



К 85-летию Национальной академии наук Беларуси

ПОРОШКОВАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ:

ИНЖЕНЕРИЯ ПОВЕРХНОСТИ,
НОВЫЕ ПОРОШКОВЫЕ
КОМПОЗИЦИОННЫЕ
МАТЕРИАЛЫ. СВАРКА

2
часть

Сборник докладов
8-го Международного
симпозиума
Минск, 10–12 апреля 2013 г.



POWDER METALLURGY:

SURFACE ENGINEERING,
NEW POWDER COMPOSITE
MATERIALS. WELDING

Proceedings
of 8th International Symposium

Minsk, April, 10th–12th, 2013

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ
Государственное научно-производственное объединение порошковой металлургии
Институт порошковой металлургии
Европейская ассоциация порошковой металлургии
Европейская федерация сварки

*Светлой памяти
академика О. В. Романа*

**ПОРОШКОВАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ:
ИНЖЕНЕРИЯ ПОВЕРХНОСТИ,
НОВЫЕ ПОРОШКОВЫЕ
КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ.
СВАРКА**

**POWDER METALLURGY:
SURFACE ENGINEERING,
NEW POWDER COMPOSITE MATERIALS.
WELDING**

*Сборник докладов 8-го Международного симпозиума
(Минск, 10–12 апреля 2013 г.)*

В двух частях



Часть 2



Минск
«Беларуская навука»
2013

УДК 621.762(082)

ББК 34.39

П 59

Редакционная коллегия:

руководитель аппарата Президиума НАН Беларуси, акад. НАН Беларуси,
д-р техн. наук, проф. *П. А. Витязь* (главный редактор);
генеральный директор ГНПО порошковой металлургии, чл.-кор. НАН Беларуси,
д-р техн. наук, проф. *А. Ф. Ильющенко* (зам. главного редактора);
директор ОХП ИСЗП, канд. физ.-мат.наук *М. А. Андреев*;
директор ОХП НИИ ИП с ОП, д-р техн. наук *Л. В. Судник*;
зам. проректора по НИЧ БНТУ, д-р техн. наук, доц. *А. С. Калиниченко*;
зам. генерального директора ГНПО порошковой металлургии,
д-р техн. наук, проф. *Е. Е. Петюшик*;
зам. директора ОХП ИСЗП, канд. техн. наук *А. И. Радченко*;
зам. директора ГНУ ИПМ, канд. техн. наук, доц. *В. В. Савич*;
гл. науч. сотрудник ОХП НИИ ИП с ОП, д-р техн. наук *В. Г. Смирнов*;
ведущий науч. сотрудник ОХП ИСЗП, канд. техн. наук *А. И. Шевцов*;
зам. акад.-секретаря ОФГН НАН Беларуси, д-р техн. наук, проф. *М. Л. Хейфец*

Рецензенты:

зам. проректора по НИЧ БНТУ, д-р техн. наук, доц. *А. С. Калиниченко*;
зам. начальника отд-ния ОИМ, д-р техн. наук, доц. *В. И. Жорник*;
зав. каф. «Технология металлов» БГАТУ, д-р техн. наук, проф. *В. М. Капцевич*;
проф. каф. «Порошковая металлургия, сварка и технология материалов»,
д-р техн. наук *В. Н. Ковалевский*

Порошковая металлургия: инженерия поверхности, новые
П 59 **порошковые композиционные материалы. Сварка = Powder Met-**
allurgy: Surface Engineering, New Powder Composite Materials.
Welding : сб. докл. Междунар. симп. (Минск, 10–12 апр. 2013 г.).
В 2 ч. Ч. 2 / Нац. акад. наук Беларуси [и др.] ; редкол. : П. А. Витязь
(гл. ред.) [и др.]. – Минск : Беларус. навука, 2013. – 374 с. : ил.
ISBN 978-985-08-1555-2.

В настоящий сборник включены доклады Международного симпозиума «Порошковая металлургия: инженерия поверхности, новые порошковые композиционные материалы. Сварка» (10–12 апреля 2013 г.), который начиная с 1999 г. в 8-й раз проводится в Минске в рамках международных выставок «Порошковая металлургия» и «Сварка». Среди авторов – ведущие ученые и специалисты Беларуси, России, Украины, Латвии, Эстонии и Армении. Статьи публикуются в виде, представленном авторами, без дополнительного научного редактирования.

УДК 621.762(082)

ББК 34.39

The reports of International symposium “Powder Metallurgy: Surface engineering. New powder composition materials. Welding” (April 10-12, 2013) have been included into the current collection. The symposium is held in Minsk starting from 1999 within the framework of international exhibitions “Powder metallurgy” and “Welding”. The given symposium is considered to be the 8th one. The leading scientists and specialists from Belarus, Russia, the Ukraine, Latvia, Estonia and Armenia are among the authors. Articles are published as submitted by the authors without additional scientific editing.

ISBN 978-985-08-1555-2 (ч. 2)

ISBN 978-985-08-1547-7

© Институт порошковой металлургии, 2013

© Оформление. РУП «Издательский дом
«Беларуская навука», 2013

СОДЕРЖАНИЕ

Секция 3

Инженерия поверхности

- Алексеев Ю. Г., Нисс В. С., Королев А. Ю., Фомихина И. В., Астапенко А. А.** (*НТП БНТУ «Политехник», Минск, Беларусь; БНТУ, Минск, Беларусь; ГНУ ИПМ НАН Беларуси, Минск, Беларусь*). Исследование процессов формирования композиционных слоев в анодном режиме электролитного нагрева 22
- Амян А. В., Оганесян Н. Р.** (*Государственный инженерный университет Армении, Ереван, Армения*). Исследование процесса фосфатирования черных металлов с применением реверса тока..... 28
- Амян А. В., Оганесян Н. Р.** (*Государственный инженерный университет Армении, Ереван, Армения*). Применение комбинированных электрохимических покрытий в химических источниках тока 29
- Босяков М. Н., Бондаренко С. В., Бондаренко А. С., Иванов Ю. М., Козлов А. А., Поболь И. Л.** (*ФТИ НАН Беларуси, Минск, Беларусь*). Система управления установкой ионно-плазменного азотирования ОАО «МАЗ».. 30
- Босяков М. Н., Бондаренко С. В., Гуринович А. С., Козлов А. А., Поболь И. Л.** (*ФТИ НАН Беларуси, Минск, Беларусь*). Модернизация оборудования и разработка технологии ионно-плазменной обработки для ОАО «МАЗ» 34
- Браницкий Г. А., Азаров С. М., Азарова Т. А., Соколов В. Г.** (*НИИ ФХП БГУ, Минск, Беларусь; ИОНХ НАН Беларуси, Минск, Беларусь*). Способы получения биоцидных пленок из соединений олова и серебра в органических растворителях на поверхности керамики 41
- Браницкий Г. А., Азаров С. М., Азарова Т. А., Тарасевич В. А., Добыш В. А** (*НИИ ФХП БГУ, Минск, Беларусь; ИОНХ НАН Беларуси, Минск, Беларусь; ИХНМ НАН Беларуси, Минск, Беларусь*). Композиционные пленки, сформированные из растворов соединений полигексаметиленгуанидингидрохлорида и серебра как средство защиты керамики от биообрастания 47
- Веремей П. В., Девойно О. Г., Филонов И. П.** (*БНТУ, Минск, Беларусь*). Компьютерное моделирование процесса лазерной закалки оптоволоконным лазером..... 51
- Гаршин А. П., Нилов А. С., Кулик В. И., Савич В. В., Дмитриевич А. А., Сарока Д. И.** (*СПбГПУ, Санкт-Петербург, Россия; БГТУ «ВОЕНМЕХ», Санкт-Петербург, Россия; ГНУ ИПМ НАН Беларуси,*

<i>Минск, Беларусь</i>). Анализ современных фрикционных материалов для тормозных колодок в высоконагруженных автомобильных системах торможения	56
Григорчик А. Н., Белоцерковский М. А., Белый А. В., Кукарко В. А. (<i>ОИМ НАН Беларуси, Минск, Беларусь; ФТИ НАН Беларуси, Минск, Беларусь</i>). Структура и триботехнические характеристики модифицированного ионами азота газотермического покрытия из стали 40X13	72
Девойно О. Г., Кардаполова М. А., Кавальчук О. Н. (<i>БНТУ, Минск, Беларусь</i>). Влияние режимов ступенчатой обработки на свойства электроискровых покрытий	78
Девойно О. Г., Кардаполова М. А., Луцко Н. И., Лапковский А. С. (<i>БНТУ, Минск, Беларусь</i>). Исследование геометрических характеристик валиков, получаемых при различных режимах лазерной наплавки	83
Жук Д. В., Босяков М. Н., Поболь И. Л., Олещук И. Г., Федорук Г. Ф. (<i>ФТИ НАН Беларуси, Минск, Беларусь</i>). Разработка технологии ионно-плазменного азотирования вставок превенторов из стали 30ХМА	87
Кем А. Ю. (<i>ДГТУ, Ростов-на-Дону, Россия</i>). Определение взаимосвязи фрактальности и сорбционной способности поверхности порошковой подложки в условиях газофазного насыщения	91
Киселев М. Г., Дроздов А. В., Мониц С. Г. (<i>БНТУ, Минск, Беларусь</i>). Способ электроконтактной обработки металлических имплантатов проволочным электродом-инструментом	96
Константинов В. М., Булойчик И. А. (<i>БНТУ, Минск, Беларусь</i>). Анализ многокомпонентных цинковых диффузионных слоев повышенной прочности и коррозионной стойкости	102
Константинов В. М., Ковальчук А. В. (<i>БНТУ, Минск, Беларусь</i>). Оценка повышения износостойкости от упрочнения основы систем «конструкционная сталь – нитрид титана»	106
Косенок Я. А., Гайшун В. Е., Тюленкова О. И., Судник Л. В. (<i>ГГУ им. Ф. Скорины, Гомель, Беларусь; ГНУ ИПМ НАН Беларуси, Минск, Беларусь</i>). Новые композиционные суспензии на основе наноразмерного порошка диоксида кремния и силикатного золя для полировки пластин монокристаллического кремния различной ориентации	110
Кочарян А. Н. (<i>Государственный инженерный университет Армении, Ереван, Армения</i>). Получение двухслойного кадмиевого покрытия для применения в полупроводниковых преобразователях света	115
Кузнецов П. А., Терещенко А. В., Савин В. И., Бобырь В. В., Юрков М. А., Кудрявцева И. В. (<i>ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей», Санкт-Петербург, Россия</i>). Технологии лазерного синтеза порошковых материалов для создания, восстановления и ремонта изделий сложной формы	117
Кукуй Д. М., Судник Л. В., Рудницкий Ф. И., Николайчик Ю. А., Мизгир А. Г. (<i>БНТУ, Минск, Беларусь; ГНУ ИПМ НАН Беларуси,</i>	

<i>Минск, Беларусь</i>). Формирование структурно-механических свойств противопригарных покрытий при их модифицировании наноструктурированными материалами	124
Логачева А. И., Береснев А. Г., Логачев И. А. (<i>ОАО «КОМПО-ЗИТ», Королев, Московской обл., Россия</i>). Модификация поверхности гранул никелевых сплавов под воздействием ультразвука	130
Мельников С. Н., Голосов Д. А., Кундас С. П. (<i>БГУИР, Минск, Беларусь; МГЭУ им. А. Д. Сахарова, Минск, Беларусь</i>). Применение методов компьютерного моделирования при проектировании систем и процессов нанесения тонкопленочных покрытий методом магнетронного распыления.....	140
Нисс В. С., Алексеев Ю. Г., Паршута А. А., Королев А. Ю., Кособуцкий А. А. (<i>БНТУ, Минск, Беларусь; ГП «НТП БНТУ «Политехник», Минск, Беларусь</i>). Исследование влияния тепловых и электрических условий на устойчивость пленочного кипения и производительность электролитно-плазменной обработки	146
Паустовский А. В., Чигринова Н. М., Алфинцева Р. А., Ткаченко Ю. Г., Ловыгин С. И., Кириленко С. Н., Юрченко Д. З., Терещенко В. С. (<i>ИПМ им. И. Н. Францевича НАН Украины, Киев, Украина; ОХП ИСЗП, Минск, Беларусь</i>). Разработка и свойства электродных материалов для электроискровых покрытий при упрочнении и восстановлении деталей из конструкционных сталей	152
Радченко А. А., Олешкевич Д. А. (<i>ОХП ИСЗП, Минск, Беларусь</i>). Экологически безопасный цинконаполненный материал на неорганической основе для «холодного» цинкования	158
Сыроежко Г. С., Лешок А. В. (<i>ПРУП МолЗПИМ, Молодечно, Беларусь</i>). Молодечненский завод порошковой металлургии: настоящее, будущее.....	161
Урбанович Н. И., Константинов В. М., Басалай И. А., Гегеня Д. В. (<i>БНТУ, Минск, Беларусь</i>). Рециклинг цинксодержащих отходов после горячего цинкования для термодиффузионного насыщения стальных изделий	167
Черняк И. Н., Басв А. К. (<i>ГНУ ИПМ НАН Беларуси, Минск, Беларусь; МГЭУ им. А. Д. Сахарова, Минск, Беларусь</i>). Термодинамические характеристики равновесия жидкость–пар в бинарных системах алкилов галлия, индия и алюминия	172
Чигринова Н. М., Чигринов В. Е., Радченко А. А., Ловыгин С. И. (<i>БНТУ, Минск, Беларусь; ОХП ИСЗП, Минск, Беларусь</i>). Применение порошковых композиций для формирования покрытий комбинированным методом ЭИЛ с УЗВ.....	177
Чигринова Н. М., Чигринов В. Е., Радченко А. А., Ловыгин С. И., Чевкота А. А. (<i>БНТУ, Минск, Беларусь; ОХП ИСЗП, Минск, Беларусь</i>). Многофункциональные микродуговые покрытия как эффективное средство продления долговечности алюминиевых изделий	183

**Функциональные защитные покрытия:
материалы, технологии, оборудование**

Kulu P., Surzhenkov A., Tarbe R., Sarjas H., Mikli V. (<i>Tallinn University of Technology, Tallinn, Estonia</i>). Wear resistant metal matrix based hardmetal particles reinforced composite coatings.....	190
Pihl T., Pihl R., Vainola V. (<i>Tallinn University of Applied Sciences, Tallinn, Estonia</i>). The Technology of Hard Electrochemical Coatings.....	196
Алексеев Ю. Г., Нисс В. С., Паршута А. А., Королев А. Ю., Симончик А. П. (<i>ГП «НТП БНТУ «Политехник», Минск, Беларусь; БНТУ, Минск, Беларусь</i>). Получение гальванических покрытий в катодном режиме электролитно-плазменной обработки.....	202
Андреев М. А., Маркова Л. В., Суворов А. Н., Лисовская Ю. О. (<i>ГНУ ИПМ НАН Беларуси, Минск, Беларусь</i>). Технологические особенности формирования комбинированных коррозионно-стойких и износостойких покрытий на основе хрома на режущем инструменте	207
Антонова Н. М. (<i>Каменский институт (филиал). ЮРГТУ (НПИ), Каменск-Шахтинский, Россия</i>). Повышение адгезионной прочности к стальной поверхности полимерных покрытий с порошком Al путем добавления субмикронных частиц Zr	213
Белоцерковский М. А., Чекулаев А. В. (<i>ОИМ НАН Беларуси, Минск, Беларусь</i>). Оптимизация процесса нанесения покрытий расплавлением полимерных шнуров	219
Гасенкова И. В., Мухуров Н. И., Жвавый С. П. (<i>Институт физики НАН Беларуси, Минск, Беларусь</i>). Фотолюминесценция пленок пористого анодного оксида алюминия в α -фазе	225
Дашкевич В. Г., Щербаков В. Г., Ясенко Н. Н. (<i>БНТУ, Минск, Беларусь; ФТИ НАН Беларуси, Минск, Беларусь</i>). К вопросу о фрикционной искробезопасности наплавленных покрытий и методике их испытания	230
Девойно О. Г., Пантелеенко А. Ф. (<i>БНТУ, Минск, Беларусь</i>). Исследование морфологии и микроструктуры плазменных покрытий из борированного порошка ПР-Х18Н9	233
Ильющенко А. Ф., Шевцов А. И., Оковитый В. А., Громыко Г. Ф. (<i>ГНУ ИПМ НАН Беларуси, Минск, Беларусь, Институт математики НАН Беларуси, Минск, Беларусь</i>). К вопросу оптимизации технологических параметров газотермического напыления защитных покрытий.....	239
Имбриович Н. Ю., Клапков М. Д., Савчук П. П., Повстяной А. Ю. (<i>ЛНТУ, Луцк, Украина; Физико-механический институт им. В. Карпенка НАН Украины, Львов, Украина</i>). Исследование новых комбинированных электрометаллизационно-плазмозлектролитных покрытий, созданных для упрочнения поверхности стальных прессованных втулок	245

Капустин Р. Д., Первухин Л. Б. (<i>ИСМАН, Черноголовка, Россия</i>). Экспериментально-теоретическое исследование процесса синтеза огнеупорных соединений в покрытиях на основе алюмосиликатных СВС-материалов	250
Кем А. Ю. (<i>ДГТУ, Ростов-на-Дону, Россия</i>). Использование методов фрактальной геометрии для исследования кинетики роста газофазных покрытий	255
Константинов В. М., Дашкевич В. Г. (<i>БНТУ, Минск, Беларусь</i>). Исследование искробезопасности диффузионных покрытий в результате фрикционного контакта.....	261
Константинов С. В., Комаров Ф. Ф., Пилько В. В., Бурмаков А. П., Зайков В. А. (<i>НИИ прикладных физических проблем им. А. Н. Севченко БГУ, Минск, Беларусь; Кафедра физической электроники и нанотехнологий БГУ, Минск, Беларусь</i>). Формирование наноструктурированных покрытий на основе TiN с добавлением алюминия, хрома или кремния ..	266
Комаров А. И., Комарова В. И., Шилюк Д. Л., Данилович А. В. (<i>ОИМ НАН Беларуси, Минск, Беларусь; РУП «Белгазтехника», Минск, Беларусь</i>). Повышение служебных свойств шаров запорной газовой арматуры нанесением износостойких покрытий.....	272
Кохнюк В. Н., Прудник А. М., Валюн П. В. (<i>НИЦ «Плазмотег» ФТИ НАН Беларуси, Минск, Беларусь; БГУИР, Минск, Беларусь</i>). Радиозащитные покрытия	278
Куданович О. Н., Колесник Э. Э., Дениюк С. В. (<i>Институт физики НАН Беларуси, Минск, Беларусь</i>). Защитные покрытия на основе оксидов алюминия и кремния для устройств микроэлектроники	285
Леванцевич М. А., Максимченко Н. Н., Калач В. Н. (<i>ОИМ НАН Беларуси, Минск, Беларусь</i>). Применение фрикционного плакирования для формирования противопригарных покрытий пресс-форм машин литья под давлением	288
Насакина Е. О., Севостьянов М. А., Колмаков А. Г., Витязь П. А., Ильющенко А. Ф., Хейфец М. Л. (<i>ИМЕТ РАН, Москва, Россия; ОИМ НАН Беларуси, Минск, Беларусь; ГНПО НАН Беларуси, Минск, Беларусь; ГНПО «Центр» НАН Беларуси, Минск, Беларусь</i>). Получение защитного титанового поверхностного слоя методом магнетронного нанесения.....	294
Прядко А. С., Поболь А. И. (<i>ОИМ НАН Беларуси, Минск, Беларусь; БНТУ, Минск, Беларусь; ФТИ НАН Беларуси, Минск, Беларусь</i>). Свойства коррозионно-стойкого покрытия, нанесенного газотермическим методом на высокопрочный чугун	297
Савчук П. П., Боярская И. В., Давыдюк А. И. (<i>ЛНТУ, Луцк, Украина</i>). Особенности создания эпоксидных композиционных покрытий с комплексом управляемых свойств.....	303
Свириденко А. И., Кравцевич А. В., Микулич С. И., Бардаханов С. П., Лысенко В. И. (<i>ГНУ «НИЦПР НАН Беларуси», Гродно, Бе-</i>	

ларусь; ИТПМ СО РАН им. С. А. Христиановича, Новосибирск, Россия). Покрытия на основе фторсодержащих ПАВ, модифицированных нано- порошком диоксида кремния.....	306
Фармаковский Б. В., Герашенкова Е. Ю., Юрков М. А., Деев А. А. (ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей», Санкт-Петербург, Россия). Много- функциональные защитные покрытия с высокой износо- и коррози- еустойкостью, полученные методом сверхзвукового «холодного» газоди- намического напыления.....	311
Хейфец М. Л., Хилько Д. Н. (ГНПО «Центр» НАН Беларуси, Минск, Беларусь). Влияние технологической среды на структуру и свойства ферропорошковых покрытий.....	315
Хмыль А. А., Кушнер Л. К., Дежкунов Н. В., Богуш Н. В., Кузь- мар И. И. (БГУИР, Минск, Беларусь). Формирование композиционных покрытий при воздействии ультразвука.....	319
Шевченко А. А., Колешко В. М., Гулай А. В., Гулай В. А. (БНТУ, Минск, Беларусь; ГНУ ИПМ НАН Беларуси, Минск, Беларусь). Фрак- тальная модель структуры распыляемых мишеней ZnO с легирующи- ми добавками P3Э.....	324

Секция 5

Передовые сварочные технологии, материалы и оборудование. Совершенствование нормативной базы

Астрейко Л. А., Игнатович Э. В., Олешкевич Д. А. (БНТУ, Минск, Беларусь; ОХП ИСЗП, Минск, Беларусь). Процессы неразъемного со- единения стальных изделий, оцинкованных диффузионным и недиф- фузионным методами.....	332
Бородавко В. И., Гайко В. А., Крутько В. С., Насыбулин А. Х., Пынь- кин А. М., Хейфец М. Л. (ГНПО «Центр» НАН Беларуси, Минск, Бела- русь). Влияние интенсивности плазменного потока на формирование структур и свойств поверхностей при раскрое хромоникелевых порош- ковых материалов.....	336
Девойно О. Г., Радченко А. А., Лапковский А. С. (БНТУ, Минск, Беларусь). Особенности процесса лазерной сварки стали 65Г и Ni-Cu-Fe сплава.....	342
Жизняков С. Н., Пантелеенко Ф. И., Викторовский Д. И., Урба- нович Н. И. (БНТУ, Минск, Беларусь). Дуга и лед. Новый способ дуго- вой сварки плавящимся электродом.....	347
Краснов С. В., Кузнецов М. А. (ЮТИ НИТПУ, Юрга, Россия). Спо- собы введения наноструктурированных порошков в сварочную ванну при различных методах сварки.....	349
Лукашов А. С., Кузнецов М. А. (ЮТИ НИТПУ, Юрга, Россия). Влияние наноструктурированного порошка вольфрама на микрострук- туру наплавленного металла.....	353

Пантелеенко Ф. И., Писарев В. А. (<i>БНТУ, Минск, Беларусь</i>). Особенности аттестации персонала по сварке и контролю качества на объектах атомной энергетики.....	359
Поболь И. Л., Юревич С. В., Азарян Н. С. (<i>ФТИ НАН Беларуси, Минск, Беларусь; ОИЯИ, Дубна, Россия</i>). Исследования по созданию ниобиевых СВЧ-резонаторов с использованием электронно-лучевой сварки.....	363
Цумарев Ю. А., Игнатова Е. В., Цумарев Е. Н. (<i>БРУ, Могилев, Беларусь</i>). Напряженно-деформированное состояние неразъемных тавровых соединений различной конструкции	368

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ СЛОЕВ В АНОДНОМ РЕЖИМЕ ЭЛЕКТРОЛИТНОГО НАГРЕВА

**Ю. Г. Алексеев¹, В. С. Нисс², А. Ю. Королев¹,
И. В. Фомихина³, А. А. Астапенко¹**

¹*Научно-технологический парк БНТУ «Политехник», Минск, Беларусь,
тел./факс: 292-25-98, e-mail: korolyov@metolit.by*

²*Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь,
тел.: 296-67-22, e-mail: niss@metolit.by*

³*Институт порошковой металлургии, Минск, Беларусь,
тел.: 292-85-81, e-mail: ivfom@tut.by*

В анодном режиме электролитно-плазменной обработки за счет протекания электрических разрядов между металлическим образцом (анодом) и электролитом (катодом) в некоторых диапазонах параметров наблюдается явление электролитного нагрева. При этом обеспечивается интенсивный разогрев поверхности образца со скоростью до 250 °С/с, что обеспечивает возможность создания композиционных слоев на поверхности образца в результате осаждения и диффузии легирующих элементов, содержащихся в электролите, а также за счет термической обработки с последующим охлаждением в электролите.

Авторами проведены исследования и разработаны режимы получения композиционных слоев на стали Ст3 электрохимико-термическим азотированием и цементацией толщиной до 60 мкм и микротвердостью до 6,1 ГПа (рис. 1).

Целью данной работы являются исследования влияния мощности нагрева и состава электролита на скорость анодного нагрева и толщину нагреваемого слоя образцов из стали Ст3 в электролите на основе хлорида аммония.

На основании экспериментальных данных установлены значения удельной электрической мощности, затрачиваемой на процесс электролитного нагрева при различных значениях рабочего напряжения (рис. 2).

Полученная зависимость имеет максимум при рабочем напряжении 270 В, что соответствует граничному (максимальному) значению напряжения, обеспечивающему электролитный нагрев.

Для определения зависимости скорости анодного нагрева υ от удельной мощности нагрева измеряли максимальную температуру нагрева $T_{\text{макс}}$ и время t , необходимое для нагрева анода до максимальной температуры. Установленная зависимость скорости анодного нагрева от удельной мощности нагрева представлена на рис. 3.

С увеличением рабочего напряжения скорость нагрева постепенно повышается и достигает максимума при удельной мощности 300 Вт/см², что соответствует рабочему напряжению 240 В.

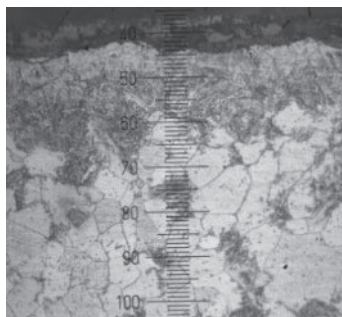


Рис. 1. Микроструктура образца после электрохимико-термического азотирования. $\times 500$

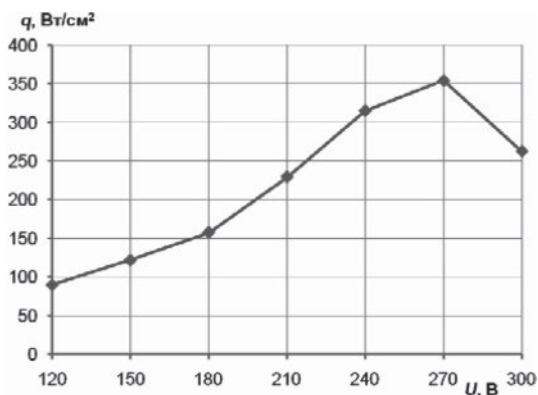


Рис. 2. Влияние рабочего напряжения на удельную мощность нагрева в 10%-ном растворе хлорида аммония в условиях естественной конвекции

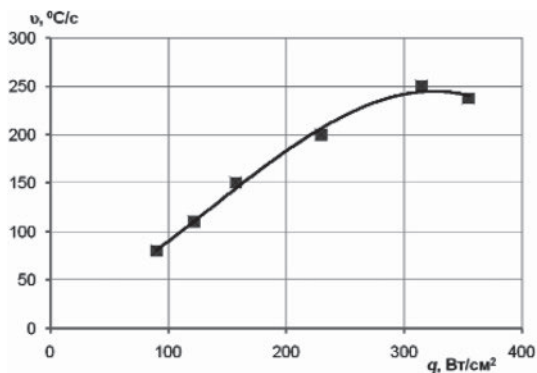


Рис. 3. Зависимость скорости анодного нагрева от удельной мощности нагрева

Дальнейший рост удельной мощности нагрева приводит к снижению максимальной температуры нагрева, что связано с перераспределением тепловых потоков при повышении рабочего напряжения: доля тепла, поступающая в анод, уменьшается, а поступающая в электролит и затрачиваемая на испарение электролита, увеличивается.

На основании экспериментальных данных построены кривые, характеризующие влияние мощности нагрева и его продолжительности на толщину нагреваемого слоя (рис. 4).

В результате экспериментальных исследований установлено, что зависимость удельной проводимости от концентрации хлорида аммония носит линейный характер. Величина удельной проводимости увеличивается от 170 до 354 мСм/см при повышении концентрации электролита от 8 до 16 %. Добавление в электролит глицерина (углеродсодержащий компонент) концентрацией 12 % приводит к снижению удельной проводимости на 20–28 % и соответственно плотности рабочего тока.

В результате снижения плотности тока при обработке в электролите с глицерином снижается удельная мощность процесса, что приводит к уменьшению максимально достижимой температуры нагрева образца. При нагреве в электролите без глицерина обеспечивался нагрев образца до температуры 1000 °С,

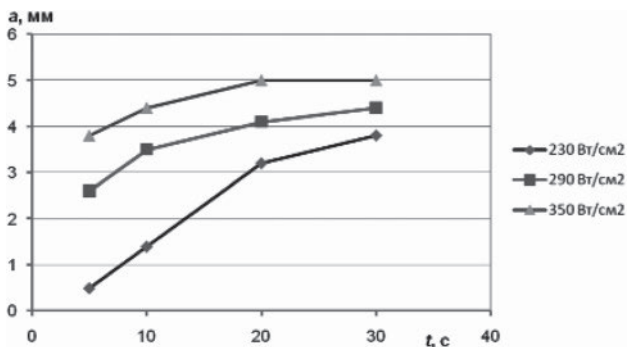


Рис. 4. Влияние продолжительности нагрева на толщину нагреваемого слоя при различных значениях удельной мощности нагрева

а при добавлении глицерина концентрацией 12 % – до температуры 900 °С. Такое снижение максимальной температуры нагрева при добавлении глицерина не является критичным, поскольку требуемая температура нагрева образца для цементации составляет 850–1000 °С.

По результатам измерения максимальной температуры образца и времени, необходимого для достижения максимальной температуры, установлены зависимости, характеризующие влияние состава электролита на скорость нагрева при рабочем напряжении 240 В (рис. 5). Полученные зависимости имеют максимум, соответствующий концентрации хлорида аммония 10 %.

Поскольку полученная зависимость имеет пик, то становится очевидным, что скорость анодного электролитного нагрева не связана с плотностью тока и удельной проводимостью, имеющих линейную зависимость от концентрации электролита. Поэтому можно предположить, что напряжение, обеспечивающее максимальную температуру нагрева, соответствует напряжению, обеспечивающему максимальную скорость нагрева.

Существование максимума скорости нагрева и температуры нагрева, соответствующего определенным сочетаниям концентрации электролита и рабочего напряжения, связано, по-видимому, с особенностями влияния этих параметров на распределение плотностей тепловых потоков, образующихся в процессе элек-

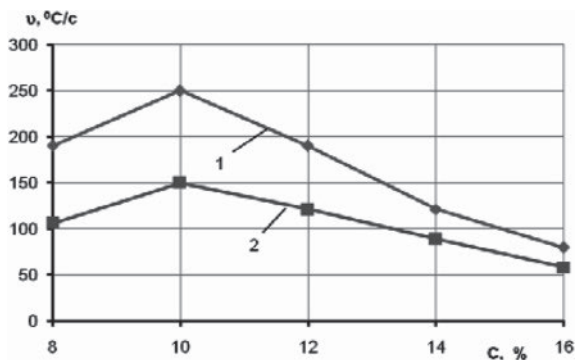


Рис. 5. Влияние состава электролита на скорость анодного электролитного нагрева при напряжении 240 В: 1 – без глицерина; 2 – с глицерином (12 %)

тролитного нагрева. При определенном значении напряжения с повышением концентрации электролита происходит увеличение доли тепла, поступающего в анод. По достижении предельного для данного напряжения значения концентрации электролита распределение тепловых потоков существенно изменяется с увеличением доли тепла, поступающего в электролит, и уменьшением доли тепла, поступающего в анод. Увеличение рабочего напряжения приводит к уменьшению предельного значения концентрации.

На основании полученных экспериментальных данных построены кривые, характеризующие влияние состава электролита на толщину нагреваемого слоя (рис. 6).

Из представленных зависимостей видно, что максимальная глубина нагреваемого слоя при напряжении 240 В аналогично максимальной температуре нагрева и максимальной скорости нагрева достигается при концентрации электролита 10 %. Очевидно, что, как и в случае с максимальной температурой нагрева и скоростью нагрева, каждому значению концентрации хлорида аммония соответствует значение рабочего напряжения, которое обеспечивает максимальную глубину нагреваемого слоя (8 % – 250 В, 10 % – 240 В, 12 % – 235 В и т. д.).

Таким образом можно сделать следующие выводы.

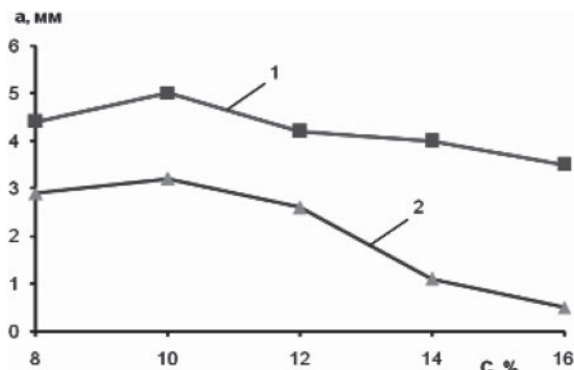


Рис. 6. Влияние состава электролита на толщину нагреваемого слоя при напряжении 240 В: 1 – без глицерина; 2 – с глицерином (12 %)

1. С увеличением рабочего напряжения скорость анодного электролитного нагрева увеличивается и достигает максимума при удельной мощности 300 Вт/см^2 , что соответствует рабочему напряжению 240 В. Дальнейшее увеличение удельной мощности нагрева приводит к снижению максимальной температуры нагрева, что связано с перераспределением тепловых потоков при повышении рабочего напряжения.

2. В результате экспериментальных исследований установлено, что повышение концентрации электролита приводит к увеличению плотности тока и скорости анодного электролитного нагрева. Добавление в электролит глицерина (углеродсодержащий компонент) концентрацией 12 % приводит к снижению удельной проводимости на 20–28 % и соответственно плотности рабочего тока, что является причиной снижения удельной мощности процесса и уменьшения максимально достижимой температуры нагрева.

3. На основании экспериментальных данных установлено, что толщина нагреваемого слоя увеличивается с повышением мощности нагрева. Максимальная глубина нагреваемого слоя при напряжении 240 В аналогично максимальной температуре нагрева и максимальной скорости нагрева достигается при концентрации электролита 10 %.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОСФАТИРОВАНИЯ ЧЕРНЫХ МЕТАЛЛОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ РЕВЕРСА ТОКА

А. В. Амян, Н. Р. Оганесян

*Государственный инженерный университет Армении,
Ереван, Армения*

Одним из способов антикоррозионной защиты является нанесение на поверхность слоев металлического или неметаллического защитного покрытия. Из неметаллических нами были исследованы фосфатные покрытия (из солей железа и цинка). Преимущества этого покрытия в том, что деталь не меняет своих размеров, так как покрытие растет не на поверхности металла, а поглощается металлом.

Известно, что фосфатные покрытия на черных металлах не всегда могут служить в роли антикоррозионного покрытия. Большинство этих покрытий является основой для лакокрасочных материалов.

Ранее показано, что химически полученные фосфаты под слоем лака быстро расслаиваются и лучше применять электрохимический метод (ЭМ). ЭМ позволяет получать фосфатные покрытия с большими шероховатостью и удельной поверхностью, что позволяет лакокрасочному слою более прочно сцепляться с основой. Естественно, что фосфатные электрохимические покрытия (ЭП) уступают химическим.

Нами были получены фосфатные электрохимические покрытия с применением реверса тока, улучшающего свойства покрытия. В противном случае фосфатные ЭП включают в себе довольно существенные количества водорода, который ухудшает их механические свойства. После осаждения от нежеланного водорода освобождаются или теплообработкой, или электрохимическим методом. Нами эти процессы совмещались с применением реверса электрического тока.

ПРИМЕНЕНИЕ КОМБИНИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ В ХИМИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКАХ ТОКА

А. В. Амян, Н. Р. Оганесян

*Государственный инженерный университет Армении,
Ереван, Армения*

Комбинированные (композиционные) материалы совмещают в себе свойства металлов и неметаллов. В этой области новым является электрохимический метод, который позволяет получать комбинированные электрохимические покрытия (КЭП) из электролитов с наложением электрического тока. Преимуществом способа по сравнению с методами порошковой металлургии является получение покрытий необходимой и регулируемой толщины, которые нуждаются в последующей термо- или механической обработке, в результате которой КЭП становятся компактными и почти беспористыми.

Практически КЭП получают так, как и обычные гальванические (Ni, Cu, Zn) покрытия, только с включениями (вторая фаза) диспергированных частиц разных веществ.

КЭП используются при изготовлении подложек для химических источников тока (ХИТ). Они тонкие, имеют хорошие электропроводность и шероховатость. Последнее свойство предотвращает всплывание активной массы с поверхности.

Были исследованы покрытия на никелевой основе с включениями углеродных частиц. Применение КЭП приводит к увеличению срока службы этих электродов, а также и ХИТ.

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ УСТАНОВКОЙ ИОННО-ПЛАЗМЕННОГО АЗОТИРОВАНИЯ ОАО «МАЗ»

**М. Н. Босяков, С. В. Бондаренко, А. С. Бондаренко,
Ю. М. Иванов, А. А. Козлов, И. Л. Поболь**

*Физико-технический институт НАН Беларуси, Минск, Беларусь,
тел.: 263-51-25, факс: 263-59-20, e-mail: e-physics@tut.by*

В рамках модернизации установок ИОН-100 и ИОН-100И созданы два новых комплекса оборудования ионно-плазменного азотирования. Техническое задание ОАО «МАЗ» предусматривало обеспечение возможности одновременной обработки партии деталей в количестве 120 шт. и достижение производительности процесса азотирования не менее 50 кг/ч. При этом требовалось изготовление системы управления на базе электронных компонентов производства фирмы «Mitsubishi».

Для создания системы управления использованы контроллер Mitsubishi серии FX и панель оператора Mitsubishi серии GOT1000, которые встроены в шкаф управления (рис. 1, 2).



Рис. 1. Шкаф управления установкой

Процесс обработки полностью автоматизирован. Оператору требуется загрузить камеру и выбрать программу обработки из имеющегося набора.

Программа обработки задается в виде таблицы (рис. 3). Управляющие алгоритмы с высокой точностью выходят на заданные параметры, поддерживают их и осуществляют гладкие переходы между строками таблицы.

В случае возникновения нештатной ситуации подаются

звуковой и световой (с помощью трехцветного фонаря на шкафе управления) сигналы, появляется также текстовое сообщение на экране панели оператора. Если нештатная ситуация может привести к повреждению установки или к браку деталей, система управления переведет установку в аварийный режим, приостановит выполнение процесса обработки, выключит разряд, подачу газов и насосы. После устранения причин нештатной ситуации обработка продолжится с момента остановки. Даже в случае длительной остановки (на 24 ч и более) установка корректно выйдет на режим и завершит обработку деталей.

Система бесперебойного питания контроллера и панели оператора гарантирует контроль над установкой даже в случае пропадания внешнего питания. Таким образом, корректное завершение процесса обработки возможно в случае самых серьезных неполадок, устранение которых требует полного обесточивания установки.

Подробный список сообщений позволяет узнать обо всем, что происходило с установкой за весь период эксплуатации. Сообщения полностью описывают произошедшие события. История сообщений содержит подробное описание, возможные причины возникновения сообщения и краткое руководство к действиям.



Рис. 2. Исходное изображение на панели оператора

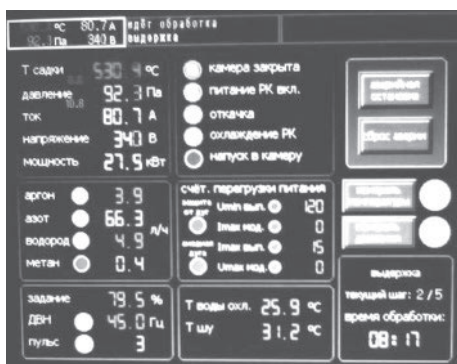


Рис. 3. Программа обработки загруженной садки