Лившица**

**БЫТЬ ПЕРВЫМ, СОЗДАВАЯ ЛУЧШЕЕ**

УДК 621

**Успехи гальванотехники\***  
**Обзор мировой специальной литературы**  
**за 2013-2014 годы**

**Елинек Т.В.**

**Advances in Metal Finishing - An Assessment of the**  
**International Literature**  
**2013-2014**

**Jelinek T.V.**

**Fortschritte in der Galvanotechnik - Eine Auswertung der**  
**internationalen Fachliteratur 2013-2014**

**Jelinek T.W.**

Успехи в гальванотехнике - одной из основных отраслей металлообрабатывающей промышленности - позволяют в специальных публикациях за этот период времени лучше оценить корреляцию с проектом будущего „Индустрия 4,0“. Немецкое правительство связывает этот проект со стратегией высокой технологии, в которой информатизация производственной техники играет решающую роль [48, 94, 234, 311, 498, 437, 498, 566, 585].

При попытке перевода этих планов в область гальванотехники и техники обработки поверхности, необходимо прежде всего упомянуть о желаемой интеграции в производственный процесс.

Далее говорится об эффективности использования энергии и ресурсов, логистике, транспорте, медицине, важных проблемах охраны окружающей среды, ситуации в области нанотехнологий и, в заключении - о качестве и продуктивности инновации.

Об этих и многих других разработках за период 2013/2014 годов сообщается в более чем 600 публикациях. Они были проанализированы в 39 международных специализированных журналах. Из них 28 на немецком языке, 3 на английском, 4 на русском, 2 на польском и по одному на французском, голландском и итальянском языках. 14 журналов специализировались на техниках обработки поверхности и 25 только sporadически публиковали темы по обработке поверхности.

---

\* Перевод обзора из немецкого журнала *Galvanotechnik*, 2015, 106. -№1, С. 33-52.

## **1. Основные разработки. Новости и актуальные проблемы**

### **1.1 Эффективное использование ресурсов**

Внедрением новых технологий нанесения покрытий удалось сократить с восьми до двух процентов расход трудно добываемого диспрозия, необходимого для ветряных установок из-за требований к жаростойкости редкоземельных магнитов. Блоки из магнитного материала покрывают диспрозием и подвергают термообработке так, что металл направленно и равномерно диффундирует вдоль границ кристаллов [336, 567, 572, 582]. Специальные магнитные свойства возникают при облучении полупроводниковых оксидов [364].

При постоянно возрастающем количестве электронного лома, особое значение приобретают способы переработки вторичного сырья, прежде всего из-за большого количества металлов, в том числе редкоземельных. Редкие земли разделяют с помощью специально разработанных ионнообменников [377, 440].

Обогащение электронного лома происходит не только за счет редких земель. Постоянно возрастает объем технических металлов. Например, Париж со своими оцинкованными крышами, считается крупнейшим цинковым рудником Европы (Urban Mining), в котором цинк может извлекаться с весьма низкими энергозатратами по сравнению с горными выработками [586].

Уменьшение веса используемых материалов применяется во многих направлениях. Так текстильным материалам часто придают определенную форму и затем на нее без повреждений напыляют металл [44]. В другом способе трикотажное изделие сначала активируют, химическим способом наносят медное покрытие, а затем покрывают толстым слоем меди [100].

Поверхностно-модифицированные нанотрубки синтезируют прямо на поверхности алюминия [505].

Упаковочный синтетический материал может быть тонким, если его защитные свойства улучшают нанесением плазменных покрытий [476].

Применение комбинаций полимер/гибриды металла с так называемыми биополимерными материалами, в основном полученными ферментацией молочной кислоты, затрагивает проблемы предварительной обработки [183, 427, 564].

В области органических покрытий увеличивается количество используемых систем, быстротвердеющих под действием УФ-лучей [278].

Механические свойства спеченных сталей в 1,2 – 1,7 раз выше, если железный порошок перед спеканием покрывают химическим никелем [359, 519].

Улучшенные механические свойства получают струйной обработкой поверхности, причис-

ляемой сегодня к высоким технологиям в области легких конструкций [391].

Применяемые в углепластиках углеродные волокна используют дополнительно как проводники, при этом электролитически никелированные концы служат контактами [399, 431, 438]. Особенно интенсивно исследуются в настоящее время 2D-материалы, как например графены, демонстрирующие при низком весе высокую тепло- и электропроводность [415].

Если „легкие“ материалы классифицировать не по весу, а по эмиссии CO<sub>2</sub>, в этом случае сталь стоит на первом, перед стеклопластиком, месте [432].

Есть успехи в способе создания соединений. Болтовые и заклепочные соединения легких высоконагруженных конструкций все в большей степени заменяют склеиванием [436].

Особым является способ соединения тонкооцинкованных листов запрессовкой (Clinchen), при котором не теряется защита от коррозии цинком [528]. При производстве прототипов и малых серий возрастает применение генеративных способов. К ним относятся, например, изготовление лазерной наваркой, где устройство соединено с финишной фрезерной установкой [390]. В противоположном способе – электрохимическом снятии поверхности – возможна установка оптимальных параметров с помощью специальной аппаратуры [429] и получение нужной микроструктуры [91, 382]. Плазменным напылением порошок наносится селективно в струе инертного газа [438].

Золото, как незаменимый для контактов металл, экономится за счет конструкций и таких мер, как применение специальных подвесок и селективного нанесения покрытия [583].

### **1.2 Эффективное использование энергии**

Публикация [139] знакомит читателей с обзором существующих и планируемых вариантов батарей с высокой емкостью и коротким временем зарядки, а также с индивидуально реализуемыми предложениями для накопителей энергии.

Программой рассчитывается эффективное использование энергии для лакировальных установок в соответствии с нормами DIN EN ISO 50001 [93].

Обогрев промышленных помещений в рабочее время осуществляется приточным воздухом, нагреваемым горячей производственной водой в стенках вытяжной вентиляции для аэрозолей краски [92], а во время пауз – солнечной батареей. Дополнительная энергия получается при сжигании избыточного спрея [459].

Для сушки можно применять экономичную конденсационную сушилку, в которой абсолютно сухой воздух пропускается через сохнувшие детали [140] или детали из обжиговой печи транспортиру-

ются на соответствующем приспособлении в непосредственной близости от сохнувших деталей [186].

Сообщается о гальванических предприятиях, осуществивших меры по экономии энергии [288, 340]. Эффективная экономия энергии на предприятиях имеет место только тогда, когда она охватывает все вспомогательные устройства, включая насосы, фильтры, печи [238, 240, 241, 339, 385, 573, 578].

Тонкое серебряное покрытие на стекле и окнах сокращает энергопотери в зданиях, достигающие в Германии 40% от общего расхода энергии [584].

Существуют единичные примеры включения освещения (например уличного) светодиодными лампами через датчики контроля движения лишь по необходимости [187, 339].

В производстве электроэнергии основная тенденция вырисовывается в децентрализации ветровой энергетики, тепловых станций и т.д. с их одновременным сетевым соединением [501, 502]. Использование водорода, как энергоносителя, генерировало новое направление „водородной химии“, причем преимуществом является то, что кроме каталитического способа производства водорода электролизом, он может одновременно служить, например, накопителем ветряной энергии [236, 239, 253, 400, 571]. Меньшие энергозатраты производства ветряной энергии возможны при замене ветряных колес на поднимаемые в зону ветров и управляемые компьютером воздушные змеи [237].

Для постоянного использования тепла от солнечных батарей имеется комплексная силовая установка [287].

Некоторые статьи посвящены сравнению различных способов [430]. При наладке солнечных установок планируют интенсивное использование земли [577].

Наногенераторы, производящие энергию для медицинских целей, работают по принципу пьезо- или трибоэлектричества [383].

Энергия экономится ограничением нагрева в тонком, нанесенном ионным напылением, слое полимерных литьевых форм [101].

Литиевые электроды в батареях защищают химическим медным покрытием [155, 256]. Энергоэкономичным является бесконтактный индуктивный способ передачи энергии, применяемый также для нагрева производственных растворов [449].

### *1.3 Важные вопросы, связанные с окружающей средой*

В области охраны окружающей среды имеется ряд решений, внесенных в регламент Европейского союза (REACH) [232], например, применение безопасных химикатов [229]. Предлагается

также применение специального лака для замены растворов пассивирования с шестивалентным хромом [128]. В [442] рассматривается замена запыщенных фторированных углеводородов интенсивной водной очисткой.

Дискуссия специальной группы экспертов посвящена важному и спорному запрету хромирования, особенно твердого хромирования на основе Cr(VI) [560]. Предложенные замены функциональных хромовых покрытий, например специальными лаками для декоративных целей [128] или гальваническими олово-кобальтовыми покрытиями [2], применимы только в единичных случаях.

В рамках исследовательского проекта изучается возможность переработки CO<sub>2</sub> из отходящих газов металлургических и других предприятий, в химические продукты [434].

### *1.4 Нанотехника*

В настоящее время, конкретными результатами интенсивных исследований в нанобласти по модификации свойств поверхности структурированным движением молекул и атомов являются самозалечивающиеся поверхности и соединение мест разрывов „плавающими“ молекулами [42].

Облегченный штампованный тонколистовой закаленный материал с высокими механическими характеристиками, предохраняют от образования оксидов нанесением золь-гель слоя на основе Si-Al-K-Li [243], аналогично с охлаждающими каналами в инструменте [520]. Графеновое покрытие толщиной в один атом оптимизирует трибологическое поведение [465, 565].

Вакуумным напылением на полимеры тонких золотых, титановых, серебряных покрытий получают свойства материалов, аналогичные свойствам человеческой кожи [312, 223].

Исследования ущерба здоровью от использования наноматериалов показывает, что оно не выше, чем от обычной пыли [286, 289].

### *1.5 Гальванотехника как ключевая отрасль индустрии*

Особенно интересными являются публикации о том, как фирмы-производители гальванических продуктов, производственные и исследовательские подразделения конкретизируют свои задания в связи с основными разработываемыми направлениями и одновременно утверждают на рынке [581]. Средством к этому является оказание дополнительных услуг и интересные предложения новых функциональных покрытий и технических решений. Работодатели хотят иметь в своем распоряжении новые процессы, экономящие химические продукты и энергию, а также получать оптимальные технологии обработки поверхности [461, 464, 544]. Предпочтительным является совместная



работа на всех уровнях, чаще всего характеризующаяся отношениями между партнерами [114, 102]. В США ускоряются разработки в военной области с использованием специальных установок [25]. Важной является проблема старения сотрудников [293].

Селективный процесс твердого хромирования, в котором поток электролита направляется между анодами и катодной поверхностью, позволяет интеграцию в производственный процесс при одновременном снижении концентрации  $\text{Cr}$  (VI) [246, 354, 444, 534]. В другом способе, разработанном для нанесения на алюминий и титан сплава Ni/Co, за счет регулирования скорости движения электролита через узкую щель между анодом и катодом, можно выбирать между его ламинарным и турбулентным потоком [303].

Кроме логических операций „точно в срок„ (Just-in-Time) для последующего монтажа деталей с покрытием, программа Just-in-Sequence-Bestückung так координирует порядок нанесения различных покрытий, что сокращает производственный процесс [363]. При исследовании мер, необходимых для гибкой сопряженности производственных мощностей сопроизводителей, можно опереться на специально разработанную программу КОКА [380]. Гальваническую установку, состоящую из отдельных модулей, особенно легко приспособить под различные процессы [386].

Нанесением тонких слоев пытаются экономить металл в декоративных и технических покрытиях. При этом, если рассматривать общие затраты, связанные с нанесением покрытия, это очень редко используемый путь рационализации [313]. Затраты возможно сократить селективным нанесением дорогого золотого покрытия только на необходимые участки [204, 381].

Изучается способ нанесения многослойных функциональных покрытий и выделения тепла между отдельными фазами в условиях трения скольжения [470].

Ультратонкие фольги для планшетов, смартфонов и т.д. изготавливают электролитическим нанесением медной фольги толщиной от 12 до 70 мкм, разделительным неорганическим слоем и затем верхней фольгой толщиной от 2 до 9 мкм [321].

Разрабатывается комбинированный печатный способ, например, для производства батарей [322].

При электрохимической обработке кобальта (ЕСМ) качество поверхности возрастает с увеличением вязкости электролита [141]. Селективная обработка в Jet-ЕСМ-процессе основана на подаче тока между электродами через струю [142]. Микроструктуры производятся также за счет соударений электролита в свободной струе [46].

Одной из проблем, влияющей в последнее время на технический прогресс, является утеч-

ка заказов для гальваники, например в автопромышленности, за границу. Особенно критична эта ситуация в Америке, где, например, предприятия, выпускающие автомобильные диски для собираемых в Китае автомобилей, регистрируются особым образом [157].

Имеются многочисленные публикации об истории и прогрессе в гальванотехнике с указанием, как можно учиться на положительных, а также негативных примерах [9, 59, 136, 137, 242, 251, 468, 499, 500, 512].

## **2. Применения гальванических и других покрытий**

### **2.1 Автомобилестроение, авиация, ветряные генераторы, машиностроение**

Увеличивается ассортимент лаков, используемых в металлообработке, в первую очередь в автомобильной промышленности, и все чаще предназначенных для специальных покрытий [326, 331].

К таковым относятся например лаки, устойчивые к царапинам [218, 474] и особенно устойчивые лаки для мусоровозов [222]. Супергидрофобный лак защищает кузовные лаки автомобилей [158].

В цветовой гамме кузовов сейчас пользуются спросом белый, черный, серебристый и серый [401]. Черные поверхности на приборных панелях получают дополнительным вакуумным напылением хрома [78, 475].

Для цилиндров моторов, зубчатых колес существуют износостойкие диффузионные покрытия [257]. Парковочные радары могут быть незаметно приварены к бамперам ультразвуком [358].

Для гибридных коробок передач автомобилей с колеблющейся нагрузкой существуют гальванические триметаллические подшипники на основе меди-олова-никеля [156]. Легкие моторные алюминиевые детали делают износостойкими гальваническими дисперсионными никель-ПТФЕ-покрытиями [299]. Турбинные лопатки защищают от теплового износа внешними керамическими и внутренними металлическими покрытиями [503].

Корпуса кораблей покрывают специальным, долгодействующим слоем золь-гель-методом [171] или покрытием против обрастания, напоминающем шкуру акул [424].

Новый способ проверки определяет защиту от эрозии деталей в авиации и ветряной энергетике [104, 169].

Горячеоцинкованные фасады представляют в строительстве долговременную и дешевую альтернативу традиционной поверхностной обработке [202].

Прочность сцепления мест соединений материал/лаковая поверхность зависит от лака и лаковых покрытий [194].

Причина отказов при напряжениях до 500 вольт лежит чаще не в лаках, а в способе применения [417].

Смазку сильно нагруженных валов и зубчатых колес можно улучшить тонкими полиамидными слоями с порошковыми медно-алюминиевыми или оловянными наполнителями [317].

Инструмент для струйного литья пластмассы защищают от износа плазменными нитридными покрытиями [477].

## *2.2 Электротехника, электроника, техника использования солнечной энергии*

При возрастающей доле электроники (например, 40% в автомобилях, из них примерно 87% приходится только на печатные платы) очень важно значение печатных плат [414]. С тенденцией к интегрированию на печатных платах все большего количества электронных компонентов, постоянно увеличивается число исследовательских работ, посвященных этим темам [119, 450]. Применение больших токов вызывает необходимость замены паяных, соединениями спеченным серебряным порошком [120, 123, 125, 412, 413, 537].

Сцепление между литым пластмассовым изделием и металлической рамкой корпуса электронного компонента улучшают специальным подтравливанием меди [121, 210, 366].

Вследствие высокой нагрузки, термодинамика является темой многочисленных работ [122, 150, 273, 411, 493, 539, 538, 541, 543], существует новый способ проверки продолжительности работоспособности [124].

Изучаются причины трещинообразования паяных соединений при вибрации [275], также влияние сдавливающих напряжений в условиях высоких температур [276]. В многочисленных публикациях обсуждается ряд проблем, возникающих при пайке печатных плат [416, 542, 545, 546].

Взамен существующей технологии вырезки из листа, возможно напыление толстых, до 300 микрон, проводниковых покрытий из высокочистой меди [164]. Не оправдал себя опыт экономии вакуума при плазменной сварке таких покрытий [165]. Существует большое количество способов производства печатной электроники [167, 168], частично без вакуума [166].

Оптимизируют способ производства структурированных лазером литых пластмассовых переключателей [365], один из них разрабатывается для формирования ниобиевого слоя в датчиках для смеси серы и фтористоводородной кислоты [387]. Специальная обработка сверхпроводников и постоянных магнитов позволяет рас-

полагать их без обоюдного воздействия один на против другого [389].

В области солнечной энергетики, производимый электролитическим способом из наноразмерных олова, меди и цинка кестерит должен заменить в будущем дорогостоящие тонкие покрытия солнечных элементов [315, 410]. Зеркала для ультракоротких длин волн изготавливают магнетронным напылением кремниевых покрытий [310].

## *2.3 Медицина*

С использованием соответствующих пластмасс сегодня возможны во всех областях медицины такие специфические свойства поверхности как проводимость, прочность, химическая стойкость и многие другие [316].

Специальные медицинские приборы изготавливают несерийно или малыми сериями по принципу быстрого производства (Rapid Manufacturing) [103, 153]. Маленькие электроды к приборам изготавливают капельным нанесением проводящего лака [279]. С кровотечениями, возникающими в сосудистой хирургии, борются с помощью электролитически изготовленных электродов [357]. Поверхности имплантантов из титановых сплавов улучшают электролитическим полированием [481, 507].

Продолжительность службы слуховых аппаратов можно продлить плазменным нанесением полимерного покрытия [103]. Глазные нейроимплантанты вваривают в металлизированный полимер [314].

Порошковые напыления с серебром предотвращают передачу возбудителей инфекций в больницах [102, 184, 203]. Прокатанное серебряное гальваническое покрытие защищает находящиеся под разряжением трубы от нагрузки [460].

## *3. Предварительная обработка поверхности*

Для достижения высокого качества, экономичности и стабильности при обработке поверхности особое внимание должно уделяться подготовительным операциям. Актуальные размышления и исследования показывают, что внедряемая между отдельными производственными этапами промежуточная очистка все чаще оценивается как важнейшая часть производственной цепочки [392, 393, 395, 397, 463].

Особенно многочисленны направления применения очистки в медицине [98] и в вакуумной технике [97]. Оптимальный результат очистки требует при выборе ее способа принимать во внимание не только конкретные загрязнения, но и последующие технологические этапы [96]. В

производственном цикле это выражается в учете многих функций, как например очистки, структурировании, кондиционировании. Для этого детально исследуются поверхностные механизмы [344], оценивается влияние различных технологических установок и приспособлений [441] и проводится мониторинг окружающей среды [508].

### **3.1 Очистка, обезжиривание, травление**

При выборе оптимального способа очистки нужно исходить из определенных правил [197, 198, 350, 394], особенно при выборе растворителя [294, 457] и технологических установок [347]. В случае очистки с гидродинамическими эффектами, возможен предварительный расчет установки и параметров [343, 574]. При использовании ультразвука должны быть подобраны соответствующие параметры, чтобы его действие приходилось на заранее рассчитанную поверхность [346]. Чтобы на поверхности детали после очистки не было остатков растворителя, установку очистки нужно предварительно адаптировать [295], особые меры требуются при тонкой очистке [509].

Существует оптимизированная установка очистки и одновременного кондиционирования пластмасс плазмой при атмосферном давлении [1, 51, 146, 192, 349]. Этот способ особенно применим перед лакированием для выравнивания поверхностей с различной микрогеометрией [245].

Для таких легких материалов как титан, очистка и кондиционирование поверхности могут осуществляться лазером в одном технологическом цикле [587], перед склеиванием лучше всего обрабатывать углепластики электронным пучком [193], а ламинаты с углеродными волокнами электролитической очисткой [510].

Статья [348] посвящена изучению функции ингибиторов травления и их распределению в зависимости от механизма действия. Применяемую при травлении железосодержащих материалов для предотвращения водородной хрупкости трудно разлагаемую этилендиаминтетрауксусную кислоту (EDTA), заменяют этилендиаминдиантарной кислотой (EDDS) [244].

### **3.2 Механические способы подготовки поверхности, электрополирование, кондиционирование**

Особое внимание уделяют способу центрифугированной подачи абразива при струйной обработке поверхности. Процесс более продуктивен при использовании оптимизированных и удобных в обслуживании энергоэкономичных установок [95, 195], а также установок непрерывного действия, использованием абразивных материалов различной зернистости [20]. В [579] исследуется влияние абразивных материалов. Сущест-

вует высокопродуктивная установка струйной обработки сухим льдом [196]. Замена травления струйной обработкой сухим льдом улучшает поверхность пластмасс [59, 147].

Структуры, получаемые в барабане при вибрационном шлифовании с гранулятом из грецких орехов, не будут повреждены, если остатки гранулята разрушают ферментами и удаляют [47].

Внутренние напряжения и пригар изделия, возникающие в результате термического воздействия, возможно определить с помощью неразрушающего фототермического контроля [36].

Экономические преимущества имеет замена обычных шлифовальных кругов на шлифовально-полировальные [580].

При электрополировании пробуют заменить фтор- и хром(VI)-содержащие растворы на ионные жидкости [50].

Сравнительные исследования кондиционирования поверхности перед лакированием показывают, в каких случаях струйная обработка или цинковое фосфатирование имеют преимущества [199]. Нанесением, обработкой или растворением  $\text{SiO}_2$ -содержащего прозрачного лакового слоя можно получать гидрофобные или гидрофильные лаковые покрытия [280]. Улучшенное сцепление и особые структуры на оцинкованном листе имеет лак, кондиционированный дрессировкой в валках [342].

Углеродные нанотрубки перед химическим никелированием обрабатывают в смеси азотной и серной кислот и после сушки сенсibiliзируют палладием [255], а особо гладкие детали из полиамида - в растворе, содержащем наноразмерные пузырьки озона [297].

## **4. Электролитическое осаждение металлов**

### **4.1 Основные положения, общие вопросы**

Некоторые из опубликованных в этом году исследований указывают, что получение высокого качества, регулируемых свойств и равномерных покрытий основаны на лучшем понимании взаимосвязей с параметрами осаждения.

Распределение плотности тока измеряют и рассчитывают на вращающемся катоде и сравнивают с распределением толщины покрытия в шлифе [3]. Локальную силу тока измеряют величиной индукционного магнитного поля, образуемого пропусканием тока через ферритовое кольцо катушки Роговского [33, 58].

Свойства электролитически осажденных дисперсионных покрытий регулируются типом и количеством дисперсантов, а также типом и параметрами осаждения металлов покрытия [467]. При включении твердых загрязнений в покрытие образуются неровности, которые при трибологи-

ческой нагрузке могут приводить к локальному разрушению слоя [6].

Содержание металла в золотых и серебряных электролитах возможно регулировать зависимым от тока растворением соответственно конфигурированного анода [12]. Наряду с выходом по току в качестве новых параметров управления гальваническим процессом предложены выход по металлу и общий выход металла [473].

Варьированием напряжения в медь- и серебросодержащем электролите возможно осаждение трехмерных мезокристаллов с собственно ориентированными свойствами на тонкоструктурированную графитовую поверхность [43].

Измерения гальванических покрытий толщиной 5 микрон, показывают зависимость электропроводности от параметров осаждения; максимальное значение имеет серебряное покрытие, полученное из электролита без органических добавок, для меди она возрастает с введением в электролит добавок [301]. Новые измерения опровергают существующие значения линейного роста электропроводности в медных электролитах [515].

Для улучшения магнитных свойств гальванических NiCoMnP-покрытий возможна достаточная степень диспергирования в них ферромагнитных наночастиц гексаферрита бария магнитным полем [305].

В разработанном общеевропейском проекте способ структурирования печатных плат без нанесения маски, основан на частичной изоляции противоположного электрода фоторезистом, поэтому медь из протекающего между электродами электролита осаждается только на местах, лежащих напротив изолированного анода [71].

Не было установлено однозначных причин вискеробразования между слоями, связанных с запретом использования свинца в оловянных припоях и температурной обработкой [149].

Исследование массопереноса и механизма осаждения в ионном растворе хлорида холина и этиленгликоля показывает двухступенчатое осаждение меди через комплекс и восстановление олова из хлорида переносом электронов [306].

Из раствора содержащего хром (III) хлорид холина при 40°C и 12 А/дм<sup>2</sup>, получают толстые глянцевые хромовые покрытия толщиной до 20 микрон [353]. В электролитах сульфата никеля и а-аналина кристаллообразование регулируют количеством лигандов [308].

Сообщается о состоянии применения ионных растворов в гальванотехнике [148].

Из солевого расплава, содержащего вольфрамат натрия, осаждают при атмосферном давлении на медь толстые, до 500 микрон, твердые вольфрамные покрытия [307].

Пульсирующим током различных форм можно управлять твердыми структурами и другими свойствами таких заменяющих твердый хром покрытий, как NiW и NiCo [356, 513].

Будущее за способом, называемым плазменным электролизом, при котором плазма высокого напряжения воздействует на поверхность, влияет на химические реакции, диффузионные и химические процессы и, кроме знакомого анодного окисления алюминия, служит например для осаждения сплавов и модификации трибологических свойств поверхности [338]. Описываются приборы, применение метода электронатирания, а также новые, пригодные для этого способа электролиты с хромом (III) и сплавами цинка [298].

#### **4.2 Хром**

Анодные процессы и образование слоя диоксида свинца на анодах идут стабильно, если поддерживается напряжение и во время производственных пауз [8]. При замене сульфата, в качестве аниона-катализатора хлоридом или иодидом происходит двухступенчатое восстановление в присутствии хлорида [471]. При переходе от современных хром (VI)-электролитов, на хром (III)-содержащие растворы, последние должны очищаться от загрязнений тяжелыми металлами через включенные в байпас ионообменники, а непрочные участки поверхности должны дополнительно пассивироваться [107, 466].

Описывается история разработки хромового покрытия с микротрещинами для улучшения коррозионной стойкости Cr/Ni-слоев [109]. Способы осаждения пористого хрома возникли как результат исследования дефектов покрытий [112].

#### **4.3 Медь, алюминий, олово, свинец**

Цианистый раствор заменяют на применяемый с ультразвуком цитратсодержащий медный электролит [7]. Оптимизированы рабочие параметры глюконат-содержащего электролита [63]. Для контактных покрытий Cu-Ag-сплавом, цианид заменяют пиррофосфатом и иодидом [152]. Ультразвук применяют для осаждения латуни с содержанием 68-73% меди из электролита на основе глицерина [248].

Специальный способ совмещает хорошую паяемость глянцевого и не имеющего вискерообразования оловянного покрытия [4, 201]. Диффузии никеля из промежуточного покрытия при расплаве слоя олова наименее подвержена комбинация из глянцевого олова и матового никеля [69]. Возникающие при этом цветовые изменения возможно устранить последующей обработкой в специальном растворе [106]. На рост вискерообразования влияют параметрами процесса; он уменьшается, например, с повышением силы тока и толщины покрытия [151].

Для осаждения антифрикционных свинцово-оловянных сплавов возможна замена токсичного фторборатного электролита на метансульфоновый [10].

#### **4.4 Никель**

Исследование механизма осаждения никеля измерением отдельных электропроводностей с использованием солей металлов, позволяет заключить, что оно протекает многоступенчато [469].

Добавка оксалата натрия улучшает осаждение Ni-Co-сплава в сернокислых электролитах [11]. Повышение твердости и износостойкости требующее повышенного содержания кобальта в покрытиях, получают уменьшением Ni-Co-соотношения в растворе [56]. Износостойкость и твердость повышают добавками сахарина и 2-бутил-1,4-диола [516].

Высокую твердость и коррозионную стойкость Ni-Mo-W-P-сплавов можно обеспечить дополнительной термообработкой [523].

Сравниваются свойства никелевых покрытий, полученных электроосаждением, и химическим никелированием с гипофосфитом, в качестве восстановителя [300]. Высокие выходы по току и широкий диапазон силы тока при осаждении NiP из сульфатно-хлоридного электролита получают заменой борной кислоты, в качестве буфера, на аминоуксусную [351].

Комбинированные покрытия с наночастицами осаждают при содержании дисперсной фазы 1 г/л и силе тока 1 А/дм<sup>2</sup> [352]. Сравнение осаждения пульсирующим и постоянным током NiP-покрытий с частицами SiC и без них показывает, что с пульсирующим током возможно получение осадков с более высоким содержанием частиц SiC, при одновременно более низком их содержании в растворе [355].

#### **4.5 Благородные металлы**

В обзорной работе, состоящей из многих частей, сообщается об электролитических способах золочения и свойствах покрытий [60, 105, 108, 111, 113, 114].

В покрытиях „твердым“ золотом сплавом Au-Ni, с увеличением силы тока до 20 мА/см<sup>2</sup> повышается содержание золота в сплаве [61]. В электролитах твердого золочения для селективного скоростного осаждения запрещенные из экологических соображений никель и кобальт заменяют железом [511].

Большую активную поверхность имеют катализаторы из наноразмерной платины, осажденные на ниобий пульсирующим током [62].

Мелкие детали для медицины, требующие особой степени чистоты, до и после золочения дополнительно обрабатывают в горизонтальных маленьких барабанах в многочисленных промышленных ваннах с деионизированной водой с ульт-

развуком и до их применения хранят в атмосфере азота [443].

#### **4.6 Цинк и другие металлы покрытий**

Zn-Mn(28)-сплавы, осажденные из хлоридно-сульфатного электролита с лимонной кислотой и тиомочевинной, должны заменить хромированные кадмиевые покрытия [302, 472]. При добавлении в электролит теллурида натрия получают тройной Zn-Mn-Te-сплав, обладающий магнитными свойствами [304]. Свойства покрытия оптимизируют также соосаждением молибдена в Zn-Ni-сплаве [517]. Взамен хромирования возможно анодирование таких покрытий [527].

Сравнительное испытание щелочных и кислых Zn-Ni-электролитов показало качественные различия осадков только на определенных сталях, литых и массовых деталях, где из щелочного раствора осаждаются неравномерные покрытия [249].

Для замены щелочных растворов рекомендованы сернокислые цинковые электролиты с добавкой глутамата натрия, из которых осаждают покрытия с высокой твердостью [518].

Цинк-SiC-дисперсионные слои, имеющие в сравнении с цинком высокую твердость и коррозионную стойкость, получают измененным, не пульсирующим, постоянным током в сернокислых электролитах [514].

Продукт конденсации гексаметилентетрамина и дихлорэтана улучшает кроющую способность бесцианидного кадмиевого электролита [250].

В [119] дается обзор исследованиям электролитического осаждения титана.

Для производства Fe-Mo-катодов, необходимых при электролизе водорода разработан электролит с сульфатом железа, молибдатом натрия, лимонной кислотой и хлоридом аммония [247].

### **5. Химическое осаждение металлов**

Как и в предшествующем отчетном периоде, очень мало публикаций, посвященных химическому осаждению. Это тем более удивительно, т.к. его применение не сокращается, о чем можно судить по обзору, состоящему из двух частей, где дается не только хронология развития способов химического осаждения никеля, но и сообщается о большом числе применений [254, 480]. Представлена разработка нового электролита без добавок свинца, кадмия и других токсичных стабилизаторов [479], также пятое поколение растворов, работающих при пониженных концентрациях никеля и добавок; в этих электролитах содержание фосфора в NiP-покрытиях может быть подобрано индивидуально [445].

Сообщается, например, о новых применениях токо- и теплопроводящих медных деталей,

имеющих требуемую твердость и износостойкость поверхности благодаря никелевому покрытию из гипофосфитного раствора [296].

Используемый в шлифовальных средствах кубический нитрид бора наносится вместе с титаном струйным методом и затем покрывается химическим никелем [521].

Для осаждения аморфных кобальтовых слоев разработан глюцинатсодержащий электролит с морфолин-бораном в качестве восстановителя, свойства покрытий из которого возможно регулировать изменением состава раствора и параметров осаждения [522].

Палладий, чье значение важно, как катализатора и накопителя водорода, осаждают химическим путем в растворе с комплексообразователем и гидразином в качестве восстановителя [1, 14].

## **6. Оборудование и приспособления**

В публикациях о гальванических установках указываются такие измененные постановки задач, как производство небольших партий, повышенные требования к качеству изделий и экономичность. Для нахождения оптимальных решений и их реализации рекомендуется совместная с производителем разработка задания на конструкцию установок [117]. Предлагаемые мероприятия и техника досконально обсуждаются [272].

Многоступенчатый производственный процесс оптимизируют разумным разделением работ, производимых вручную и на автоматических линиях, причем роботы могут иметь тактильные сенсоры, аналогичные человеческой коже [408].

Подробно сообщается, какими возможностями обладает современный робот и для каких целей он предназначен [448, 486, 535], а также, как лучше его установить [487].

Описываются методы расчета энергоэкономичных параметров установки обработки алюминиевой ленты [492].

В соответствии с желанием интегрирования устройств, разработана компактная, объединяющая несколько модулей установка порошкового лакирования комнатных размеров, в которой все производственные операции могут быть программированы [19]. Такие установки оптимизируют предварительным моделированием всех элементов [209] и целевым планированием [478, 536].

Выбором соответствующих подвесок может экономиться до 50% производственных затрат [422]. Подвески очень сильно влияют на стоимость и качество, т.к. они лакируются совместно с деталями, а затем должны очищаться от лака [80, 215]. Излишки лака в лакировальных кабинах надежно и экономично улавливаются в двухступенчатом процессе: в первой стадии – на соединенных

полусферах, во второй – на синтетическом нетканном материале [409].

Большие детали автоматически доставляются для обработки к отдельным операционным участкам установки, где обрабатываются по специальной программе [79].

Конвекционная сушка гальванизированных (не теплопроводящих) пластиковых деталей дополнительно оборудуется приспособлениями струйной подачи горячего воздуха, заменяющей тепловой эффект сушки теплопроводящих материалов, например, металлов [20].

Общий проект [22] занят такими энергосберегающими мерами, как дополнительные специальные насадки на вентиляционные трубы, теплообменники, редуцирование воздухообмена во время производственных пауз.

Мелкие гальванизированные детали эффективно сушатся в барабане в предварительно осушенном воздушном потоке [362]. Поскольку сушка при лакировании от удаления растворителя до полимеризации является комплексным процессом, требуется очень точное планирование установок [82, 576].

Для надежности поддержания определенной температуры, конкретные участки деталей, как например автомобильные кузова, оснащаются селективными термоэлементами с термодатчиками [68, 163, 488]. По этим же причинам при порошковом напылении конвекция комбинируется с инфракрасным нагревом [271], аналогично при лакировании деталей с различной толщиной стенок [320, 490]. Используемый сжатый воздух должен быть особенно очищен [494].

Многочисленные участки фильтрования гальванического производства должны быть оборудованы соответствующей фильтровальной техникой [489]. Предусмотрена и постоянно осуществляется автоматическая замена ленты в ленточном фильтре гальванического производства [21].

Для улавливания твердых частиц в лакировальном производстве специально рассчитываются промывочные водяные фильтры перед электрофоретическим осаждением [118], а также ультразвуковые сита при порошковом напылении [130]. Удаление (порой ограниченное) [491] излишка лака в лакировальных кабинах осуществляется на так называемых щеточных фильтрах [162] или противопыльных ламелях [319].

В прогрессивной технике промывки применяют каскады, струйную промывку, многократное использование и очистку воды через ионнообменники и установки обратного осмоса [37, 67].

*Продолжение следует...  
To be continued...*

УДК 621.357.7

## **Некоторые физико-химические свойства сплава никель-фосфор, электроосажденного из сульфатно-глицинатно-хлоридного электролита**

**Петрушова О.Ю., Цупак Т.Е., Крутских В.М.,  
Жуликов В.В., Горюнов Г.Е.**

**Ключевые слова:** покрытия никель-фосфор, микротвердость, электроосаждение

Рассмотрены причины увеличения микротвёрдости никеля при легировании его фосфором. Содержание фосфора и водорода в сплаве никель-фосфор от катодной плотности тока осаждения имеют сходный характер (рис. 1, кр.1; 2). Микротвёрдость сплава до термообработки находится в пределах 5,5-6,2 ГПа и увеличивается после термообработки в вакууме до 6,9-7,8 ГПа. Авторы связывают это с перераспределением атомов в решетке твердого раствора фосфора в никеле и образованием фаз фосфидов  $Ni_3P$  и  $Ni_5P_2$ , что подтверждено данными рентгеноструктурного анализа (рис. 3, 4).

## **Some physico-chemical Characteristics of Nickel-phosphorous Alloys Deposited from Sulfate-glycinate-chloride Baths**

**Petrushova O.Yu., Tsupak T.E., Krutskih V.M.,  
Zhulikov V.V., Goryunov G.K.**

**Key words:** coatings of nickel-phosphorous, microhardness, electrodeposition.

Nickel-phosphorous coatings with phosphorous content 1,7-4,7 wt.% were tested for hydrogen content (as plated) (Fig.1), microhardness (Fig.2) both before and after heat treatment at 400°C in vacuum and for deposits structure (Figs. 3,4). Hydrogen was found to escape from the coatings within one day and deposits hardness is increased after heat treatment from 5,5-6,2 GPa to 6,9-7,8 GPa.

Никель, легированный фосфором характеризуется свойствами, которые существенно отличают его от электроосаждённого никеля. В работах [1-6] показано, что микротвёрдость свежееосаждённых покрытий сплава никель-фосфор выше, чем у никелевых покрытий, электроосаждённых из электролитов аналогичного состава. После термообработки наблюдается повышение микротвёрдости покрытий сплава, при этом важное значение имеет температура и время термообработки. Согласно литературным данным [1] рекомендуемый режим термообработки – при 400°C в течение 1 часа.

В наших работах по электроосаждению сплава никель-фосфор из сульфатно-хлоридного электролита, содержащего аминокислоту, установлена аналогичная зависимость увеличения микротвёрдости никеля при легировании его фосфором, особенно после термообработки. Изменение физических характеристик сплава никель-фосфор предположительно связано с изменением химического и фазового состава сплава [7].

Целью работы являлось выяснение причин повышения микротвердости сплава никель-фос-

фор по сравнению с никелем и влияние термообработки на свойства сплава.

### Методики исследования

Покрyтия Ni-P сплавов на медной основе марки М-1 получали из разбавленного сульфатно-глицинатно-хлоридного электролита с концентрацией по никелю – 0,5 М, хлорид-иону – 0,1 М; аминокислоте – 0,2 М и гипофосфиту натрия – 0,05 М. В электролит вводили добавки лаурилсульфата натрия – 0,1 г/л и сахарина – 2 г/л. Сплав осаждали при плотностях тока 2 – 10 А/дм<sup>2</sup>. Температуру раствора во время электролиза поддерживали 50±1 °С, рН электролита 2,3±0,05.

Содержание фосфора в сплаве Ni-P (толщина сплава 10мкм) определяли фотометрическим методом с построением градуировочного графика на фотоколориметре «Экотест 2020».

Степень наводороживания медной основы и осадков сплава Ni-P, осажденных из сульфатно-хлоридного электролита с аминокислотой, исследована термическим вакуумно-десорбционным методом при 400°С. Степень наводороживания медной основы составляла 4,7·10<sup>-4</sup> см<sup>3</sup>/г.

Микротвёрдость определяли до и после термообработки на микротвёрдомере по Виккерсу «HVS-1000» при нагрузке 100г (толщина сплава 24

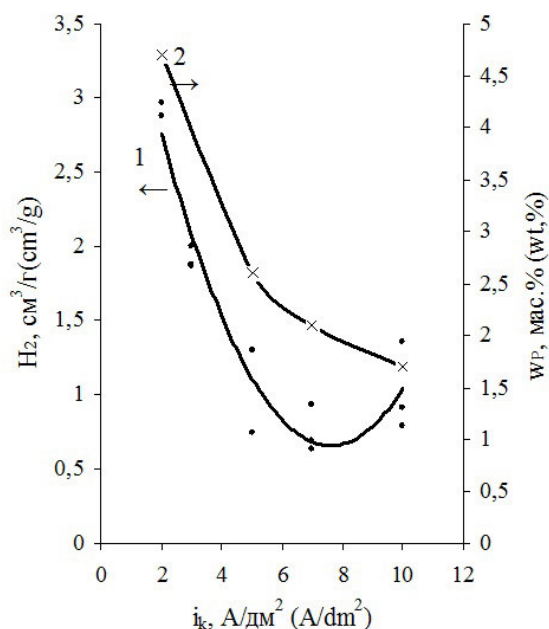


Рис. 1. Зависимость содержания водорода (кр.1) и фосфора (кр.2) в покрытии сплавом Ni-P ( $\delta=24\mu\text{м}$ ) от катодной плотности тока электроосаждения

Fig.1. Effect of cathode current density on hydrogen content (cm<sup>3</sup>/g, curve 1) and phosphorous content (wt.%, curve 2) in the coating

мкм). Термообработку покрытий сплава Ni-P проводили в вакууме (1,3·10<sup>-3</sup> Па) при 400°С в течение 1ч.

Рентгенофазовый анализ сплавов Ni-P проводили на дифрактометре STOE STADI P\*. Съёмку выполняли на медном излучении Cu Ka с изогнутым германиевым монохроматором (Ge (111)) на первичном излучении, угловой интервал съёмки от 30 до 100°, в качестве детектора использовался линейный позиционно чувствительный детектор (PSD). Съёмка рентгенограмм производилась в геометрии «на рассеяние» при комнатной температуре.

Для сплавов, полученных после электроосаждения, определяли размеры кристаллитов по уширению рефлексов Ni (111) по методу Селякова-Шерера:

$$D = \lambda / \beta hkl(2\Theta) \cdot \cos\Theta,$$

где: D – размер кристаллитов в направлении перпендикулярном плоскостям (hkl),  $\lambda$  – длина волны излучения,  $\Theta$  – дифракционный угол (град.),  $\beta$  – ширина дифракционной линии на полувысоте (выраженная в радианах). Сплав Ni-P толщиной 24 мкм осаждали на основу из меди.

### Результаты исследования

Существенное влияние на степень наводороживания сплава оказывает катодная плотность тока его получения  $i_k$  (рис. 1).

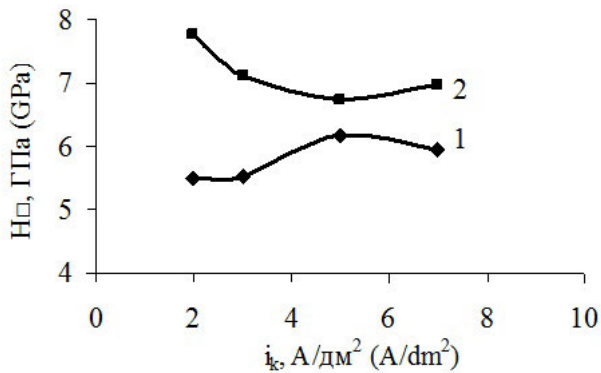
С увеличением  $i_k$  от 2 до 10 А/дм<sup>2</sup> содержание водорода в свежесосажденных покрытиях проходит через минимум при 7 А/дм<sup>2</sup>. Аналогичная зависимость приведена в [8] для электроосажденного никеля. При введении органических добавок лаурилсульфата натрия и сахарина в электролит содержание водорода в покрытии значительно снижается с 13,9 до 3–3,5 см<sup>3</sup>/г ( $\delta = 10$  мкм). При хранении на воздухе водород улетучивается из всех исследованных покрытий. Так количество H<sub>2</sub>, включенного в Ni-P покрытие (7 А/дм<sup>2</sup>,  $\delta = 10$  мкм), за месяц снизилось в 10 раз. Зависимости содержания фосфора в покрытии (рис.1, кр.2) и количества включенного водорода (рис.1, кр.1) от  $i_k$  имеют сходный характер.

Микротвёрдость свежесосажденного сплава никель-фосфор находится в интервале 5,5–6,2 ГПа (рис. 2, кр.1). После термообработки в вакууме она увеличивается до 6,9–7,8 ГПа (рис. 2, кр.2). Зависимость  $H_v$  от  $i_k$  и термообработки можно объяснить результатами рентгеноструктурного анализа (рис. 3 и 4).

Установлено, что свежесосажденные сплавы, полученные при плотностях тока 2 и 3 А/дм<sup>2</sup> с содержанием фосфора 4,7 и 4,0 мас. %, рентгеноаморфны и характеризуются наличием широкого гало в

\* Рентгеноструктурный анализ выполнен в Центре коллективного пользования физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова





**Рис. 2.** Зависимость микротвёрдости осадков сплава Ni-P от катодной плотности тока их осаждения: 1 – без термообработки; 2 – после термообработки в вакууме при 400°C в течение 1ч

**Fig.2.** Effect of current density on microhardness of coatings prior to (1) and after (2) vacuum heat treatment (1 hr, 400°C) области 2 $\Theta$  равным 37–52° (рис. 3). Это свидетельствует об образовании пересыщенного твёрдого раствора фосфора в никеле. Сплавы, полученные при плотностях тока 5, 7 и 10 А/дм<sup>2</sup> (2,6; 2,1; 1,7 мас. % Р) характеризуются как мелкокристаллические с сильно текстурированной линией Ni (111). А у сплава полученного при большей плотности тока 10 А/дм<sup>2</sup> (1,7 мас. % Р) фиксируются линии Ni (111) и (200). Для сплавов, полученных при 5, 7 и 10 А/дм<sup>2</sup> размеры кристаллитов соответствуют 8–10 нм.

Сплавы Ni-P, полученные при плотности тока 2 и 3 А/дм<sup>2</sup>, являясь рентгеноаморфными, характеризуются микротвёрдостью 5,5–5,6 ГПа. Сплавы мелкокристаллические ( $i_k$  5 и 7, 10 А/дм<sup>2</sup>)

имеют более высокую микротвёрдость 6,0–6,2 ГПа (рис. 2, кр.1).

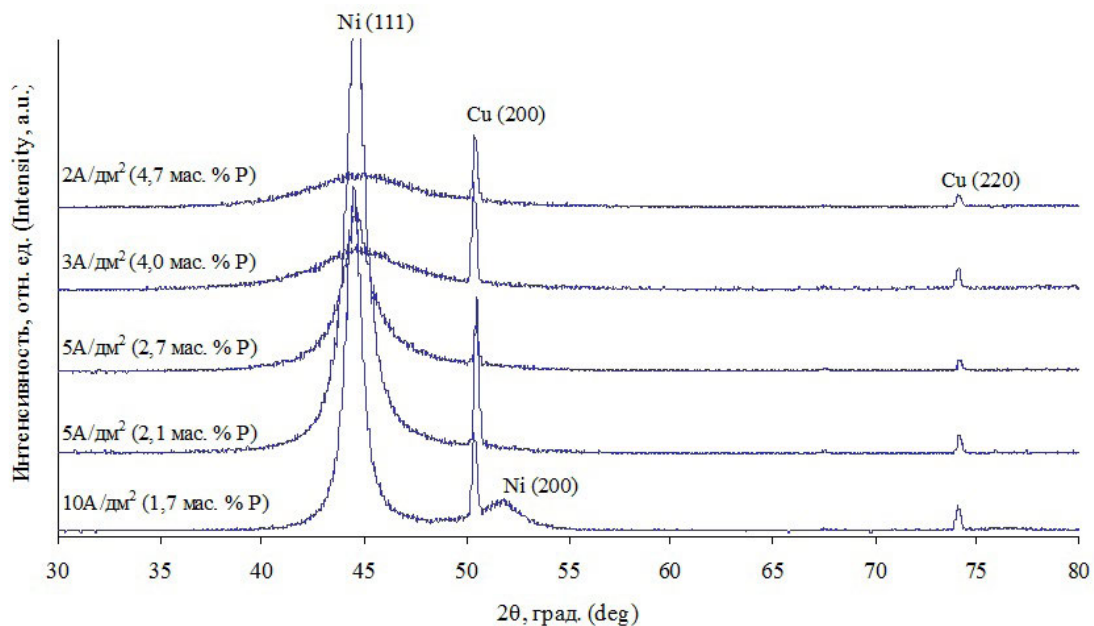
После термообработки в вакууме Ni-P сплавов происходит перераспределение атомов в решетке твёрдого раствора, связанного с движением вакансий. Происходит распад твёрдого раствора с образованием фаз фосфидов Ni<sub>3</sub>P и Ni<sub>5</sub>P<sub>2</sub> [9, 10]. На всех рентгенограммах проявляются линии металлического никеля Ni (111) и (200).

Одновременное присутствие в составе сплава фазы никеля и более твёрдых фаз фосфидов никеля по данным [2] приводит к увеличению микротвёрдости сплава. Кроме того по сравнению со свежесозаждёнными сплавами размеры ОКР возрастают на порядок и соответствуют 80 – 100 нм.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках проектной части государственного задания.

### Литература References

1. Цупак Т. Е., Пенович А. Е., Ключков Б. Я. Электроосаждение покрытий сплавом никель-фосфор из ацетатно-хлоридных растворов. Теория и практика электроосаждения металлов и сплавов: Сб. Пенза, ПДНТП 1984, С.63–65.  
Tsupak T.E., Penovich A.E., Kluchkov B.Ya. Electrodeposition of Ni-P coatings from acetate-chloride baths. Theory and practice of the electrodeposition of metals and alloys. Proc. Penza, 1984, P.63-65.



**Рис. 3.** Рентгенограммы свежесозаждённых Ni-P сплавов  
**Fig.3.** X-Ray diagrams of Ni-P alloys as plated

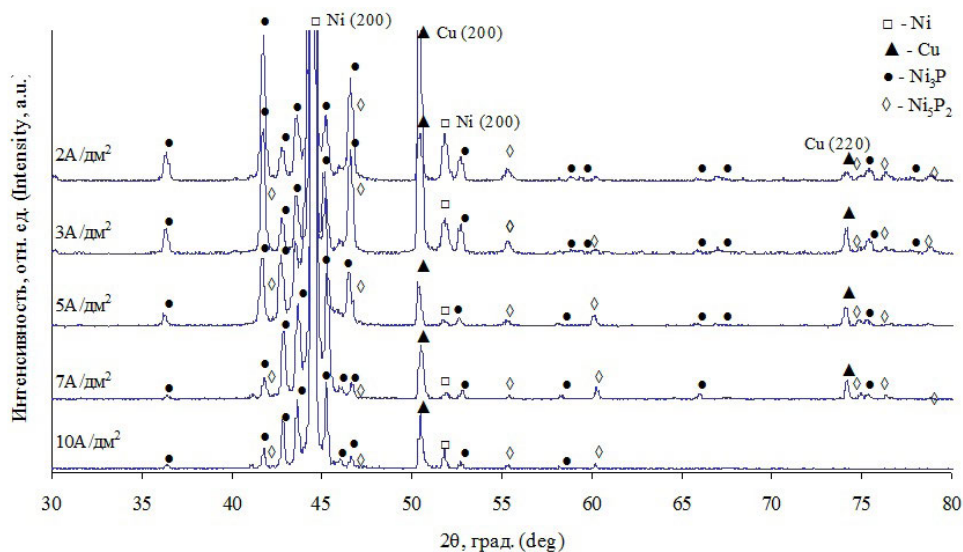


Рис. 4. Рентгенограммы сплавов Ni-P после термообработки 400 °С, 1 ч, вакуум.  
Fig.4. X-Ray diagrams of Ni-P alloys after vacuum heat treatment (1 hr, 400°C)

2. Пеневич А. Е., Цупак Т. Е., Ключков Б. Я. Износостойкость и микротвердость электрохимического сплава никель-фосфор, полученного из ацетатно-хлоридного электролита. Автомобильное производство: Сб. М., НИИавтопром, 1984, №7. С.14–15.  
Penovich A.E., Tsupak T.E., Kluchkov B.Ya. Wear-resistance and microhardness of Ni-P-alloy deposited from acetate-chloride bath. Automobile Production. Proc. M., 1984, №7, P.14-15.

3. Юй Фэй, Опекунова В. М., Загарина В. В., Сударкина И. А., Цупак Т. Е. Электроосаждение сплава никель-фосфор из сульфатно-хлоридного электролита, содержащего янтарную кислоту. Успехи в химии и хим. технол. Тез. докл. XV Междун. конф. молодых ученых. Т.XV, №5. М.: РХТУ им. Д.И.Менделеева, 2001. С.57.  
Yu Fey, Opekunova V.M., Zagarina V.V., Sudarkina I.A., Tsupak T.E. Electrodeposition of Ni-P alloy from sulfate-chloride bath containing succinic acid. Proc., Mendeleev University, 2001, V.XV, №5, P.57.

4. Цупак Т. Е., Юй Фэй, Сударкина И. А. Электроосаждение сплава никель-фосфор из сульфатно-хлоридного электролита, содержащего янтарную кислоту. Гальванотехника, обработка поверхности и экология – 2002: Сб. докл. ежегодн. Всерос. научно-практич. конф. М.: РХТУ им. Д.И.Менделеева. 2002. С.140.  
Tsupak T.E., Yu Fey, Sudarkina I.A. Electrodeposition of Nickel-Phosphor Alloy from Sulfate-Chloride Bath Containing Tartaric Acid. Pros. Of Conf. "Electroplating, Surface Treatment, Environment. M. 2002. P.140.

5. Орлова А.А., Цупак Т.Е. Электроосаждение сплава никель-фосфор из сульфатно-малонатно-хлоридных электролитов. Гальванотехника и обработка поверхности, 2013. – Т. XXI, №3. – С. 40–44.  
Orlova A.A., Tsupak T.E. Electrodeposition of nickel-phosphorous alloy from sulfate-malonic-chloride bath. Electroplating and Surface Treatment. 2013, V.XXI, №3, P. 44-46.

6. Орлова А. А., Цупак Т. Е. Сравнительная характеристика свойств электролитов с дикарбоновыми кислотами и покрытий сплавом никель-фосфор, полученных из них. Специализированная экспозиция и конференция «Покрытия и обработка поверхности. Последние достижения в технологиях, экологии и оборудовании»: сб. науч. тр. – М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2014. – С.51–52.  
Orlova A.A., Tsupak T.E. Comparative characteristics of Ni-P coatings and baths containing dicarboxylic acids. Proc., Mendeleev University, M., 2014. P.51-52.

7. Петрушова О. Ю., Цупак Т. Е. Электроосаждение сплава никель-фосфор из сульфатно-глицинатно-хлоридных электролитов. Гальванотехника и обработка поверхности, 2014. Т. XXII, №1. С.16–23.  
Petrushova O.Yu., Tsupak T.Ye. Electrodeposition of Ni-P Alloy from Sulfate-glycin-chloride Baths. Electroplating and Surface Treatment. 2014, V.XXII, №1, P. 16-23.

8. Садаков Г. А. Технология гальванопластики. М: Машиностроение, 1979. С. 74.

Sadakov G.A. Technology of electroforming. M., Machinobuilding, 1979. P.74.

9. International center for diffraction data PDF – 2 / Realise 2005 RDB.

10. Горелик С.С., Расторгуев Л.Н., Скаков Ю.А. Рентгенографический и электроннооптический анализ. изд.2-е. М.: Металлургия, 1970. 367 с.

Gorelik S.S., Rastorguev L.N., Skakov Yu.A. X-Ray and electron-microscopy analysis. 2nd Ed., Metallurgy. 1970, 367 p.

#### Сведения об авторах

**Петрушова Ольга Юрьевна**, аспирант, кафедра ТЭП, РХТУ им. Д.И. Менделеева, 125047, Москва, Миусская пл., д.9.

**Цупак Татьяна Евгеньевна**, д.т.н., проф., E-mail: [tsupak@mail.ru](mailto:tsupak@mail.ru); тел. (499)978-59-90

**Крутских Вячеслав Михайлович**, к.х.н, старший научный сотрудник, лаборатория строения поверхностных слоев, Учреждение Российской академии наук Институт физической химии и электрохимии им. А. Н. Фрумкина РАН, 119071, Москва, Ленинский просп.,31; E-mail: [krut\\_ipc@bk.ru](mailto:krut_ipc@bk.ru)

**Жуликов Владимир Владимирович**, аспирант; E-mail: [mrvladimirzh@list.ru](mailto:mrvladimirzh@list.ru)

**Горюнов Геннадий Евгеньевич**, кан. физ.-мат. наук, доцент, МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет, 119991, Москва, Ленинские горы, E-mail: [gge@plms.ru](mailto:gge@plms.ru)

#### Information about authors

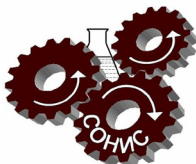
**Petrushova O.Yu.**, post graduate student, Electrochemical Eng. Dept., Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, 125047, Moscow, Miusskaya sgu. 9

**Tsupak T.E.**, Prof., Dr.Sci., E-mail: [tsupak@mail.ru](mailto:tsupak@mail.ru); tel. (499)978-59-90

**Krutsikh V M.**, Cand. Sci., Frumkin institute of Physical Chemistry and Electrochemistry, Russian Academy of Sciences, 31 Leninsky prospect 117915 Moscow Russia, E-mail: [krut\\_ipc@bk.ru](mailto:krut_ipc@bk.ru)

**Zhulikov V.V.**, post graduate student, E-mail: [mrvladimirzh@list.ru](mailto:mrvladimirzh@list.ru)

**Goryunov G.E.**, Cand.Sci., M. V. Lomonosov Moscow State University, E-mail: [gge@plms.ru](mailto:gge@plms.ru)



## ООО «СОНИС»

Современные химико-гальванические технологии  
Москва ▪ Тел.: (495) 545-76-24, 517-46-51, (499) 272-24-08 (факс)  
<http://www.sonis-co.ru> ▪ E-mail: [info@sonis-co.ru](mailto:info@sonis-co.ru)

Мы помогаем  
цеховым  
технологам  
находить  
оптимальные  
решения!



Скляренко Андрей Викторович  
Исполнительный директор ООО «СОНИС»

ООО «СОНИС» поставляет  
блескообразующие и другие  
добавки, специальные  
химические композиции  
для различных процессов

- ОБЕЗЖИРИВАНИЕ
- ТРАВЛЕНИЕ
- ЦИНКОВАНИЕ (Zn)
- ХРОМАТИРОВАНИЕ
- МЕДНЕНИЕ (Cu)
- НИКЕЛИРОВАНИЕ (Ni)
- ХРОМИРОВАНИЕ (Cr)
- ФОСФАТИРОВАНИЕ
- ХОЛОДНОЕ ЧЕРНЕНИЕ

УДК 669.268.7

## **Электроосаждение композиционных хромовых покрытий из электролитов, содержащих частицы вюрцитоподобного нитрида бора**

**Железнов Е.В., Смирнов К.Н., Кудрявцев В.Н.**

**Ключевые слова:** хромирование; электросаждение композиционных покрытий, микротвердость, износостойкость, соосаждение инертных частиц

Исследованы микротвердость, морфология поверхности и износостойкость композиционных покрытий, осаждаемых из «стандартного» электролита хромирования на основе шестивалентного хрома с добавкой дисперсных частиц вюрцитоподобного нитрида бора.

## **Electrodeposition of composite chromium coatings from electrolytes with addition of wurcit-type boron nitride**

**Zheleznov E.V., Smirnov K.N., Kudryavtsev V.N.**

**Key words:** chromium-plating, electrodeposition of composite coatings, microhardness, wear-resistance, co-deposition of inert particles

Microhardness (Figs.1 and 4) of composite chromium coatings containing wurcit-type boron nitride is much higher than that of conventional Cr coatings. Microphotos Fig. 3,5 confirm the incorporation of particles into chromium coating. The particles cause a decrease in Cr current efficiency (Fig.2). In general hardness is increased by 20-25% and wear resistance by 3 times.

### **Введение**

В последнее время все большее число авторов сообщает о получении композиционных покрытий методом электроосаждения. Такие покрытия интересны для практического применения по ряду причин, среди которых простота их получения по отношению к металлургическим методам, возможное улучшение свойств покрытия по сравнению со свойствами металла матрицы и т.д.

Покрытия, получаемые из хромовокислых электролитов, являются наиболее привлекательной матрицей для соосаждения мелкодисперсных

частиц из-за высоких твердости и износостойкости хрома относительно большинства других гальванических покрытий, используемых в промышленности. Однако реализация такого композиционного покрытия наиболее затруднена среди прочих ввиду сложного механизма формирования даже простого хромового покрытия. Прикатодная пленка, которая присутствует в момент электроосаждения, по-видимому, выступает в роли барьера для проникновения частиц к поверхности катода и дальнейшего включения их в покрытие. Также ограничением может оказаться

окислительная среда самого электролита, которая может оказывать воздействие на материал вводимых дисперсных частиц.

Обычно, в качестве материала второй фазы для получения композиционных покрытий электрохимическим способом применяются частицы с высокой твердостью: оксиды, нитриды, карбиды, сульфиды металлов, устойчивые в среде электролита. Для исследования нами был выбран вюрцитоподобный нитрид бора. Этот материал представляет собой бинарное соединение бора и азота со структурой вюрцита, подобной лонсдейлиту, и по своим механическим свойствам превосходит алмаз. Характеристики использованных частиц представлены в табл. 1.

Характеристики использованных частиц представлены в Таблице 1.

**Таблица 1. Характеристики частиц вюрцитоподобного нитрида бора**  
**Table 1. Characteristics of boron nitride**

Параметры Parameters	Показатель Value
Размеры частиц в сухом состоянии, нм Particles size (dry), nm	500-2900
Электропроводность, См/см Conductivity, Sm/sm	$10^{-4} - 10^{-9}$
Микротвердость, кгс/мм <sup>2</sup> Microhardness, kg/mm <sup>2</sup>	Как у алмаза (8000) Like diamond

### Методики исследования

Покрытия осаждали из «стандартного» электролита хромирования с сульфатными анионами-активаторами следующего состава, г/л:  $\text{CrO}_3 - 250$ ;  $\text{H}_2\text{SO}_4 - 2$ ;  $\text{Cr}^{3+} - 2,5$ ;  $\text{BN}_{\text{вюрц}} - 0,01 \div 10$ . Плотность тока изменяли в диапазоне  $40 \div 70 \text{ А/дм}^2$  температура  $55 \pm 1^\circ\text{С}$

Электролит готовился на дистиллированной воде с применением стандарт-титра  $\text{H}_2\text{SO}_4$  путем растворения навески  $\text{CrO}_3$  в растворе с точной концентрацией серной кислоты. Получение необходимого количества  $\text{Cr}^{3+}$  достигалось проработкой электролита. Контроль концентрации  $\text{Cr}^{3+}$  осуществлялся фотометрически.

После введения частиц электролит дополнительно обрабатывался ультразвуком мощностью  $330 \text{ Вт/л}$  с частотой  $35 \text{ кГц}$ . Осаждение проводили извлеклось при перемешивании магнитной мешалкой для поддержания частиц во взвешенном состоянии.

Для испытаний на микротвердость в качестве образцов применяли полированные пластины из стали марки Ст.3 с рабочей площадью поверхности  $2 \text{ см}^2$ . После полировки образцы промывали, высушивали, обезжиривали ацетоном, нерабочую поверхность изолировали химически стойким ла-

ком. Далее образцы обезжиривали венской известью и активировали в 15% растворе  $\text{HCl}$ . На подложку осаждали покрытия толщиной не менее  $30 \text{ мкм}$ . Испытания производились на установке торцевого внедрения по методу Виккерса HVS-1000 при нагрузке  $100 \text{ г}$ .

Для испытаний на износостойкость использовали установку торцевого трения с применением индентора с алмазным покрытием при нагрузке  $1,037 \text{ Н/мм}^2$ .

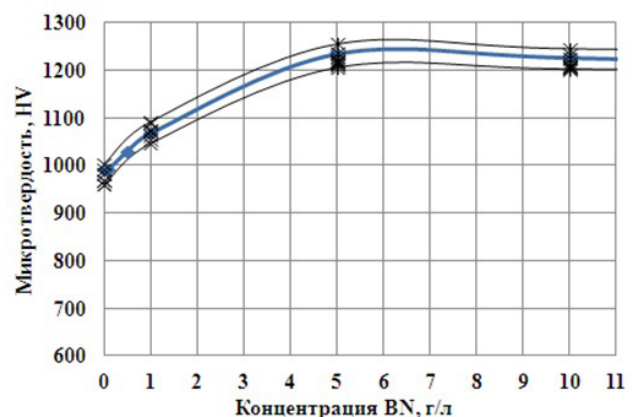
Катодные поляризационные кривые снимали в потенциодинамическом режиме с помощью потенциостата Р-30S при скорости развертки  $2 \text{ мВ/с}$ . В качестве рабочего использовали платиновый точечный электрод с площадью поверхности  $3 \text{ мм}^2$ .

### Экспериментальная часть

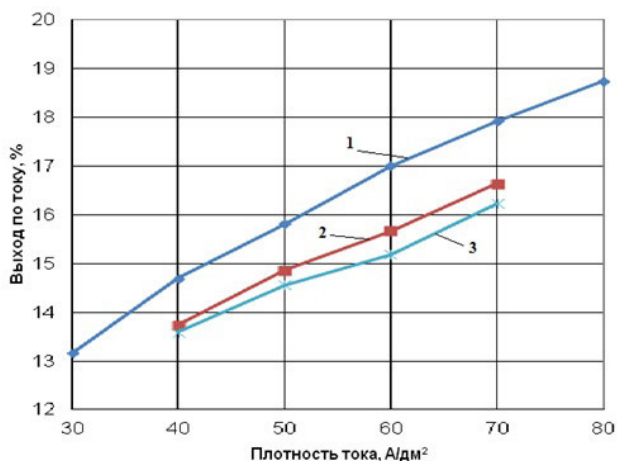
Из исследуемого электролита в диапазоне  $i_k = 40 \div 70 \text{ А/дм}^2$  и концентрациях  $\text{BN}_{\text{вюрц}} 0,01 \div 10 \text{ г/л}$  осаждались плотные покрытия с хорошей адгезией к медной и стальной подложке. Степень блеска покрытий, определяемая визуально, незначительно снижалась при увеличении плотности тока и содержания второй фазы в электролите.

Для определения степени влияния концентрации присутствующих частиц  $\text{BN}_{\text{вюрц}}$ , на свойства покрытий были произведены измерения микротвердости получаемых осадков при  $i_k = 50 \text{ А/дм}^2$  и последовательном увеличении концентрации  $\text{BN}_{\text{вюрц}}$  в растворе в диапазоне  $0,01 \div 10 \text{ г/л}$ .

Представленная на рис.1 зависимость показывает, что после достижения значения  $5 \text{ г/л}$  дальнейшее увеличение концентрации  $\text{BN}_{\text{вюрц}}$  не оказывает существенного влияния на микротвердость получаемых покрытий. Ввиду этого для дальнейших исследований были выбраны концентрации  $\text{BN}_{\text{вюрц}} 1$  и  $5 \text{ г/л}$ .



**Рис. 1. Зависимость микротвердости получаемых покрытий от концентрации  $\text{BN}_{\text{вюрц}}$  при  $i_k = 50 \text{ А/дм}^2$**   
**Fig.1. Effect of BN concentration on microhardness;  $i = 50 \text{ А/дм}^2$**

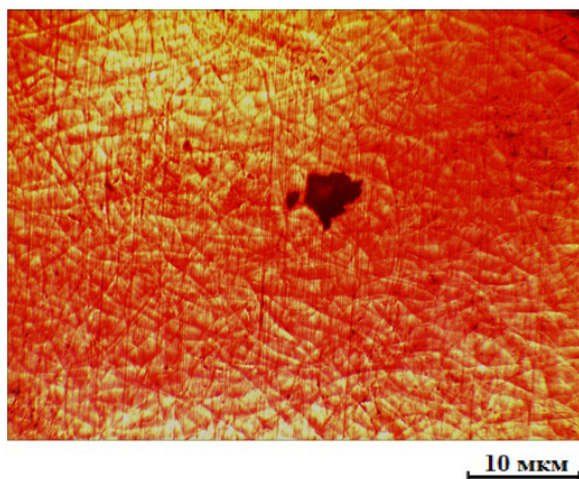


**Рис. 2.** Зависимость катодного выхода по току от плотности тока: 1) «стандартный» электролит без второй фазы; 2) с добавлением 1 г/л  $BN_{\text{вюрц}}$ ; 3) с добавлением 5 г/л  $BN_{\text{вюрц}}$

**Fig.2.** Effect of current density on current efficiency: 1. – without BN; 2. – BN 1 g/l; BN 5 g/l

При этом можно отметить внедрение второй фазы в хромовое покрытие. Вероятно, неэлектропроводная частица, проникая к поверхности катода, геометрически вырастает в металлическую матрицу с последующей модификацией ее структуры. В качестве подтверждения данного явления проводили осаждение толстого (200мкм) хромового покрытия на полированную медную подложку с последующим ее растворением и фотографирование обратной стороны покрытия.

Микрофотография, приведенная на рис.3, показывает пример внедрения частицы в хромовое покрытие.



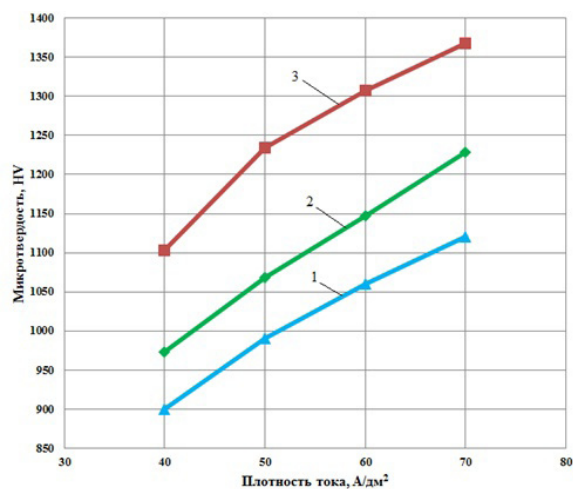
**Рис. 3.** Микрофотография частицы  $BN_{\text{вюрц}}$ , внедренной в хромовое покрытие при  $i_k=50A/dm^2$  и концентрации  $BN_{\text{вюрц}}$  1 г/л (микрофотография покрытия со стороны подложки)

**Fig.3.** Microphoto of BN particle incorporated in Cr coating. 15 A/dm<sup>2</sup>; BN conc. 1 g/l (vision from the back side)

Модификация поверхности частицами приводит к изменению механических свойств покрытия. Испытания показали значительное (до 23%) увеличение микротвердости получаемых образцов. Результаты испытаний на микротвердость представлены на рис. 4.

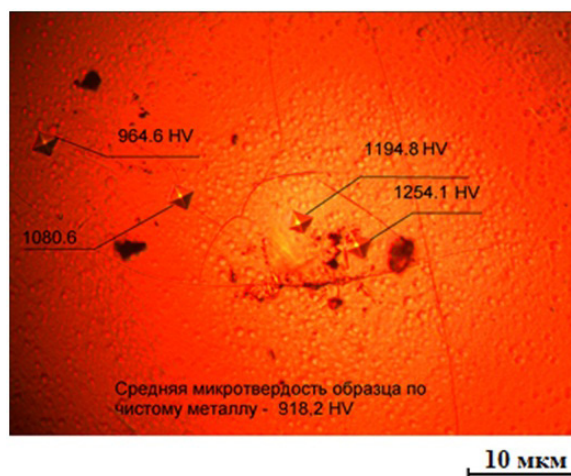
Следует отметить, что твердость покрытия возрастает по мере приближения от периферии к центру внедрения частицы. Распределение микротвердости получаемого покрытия в зависимости от расстояния до частицы представлено на рис.5.

Модификация хромового покрытия нитридом бора оказывает влияние и на износостойкость. Так, при торцевом истирании покрытия ал-



**Рис. 4.** Зависимость микротвердости получаемых покрытий от плотности тока: 1) «стандартный» электролита без 2-ой фазы; 2) электролита с добавлением 1 г/л  $BN_{\text{вюрц}}$ ; 3) электролита с добавлением 5 г/л  $BN_{\text{вюрц}}$

**Fig.4.** Effect of c.d. on microhardness: 1. – plain solution; 2. – with BN 1 g/l; 3. – with BN 5 g/l



**Рис. 5.** Зависимость микротвердости хромового покрытия от расстояния до частицы  $BN_{\text{вюрц}}$  (покрытие нанесено при  $i_k=40A/dm^2$  и концентрации  $BN_{\text{вюрц}}$  1 г/л)

**Fig.5.** Effect of distance from the incorporated particle ( $i_k=40 A/dm^2$ ; BN 1 g/l)

мазным индентором, нагрузке 1,037 Н/мм<sup>2</sup> и 20000 возвратно-поступательных движений образцы из электролита с добавлением 1 г/л VN<sub>вюрц</sub> показали в 2,1 раза меньшую потерю массы покрытия, а образцы из электролита с добавлением 5 г/л VN<sub>вюрц</sub> – в 3,3 раза. Причем в процессе испытания покрытий истирания до материала основы не происходило ни в одном случае.

### **Выводы**

1. При модификации хромового покрытия частицами VN<sub>вюрц</sub> значительно возрастают микротвердость (до 23%) и износостойкость (до 3,3 раз).

2. Распределение микротвердости по поверхности получаемого композиционного покрытия зависит от расстояния до внедренной частицы.

3. Катодный выход по току хрома при осаждении композиционного покрытия ниже чистого хромового покрытия.

### **Литература**

1. Железнов Е.В., Смирнов К.Н., Кудрявцев В.Н. Электроосаждение высокотвердых композиционных хромовых покрытий из электролитов, содержащих частицы вюрцитоподобного нитрида бора. Сборник тезисов Междун. конф. «Покрытия и обработка поверхности-2015», С. 37-38.

Zheleznov E.V., Smirnov K.N., Kudryavtsev V.N. Electrodeposition of hard Cr coatings containing wurcit-type boron nitride. Pross. Conf. Eхprocoating-2015. p. 37-38.

2. Лайнер В.И., Кудрявцев Н.Т. «Основы гальваностегии» (учебник).- М.-Л.: Гл. ред. литературы по цвет. металлургии:ч.1, 1936. – 368 с.

Layner V.I., Kudryavtsev V.N. Fundamental of electroplating. 1936. 368 p.

3. Солодкова Л.Н., Кудрявцев В.Н. «Электролитическое хромирование» М.: Глобус, 2007.– 191 с. 2007. Стр: 191, рис: 37.

Solodkova L.N., Kudryavtsev V.N. Electrolytic chromium plating. M., Globus, 2007, p.191, fig.37.

4. Сайфуллин Р.С. Комбинированные электрохимические покрытия и материалы. М.: Химия, 1972. 168 с.

Sayfullin R.S. The Composite electrochemical coatings and materials. M., Khimia, 1972. 168 p.

5. T.R. Khan. Nanocomposite coating: codeposition of SiO<sub>2</sub> particles during electrogalvanizing. Дисс., Bochum, 2011. 134 с.

6. Антропов Л.И. «Теоретическая электрохимия» (учебник). – М.: Высшая школа, 1984, 4-е изд. – 509 с.

Antropov L.I. Theoretical electrochemistry (text-book). M., High school, 1984. 509 p.

7. Кудрявцев Н.Т. «Гальванотехника» (учебник).- М.-Л.: Гизлегпром, 1940. – 284 с.

Kudryavtsev N.T. Electroplating. M.-L.: Guzlegprom, 1940, 284 p.

8. A. Hovestad, L.J.J. Janssen. Electrochemical codeposition of inert particles in a metallic matrix. Eindhoven University of Technology Journal of Applied Electrochemistry

9. J. P. Celis, J. R. Roos, C. Buelens, J. Fransaer, "Mechanism of Electrolytic Composite Plating: Survey and Trends," Transactions of the Institute of Metal Finishing, 69, 133 (1991).

10. D. L. Wang, J. Li, CH. S. Dai, X. G. Hu, " An Adsorption Strength Model for the Electrochemical Codeposition of  $\alpha$ -Alumina Particles and a Fe-P Alloy," Journal of Applied Electrochemistry, 29, 437 (1999).

11. Viet-Hue Nguyen, Thi-Nam Hoang, Ngoc-Phong Nguyen, Sik-Chol Kwon, Man Kim, Joo-Yul Lee. Cr/nanodiamond composite plating with cobalt cation. Nonferrous Met. Soc. China 19(2009)975-978

### **Сведения об авторах**

**Железнов Евгений Валерьевич**, аспирант, кафедра ТЭП, РХТУ им. Д.И. Менделеева, 125047, Москва, Миусская пл., д.9, ведущий специалист ЗАО «Современная Машиностроительная Компания», 119021, г. Москва, ул. Россолимо, д.17., тел. +7(965) 123 6028, e-mail: evgenyzheleznov@yandex.ru;

**Смирнов Кирилл Николаевич**, к.т.н., ведущий технолог ООО Научно-производственное предприятие «СЭМ.М», 119049, Москва, Крымский вал, 8, тел. +7(903) 773-6729, e-mail: npp-semm@yandex.ru;

**Кудрявцев Владимир Николаевич**, д.х.н., профессор, РХТУ им. Д.И. Менделеева. Умер в 2013 г.

### **Information about authors**

**Zheleznov Evgeny V.**, post graduate student, Electrochemical Eng. Dpt., Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, 125047 Moscow, Miusskaya sq. 9. tel.: +79651236028

**Smirnov Kirill N.**, Ph.D., Senior Technologist, Research and Production Enterprise "SEM.M", 119049 Moscow, Krimsky Val, 8, 7 (903) 773-6729, e-mail: npp-semm@yandex.ru

**Kudryavtsev Vladimir N.**, Prof., doctor of technical sci., dead in 31 October 2013.

УДК 621.3.035.183

## **Свойства композиционных никелевых покрытий, полученных из низкотемпературных тартратных электролитов**

**Антихович И.В., Черник А.А., Жарский И.М.**

**Ключевые слова:** композиционные покрытия; никель; электроосаждение; фуллеренол; ультрадисперсный алмаз; твердость; структура

Исследован процесс электроосаждения никелевых покрытий, полученных из низкотемпературных тартратных электролитов. Изучены свойства (микротвердость, пористость, структура) композиционных никелевых покрытий с включением углеродсодержащей фазы: ультрадисперсного алмаза, фуллеренола.

## **Properties of Nickel-based Composite Coatings Deposited from Tartrate Baths at Room Temperature**

**Antikhovich I.V., Chernik A.A., Zharskii I.M.**

**Keywords:** composite coatings; nickel; fulleranol; ultra disperse diamond; hardness; structure.

Composite coatings containing ultra-fine diamonds or fulleranol-d were deposited from sulfate-chloride-tartrate (№1) and chloride-tartrate (№2) baths. Current efficiency is lower than in Watt's bath and throwing power is below 20% (Fig.1). Maximum buffering power corresponds to pH range 2 to 5 (Fig.2). Cathode polarization is higher in the presence of fulleranol (Fig.3). Appearance of coatings changes in the presence of dispersed particles (Fig.4). Both diamonds and fulleranol increase the hardness and reduce porosity of Ni coatings (Fig.5).

### **Введение**

Основными направлениями развития технологии электрохимического осаждения никелевого покрытия является поиск экологичных составов [1], обладающих высокой буферной емкостью [2] и улучшенными эксплуатационными свойствами. Применение композиционных электролитических покрытий (КЭП) в ряде случаев позволяет придать поверхности детали или изделия новые свойства [3-7]: увеличить механическую прочность, повысить коррозионную

стойкость, износостойкость, термостойкость. Важными параметрами, влияющими на указанные свойства, являются природа, количество и размер частиц дисперсной фазы, а также условия электролиза.

В качестве материалов дисперсной фазы при получении КЭП применяют ультрадисперсные алмазы (УДА) [8], фуллерен [9], а также многочисленные оксиды, карбиды и бориды. В работе [10] показано, что применение УДА позволяет получить сверхтвердые материалы, улучшить фи-



зико-механические свойства, сделать структуру осаждаемого металла мелкокристаллической. Введение фуллерена сглаживает микрорельеф, улучшает коррозионные свойства, уменьшает коэффициент трения [11]. Однако широкое применение легких фуллеренов зачастую тормозится их практически полной несовместимостью с водой и водными суспензиями [12, 13].

В настоящей работе представлены результаты исследований структуры и свойств композиционных никелевых покрытий, осажденных из низкотемпературных тартратных электролитов.

### Методика эксперимента

Никелевые покрытия толщиной 20 мкм осаждали из электролитов с содержанием, моль/дм<sup>3</sup>: Ni<sup>2+</sup> 0,95, NaK<sub>4</sub>C<sub>4</sub>H<sub>4</sub>O<sub>6</sub> – 0,46, C<sub>3</sub>H<sub>5</sub>(OH)<sub>3</sub> – 0,022, рН=2,6 – 4 при температуре 20°C, различающихся никельсодержащей солью: электролит № 1 – сульфатно-хлоридно-тартратный с соотношением SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>:Cl<sup>-</sup>=13:1, электролит № 2 – приготовлен на основе хлорида никеля (хлоридно-тартратный). В качестве дисперсной фазы использовали фуллерен C<sub>60</sub>(OH)<sub>24±7</sub>O<sub>1±3</sub>, марки Fullerenol-d (ЗАО «Инновации ленинградских институтов и предприятий») и УДА, полученные методом детонационного синтеза (НПЗАО «СИНТА», Республика Беларусь). Концентрацию УДА в электролите варьировали в диапазоне от 5·10<sup>-3</sup> до 5·10<sup>-2</sup> г/дм<sup>3</sup>, фуллеренола от 2·10<sup>-3</sup> до 2·10<sup>-4</sup> г/дм<sup>3</sup>. Для подде-

ржания УДА во взвешенном состоянии осуществляли перемешивание электролита с помощью сжатого воздуха. При введении очередной порции частиц в электролит перед каждым электролизом осуществляли ультразвуковую обработку раствора в течение 30 минут для равномерного распределения частиц в объеме.

Для приготовления растворов и электролитов использовали реактивы квалификации «х.ч.» или «ч.д.а.».

Катодный выход по току (ВТ) никеля определяли гравиметрически. Покрытия осаждали в гальваностатическом режиме с помощью стабилизированного источника питания Б5-47. Качество получаемых покрытий оценивали визуально. Электрохимические измерения проводили с помощью потенциостата ПИ-50-1.1 в комплекте с программатором ПР-8 в трехэлектродной ячейке ЯЭС-2. В качестве рабочего электрода использовали стальные электроды марки Ст.3. В качестве электрода сравнения использовали хлорид-серебряный электрод. Значения потенциалов пересчитывали относительно стандартного водородного электрода. Буферную емкость электролитов никелирования определяли методом потенциометрического титрования растворов. Определение рассеивающей способности (РС) проводили по ГОСТ 9.309-86 в ячейке Молера с пятисекционным разборным катодным блоком.

Микротвердость покрытий определяли с помощью прибора ПМТ-3 при толщине 20 мкм и нагрузке 100 г. О морфологии свежесаженных покрытий и их химическом составе судили на основании микрофотографий поверхности, снятых сканирующим электронным микроскопом JEOL JSM-5610 LV.

### Экспериментальные результаты и их обсуждение

Качественные компактные покрытия в исследуемых электролитах осаждаются в диапазоне плотностей тока от 1 до 10 А/дм<sup>2</sup>, тогда как в низкотемпературном электролите типа Уоттса рабочая плотность тока ограничивается 1,5 А/дм<sup>2</sup> [14]. Широкий диапазон рабочих плотностей тока обусловлен высокой буферной емкостью приэлектродного слоя. При этом выход по току в диапазоне от 1 до 5 А/дм<sup>2</sup> составляет 94-98% для электролита № 1 и увеличивается с ростом плотности тока, что объясняет недостаточную рассеивающую способность электролита по металлу. Для электролита № 2 выход по току уменьшается

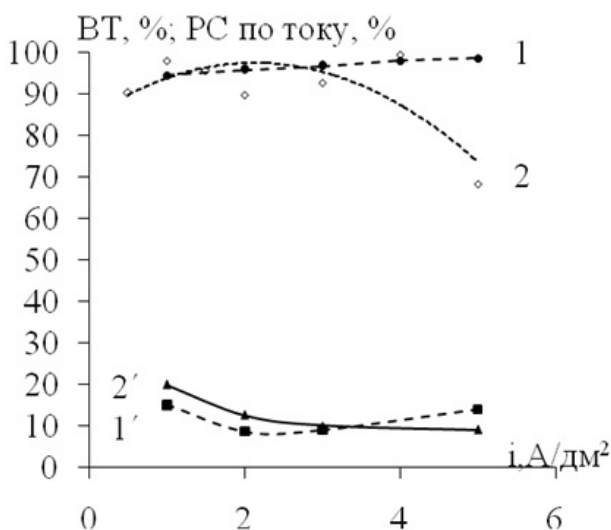


Рис. 1. Зависимость выхода по току (кривые 1,2) и рассеивающей способности (кривые 1',2') по току от плотности тока (1, 1' – электролит № 1; 2, 2' – электролит № 2)

Fig. 1. The dependence of current efficiency (curves 1,2) and throwing power (curves 1', 2') on current density (1, 1' – bath №1; 2, 2' – bath №2)

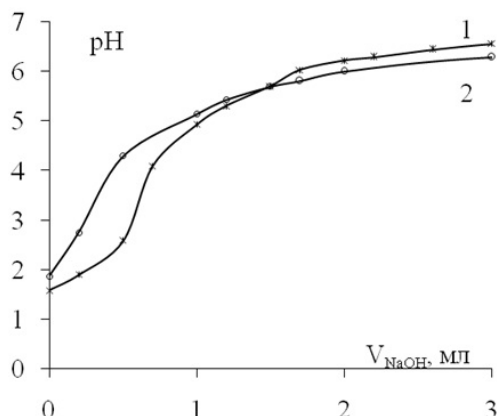


Рис. 2. Результаты потенциометрического титрования

Fig. 2. The results of potentiometric titration

до 70 % при плотности тока  $5 \text{ A/дм}^2$ , что вызвано увеличением доли побочной реакции выделения водорода. Рассеивающая способность по току в исследуемых электролитах увеличивается с ростом плотности тока в диапазоне 9-15% и 10-20% для электролитов № 1 и № 2 соответственно. Большая рассеивающая способность электролита №2 обеспечивает более равномерное распределение металла на поверхности. При этом покрытия более гладкие, что подтверждается данными сканирующей электронной микроскопии.

В ходе электроосаждения никелевого покрытия наблюдается подщелачивание приэлектродного пространства. Чрезмерное увеличение значения pH может привести к образованию гидроксидов, которые включаются в покрытие и ухудшат его характеристики, либо приведет к полной потере эксплуатационных свойств электролита. Для выяснения рабочего диапазона pH в ходе электроосаждения никелевых покрытий проводили потенциометрическое титрование (рис.2).

Так как константы ступенчатой диссоциации винной кислоты отличаются менее чем на 4 порядка ( $pK_{a1}=3,04$  [15],  $pK_{a2}=4,37$ [15]) на кривой титрования присутствует 1 скачок. При этом максимальная буферная емкость лежит в диапазоне значений pH от 2 до 5. В сульфатно-хлоридных электролитах значение pH гидратообразования выше, чем в хлоридных, что позволяет проводить электролиз при больших значениях pH. Однако на кривой титрования в случае хлоридных электролитов наблюдаются более узкая рабочая область значений pH.

Сравнение поляризационных кривых (рис.3), показывает, что меньшая поляризация наблюдается в электролите № 2, что вероятно обусловлено большей ионной проводимостью

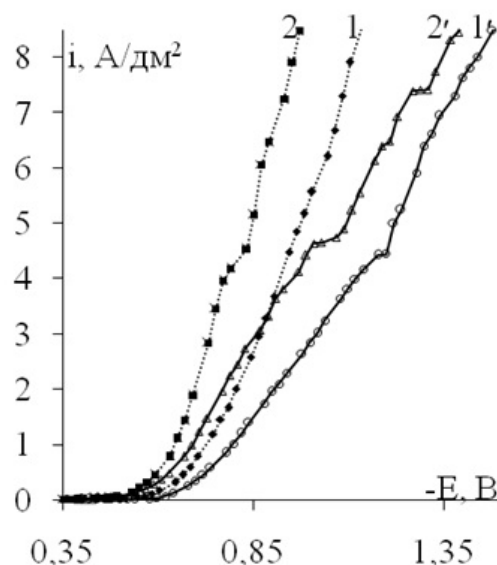
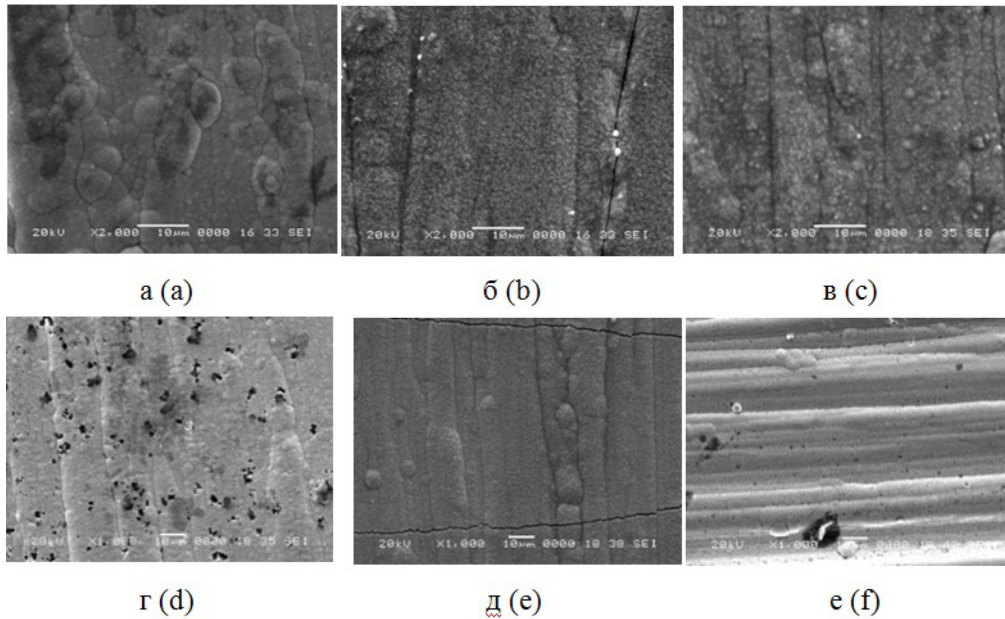


Рис. 3. Суммарные катодные поляризационные кривые, характеризующие поведение стального электрода в тартратном электролите никелирования (№ 1 – электролит № 1, № 2 – электролит № 2; 1' – электролит № 1 и 2' – электролит № 2 при добавлении  $2 \cdot 10^{-3} \text{ г/дм}^3$  фуллеренола)

Fig. 3. Overall cathodic polarization curves characterizing the behavior of a steel electrode in nickel tartrate electrolyte (№ 1 – bath №1, № 2 – bath №2; 1' - bath №1 and 2' – bath №2 with the addition of  $2 \cdot 10^{-3} \text{ g/dm}^3$  fulleranol)

этого электролита. Введение в электролит фуллеренола приводит к сдвигу поляризационных кривых в электроотрицательную сторону и увеличивает катодную поляризацию. Это может способствовать получению более гладких и мелкокристаллических покрытий, что коррелирует с данными сканирующей электронной микроскопии (рис.4,а,е).

Фотографии показывают, что никелевые покрытия имеют различную структуру. Из электролита № 2 осаждаются более мелкокристаллические осадки (рис. 4,а), из сульфатно-хлоридного электролита формируются зерна округлой формы (рис. 4,б). На рис. 4,в-д приведены композиционные покрытия никель-УДА. При высоком содержании ультрадисперсных алмазов (рис. 4,г) наблюдается их равномерное внедрение в матрицу. Из электролита № 2 с внедрением УДА (рис. 4,д) осаждаются равномерное покрытие, однако при большем увеличении видны ярко выраженные трещины, что характерно для покрытий, полученных из электролитов с высоким содержанием хлоридов, и свидетельствует о высоких внутренних напряжениях, которые можно связать с включением водорода в поверхность. На рис. 4,е видны небольшие включения фуллеренолов. При этом видно,



**Рис. 4.** Фото никелевых покрытий, осажденных из низкотемпературных тартратных электролитов: а. – № 1 ( $i=1,5$  А/дм<sup>2</sup>), б. – № 2 ( $i=3$  А/дм<sup>2</sup>); электролит №1: в. – 0,005 г/дм<sup>3</sup> УДА, г. – 0,05 г/дм<sup>3</sup> УДА; электролит №2: д. – 0,04 г/дм<sup>3</sup> УДА; электролит №1: е –  $8 \cdot 10^{-4}$  г/дм<sup>3</sup> фуллеренол

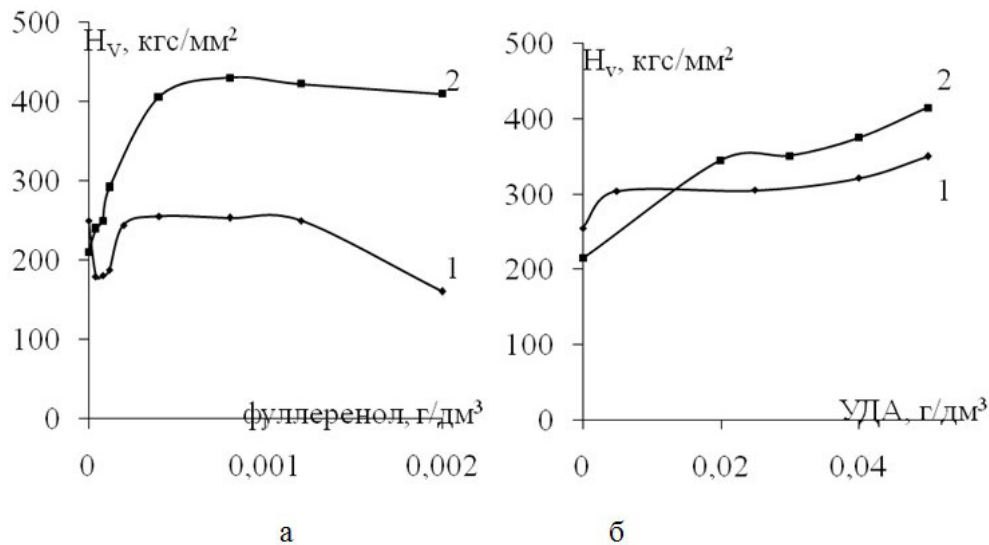
**Fig. 4.** Foto of nickel coatings deposited from low-temperature tartrate electrolyte: a - № 1 ( $i=1,5$  А/дм<sup>2</sup>), b - № 2 ( $i=3$  А/дм<sup>2</sup>); electrolyte №1: c - 0.005 г/дм<sup>3</sup> UDD; d - 0.05 г/дм<sup>3</sup> UDD; electrolyte №2: e - 0.04 г/дм<sup>3</sup> UDD; electrolyte №1: f -  $8 \cdot 10^{-4}$  г/дм<sup>3</sup> fulleranol

что внедрение дисперсной фазы (рис. 4,г, рис. 4,е) позволяет сгладить поверхность.

Важной характеристикой никелевых покрытий является их пористость, так как они являются катодными по отношению к стальной подложке и могут защищать основу от коррозии только при условии отсутствия пор. Результаты определения пористости показали, что из тарт-

ратных электролитов можно получать беспористые покрытия уже при толщине 10-15 мкм. Это можно связать с тем, что водород в меньшей степени задерживается на поверхности и происходит его активное удаление, что позволяет избежать дефектов.

Твердость никелевых покрытий, полученных в исследуемых электролитах без внедрения



**Рис. 5.** Зависимость твердости от количества дисперсной фазы в электролите: а – фуллеренол, б – УДА. 1. – электролит № 1; 2. – электролит № 2

**Fig. 5.** The dependence of hardness on the content of the dispersed phase in the electrolyte: a. - fullereneol b. - UDD (1. – electrolyte №1, 2. – electrolyte №2)

дисперсной фазы составляет 170–250 кгс/мм<sup>2</sup>. Введение в электролит фуллеренола и УДА приводит к увеличению микротвердости. При этом характер изменения микротвердости не зависит от вида электролита, а определяется только природой дисперсной фазы. С ростом содержания дисперсной фазы в электролите №1 твердость покрытий сначала снижается, затем возрастает и стабилизируется на значениях 250 кгс/мм<sup>2</sup> при концентрации фуллеренола  $2,5 \cdot 10^{-4}$  г/дм<sup>3</sup>. В электролите №2 твердость покрытий с ростом содержания фуллеренола возрастает и стабилизируется на значении 400 кгс/м при концентрации фуллеренола (рис.5).

На основании полученных данных можно заключить, что низкотемпературные тартратные электролиты позволяют получить никелевые покрытия, плотно сцепленные с подложкой, в широком диапазоне толщин при высоких плотностях тока. Введение в электролит дисперсной фазы (УДА, фуллеренол) позволяет получить композиционные покрытия с новыми свойствами: уменьшается пористость, улучшается внешний вид покрытия. Внедрение УДА и фуллеренола в никелевую матрицу из хлоридно-тартратного электролита, позволяет увеличить микротвердость в 2 раза.

### **Литература References**

1. Fumitaka, S., Keisuke K., Yuzuru N., Koichi K., Yuichi S. Nickel electroplating bath using malic acid as a substitute agent for boric acid. *Metal Finish.* – 2007. – Vol. 105, №12. – P. 34–38, 59, 60.
2. Долгих О.В., Соцкая Н.В., Зуен Ву Тхи, Котлярова Е.А., Агапов Б.Л. Электроосаждение каталитически активных никелевых покрытий из растворов различного анионного состава. *Физикохимия поверхности и защита металлов.* – 2009. Т. 45. – С.636–641.
3. Dolgih O.V., Sotskaya N.V., Zuen Vu Thi, Kotlyarova E.A., Agapov B.L. Electrodeposition of catalytically active nickel coatings from solutions based on different anions. *Physico-chemistry of surfaces and protection of metals.* 2009. V.45, P. 636–641.
4. Целуйкин, В.Н. Композиционные электрохимические покрытия: получение, структура, свойства. *Физикохимия поверхности и защита материалов.* – 2009. – Т. 45, №3. – С. 287–301.
5. Tseluikin V.N. Composite electrochemical coatings: deposition, structure and properties.

*Physico-chemistry of surfaces and protection of metals.* 2009. V.45, №3; P. 636–641.

4. Балакай В.И., А.В. Арзуманова, И.В. Балакай, И.Ф. Бырылов Композиционное электролитическое покрытие на основе никеля. *Журнал прикладной химии.* – 2010. – Т. 83, Вып.12. – С. 2008–2012.
5. Balakai V.I., Arzumanova A.V., Balakai I.V., Byrylov I.F. Nickel based electrodeposited composite coating. *J.App;Chem. (Russian).* 2010, V.83, P.2008–2012.
5. Гифту, П., Павлату Е.А., Спиреллис Н. Композиционные электрохимические покрытия (КЭП) повышенной твердости на основе Ni матрицы, содержащие наночастицы SiC. *Гальванотехника и обработка поверхности.* – 2001. – Т. IX, № 1. – С. 23–28.
6. Gyftou P., Pavlatov E.A., Spyrellis N. Hardening Modification of Nickel Matrix Composite Electrocoatings Containing SiC Nanoparticles. // *Electroplating and Surface Treatment.* –2001. V.IX, №1. P. 23–28.
6. Десяткова, Г.И., Ягодкина Л.М., Савочкина И.Е., Халдеев Г.В. Композиционные электрохимические покрытия на основе никеля. *Защита металлов.* – 2002. – 38, №5. – С. 525–529.
7. Desyatkova G.I., Yagodkina L.M., Savochkina I.E., Khaldeev G.V. Nickel-based composite electrochemical coatings. // *Protection of metals.* 2002. –38, №5, P. 525–529.
7. Lekka M., Kouloumbi, M. Gajo, L. Bonora. Corrosion and wear resistant electrodeposited composite coatings. *Electrochimica Acta.* – 2005. – 50. – P. 4551–4556.
8. Lee, Hong-Kee, Ho-Young Lee, Jun-Mi Jeon. Codeposition of micro- and nano-sized SiC particles in the nickel matrix composite coatings obtained by electroplating // *Surface and Coating Technology.* – 2007. – 201. – P. 4711–4717
9. Целуйкин В.Н., Соловьева Н.Д., Гунькин И.Ф. Электроосаждение композиционных покрытий никель-фуллерен C60. *Защита металлов.* – 2007. – Т. 43, №4. – С. 418–420.
10. Tseluikin V.N., Solovjeva N.D., Gunkin I.F. Electrodeposition of nickel-fullerene C60 composite coatings. *Protection of metals.* 2007. V.43, №4, P. 4185–420.
10. Тимошков Ю.В., Губаревич Т.М., Ореховская Т.И., Молчан И.С., Курмашев В.И. Свойства композиционных никелевых покрытий с различными типами ультрадисперсных алмаз-

ных частиц. Гальванотехника и обработка поверхности, 1999, Том VI, № 2. - с. 14-19.

Properties of Composite Nickel Coatings containing Ultrafine Diamond Particles of Various Types. Timoshkov U.V., Gubarevich T.M., Orekhovskaya T.I., Molchan I.S., Kurmashev V.I. 1999. V.VI; № 2. P.14-19.

11. Целуйкин, В.Н., Соловьева Н.Д., Гунькин И.Ф. Получение композиционных электрохимических покрытий никель-фуллерен C60 Журнал прикладной химии. - 2008. - Т. 81, Вып.7. - С.1106-1108.

Tselyikin V.N., Solovjeva N.D., Gunkin I.F. Electrodeposition of nickel fullerene composite coatings. J.App.Chem. (Russian). 2008, V.81, P.1106-1108.

12. Летенко, Д.Г., Никитин В.А., Семенов К.Н., Чарыков Н.А, Иванов А.С. Электропроводность водных растворов фуллеренола, полученного методом прямого окисления. Физическая химия растворов. - 2012. - Т. 86, №12. - С. 1944-1952.

Letenko D.G., Nikitin V.A., Semenov K.N., Charykov N.A., Ivanov A.S. Conductivity of fullerene aqueous solutions prepared by direct oxidation. Physico-chemistry of solutions. 2012. V.86, №12, P. 1944-1952.

13. Семенов, К.Н., Чарыков Н.А., Летенко Д.Г., Никитин В.А., Намазбаев В.И., Кескинов В.А., Пухаренко Ю.В. Синтез и защитное действие фуллеренола-d. II. Модификация водорастворимой грунт-эмали фуллеренолом-d. Наноразмерные и наноструктурированные материалы и покрытия. - 2012. - Т. 48, №3. - С.1-7.

Semenov K.N., Charykov N.A., Letenko D.G., Nikitin V.A., Namazbaev V.I., Keskinov V.A., Pukharenko Yu.V. Synthesis and protective action of fullerene-d. II. Modification of enamel-primer by fullerene-d. Nano-sized and nano-structured materials and coatings. 2012. V.48, №3, P.1-7.

13. Socha R.P., Nowak P., Laajalehto K. Influence of the surface properties of silicon carbide on the process of SiC particles co-deposition with nickel. Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects. - 2004. - 235, №5. - P. 45-55.

14. Дасоян М. А., Пальмская И.Я., Сахарова Е. В. Технология электрохимических покрытий. Л.: Машиностроение, 1989. С. 182.

Dasoyan M.A., Palmskaya I.Ya., Sakharova E.V. Technology of electrochemical coatings. L., Mashinostroenie, 1989, 182 p.

15. Лурье Ю.Ю. Справочник по аналитической химии. М.: Химия, 1989. 448 с.

Lurye Yu. Yu. Analytical chemistry reference book. M.: Khimiya, 1989, 448 p.

#### *Сведения об авторах*

**Антихович Ирина Владимировна**, аспирант, кафедра химии, технологии электрохимических производств и материалов электродной техники; Белорусский государственный технологический университет, Беларусь, 220050, г. Минск, ул. Свердлова 13а; antihovich.irina@gmail.com, +(375)29-394-11-53.

**Черник Александр Александрович**, к.х.н., доцент, зав. кафедрой, +(375-17)-226-02-82; chernik@mail.by

**Жарский Иван Михайлович**, к.х.н., профессор; ректор.

#### *Information about authors*

**Antikhovich Irina V.**, post graduate student; Dept. of chemistry, electrochemical eng. and materials for electronics, Belorussian State Technological University, 220050, Minsk, Sverdlova str. 13a.

**Chernik Alexander A.**, PhD, Ass. Prof., phone: (375-17)-226-02-82.

**Zharski Ivan M.**, Professor, Rector, phone: (375-17)-226-02-82.

УДК 628.542:621.357.7

## **Утилизации концентрированных гальванических растворов**

**Руденок В.А.**

Ключевые слова: гальванические растворы, утилизация.

Приводится бессточная технология утилизации отработанных гальванических растворов. Приведенная модификация процесса позволяет перерабатывать любой раствор как на гальваническом производстве, так и на предприятиях металлургической, фармацевтической и атомной промышленности.

## **Utilization of Spent Electroplating Solutions**

**Rudenok V.A.**

Keywords: spent plating solutions, utilization

New process for the utilization of spent plating solutions has been developed and implemented on an industrial scale [1-3]. Spent solutions are mixed with calcium oxide to form solid hydrates in the form of powder which is sent to a metallurgy plant. The powder is used there for the production of metals, such as chromium or nickel. In some cases in addition to calcium oxide aluminum salt should be added for the formation of hydrates of proper structure. Such modification of the process allows to use it for the utilization of some other spent solutions.

На машиностроительных предприятиях России нормативно-технической документацией предусмотрена только реагентная технология очистки стоков гальванических производств. При этом имеется в виду крайне разбавленный раствор после промывки деталей. В этих растворах содержание ионов металлов не превышает 10-100 мг/л. Отработанный раствор обрабатывают соответствующими реагентами, и выпавшие в осадок нерастворимые соединения целевых ионов отстаивают, а затем окончательно фильтруют и утилизируют на специальных полигонах. Переработке такие осадки, как правило, не подлежат, поскольку состоят из смеси соединений различ-

ных металлов, разделение которых экономически нецелесообразно.

В статье рассматривается возможность переработки концентрированных отработанных растворов. Технология исключает появление вторичных стоков и обеспечивает возможность глубокой переработки отходов до соответствующего металла. Предлагаемая технология наиболее полно отработана для случая утилизации концентрированных растворов хромирования.

В соответствии с традиционной технологией отработанные концентрированные растворы, при необходимости их утилизации, разбавляют в 1000 раз чистой водой и направляют в общий поток разбавленных стоков. При этом на каждый

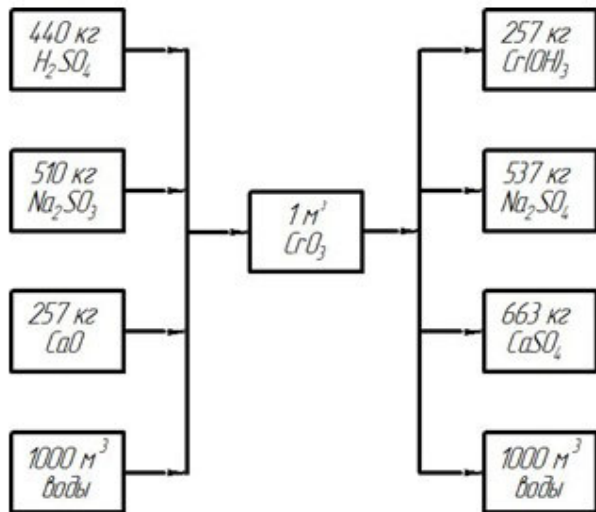


Рис. 1. Диаграмма соотношения расходных реагентов и продуктов нейтрализации 1 м<sup>3</sup> раствора хромирования по традиционной технологии

Fig.1. Consumption of reagents in the utilization of spent chromium plating solutions in conventional process

кубический метр утилизируемого концентрированного раствора затрачивается до 1000 м<sup>3</sup> чистой воды и от 1000 до 1500 кг реагентов. В результате образуется "условно-чистая" вода, в которой нет ионов хрома, но в которой растворено до 500 кг со-

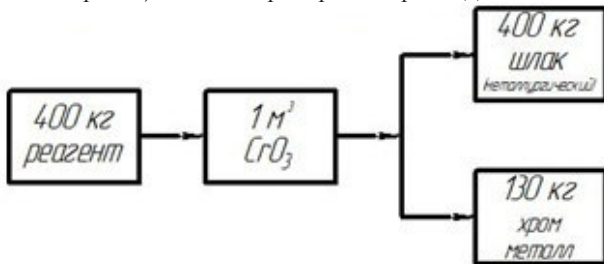


Рис. 2. Диаграмма соотношения расходных реагентов и продуктов нейтрализации 1 м<sup>3</sup> раствора хромирования по предлагаемой технологии

Fig.2. Consumption of reagents in a new process

лей (рис.1).

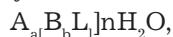
Предлагаемая технология исключает использование чистой воды, существенно сокращает количество используемых для утилизации реагентов, и исключает образование вторичных стоков (рис.2).

В соответствии с ней отработанный концентрированный раствор переливается в реактор-смеситель, туда же добавляется сухой реагент окиси кальция из расчета 400 кг на 1 м<sup>3</sup> раствора. Наиболее приемлем аппаратом в качестве реактора-смесителя может быть строительная бетоно-

мешалка. В процессе смешения, по нашим представлениям, образуется комплексное соединение, включающее большое количество кристаллизационной воды. Для соединений хрома, который характеризуется большим координационным числом, на одну его молекулу может приходиться до 18 – 20 молекул воды. Примерно такое же молярное соотношение хрома и воды в большинстве рецептов растворов хромирования. Таким образом, практически вся фазовая вода раствора хромирования переходит в форму кристаллогидратной воды, и смесь в реакторе после окончания процесса смешения превращается в массу влажных кристаллогидратов. По консистенции это рыхлый увлажненный порошок. Остатки фазовой воды испаряются из порошка самопроизвольно в течение нескольких часов в условиях цеха на поддоне. Образовавшийся рыхлый порошок может быть использован как сырье для выплавки металлического хрома. В процессе испытаний этой методики порция такого порошка до 50 кг была передана двуреченскому заводу «Феррохром». Здесь его смешали с рудным концентратом и в процессе алюминотермического восстановления получили товарный металлический хром. Очевидно, если все машиностроительные предприятия России организуют переработку отработанного раствора хромирования своих производств по предлагаемой технологии, будет получен хороший экономический эффект за счет сокращения закупок сырья для производства металлического хрома.

В попытке распространения описываемой технологии на концентрированные растворы других гальванических процессов было установлено, что добавления только окиси кальция для достижения эффекта не всегда бывает достаточно. Возможно, в силу недостаточного количества незанятых электронных орбиталей во внешней электронной оболочке утилизируемого металла. Введение в композицию дополнительного металла с соответствующей электронной конфигурацией восстанавливает возможность технологии связывать всю фазовую воду в состав кристаллогидрата. Наиболее подходящей оказались соединения алюминия. В этом случае обработку концентрированных растворов проводят композицией, содержащей дополнительно сульфат алюминия, мольная доля которого в добавляемой композиции составляет 0,1 – 0,15, причем суммарное количество утилизируемого р или d металла, с учетом содержания алюминия, в композиции должно быть не менее 0,35 моль/л. При этом, предположитель-

но, образуется комплексное соединение, строение которого может быть отражено следующей структурной формулой:



где: А-катион внешней сферы –щелочноземельный металл, например, кальций; В – поливалентный (валентность больше 2) р или d металл, например, алюминий, железо, хром, и др. – комплексообразователь; L – лиганд, например, сульфат – ион; H<sub>2</sub>O – кристаллизационная вода; a, b, l, n – стехиометрические коэффициенты; при этом значение n соответствует соотношению молярных концентраций воды и поливалентного металла в растворе.

Предлагаемая технология была успешно опробована на приборостроительном заводе при отработке процесса утилизации различных рецептов растворов цинкования, меднения, никелирования, анодирования алюминия, а также растворов хроматирования и фосфатирования.

Предлагаемая технология была также использована на одном из предприятий при переработке огромного количества (24 м<sup>3</sup>) полужидких отходов процесса никелирования деталей детских колясок. Концентрированные отходы длительное время накапливались на полигоне в бетонированных ямах.

Эта модификация процесса позволяет перерабатывать любой раствор не только в гальваническом процессе, но и в металлургической, фармацевтической и атомной промышленности.

Описанную технологию целесообразно использовать в комплексе с технологией очистки промывных вод, разработанной на кафедре ТЭП РХТУ им. Д.И. Менделеева. Это позволит резко снизить нагрузку на станцию нейтрализации предприятия, поскольку исключит поступление на нее для нейтрализации многократно разбавленных концентрированных растворов, как это предусмотрено в существующей на предприятиях нормативно - технической документации.

Технология защищена патентами России (1-3) и внедрена на Пермском велосипедном заводе, а также на одном из машиностроительных заводов, где ее внедрение позволило в короткие сроки утилизировать многолетние отвалы соединений никеля.

## **Литература References**

1. Руденок В.А., Груздев В.Ф. Способ переработки сточных вод гальванического производства, содержащих тяжелые металлы // Авторское свидетельство СССР № 1819863, заявлен 31.01.1991, заявка № 4907306, опубликован 07.06.1993. Бюл. №21.  
Rudenok V.A. Process for the treatment of waste water from plating line containing heavy metals.
2. Руденок В.А., Груздев В.Ф. Способ переработки концентрированных растворов нанесения гальванических покрытий. Патент России № 2218311, заявлен 28.09.2001, заявка № 2001126463, опубликован 10.12.2003. Бюл. №34.  
Rudenok V.A., Gruzdev V.F. Process for the treatment of concentrated plating solutions. Patent RF № 2218311.
3. Руденок В.А., Груздев В.Ф. Способ переработки отработанных растворов // Патент России № 2281253, заявлен 05.11.2004, заявка № 2004132407, опубликован 10.08.2006 Бюл. №22.  
Rudenok V.A., Gruzdev V.F. Process for the treatment of spent solutions. Patent RF № 2281253.

## **Сведения об авторах**

**Руденок Владимир Афанасьевич** – к.х.н., доцент, зав. кафедрой химии; Ижевская государственная бюджетная образовательная организация высшего профессионального образования «Ижевская государственная сельскохозяйственная академия» (ФГБОУ ВПО ИжГСХА); 426008, Удмуртия, г. Ижевск, ул. Пушкинская 216, кв.102; тел.: 8-912 8554226; e-mail: rudenva@rambler.ru

**Rudenok Vladimir A.** - Acc. Prof., Cand. of Sci., Head of Dept. of Chemistry, Izhevsk Academy of Agriculture. 426008, Izhevsk, Pushkinskaya Str., 216-102.



УДК: 66.087.4

**Перспективные электрохимические процессы  
в технологиях обезвреживания сточных вод. Ч.III.  
Электрокоагуляция**

**Харламова Т.А., Колесников А. В., Силос О.В.,  
Алафердов А.Ф., Семенов Ю.В., Жуков В.Ю.**

Ключевые слова: сточные воды, электролиз, электрокоагуляция, электрокоагуляторы.

Настоящий обзор посвящен электрокоагуляционной очистке промышленных сточных вод от токсичных соединений. Рассмотрено современное состояние данного метода на основе анализа литературы за период с 2009 по 2014 годы. Обсуждаются новые данные научных исследований, включая совмещенные методы, направленные на повышение эффективности процесса.

**Perspective electrochemical processes for waste water  
treatment technology. P.III.  
Electrocoagulation**

**Harlamova T. A., Kolesnikov A. V., Silos O.V., Alaferdov A.F.,  
Semenov U.V., Zhukov V.U.**

Key words: wastewater, electrolysis, electrocoagulation, electrocoagulators.

The use of electrocoagulation for the treatment of liquid waste is discussed. Among major factors influencing the process anode current density is very important (Fig.1,2). Mechanism of electrode reactions and its effect in the coagulation process is discussed. Several particular examples of waste treatment are described in more detail. They include removal of Arsen and nitrates compounds from drinking water (Figs 3-5), removal of surfactants and dyes from waste water, removal of heavy metal ions from waste water in electroplating shops (Fig.6), purification of industrial water (Fig.7). Several examples are given and are discussed for the equipment used for electrocoagulation (Figs. 8-10).

### Введение

Настоящая статья является третьей частью обзора по электрохимической очистке промышленных сточных вод и посвящена процессу электрокоагуляции. По количеству цитируемых работ метод электрокоагуляции (ЭК) не уступает деструктивному и электрофлотационному методам, рассмотренных в предыдущих частях обзора [1,2]. Достоинства метода ЭК отмечаются в ряде работ [3-6]: компактность установок и простота управления, резкое сокращение реагентного хозяйства, получение шлама с хорошими структурно-механическими свойствами, отсутствие дополнительного загрязнения анионами, экономичность и экологичность процесса. ЭК метод применяется для удаления токсичных примесей как неорганической (катионы тяжелых металлов), так и органической природы (фенол, ПАВ, органические красители) из хозяйственно-бытовых и промышленных сточных вод и особенно эффективен для обезвреживания хромосодержащих вод, которые в большом количестве образуются в гальваническом производстве [7]. Степень удаления примесей достигает свыше 99%.

Сущность процесса ЭК заключается в том, что электрическая энергия используется для растворения материала анода и генерации соответствующих гидроксидов, обладающих высокой адсорбционной (хемосорбционной) способностью, и которые на своей поверхности сорбируют находящиеся в сточной воде растворенные молекулы или коллоидные частицы токсичных веществ с последующим образованием осадка (шлама). Следует отметить возможность встраивания токсичных веществ в структуру формирующихся мицеллярных структур гидроксидов. Опытным путем показано, что гидроксиды, генерированные электрохимическим растворением металлов, обладают значительно большей адсорбционной способнос-

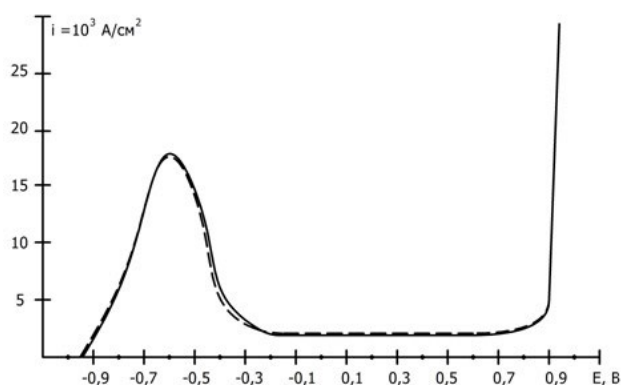


Рис. 1. Потенциодинамическая кривая на Ст-3 в растворе боратного буфера (сплошная линия) и боратного буфера с  $10^{-3}$  М фенола (пунктирная линия)

Fig.1. Potentiodynamic polarization curves in borate buffer solution (solid line) and with added phenol ( $10^{-3}$  M) (dotted line)

тью, чем полученные химическим путем, поэтому промышленное использование электрокоагуляции в некоторых случаях является экономически целесообразным.

### Факторы, влияющие на процесс электрокоагуляции

В качестве доступных растворимых анодных материалов для ЭК являются железо и алюминий как в виде пластин (в электролизерах ящичного типа), так и в виде стружки или гранул (в электролизерах насыпного типа), причем, как показано в работе [8], материал растворимых анодов существенного влияния на показатели очистки не оказывает. Проведенный сравнительный анализ ЭК с Al и Fe анодами на примере сточной воды текстильной промышленности показал сопоставимую эффективность снижения ХПК и оптической плотности очищаемых вод, что вполне объяснимо с точки зрения одинаковой мицеллярной структуры образующихся гидроксидов.

При выборе режимов ЭК следует учитывать явление пассивации анодов [9] (рис.1) и, следовательно, для поддержания анода в активном состоянии необходимо вести процесс при невысоких плотностях тока, обычно составляющих  $\leq 1,5-1,0$  А/дм<sup>2</sup>, причем чем ниже концентрация токсичных веществ, тем влияние плотности тока становится менее заметным (рис.2). Поэтому, с целью снижения расхода электроэнергии целесообразно сни-

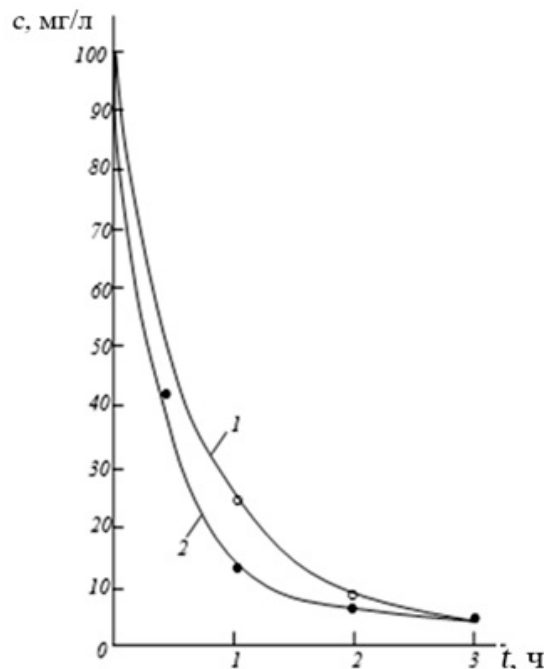


Рис. 2. Влияние плотности тока на снижение концентрации фенола в зависимости от продолжительности электролиза,  $i$  А/дм<sup>2</sup>: 1 - 0,5; 2 - 1,5 (аноды – Ст.3).

Fig.2. Effect of electrolysis time on the concentration of phenol at c.d. 0,5 (1) and 1,5 (2) A/dm<sup>2</sup> (Steel anodes)

жать плотность тока по мере повышения степени очистки. Следует отметить, что для характеристики ЭК процесса немаловажное значение имеет объемная плотность тока (в А/л), однако оценить ее не всегда представляется возможным из-за низкой информативности опубликованных данных.

Эффективность ЭК метода повышается при перемешивании сточных вод за счет снижения диффузионных ограничений процесса. Показано [6], что интенсивное перемешивание модельной сточной воды с одновременным увеличением начальной концентрации в ней арсенатов в 2 раза (с 1 до 2 ppm) позволило повысить степень их удаления в среднем на ~10%.

Метод ЭК максимально эффективен в области  $pH \geq 5$ , которая соответствует pH гидратообразованию гидроксидов  $Al(OH)_3$  или  $Fe(OH)_3$ , хотя возможно проводить процесс анодного растворения металлов и в кислой среде с последующим подщелачиванием воды, приводящее к образованию гидроксидов, образующих осадок. Такой процесс можно охарактеризовать как "псевдоэлектрокоагуляция".

Продолжительность обработки зависит от очень многих факторов, и в первую очередь, от начальной концентрации токсичных примесей, однако анализ литературных данных показывает, что даже для многокомпонентных и сильнозагрязненных стоков рекомендуемое оптимальное время ЭК обработки обычно не превышает 45-60 минут [9, 10], так как при снижении концентрации примесей эффективность ЭК снижается. Например, для фенолсодержащих вод с начальной концентрацией 0,1 г/л заметное снижение скорости процесса ЭК наступит спустя 60 минут, что видно на рис. 2.

Повышение температуры отрицательно сказывается на эффективности процесса ЭК [11] в связи с ускорением процесса десорбции примесей и разрушением мицеллярной структуры гидроксидов.

В цитируемых работах встречаются сообщения об отсутствии протекания окислительных процессов на растворимых анодах при проведении ЭК, что подтверждается аналитическими данными. В связи с этим имеется указание [12], что при проведении процесса очистки мышьяк содержащих вод с высоким содержанием Cl-ионов молекулярный газообразный хлор в продуктах электролиза газовым анализом не обнаружен. Отсутствие волны окисления токсичных веществ на вольтамперных кривых также служит доказательством протекания только анодного растворения металла, что можно проиллюстрировать на примере фенолсодержащих вод (рис. 1, пунктирная кривая) [9].

Однако, на катоде высока возможность протекания с участием токсичных примесей восста-

новительных процессов, являющихся причиной формирования не только катодных осадков, но и образования новых в большей или меньшей степени токсичных соединений. Последнее нередко отмечается при ЭК обработке сточных вод, содержащих кислотные и прямые органические красители. УФ-спектроскопией показано, что несмотря на полное обесцвечивание очищенной воды в ней обнаруживаются соответствующие амины, образующиеся в результате катодного восстановления красителей по азогруппе [13].

Однако, в целом сведения в литературе о протекании окислительно-восстановительных процессов при ЭК достаточно отрывочны.

Процесс ЭК сопровождается флотацией коллоидных частиц с сорбированными токсичными примесями, выделяющимися на электродах газами, и образования на поверхности электрокоагулятора флотошлама, поэтому нередко в литературе процесс электролиза с растворимыми анодами называют электрофлотокоагуляцией, подчеркивая этим неотъемлимую роль флотации. Авторами аналитически определена доля флотационного процесса при ЭК, которая составляет ~30%.

Для поддержания поверхности анодов в активном состоянии и предотвращения зашламления электродного пространства предлагается периодическая либо смена полярности электродов, либо промывка раствором кислоты. Известно, что Cl-ионы оказывают активирующее влияние на поверхность анодов, поэтому в ряде существующих технологических схемах предусмотрена подача в очищаемую воду рассола [5], что однако повышает ее минерализацию, так как наряду с хлорид-ионами в воду попадают примеси, присутствующие в товарном хлориде натрия.

Из ранних работ по ЭК известно, что в первые 25-30 минут отстаивания происходит процесс укрупнения мелких хлопьев гидроксидов и их коагуляция. Однако при более длительном контакте очищаемой воды с осадком происходит вторичное загрязнение воды: при отстаивании фенолсодержащих сточных вод со шламом более 1 часа концентрация фенола в очищенной сточной воде возрастает [9]. Последнее в конкретном случае связано с образованием устойчивого комплекса фенола с катионами железа, что хорошо известно из курса аналитической химии.

### **Энергопотребление**

Теоретический расход электроэнергии для растворения 1 г железа или 1 г алюминия составляет 3 и 12 Втч, соответственно, но на практике он значительно превышает эти значения. Затраты электроэнергии на удаление 1г примесей зависят от их природы, конструктивных особенностей

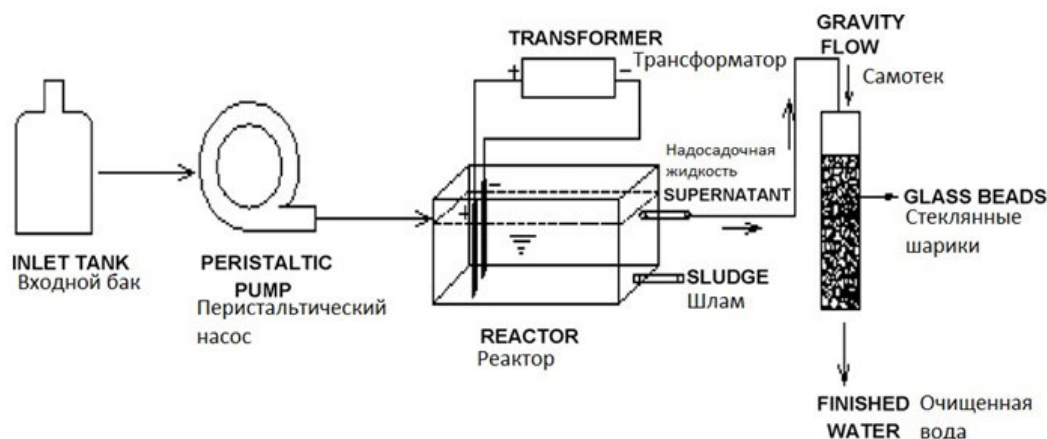


Рис. 3. Схема экспериментальной ячейки  
Fig.3. The experimental cell

электролизера, общей минерализации, начальной концентрации примесей и пр. Сообщается [4] о широко используемом электролизере в США с биполярными стальными электродами с энергопотреблением ~10 кВт для удаления 1 кг тяжелых металлов. Согласно [9] для удаления из сточных вод 1г органических красителей различных классов (антрахиноновых, кубовых, азокрасителей) энергопотребление составляет не менее 0,02 – 0,03 кВт.ч. Выход железа по току в присутствии не менее 0,4 г/л NaCl составляет ~80%.

Ниже рассмотрим некоторые публикации последних лет по ЭК очистке сточных, оборотных и питьевых вод.

#### Очистка сточных вод от мышьяк-содержащих соединений

Повышенный интерес к очистке мышьяк-содержащих вод объясняется использованием соединений мышьяка в оптоэлектронике, лазерной технике, гелиотехнике, а также в микроэлектронике [14]. В последние годы мышьяковистые соединения используют в качестве основы материалов для получения высокоэффективных (к.п.д. до 27%) солнечных батарей для орбитальных комплексов. Кроме этого, для получения высокочистого мышьяка в промышленном варианте используется хлоридная технология, применение которой приводит к большим потерям мышьяк-содержащих соединений с солянокислыми стоками. Известно, что арсениды, содержащие As(III), и арсенаты, содержащие As(V), относятся к высокотоксичным соединениям, причем последние в 25-60 раз являются более токсичными [6]. Загрязнение соединениями мышьяка обнаруживается и в подземных водах, которые также являются объектами исследований методом ЭК. Авторами [15] проведен анализ энергопотребления и расхода анодного материала при ЭК очистки от мышьяк-содержащих примесей подземных вод.

В [12] проведен сравнительный анализ удаления арсенит- и арсенат-ионов ЭК и химическим реагентным методами (добавлением в сточные воды солей железа(III), например,  $FeCl_3$ ). Эксперименты показали, что в области pH 7,5 – 8,5 степень удаления арсенат-ионов в обоих случаях оказалась сопоставима, а арсенит-ионов ЭК методом выше на ~ 5-30%, что вероятно объясняется различной сорбционной активностью анионов, содержащих мышьяк различной степени окисления.

Авторами [6] проведены сравнительные эксперименты по ЭК удалению арсенат- и нитрат-ионов из питьевой водопроводной воды и из растворов, приготовленных на дистиллированной воде, с электродами из малоуглеродистой стали. Интерес к удалению нитратов объясняется тем, что применение азотсодержащих удобрений привело к росту их содержания в грунтовых водах. Например, в некоторых водоносных слоях mid-west регионов США их концентрация достигает 469 мг/л, а в ряде регионов Индии составляет 166-273 мг/л при максимальной допустимой концентрации  $NO_3^-$  в питьевой воде 45 мг/л.

Полный цикл очистки включал ЭК обработку воды в электрохимическом реакторе прямоугольной формы с последующей фильтрацией воды для снижения ее мутности через фильтр, заполненный нитроцеллюлозой с размером пор 0,45 мкм (рис. 3).

Эффективность удаления нитрат-ионов и арсенат-ионов из растворов, приготовленных на дистиллированной воде и питьевой водопроводной воде составила: 84% для нитрат-ионов и 75% для арсенат-ионов (V), причем значительного различия в степени удаления анализируемых анионов из двух типов вод, обнаружено не было (рис. 4 и 5).

Предлагается [16], для удаления мышьяк-содержащих соединений из воды предварительное электроокисление арсенит-ионов до арсенат-ионов с последующим их ЭК удалением, однако дополнительная стадия окисления усложняет аппаратур-

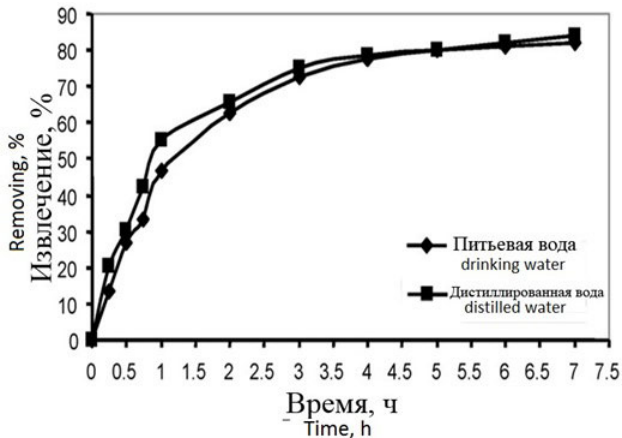


Рис. 4. Удаление нитратов из питьевой и дистиллированной воды

Fig.4. Removal of nitrates from drinking water

ное оформление процесса и повышает стоимость технологии.

Рассмотрен вопрос [16] о влиянии анионов, присутствующих в очищаемой воде, на процесс ЭК удаления арсенитов из стоков, имеющих слабощелочную реакцию среды (рН 8). Показано замедляющее влияние ряда неорганических анионов ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{SiO}_3^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ) на процесс, однако причина торможения ЭК очистки мышьяк содержащих вод вышеперечисленными ионами требует своего дальнейшего изучения.

Для связывания и удаления избытка содержащихся в сточных водах медеплавильных производств сульфат-ионов и тяжелых металлов [17], перед проведением их ЭК очистки предлагается предварительная обработка раствором известкового молока.

#### Очистка сточных вод от ПАВ, красителей и твердой фазы

Серьезную опасность загрязнения водоемов представляют красильно-отделочные производства легкой индустрии: текстильной и трикотажной подотрасли, а также стоки прачечных. Ингредиенты сточных вод текстильных производств в большинстве своем являются токсичными и биохимически трудноокисляемыми, что обуславливает высокую опасность и чрезвычайную трудность обезвреживания данной категории промышленных сточных вод [18]. На современных крупных красильно-отделочных фабриках расход воды достигает более 40 тыс. м<sup>3</sup> в сутки, поэтому несмотря на большие успехи в области очистки этой категории сточных вод, в том числе и ЭК методом, продолжение исследований в этой области не теряет своей актуальности.

Авторами [10] проведено исследование кинетики сорбции ПАВ на гидроксиде алюминия при ЭК обработке сточных вод прачечных в электрокоагуляторе с пластинчатыми анодами из алюми-

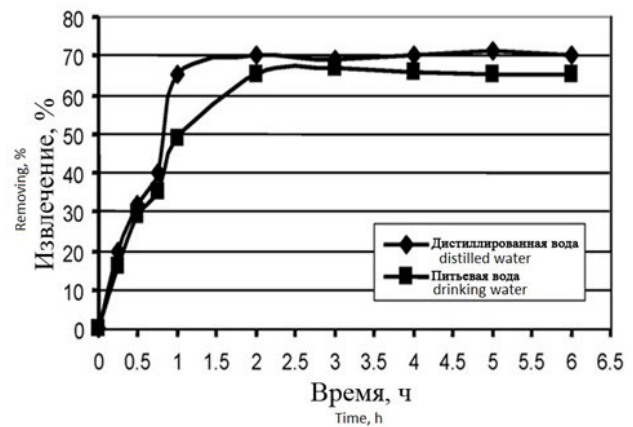


Рис. 5. Удаление As (V) из питьевой и дистиллированной воды

Fig.5. Removal of As (V) from drinking and distilled water

ния. Отмечается высокая эффективность удаления ПАВ, снижения цветности и мутности очищаемых вод, оптимальное значение рН находится в пределах 6 – 8. Показано, что кинетика адсорбции токсичных примесей соответствует модели второго порядка.

Сточные воды с большой органической нагрузкой, как правило, имеют высокий показатель ХПК, который регламентируется при сбросе в водоемы. Метод ЭК с последующим отстаиванием позволяет очищать промышленные сточные воды с высокими значениями ХПК, показателем мутности и содержанием твердой фазы. Проведена работа [19] по оптимизации параметров комбинированного процесса ЭК с алюминиевыми электродами и седиментации для снижения ХПК, мутности и содержания твердой фазы в промышленных сточных водах с использованием методологии поверхностного отклика.

В [7] сообщается о проведении сравнительных экспериментов по ЭК очистке сточных вод текстильной промышленности в проточной электрохимической ячейке, оснащенной вначале алюминиевыми электродами с последующей сменой их на железные. Результаты анализов ХПК и оптической плотности обрабатываемой сточной воды показали одинаковую закономерность их снижения во времени, однако показатель мутности стоков не подчиняется найденной закономерности.

#### Очистка сточных вод от катионов $\text{Cu}^{+2}$ , $\text{Mn}^{+2}$ , $\text{Zn}^{+2}$ .

Некоторые промышленные стоки содержат хорошо растворимые в воде соли таких токсичных металлов, как Cd, Cr, Cu, Zn, и которые со временем могут попадать в живые организмы по “пищевым цепям”. Поэтому стоки такого состава должны быть обезврежены перед их сбросом в окружающую среду. Авторами [3] были проведены исследования по влиянию исходной концентрации катионов  $\text{Cu}^{+2}$ ,  $\text{Zn}^{+2}$  и  $\text{Mn}^{+2}$  и типа анионов -  $\text{SO}_4^{-2}$  и  $\text{Cl}^-$  на

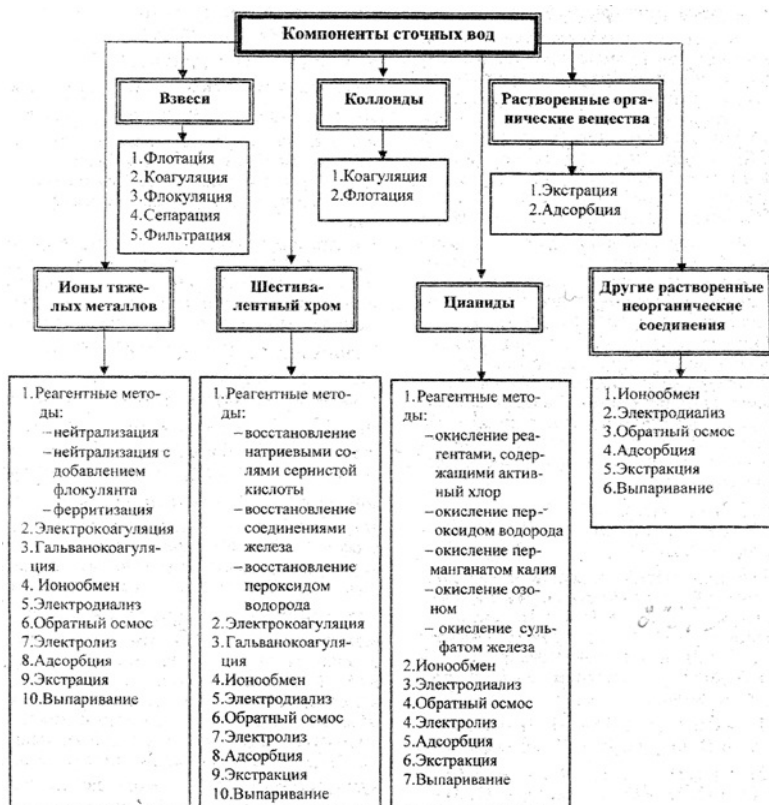


Рис. 6. Применяемые методы очистки сточных вод гальванических производств

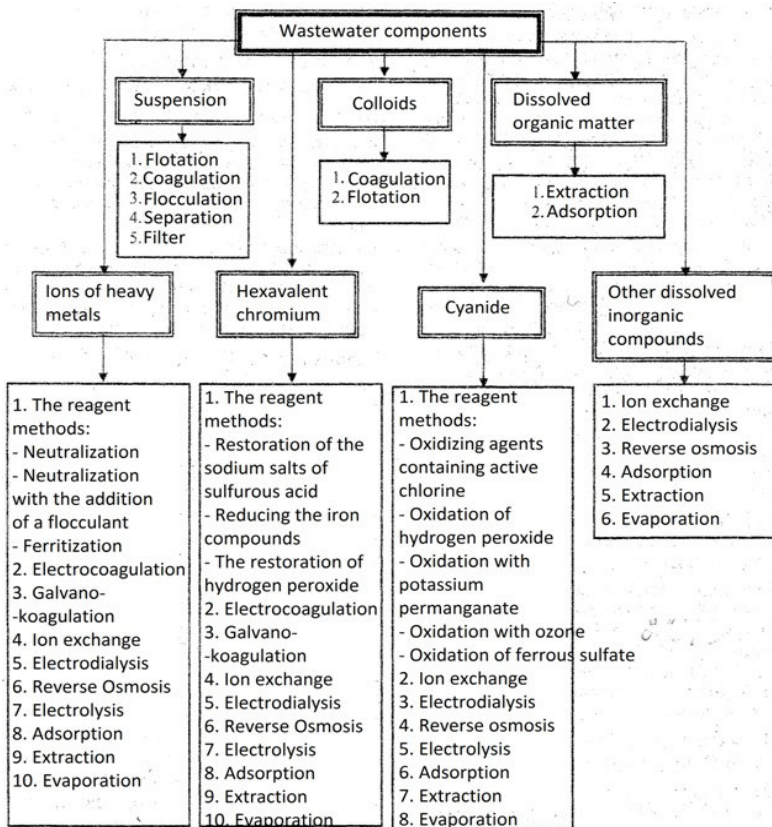


Fig.6. Methods used in electroplating wastewater

очистку модельной воды методом ЭЖ в электрокоагуляторе с 4-мя монополярными пластиначатыми электродами из Al (межэлектродное расстояние 5 мм) при фиксированной плотности тока 1,5 А/дм<sup>2</sup>. Концентрация катионов металлов варьировалась в пределах 50-100 мг/л, SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> – 75,6 – 349,7 мг/л, Cl<sup>-</sup> – 56 – 259,2 мг/л. Было установлено, что по эффективности метода ЭЖ катионы изученных металлов можно расположить в ряд Cu<sup>+2</sup> > Zn<sup>+2</sup> > Mn<sup>+2</sup>, и в большей степени, чем их концентрация на процесс оказывает влияние тип присутствующего аниона. Например, очистка от Zn<sup>+2</sup> в присутствии SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>-ионов протекает в 2 раза быстрее, чем в присутствии Cl-ионов.

К образованию сильнозагрязненных сточных вод, в том числе содержащих ионы тяжелых и цветных металлов, относится и гальваническое производство. Источником загрязнения окружающей среды в гальванике, как отмечал еще в свое время акад. Я.М.Колотыркин в статье “Электрохимия и проблемы окружающей среды”, являются “не только промывные воды, но и отработанные концентрированные растворы, сбросы которых составляют по объему 0,2-0,3% от общего количества сточных вод, а по массе содержащихся в них загрязнений – 70%. Особенно большие проблемы с точки зрения экологии представляют многочисленные технологии нанесения защитных и декоративных покрытий”. Для этих целей в настоящее время используют цинкование, меднение, хромирование, кадмирование и пр. Большое количество отдельных операций в процессе гальванического нанесения металлических покрытий приводит к образованию разных по компонентному составу и концентрациям потоков загрязненных сточных вод. Структура стоков гальванического производства и возможные методы их очистки от различных групп загрязняющих веществ приведены на рис.6 [20].

Из приведенного рисунка следует, что для обезвреживания сточных вод от ионов тяжелых металлов и Cr(VI) наряду с другими физико-химическими методами применяется ЭЖ. Однако несмотря на высокую эффективность

метода и его широкое практическое применение, огромный расход металла, приводящий к образованию токсичного шлама, проблемы связанные с его захоронением и пр., вызывают неоднозначную реакцию в научной среде и дискуссии на тему целесообразности применения данного метода в гальванике, которые были опубликованы на страницах данного журнала [21,22].

### Очистка бериллийсодержащих сточных вод

Бериллий и его соединения относятся к классу токсичных материалов, вызывающих необратимые процессы в организме человека, в связи с этим вопросы защиты окружающей среды на предприятиях, которые используют как металлический бериллий, так и его соли, ставятся особенно остро [23]. В технологическую схему физико-химической очистки промывневых бериллийсодержащих сточных вод ФГУП «Базальт» (специализированное предприятие по точной механике ГК «Росатом») включена стадия ЭК с железными растворимыми анодами и добавлением 10% раствора NaCl для их депассивации. Для получения крупного осадка в раствор дополнительно вводят 0,1% раствор флокулянта – Floram FA920SH из расчета 1 г флокулянта на 1 м<sup>3</sup> раствора. Бериллийсодержащий осадок, полученный в результате электрохимической обработки, имеет влажность 90-95%. Сообщается, что в выбранных условиях ЭК промывневых вод происходит снижение концентрации ионов меди и никеля, а также нефтепродуктов до нормативных показателей. Остаточная концентрация бериллия в сточных водах после ЭК обработки не превышает 0,0002 мг/л. Технологическая схема физико-химической очистки промывневых вод ФГУП «Базальт» приведена на рис.7.

### Водоподготовка

Метод ЭК может быть использован для водоподготовки на теплоэлектростанциях. В работе [24] рассматривается такая возможность, на примере модернизации осветлителя типа ЦНИИ для осу-

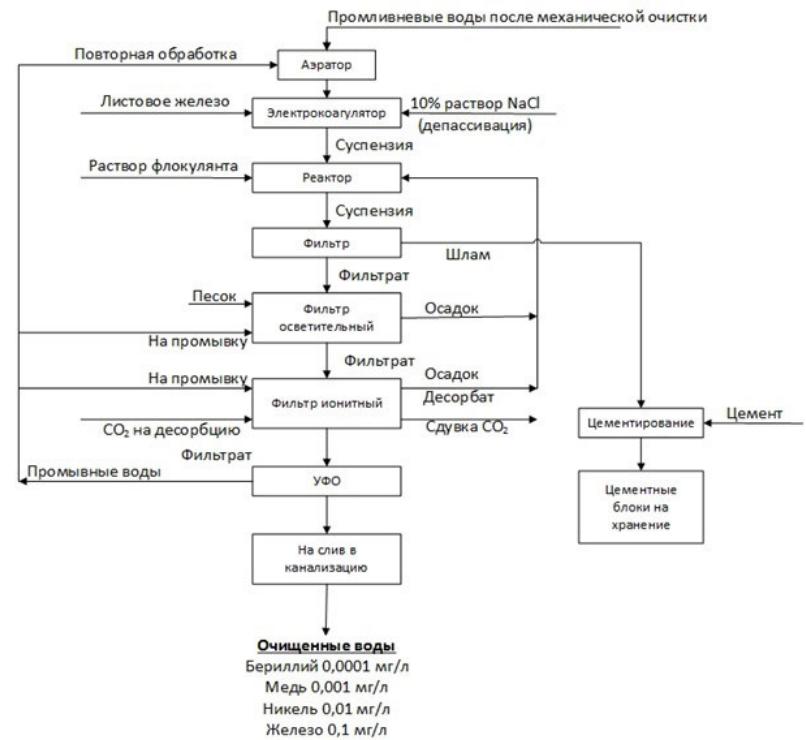


Рис. 7. Технологическая схема физико-химической очистки промывневых вод ФГУП «Базальт»

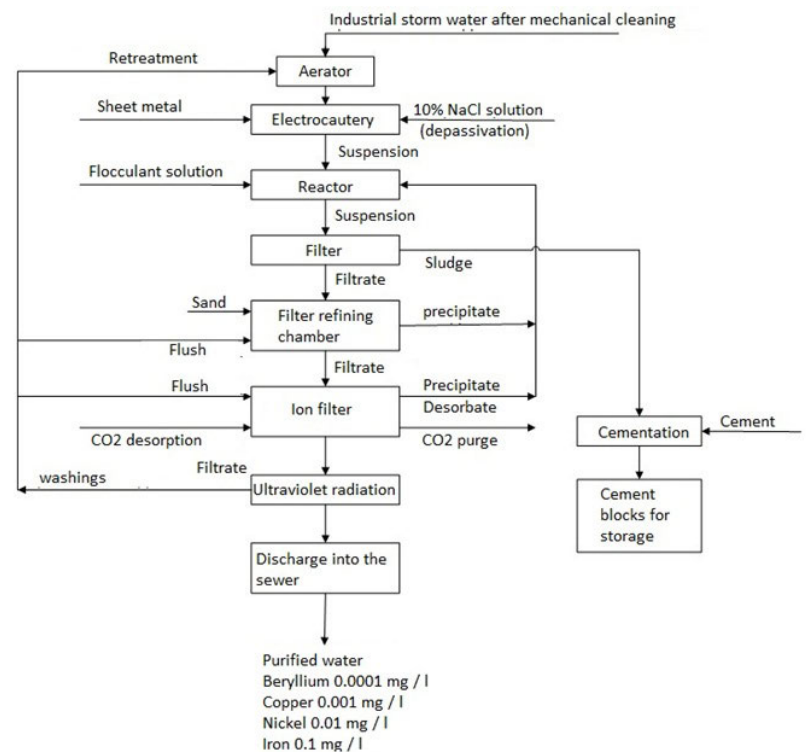


Fig.7. Technological scheme of physico-chemical treatment of industrial storm water FSUE "Basalt"

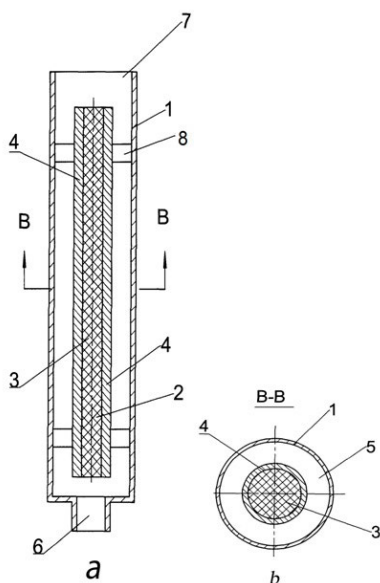
ществления очистки воды от растворенных органических веществ. Продемонстрировано, что без

изменения существующей технологической системы можно использовать осветлитель, предназначенный для реагентной очистки воды, в качестве электрокоагулятора. Результаты расчетов показали, что монтаж в осветлителе растворимого блока электродов незначительно меняет его гидравлические характеристики.

### Конструкция электрокоагуляторов

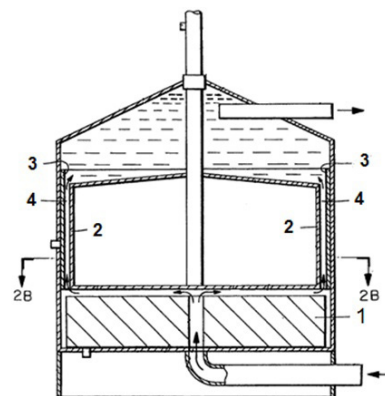
Несмотря на то, что на настоящий момент известно множество самых разнообразных конструкций электрокоагуляторов с пластинчатыми и насыпными анодами [4,8], в последнее время в патентной литературе появляется много новых конструкций, направленных на повышение эффективности очистки, в большинстве случаев работа их основана на сочетании ЭЖ с электрофлотацией за счет размещения в электролизерах как растворимых, так и нерастворимых анодов, что по мнению авторов снижает количество расходуемых материалов. Ниже рассмотрены некоторые примеры таких конструкций.

В патенте [25] для электрохимической обработки воды используется принцип сочетания электрокоагуляции и электрофлотации. Корпус аппарата 1 (рис.9) выполняет роль катода, в котором расположен анодный блок (кассета) 2 из алюми-



**Рис. 8.** а - вариант выполнения устройства с цилиндрическим корпусом, б - вид сверху (сечение В-В): 1 - цилиндрический корпус, 2 - кассета, 3 - основание кассеты, 4 - аноды, 5 - вертикальный зазор, 6 - патрубок для подвода обрабатываемой воды, 7 - патрубок для отвода обработанной воды, 8 - устройство для крепления кассеты

**Fig.8.** A drawing of a device with the cylindrical case. 1 - the case; 2 - cassette; 3 - cassette base; 4 - anodes; 5 - vertical gap; 6 - inlet for treated water; 7 - outlet for treated water; 8 - fixing device



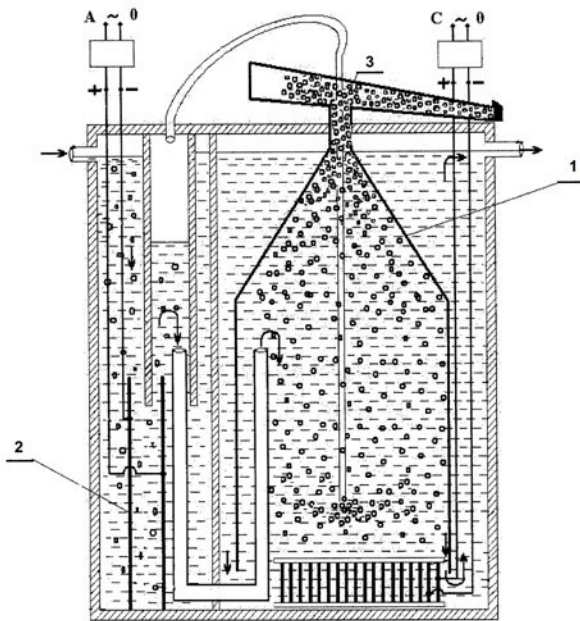
**Рис. 9.** Электрокоагулятор: 1 - растворимый анод и первая зона обработки воды, 2 - вращающийся катод, 3 - нерастворимый анод, 4 - вторая зона обработки воды  
**Fig.9.** Electrocoagulator: 1. - soluble anode and first water treatment stage; 2. - rotating cathode; 3. - insoluble anode; 4. - second water treatment stage

ниевого сплава. Последний размещен внутри корпуса таким образом, чтобы был образован зазор 5 между поверхностью анода и поверхностью корпуса. Внизу электрокоагулятора размещен патрубок 6 для подвода обрабатываемой воды, а сверху - патрубок 7 для отвода обработанной воды. Корпус и, соответственно блок электродов, могут быть выполнены любой формы (прямоугольной или цилиндрической). На рис.8 (а, б) приведен пример выполнения устройства с цилиндрическим корпусом, который по мнению авторов патента является наиболее компактным.

Другая конструкция электрокоагулятора приведена в патенте [26] (рис.9). Устройство отличается наличием двух разделенных пространств с растворимым и нерастворимым анодами и 2-х зон электрохимической обработки. В первой зоне (1) происходит процесс обработки воды с растворимым анодом. Пройдя первую зону обработки, вода затем проходит через узкий канал между вращающимся катодом 2 и нерастворимым анодом 3, затем вторую зону обработки 4 и поступает в отстойник для отделения шлама. Однако при использовании данной конструкции существует вероятность разрушения золя гидроксида металла во второй зоне обработки, а применение вращающегося катода повышает энергозатраты на очистку.

Конструкция электрокоагулятора, приведенная в полезной модели (рис.10) [27], отличается тем, что в ней растворимые электроды камеры электрокоагуляции и блок электродов флотационной камеры подключены к источникам переменного тока, питающихся от разных фаз. Большое значение уделяется длине нерастворимых анодов, но к сожалению, не приведено соотношение площадей катодов и анодов в конструкции, что в данном случае является определяющим.





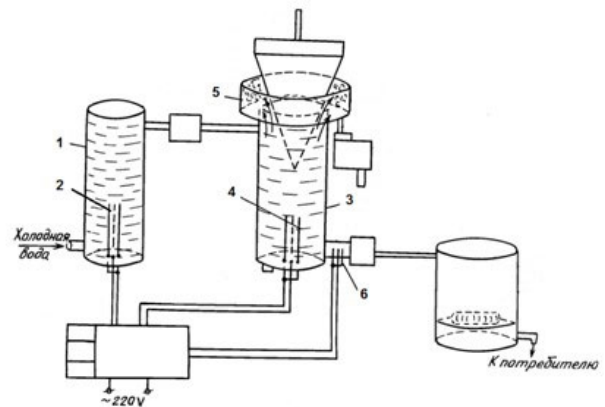
**Рис. 10.** Аппарат для электрохимической очистки водных растворов: 1 – флотационная камера, 2 – камера ЭК, 3 – патрубок для отвода флотошлама.

**Fig.10.** A device for the electrochemical purification of aqueous solutions: 1. flotation chamber; 2. – EC-chamber; 3. – outlet for the removal of sludge

Авторами [28] предложено проводить очистку питьевой воды совмещением ЭК и электрофлотации, с последующим отстаиванием обработанной воды и фильтрацией. Изобретение относится к способам и устройствам электрохимической очистки воды и может быть использовано для очистки питьевой воды для квартир, офисов, лечебных учреждений, предприятий общественного питания. В первую очередь, воду обрабатывают в электрохимическом реакторе 1 с растворимыми анодами 2 (рис.11). Затем перекачивают в реактор-отстойник 3, где подвергают сначала электрофлотации с нерастворимыми анодами 4, а после отделения шлама с помощью конусообразной емкости-тарелки для сбора коагулянта 5, воду подвергают вторичной электрохимической обработке с нерастворимыми анодами 6 и подают потребителю. Изобретение обеспечивает эффективную флотацию хлопьев образовавшегося коагулянта, эффективное его удаление и, как следствие, улучшение физико-химических, санитарно-эпидемиологических и органолептических свойств обрабатываемой воды.

Сконструирован электрохимический реактор и изучен механизм процессов для извлечения арсенитов из сточной воды в работе [16]. В ходе работы реактора сначала происходит анодное окисление арсенитов до арсенатов, а затем их удаление в отделении с растворимыми анодами.

Аппаратурное оформление процесса ЭК обязательно предполагает наличие отстойника или



**Рис. 11.** Конструктивная схема предлагаемого устройства: 1 – отдельный реактор, 2-растворимые аноды, 3-реактор-отстойник, 4- нерастворимые аноды, 5- конусообразные емкости-тарелки для сбора коагулянта, 6 – нерастворимые аноды.

**Fig.11.** A flow sheet of a developed device: 1. – separate reactor; 2. – soluble anodes; 3. – reactor-sump; 4. – insoluble anodes; 5. – conical vessels for the collection of coagulant; 6. – insoluble anodes

фильтра. Последний предпочтительнее, т.к. при длительном контакте раствора с осадком гидроксидов существует вероятность вторичного загрязнения, о чем уже упоминалось ранее. Следует уделить внимание возможности использования для удаления дисперсной фазы электрофлотационного метода, подробно рассмотренного в обзоре [1].

### Вывод

Как следует из изложенного материала, применение метода ЭК эффективно для очистки сточных, природных и питьевых вод от токсичных веществ органической и неорганической природы. Несмотря на то, что метод уже успешно зарекомендовал себя в промышленном масштабе на стоках прачечных, гальванических производств, текстильной, целлюлозно-бумажной, химической, медеплавильной, фармацевтической и др. отраслях промышленности, продолжаются научные и конструкторские работы, направленные на его усовершенствование.

Однако существенными недостатками метода на сегодняшний день остаются пассивация анодов, образование высокотоксичного шлама, высокий расход металла, а также вторичное загрязнение воды катионами  $Fe^{+2}$  при длительной эксплуатации электрокоагуляторов в непрерывном режиме [12].

*«Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда (проект № 14-29-00194)» Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева.*

**Литература  
References**

1. Харламова Т.А., Колесников А.В. Перспективные электрохимические процессы в технологиях обезвреживания сточных вод. Ч. I. Электрофлотация/ Гальванотехника и обработка поверхности. 2013. Т. XXI. № 1. С. 54-62.  
Kharlamova T.A., Kolesnikov A.V. Promising electrochemical processes in technology of wastewater disposal. Pt. I. Electroflotation. Electroplating & Surface Treatment. 2013. Vol. XXI. № 1. P. 54-62.
2. Харламова Т.А., Колесников А.В. Алафердов А.Ф., Сарбаева М.Т. Гайдукова А.М. Перспективные электрохимические процессы в технологиях обезвреживания сточных вод. Ч. II. Электрохимическая деструкция органических веществ; использование электролиза в технологии очистки воды. Гальванотехника и обработка поверхности. 2013. т. XXI. № 3. С. 55-63.  
Kharlamova T.A., Kolesnikov A.V., Alaferdov A.F., Sarbayeva M.T., Gaidukova A.M. Promising electrochemical processes in technology of wastewater disposal. Pt. II. Electrochemical degradation of organic matter; the use of electrolysis in water purification technology. Electroplating & Surface Treatment. 2013. Vol. XXI. № 3. P. 55-63.
3. Ozge Hanay, Halil Hasar. Effect of anions on removing  $\text{Cu}^{+2}$ ,  $\text{Mn}^{+2}$  and  $\text{Zn}^{+2}$  in electrocoagulation process using aluminum electrodes J. Hazardous Materials. 2011. Vol. 189. P. 572-576.
4. Баличенко О.И. Электрохимические методы, предлагаемые для очистки иловой воды от ионов тяжелых металлов // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2011. Вып. 5(91). С. 50-56.  
Balichenko O.I. Electrochemical methods proposed for the treatment of sludge water from heavy metal ions. Herald of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. 2011. Vol. 5 (91), P. 50-56.
5. Паршилкина А.А. Выбор метода очистки сточной воды рыбообрабатывающего предприятия. Научный журнал "Известия КГТУ". 2014. № 34. С. 156-164.  
Parshilkina A.A. The choice of methods of sewage water fish processing enterprise. Scientific journal Proceedings of KSTU. 2014. № 34. P. 156-164.
6. Kumar N. Sanjeev, Goel Sudha. Factors influencing arsenic and nitrate removal from drinking water in a continuous flow electrocoagulation (EC) process. J. Hazardous Mater. 2010. 173. № 1-3. P. 528-533.
7. Ignasi Sires, Enric Brillas. Remediation of water pollution caused by pharmaceutical residues based on electrochemical separation and degradation technologies: A review // Environment International. 2012. V. 40. P. 212-218.
8. Zongo Inoussa, Maiga Amadou Hama, Wethe Joseph, Valentin Gerard, Leclerc Jean-Pierre, Paternotte Gerard, Lapicque Francois. Electrocoagulation for the treatment of textile wastewaters with Al or Fe electrodes: Compared variations of COD levels, turbidity and absorbance // J. Hazardous Mater. 2009. Vol. 169. № 1-3. P. 70-76.
9. Харламова Т.А. Электрохимическая очистка сточных вод от органических соединений под давлением. Дисс. д.т.н. М. 2005.  
Charlamova T.A. Electrochemical purification wastewaters from organic compounds under pressure. Diss. Doctor of Science. M. 2005.
10. Janpoor Fatemeh, Torabian Ali, Khatibikamal Vahid. Treatment of laundry wastewater by electrocoagulation // J. Chem. Technol. and Biotechnol. 2011. Vol. 86. № 8. P. 1113-1120.
11. Katal Reza, Pahlavanzadeh Hassan. Influence of different combinations of aluminum and iron electrode on electrocoagulation efficiency: Application to the treatment of paper mill wastewater. Desalination. 2011. Vol. 265. № 1-3. P. 199-205.
12. Lakshmanan Divagar, Clifford Dennis A., Samantha Gautam. Comparative study of arsenic removal by iron using electrocoagulation and chemical coagulation. Water Res. 2010. 44. № 19. P. 5641-5652.
13. Попова В.И. Кричевский Г.Е., Коновальчук О.Н. Очистка сточных вод от красителей методом электрокоагуляции. В сб. "Химия и технология крашения, синтез красителей и полимерных материалов". Иваново. 1977. С. 59-64.  
Popova V.I. Krichevsky G.E., Konovalchuk O.N. Wastewater from dyes by electrocoagulation // In coll. "Chemistry and Technology of dyeing, the synthesis of dyes and plastics." Ivanovo. 1977. P. 59-64.
14. Турыгин В.В. Физико-химические основы технологии электрохимического синтеза гидридов мышьяка, фосфора и германия. Дисс. д.т.н. М. 2011.  
Turygin V.V. Physic-chemical bases of technology of electrochemical synthesis of hydrides of arsenic, phosphorus and germanium. Diss. Doctor of Science. M. 2011.
15. Martinez-Villafane J. F., Montero-Ocampo C., Garcia-Lara A. M. Energy and electrode consumption analysis of electrocoagulation for the removal of arsenic from underground water // J. Hazardous Mater. 2009. Vol. 172, № 2-3. P. 181-190.
16. Zhao Xu, Zhang Baofeng, Liu Huijuan, Qu Jiuhui. Removal of arsenite by simultaneous

electro-oxidation and electro-coagulation process. *J. Hazardous Mater.* 2010. Vol.184. № 1-3. P. 472-476.

17. Hansen Henrik K., Ottosen Lisbeth M. Removal of arsenic from wastewaters by airlift electrocoagulation. Pt 3. Copper smelter wastewater treatment. *Separ. Sci. and Technol.* 2010. Vol. 45. № 9. P. 1326-1330.

18. Лазарев Н.В., Левина Э.Н. Вредные вещества в промышленности. Л. Химия. 1976. Т.2. 624 с. Lazarev N.V., Levina E.N. Harmful substances in the industry. In 3-d Vols. L. Chemistry. 1976. Vol. 2. 624 p.

19. Zodi Salim, Potier Olivier, Lopicque Francois, Leclerc Jean-Pierre. Treatment of the industrial wastewaters by electrocoagulation: Optimization of coupled electrochemical and sedimentation processes. *Desalination.* 2010. Vol.261. № 1-2. P. 186-190.

20. Быкова Я.П., Ермоленко Б.В. Задача оптимального проектирования системы очистки сточных вод гальванического производства. Химическая технология. Т.10. №10. 2009. С. 623-625.

21. Кругликов С.С., Альхамов П., Фазлутдинов К. О целесообразности применения электрокоагуляционного метода очистки сточных вод от ионов Cr+6. Гальванотехника и обработка поверхности. 2008.Т. XXI. № 4. С.56-56.

22. Кругликов С.С. Виноградов С.С. О положительных и отрицательных сторонах электро-и гальвано-коагуляционных методов очистки сточных вод. Гальванотехника и обработка поверхности. №1, 2008 г., том XVI с. 46-47.

23. Островский Ю.В., Бобоедов С.М., Заборцев Г.М. Очистка бериллийсодержащих сточных вод. Актуальные проблемы урановой промышленности: VII Международная науч.практ.конф. 25-27 сент.; Сб.докл. –Алматы: ТОО «VIVA-promotion». 2014. С.397-402. Ostrovsky, Y.V., Boboedov S.M., Zabortsev G.M. Cleaning beryllium wastewater. Actual problems of uranium industry: VII International sc.pr.conf. 25-27 Sept.; collection of reports – Almaty: LLP «VIVA-promotion». 2014. P.397-402.

24. Хизанцян К. М., Саргисян С. А., Маркарян А. Я. Модернизация осветлителя с реагентной коагуляцией для электрохимической очистки воды на ТЭС// Энергосбережение и водоподготовка. 2010. № 6. С. 22-24. Hizantsyan K. M., Sargsyan S. A., Markarian A.Y. Modernization clarifier with coagulation reagent for electrochemical treatment of water to the power station// Energy saving and water treatment. 2010. № 6, P. 22-24.

25. Пат. № 2381996 РФ. Patent RF.

26. Пат. № 2494976 РФ. Patent RF.

27. Полезная модель № 97123. Patent RF.

28. Пат. № 2417951 РФ. Patent RF.

#### **Сведения об авторах**

**Харламова Татьяна Андреевна**, д.т.н., профессор, кафедра химии, НИТУ МИСиС, 119049, г. Москва, Ленинский проспект, д. 6, тел. 8-916-8787573, E-mail: harlamova\_tanya@list.ru

**Колесников Артём Владимирович**, к.т.н., старший научный сотрудник, Технопарк «ЭКО-ХИМБИЗНЕС-2000+» РХТУ им. Д.И.Менделеева, 125047 Москва, Миусская пл. д.9, тел.8-985-243-46-46, E-mail: artkoles@list.ru

**Каширина (Силос) Ольга Владимировна**, м.н.с., кафедра мембранной технологии, РХТУ им. Д.И.Менделеева, тел.8-926-561-37-58, E-mail: kashirina.ov@yandex.ru

**Алафердов Алексей Федорович**, доцент, к.т.н., кафедра химии, НИТУ МИСиС, Москва, Ленинский проспект, д.4, тел.8(916)874-6799.E-mail: a.alaferdov@delfin-aqua.com.

**Семенов Юрий Владимирович**, доцент, к.т.н., кафедра общей и неорганической химии, тел: 89169607404; E-mail: 7231234@bk.ru

**Жуков Виктор Юрьевич**, студент, старший лаборант ЦКП им. Д.И. Менделеева, 123480, Москва, ул. Героев Панфиловцев, 20, тел.+7(915)488-77-25, E-mail: 79154887725@ya.ru.

#### *Information about authors*

**Harlamova Tatiana Andreevna**, Doctor of Science, Professor, MSMU, 119049, Moscow, Leninsky prospect 6, tel. 8-916-8787573, E-mail: harlamova\_tanya@list.ru

**Kolesnikov Artem Vladimirovich**, Ph D., general scientific associate, Mendeleev University of Chemical Technology of Russia SCIENCE PARK, 125047 Moscow, Miussskaya sq.9, tel.8-985-243-46-46, E-mail: artkoles@list.ru

**Kashirina (Silos) Olga**, Junior Researcher, Dept. of membrane technology, Mendeleev University of Chemical Technology of Russia SCIENCE PARK, 125047 Moscow, Miussskaya sq.9, tel. 8-926-561-37-58, E-mail: kashirina.ov@yandex.ru

**Alaferdov Alex**, ass. Prof., Ph.D., Dept. of Chemistry, Moscow State Mining University, 119049, Moscow, Leninsky Prospect, 4, tel.8 (916) 874-6799.E-mail: a.alaferdov@delfin-aqua.com.

**Semenov Yury Vladimirovitch** ass. Prof., Ph.D., Dept. of inorganic Chemistry, NITU MISIS, Leninsky prospect 4, Moscow, Russia, 119049; E-mail: 7231234@bk.ru, tel: 89169607404.

**Zhukov Victor Y.**, student, senior laboratory NBI them. D.I. Mendeleev, 123480, Moscow, Geroev Panfilovcev st., 20, tel. + 7 (915) 488-77-25, E-mail: 79154887725@ya.ru.

## **С днем рождения, дорогая Татьяна Евгеньевна!**



Ректорат и коллектив Российского химико-технологического университета им. Д.И. Менделеева сердечно поздравляют Цупак Т.Е. с юбилеем, который был отмечен в апреле в стенах нашего ВУЗа и в кругу друзей.

Весь ее жизненный путь в педагогике и науке связан с нашим университетом. Окончив МХТИ имени Д. И. Менделеева и, работая в университете, она прошла путь от лаборанта до профессора. Здесь же защитила кандидатскую и докторскую диссертации. Является заслуженным ветераном РХТУ.

Все знают ее как известного ученого и одного из лучших преподавателей, как одну из самых талантливых учениц профессора Н.Т. Кудрявцева и продолжателя его научных исследований в области электроосаждения металлов и сплавов, и электрохимической технологии. Успешная работа в этой области внесла значительный вклад в развитие науки и техники. Многочисленные научные статьи, широко известны и цитируемы в научном мире, как нашей страны, так и за рубежом. Из-

вестен также существенный вклад в подготовку инженеров-технологов и научных кадров, как для России, так и для стран дальнего зарубежья.

Татьяна Евгеньевна всегда вела большую общественно-организационную деятельность, являясь членом комитета ВЛКСМ института, профоргом факультета, членом группы народного контроля. Ее научная, педагогическая и общественная деятельность заслуженно отмечена государственными наградами.

Мы её трогательно любим, ценим, уважаем и гордимся.

*Коллектив кафедры ТЭП  
РХТУ им. Д.И.Менделеева*

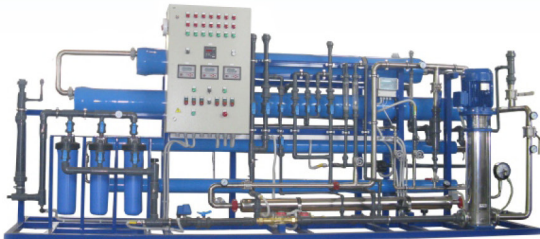
## ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

ЗАО "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 «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 50 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.vladbmt.com](http://www.vladbmt.com)



### Процессы и материалы:

- обезжириватели марки КХ;
- композиции для фосфатирования КЦФП®, КАФК®, КЕММИКС®;
- блескообразователи и композиции LIKONDA®, LIMEDA®;
- аноды и вспомогательные материалы.

### Оборудование:

- выпрямители FLEX KRAFT — шеф-монтаж, гарантия и сервис, склад запасных частей;
- фильтровальные установки и насосы MEFIAG;
- электронагреватели и системы контроля параметров.

### Оснастка:

- разработка и изготовление подвесок, анодных корзин;
- нанесение пластизольного покрытия на подвески любой сложности и другие изделия.



ГАЛЬВАНИЧЕСКИЕ  
ТЕХНОЛОГИИ

г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, 178-Е  
(831) 275-82-60, 275-82-61, 275-82-62, 415-75-16  
email: [info@galvanotech.ru](mailto:info@galvanotech.ru)

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



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



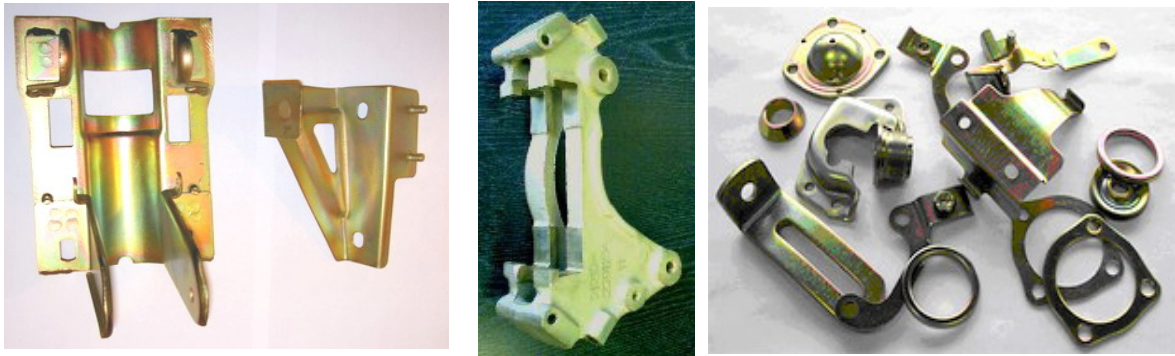
606008, г. Дзержинск, Нижегородская обл., а/я175; тел/факс: (8313) 25-23-46, +7-951-902-91-65  
E-mail: igor@chimsn.ru http: www.chimsn.ru

## ООО «АРБАТ»

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

### ГАЛЬВАНИЧЕСКИЕ ПОКРЫТИЯ, БЛЕСКООБРАЗУЮЩИЕ ДОБАВКИ, ХИМИЧЕСКАЯ ПРОДУКЦИЯ ДЛЯ ГАЛЬВАНОТЕХНИКИ

Примеры гальванических покрытий для автомобилестроения:



Цинкование в щелочном и слабокислом электролитах



Хромирование без Cr(VI)

Механическое цинкование

Наша химическая продукция:

**НТЦ-Р** - блескообразующая добавка для щелочного цинкования,

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

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

**Хромит-1А** и **Хромит-2А** - композиции для бесцветного и радужного пассивирования (хромирования) цинковых покрытий **без Cr(VI)**;

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

**Фосфатирующие концентраты**

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

Другие химические продукты для машиностроения - более 30 видов

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

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



## ООО «СОНИС»

Современные химико-гальванические технологии  
Москва ▪ Тел.: (495) 545-76-24, 517-46-51, (499) 272-24-08 (факс)  
<http://www.sonis-co.ru> ▪ E-mail: [info@sonis-co.ru](mailto:info@sonis-co.ru)

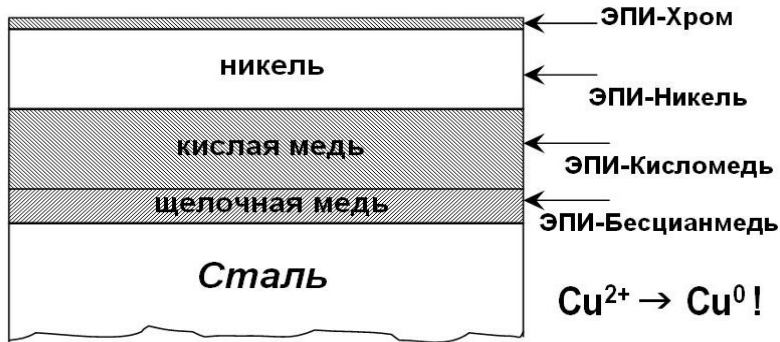
### Бесцианистое щелочное меднение нового поколения

#### Процесс «ЭПИ-Бесцианмедь»!

➤ Все необходимые для электроосаждения меди вещества содержатся в трёх фирменных добавках

➤ Медь поступает в высокостабильный электролит за счет растворения анодов и может осаждаться на сталь, алюминиевые сплавы, нержавель, ЦАМы и пр., на подвесках и в барабанах

➤ Процесс используют для нанесения: а) тонких (~ 5 мкм) подслоёв; б) толстых (~ 50 мкм) покрытий для защиты при местной термообработке; в) медных слоёв под пайку



### Вышел из печати учебник «Теоретическая электрохимия» 2-е издание переработанное и дополненное

Авторы: **Ротинян А. Л., Тихонов К.И., Шошина И.А., Тимонов А.М.**

Рекомендован (уполномоченным) Государственным образовательным учреждением высшего профессионального образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева» в качестве **учебника** для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки «Химическая технология».

В учебнике изложены проблемы теоретической электрохимии применительно к водным, неводным, расплавленным, твердым и полимерным электролитам. Основное внимание уделено строению растворов электролитов, двойному электрическому слою, электрохимической термодинамике и кинетике электродных реакций, а также традиционным и современным методам электрохимических измерений. Особенностью изложения является связь теоретических проблем с решением задач прикладной электрохимии во всем ее многообразии, в том числе и наноэлектрохимии.

Предназначен для студентов вузов по направлению «Химическая технология» 240100, профиль «Технология электрохимических производств», а также для аспирантов, научных и инженерно-технических работников электрохимической и смежных с ней отраслей промышленности.

494 с., 24 табл., 149 рис., список литературы 93 ссылки.

По вопросу приобретения обращаться по адресу:

ООО «ТИД «Студент»

Адрес: 109004 Москва, ул. Земляной Вал, д.64, стр.2, офис 717 (31), Телефон:  
(495) 915-08-96; E-mail [sales.student@mail.ru](mailto:sales.student@mail.ru)





# ГРАНИТ-М

СОВРЕМЕННОЕ ГАЛЬВАНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ  
ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ АВТООПЕРАТОРНЫЕ ГАЛЬВАНИЧЕСКИЕ ЛИНИИ  
ОЧИСТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ К НИМ  
КОЛОКОЛЬНЫЕ И БАРАБАННЫЕ УСТАНОВКИ  
ЗАПОРНАЯ АРМАТУРА И НАСОСЫ ДЛЯ АГРЕССИВНЫХ СРЕД  
ЁМКОСТНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ЛЮБЫХ ТИПОРАЗМЕРОВ  
СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ ПО ТЗ ЗАКАЗЧИКА  
ПОЛИМЕРНЫЕ ЛИСТЫ И ТРУБЫ

Наш адрес:  
392462, Тамбовская обл., г. Уварово,  
ул. Большая Садовая, 29  
Тел./факс: (47558) 4-67-17, 4-68-98

Тамбовское представительство:  
392036, г. Тамбов, ул. Лаврова, 5, к. 1  
Тел./факс: (4752) 72-97-52  
E-mail: granit@tamb.ru www.granit-m.ru  
granit-m@mail.ru



## РХТУ им. Д.И. Менделеева

### ГАЛЬВАНИЧЕСКИЙ УЧАСТОК (ЦЕХ) БЕЗ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Для доведения содержания тяжелых металлов, хроматов и цианидов в сточных водах до ПДК необходимо решить две задачи:

- 1) Свести к минимуму суммарное количество каждого из этих компонентов в стоках.
- 2) Обеспечить необходимую степень разбавления при взаимном смешении разнородных сточных вод участка (цеха) и последующего соединения их с хозяйственными стоками.

Чем эффективнее удастся снизить занос этих ионов в ванны проточной промывки, тем успешнее решается первая задача. Вторую задачу решают применением локальных систем очистки индивидуальной для каждой точки, т.е. после каждой операции обработки деталей в растворах, содержащих ионы загрязнители.

Установка погружных электрохимических модулей (ПЭМ) в ваннах улавливания после всех операций нанесения гальванических и химических покрытий, пассивирования и снятия покрытий обеспечит выполнение обеих задач:

- примерно 10-кратное снижение выноса в каждой точке технологической цепочки;
- дополнительное множественное разбавление за счет объединения разно родных стоков.

Если по какому-то конкретному виду ионов значение ПДК в конечном стоке, тем не менее, превышено, то надо всего лишь установить дополнительную ванну улавливания и ПЭМ на конкретную операцию.

В условиях массового или крупносерийного производства необходимость очистных сооружений не устраняется, однако при наличии ПЭМ в ваннах улавливания многократно снижается нагрузка на очистные сооружения, (то есть их масштаб). Пропорционально уменьшается водопотребление, объем образующихся сточных вод и расход химикатов на их обезвреживание.

За дополнительной информацией и вопросам поставки обращаться к профессору Кругликову С.С. по адресу 125047, Москва, Миусская площадь, 9, РХТУ им. Д.И. Менделеева.

Тел. (8 499) 978-56-51, моб. 8-916-616-96-99, факс (8 495) 600-29-64.

Email: gtech@muctr.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 23 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.**

## **КОРИАН – 3**

### **АНАЛИЗАТОР ОРГАНИЧЕСКИХ ДОБАВОК В ЭЛЕКТРОЛИТАХ ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ**

**АНАЛИЗАТОР «КОРИАН-3» ПРЕДНАЗНАЧЕН ДЛЯ:**

- измерения концентрации органических добавок (в том числе и многокомпонентных) в электролитах для нанесения гальванических покрытий;
- измерения концентрации сульфатов в электролитах хромирования (время 5 – 10 мин., ошибка –5%).

**Анализатор** работает на принципе циклической вольтамперометрии. «КОРИАН-3» обладает высокой чувствительностью (0.1 мл/л) и позволяет за 5 –10 мин с ошибкой, не превышающей 5%, определять в различных типах электролитов концентрации разнообразных по природе органических добавок. Результаты анализа выдаются в цифровом виде и графически.

**В КОМПЛЕКТ АНАЛИЗАТОРА ВХОДЯТ:**

- электронный блок, работающий с компьютером;
- вращающийся электрод;
- измерительная ячейка;
- индикаторных электродов.

**НАЗНАЧЕНИЕ ПРИБОРА «КОРИАН-3»:**

- поддержание оптимальной концентрации и выбор дозирования органических добавок в производственных электролитах;
- входной контроль различных партий органических добавок, поступающих в гальванический цех;
- контроль уровня загрязнения электролита примесями органического происхождения;
- определение стабильности и эффективности действия добавок;
- подбор оптимального соотношения концентраций добавок в многокомпонентных системах.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АНАЛИЗАТОРА ПОЗВОЛИТ:**

1. повысить экономичность процесса за счет снижения расхода дорогостоящих добавок;
2. получать покрытия постоянного качества и свойств;
3. уменьшить брак изделий.

Измерение концентрации конкретных органических добавок осуществляется по специальным программам, разработанным в ИФХ РАН. Программы прилагаются к анализатору и в случае изменения природы электролита или типа органической добавки могут быть откорректированы.

В настоящее время разработаны программы анализа добавок в следующих электролитах: в электролите серноокислого меднения; в слабоокислом и щелочном нецианистом электролите цинкования.

Могут быть разработаны программы анализа органических добавок и для других электролитов.

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  
E-mail: gtech@muctr.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:

- предварительное 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)
- никелирование блестящее и матовое
- никелирование из сульфатных электролитов
- хромирование
- 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



**ЦКН**

зарегистрированный товарный знак  
ООО Научно-производственного предприятия "СЭМ.М"  
(Регистрационное свидетельство № 178933)

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>

## Календарь выставок, конференций и семинаров 2015 года Exhibitions, Conferences, Seminars

1. 13-я Международная **Выставка технологий, оборудования и материалов для обработки поверхности и нанесения покрытий**. 27-29 октября 2015 года, Москва, КРОКУС ЭКСПО.

По вопросам участия обращаться в ООО "Примэкспо", тел. +7 812 380-60-17; 380-60-01, e-mail: coating@primexpo.ru; www.exposcoating.ru

### КНИГИ Books

**Виноградов С.С. Организация гальванического производства. Оборудование, расчет производства, нормирование.** Изд. 2-е, переработанное и дополненное. Под ред. В.Н. Кудрявцева. - М.: «Глобус», 2005. - 248 с. Приложение к журналу «Гальванотехника и обработка поверхности». Электронная версия. Цена - 100 рублей.

**Виноградов С.С. Экологически безопасное гальваническое производство.**

Под ред. В.Н. Кудрявцева. Изд. 2-е, переработанное и дополненное. - М.: «Глобус», 2002. - 352 с. Приложение к журналу «Гальванотехника и обработка поверхности». Электронная версия. Цена - 100 рублей.

**Виноградов С.С. Промывные операции в гальваническом производстве**

Под ред. В.Н. Кудрявцева. - М.: «Глобус», 2002. - 157 с. Приложение к журналу «Гальванотехника и обработка поверхности». Электронная версия. Цена - 100 рублей.

**Солодкова Л.Н., Кудрявцев В.Н. Электролитическое хромирование** (справочное пособие). М.: «Глобус», 2008. - 192с. Приложение к журналу «Гальванотехника и обработка поверхности». Цена - 130 руб.

**Окулов В.В. ЦИНКОВАНИЕ. Техника и технология**

Под ред. В.Н. Кудрявцева. - М.: «Глобус», 2008. - 157 с. Приложение к журналу «Гальванотехника и обработка поверхности». Цена - 170 рублей.

**Мамаев В.И., Кудрявцев В.Н. Никелирование.**

Изд. центр РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2014. - 192с. Приложение к журналу «Гальванотехника и обработка поверхности». Цена - 240 рублей.

**Скопинцев В.Д., Оксидирование алюминия и его сплавов.**

Изд. центр РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2015. - 120с. Приложение к журналу «Гальванотехника и обработка поверхности». Цена - 250 рублей.

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

*МОСКОВСКОЕ ХИМИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО им. Д.И. МЕНДЕЛЕЕВА  
РОССИЙСКИЙ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
им. Д.И. МЕНДЕЛЕЕВА*

**Курсы проводятся высококвалифицированными специалистами по двум направлениям.**

**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, драгметаллов 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 во 2-м полугодии 2015 года

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

Группа (шифр)	Дата проведения	Стоимость, руб.
Группа № 39 (КГ - 39)	12 октября – 16 октября	15600-00
Группа № 40 (КГ - 40)	16 ноября – 20 ноября	15600-00

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

Группа (шифр)	Дата проведения	Стоимость, руб.
Группа № 16 (АКГ - 16)	26 октября – 30 октября*	15400-00

\* Посещение 7-ой Международной выставки аналитического и лабораторного оборудования, лабораторной мебели и посуды, химических реактивов («ХИМ – ЛАБ – АНАЛИТ»)

В стоимость обучения входят информационные материалы и научно-техническая литература.  
**Стоимость обучения НДС не облагается.** Оплата перечислением.

**Регистрация слушателей** в день начала курсов с 11-00 до 13-00 часов на кафедре технологии электрохимических процессов РХТУ им. Д.И. Менделеева по адресу: 125047, г. Москва, 1-ая Миусская ул., д. 3, РХТУ им. Д.И. Менделеева. **Проезд:** м. «Новослободская», м. "Менделеевская".

**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 2500 – 5000 руб в сутки.

- в студ. общежитии РХТУ. Проезд: м. «Планерная», далее авт. № 88 или № 96 до ост. «97-я поликлиника» (Стоимость проживания - 1500 – 2000 руб./сутки)

**Платежные реквизиты МОО МХО им. Д. И. Менделеева:**  
**ИНН 7710056339, р/сч. 4070381030000000060 ОАО Банк ВТБ, 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.

**Телефон для подачи заявок и справок:**

**тел/факс: (495) 625-86-00, 742-04-22 – МХО им. Д.И. Менделеева.**

**e-mail: mxo@asvt.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**

## **Правила подготовки рукописей статей, направляемых в журнал "Гальванотехника и обработка поверхности"**

### **Научные статьи должны быть оригинальны и не опубликованы в других журналах.**

Статью необходимо представлять в электронном виде на диске (3,5" или CD) с распечаткой в одном экземпляре шрифтом Times New Roman (12-14 кегль), интервал между строками 1.5 - 2.0, или переслать по электронной почте: st.ceram@rcctu.ru (просим отправлять файлы размером не более 1 МБ).

Текст статьи должен быть набран в редакторе Microsoft Word и сохранен в формате \*.doc или \*.rtf (Microsoft Word v. 6.0, 2000, XP, 2003) или \*.docx (Microsoft Word 2007).

Статья не должна быть перегружена рисунками, формулами и литературными ссылками.

Ключевые слова (на русском и английском языке) приводятся в начале статьи.

**Математические и химические формулы** - предельно четкие, чтобы легко можно было отличить прописные буквы от строчных, русские от латинских и греческих, показатели степени от сомножителей. Все буквенные обозначения, приведенные в тексте статьи и в формулах, должны быть расшифрованы.

Формулы размещают отдельной строкой с расстояниями между ними и текстом не менее 10 мм.

*Не допускается обозначать разные понятия одинаковыми символами.*

Единицы физических величин указывают в соответствии с международной системой (СИ).

**Графический материал** (графики, схемы, чертежи, диаграммы, логотипы и т.п.), представленный в электронном виде, выполняют в графических редакторах: Adobe Illustrator и сохраняют в форматах \*.eps (Adobe Illustrator CS2), \*.ai (Adobe Illustrator CS2).

Фотографии, коллажи и другие материалы сохраняют в формате \*.tif, \*.psd, \*.jpg (качество "8 - максимальное") или \*.eps (Adobe Photoshop от v. 6.0 до CS2) с разрешением не менее 300 dpi.

**Список литературы** (ГОСТ Р 7.0.5-2008) приводится в конце статьи в порядке последовательности ссылок в тексте.

В списке литературы при ссылке на статью, опубликованную в журнале «Гальванотехника и обработка поверхности», необходимо после ссылки на статью на русском языке привести под тем же номером ссылку на английском. Например:

1. Солинов В.Ф., Каплина Т.В., Гороховский А.В. Влияние параметров формования на термомеханические свойства листового силикатного стекла // Стекло и керамика. 1992. № 5. С.7-8.

Solinov V. F., Kapkina T. V., Gorokhovskii A. V. Relationship between thermomechanical properties and shaping parameters for sheet silicate glass // Glass and Ceram. 1992. V. 49. N 5-6. P. 215-217.

**Реферат** (на русском и английском языках) - краткое изложение основного содержания статьи (со ссылками на рисунки и таблицы) - прилагается на отдельной странице.

**Каждая статья должна содержать сведения обо всех авторах:** фамилию, имя и отчество (полностью), место работы (полное и сокращенное название учреждения), должность, ученую степень, адрес с почтовым индексом (служебный и/или домашний), номера телефонов (служебный и домашний).

К статье должны быть приложены сопроводительное письмо и экспертное заключение.

*Статья должна быть подписана всеми авторами.*

Факт получения статьи редакцией означает передачу ей всех прав на опубликование статьи на русском и английском языках, включая их электронные версии.

**На авторах статьи лежит ответственность за достоверность приведенных данных, точность формулировок, имен и пр., а также за неразглашение сведений, запрещенных законом к открытой публикации.**

К статье может быть приложена рецензия либо выписка из решения научно-технического совета или заседания секции.

**Неправильно оформленные статьи не рассматриваются.**

Статьи, поступившие в редакцию, авторам не возвращаются.



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

Подписка на журнал производится через местные почтовые отделения.

Журнал включен в Объединенный каталог «Пресса России» 2015/2; каталог стран СНГ 2015/2;  
Каталог Украины 2015/1; адресный каталог «Библиотечный каталог» 2015/2.

Агентство АРЗИ. Индекс **87867**.

**В редакции также можно приобрести:**

Журнал "Гальванотехника и обработка поверхности" и книги	Цена, руб
2015 год (4 номера)	800
2014 год (4 номера)	800
2013 год (4 номера)	760
2012 год (4 номера)	680
2011 год (4 номера)	640
2010 год (4 номера)	620
2009 год (4 номера)	616
2008 год (4 номера)	616
<b>Цинкование. Техника и технология.</b> Окулов В.В.	170
<b>Электролитическое хромирование.</b> Солодкова Л.Н., Кудрявцев В.Н.	130
<b>Организация гальванического производства. Оборудование, расчет производства, нормирование.</b> 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.	240

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. И.о. гл. редактора **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

Московский банк Сбербанка России ОАО, г. Москва <b>Банк получателя</b>	БИК Сч.№	044525225 30101810400000000225
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. 61)**  
445012, г. Тольятти, Молодежный бульвар  
22-110, тел/факс (8482) 25-46-32, факс (8482) 22-  
03-52, E-mail: arbat00@mail.ru

**ЗАО "БМТ" (стр. 59)**  
600036 г. Владимир, а/я 60; E-mail: vladimir  
@vladbmt.ru, www.vladbmt.ru; тел: (4922) 38-61-11,  
24-74-31; факс: (4922)38-12-44

**Гальванические технологии (стр. 59)**  
г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, 178-Е;  
тел. (831)275-82-60, 275-82-62, 415-75-16; info@  
galvanotech.ru

**ЗАО "ГАЛЬВАНОХРОМ" (стр. 15)**  
195248, Санкт-Петербург, Уманский пер.,  
д. 71; E-mail: manager@galvanochrom.ru; www.  
galvanochrom.ru; тел/факс: +7(812)336-93-82,  
+7(812)226-03-63

**ООО "ГРАНИТ-М" (стр. 63)**  
393462 г.Уварово, Тамбовской обл.,  
ул.Б.Садовая, 29, тел/факс (47558) 467-17; 468-98;  
г.Тамбов тел/факс (4752) 72-97-52

**РОПОВ Consulting (стр. 17)**  
Официальный дилер компании SERFILCO  
International LTD., Англия; тел/факс 8(499)259-24-  
55; popov@popovconsulting.com;  
www.serfilcoequipment.popovconsulting.com

**НАВИКОМ (ПУЛЬСАР) (стр. 13)**  
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. 64)**  
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.14)**  
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

**Компания "СОНИС" (стр. 33, 62)**  
109240, Москва, ул. Яузская, 8, стр.2  
тел:(495)545-76-24, 517-46-51; факс:  
8(499)272-24-08; E-mail:bmb@sonis-co.ru; www.  
sonis-co.ru

**НПП СЭМ.М (стр. 66)**  
119049, Москва, ул. Крымский вал, д. 8; тел/  
факс: 8(495)978-94-42, +7(901)517-94-42: npp-semm@  
yandex.ru

**ОАО "ТАГАТ" ТАМБОВГАЛЬВАНОТЕХНИКА  
им. С.И. Лившица (стр. 19)**  
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. 60)**  
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. 18)**  
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. 65)**  
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. 16)**  
420030, г.Казань, ул. Набережная, 4.  
тел: (843)214-52-25; E-mail: info@chemp.ru, www.  
chemp.ru

**ТД "Элма" (стр. 15)**  
Тел.: +7(812)490-75-03, +7(812)921-48-02;  
e-mail: info@td-elma.ru; www. info@td-elma.ru

**РХТУ им. Д.И. Менделеева (стр. 63)**  
Москва, Миусская пл., д.9; тел/факс (499)  
978-56-51, моб. 8-916-616-96-99; E-mail:gtech@  
muctr.ru

Информация для авторов журнала "Гальванотехника и обработка поверхности" размещена на сайте  
[www.galvanotekhnika.info](http://www.galvanotekhnika.info)

Заказ № 15244. Тираж 700 экз.

Отпечатано в типографии "Тисо Принт"  
г. Москва, ул. Складочная, д.3, стр.6  
Тел/факс: (495)504-13-56, Сайт: www.tiso.ru





**Expo**  
**Coating**  
MOSCOW

27–29 октября  
2015

Москва  
Крокус Экспо

**13-я Международная выставка  
технологий, оборудования и материалов  
для обработки поверхности и нанесения покрытий**

- на металлы • сплавы • пластические массы
- дерево • керамические материалы • бетон



Совместно  
с выставкой



Организаторы:



тел.: +7 (812) 380 6002/00,  
e-mail: coating@primexpo.ru

При участии:



РХТУ им. Д. И. Менделеева  
Российское химическое общество им. Д. И. Менделеева  
Московское химическое общество им. Д. И. Менделеева  
Российское общество гальванотехников

**Забронируйте стенд:**  
**expocoating-moscow.ru**

