

ПОРОШКОВАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

Основан в 1997 г. Издается 1 раз в год

Выпуск 38

СОДЕРЖАНИЕ

Ильющенко А.Ф., Савич В.В. Современное состояние порошковой металлургии в Западной Европе: тенденции и перспективы.....	7
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОЛУЧЕНИЯ, ОБРАБОТКИ И ПРИМЕНЕНИЯ ПОРОШКОВЫХ И КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ	
Громыко Г. Ф., Ильющенко А. Ф., Шевцов А. И., Оковитый В. В. Комплекс программ TestCoat для исследования температурных полей, напряжений и деформаций в двумерном образце с многослойным покрытием.....	18
Горохов В. М., Гучек В. Н., Тарусов И. Н. Конечно-элементный анализ распределения напряженно-деформированного состояния и плотности при прессовании деталей сложной формы. Сообщение 1. Моделирование прессования зуба шестерни.....	22
Горохов В. М., Тарусов И. Н. Структура и свойства инфильтрированных порошковых композиционных материалов системы вольфрам (карбид вольфрама) – серебро.....	30
Дьячкова Л. Н. Процессы получения материалов на основе меди антифрикционного назначения инфильтрацией.....	39
Ильющенко А. Ф., Громыко Г. Ф., Мацука Н. П., Шевцов А. И. Численные эксперименты для выбора технологических параметров высокоэнергетической обработки обмазки С СВС – реагентами при формировании износостойких композиционных покрытий.....	45
Лецко А. И., Талако Т. Л., Парницкий Н. М. Получение ультра- и нанодисперсных порошков ферромагнетиков-шпинелей методом механоактивируемого самораспространяющегося высокотемпературного синтеза.....	58
Мартиросян В. А., Савич В. В., Лисовская Ю. О., Сасунцян М. Э., Закарян Э. Г. Поведение шлаков металлургических заводов при механохимической активации.....	62
Овчинников В. И., Ильющенко А. Ф. Переход из кристаллического состояния в аморфное при динамической обработке сталей высокоскоростными потоками микрочастиц.....	71
Овчинников В. И. Анализ процессов высокоскоростного соударения потоков частиц с преградой и их влияние на свойства микросхем.....	75

Петюшик Е.Е., Тихов С.Ф., Романенков В.Е., Пинчук Т.И., Евтухова Т.Е. Композиционный материал для гетерогенного катализа.....	82
---	----

НАНОМАТЕРИАЛЫ И НАНОТЕХНОЛОГИИ

Витязь П. А., Ильющенко А. Ф., Сеньють В. Т., Хейфец М. Л., Черняк И. Н., Кусин Р. А., Жегздринь Д. И., Колмаков А. Г. Спекание под давлением алюмоматричного композиционного материала, модифицированного шунгитовым углеродом	88
Ильющенко А. Ф., Андреев М. А., Маркова Л. В., Лисовская Ю. О. Исследование структуры и триботехнических характеристик многослойных наноструктурных покрытий с различной толщиной монослоя.....	95
Лиопо В. А., Овчинников Е. В., Струк В. А., Градска-Далке М. Геометрический критерий наноразмерности.....	105
Овчинников В. И., Судник Л. В., Чурик М. Н., Казаневская И. Н. Особенности получения наноструктурированных упрочненных алюминиевых сплавов.....	109

КЕРАМИЧЕСКИЕ И СВЕРХТВЕРДЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Гамеза Л. М., Витязь П. А., Антонович Я. В., Мосунов Е. И., Сеньють В. Т., Унярха Л. С. Синтез кубического нитрида бора в системе BN – NaN ₃	115
Ильющенко А. Ф., Барай С. Г., Лецко А. И., Кашаед Е. А., Жук Е. В., Насонова Н. В. Электрофизические свойства композиционного материала Ti-Al-N в диапазоне радиочастот.....	119
Ильющенко А. Ф., Барай С. Г., Мигаль К. В., Жук Е. В. Исследование процесса каталитического удаления термопластичного связующего из заготовок инъекционного формования.....	125
Ильющенко А. Ф., Осипов В. А., Звонарев Е. В., Витко Ж. А., Бабура Д. В. Влияние армирующих добавок и температуры силицирования на структуру и свойства реакционно-связанной керамики на основе карбида кремния.....	132
Сеньють В. Т., Жорник В. И., Валькович И. В., Парницкий А. М., Ковалева С. А., Мосунов Е. И., Маркова Л. В., Гамзелева Т. В. Получение методом термобарического спекания композитов на основе алмаза и КНБ, модифицированных Si и SiC.....	142

ПОРИСТЫЕ ПОРОШКОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ ИЗ НИХ

Азарова Т. А., Азаров С. М., Иванец А. И., Петюшик Е. Е., Кульбицкая Л. В., Шемченко С. В. Особенности получения пористых материалов на основе монгольского кварцевого сырья.....	151
Докторов В. В., Мазюк В. В., Анчевский П. С. Исследование влияния предварительного окисления порошка меди на усадку капиллярных структур тепловых труб.....	159
Ильющенко А. Ф., Капцевич В. М., Корнеева В. К., Закревский И. В. Проницаемые материалы из медных кабельных отходов Сообщение 4. Совершенствование метода сухого изостатического прессования для изготовления композиционных многослойных трубчатых фильтроэлементов на основе медных волоконных отходов.....	162
Ильющенко А. Ф., Капцевич В. М., Корнеева В. К., Закревский И. В. Проницаемые материалы из медных кабельных отходов Сообщение 5. Развитие метода сухого изостатического прессования для изготовления композиционных фильтроэлементов с развитой поверхностью фильтрования из медных волоконных отходов и металлической сетки.....	166
Мазюк В. В., Докторов В. В. Особенности применения порошковых капиллярных структур миниатюрных контурных тепловых труб с перевернутым и неперевернутым мениском.....	171
Савич В. В. Перспективные методы совершенствования комплекса структурных и эксплуатационных свойств пористых материалов из порошков титана.....	173

Шелухина А. И., Степанова К. В., Кокатев А. Н., Толстик В. Е. Модификация поверхности пористых материалов из губчатого порошка титана методом анодного оксидирования.....	180
---	-----

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ

Александров В.М., Лобачев В.А., Дроздов А.В. Формование вставок из легкоплавких металлов для систем газоснабжения.....	185
Дмитрович А. А., Лешок А. В., Роговой А. Н., Сарока Д. И. Исследование контртела из стали 65Г, работающего в гидромеханической коробке передач совместно с фрикционным диском из поликомпонентного композиционного фрикционного материала в условиях граничного трения.....	190
Лобачев В. А., Дроздов А. В., Шмурадко В. Т. Моделирование процессов импульсного формования изделий с геометрией полого цилиндра.....	196
Маркова Л. В., Коледа В. В., Колодинская Н. С. Особенности исследования гранулометрического состава порошков на лазерном анализаторе «MASTERSIZER».....	201
Судник Л. В., Рудницкий Ф. И., Рудницкий К. Ф., Николайчик Ю. А. Применение тонкодисперсных материалов для модифицирования сплавов на основе цинка.....	208

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПОКРЫТИЯ И СОЕДИНЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ

Андреев М. А., Маркова Л. В., Суворов А. Н., Гамзелева Т. В. Твердосмазочные покрытия на основе дисульфида вольфрама.....	211
Ильющенко А. Ф., Шевцов А. И., Асташинский В. М., Кузьмицкий А. М., Громыко Г. Ф., Маркова Л. В., Лецко А. И., Буйкус К. В., Козорез А. А. К вопросу формирования износостойких композиционных покрытий из обмазки с применением СВС – процесса и высокоэнергетических воздействий.....	216
Ильющенко А. Ф., Шевцов А. И., Асташинский В. М., Кузьмицкий А. М., Громыко Г. Ф., Мацука Н. П., Фомихина И. В., Лецко А. И., Ильющенко Т. А., Козорез А. С. Исследование и оптимизация процессов формирования покрытий при обработке обмазки из СВС – реагентов импульсами высококонцентрированных потоков энергии.....	222
Манойло Е. Д., Затока А. Е., Онащенко Ф. Е. Непрерывное газопламенное нанесение покрытий на режущие кромки деталей кормоуборочной техники.....	229
Микуцкий В. А., Сморгы О. Л., Ильющенко А. Ф., Stathopoulos V., Trusca I., Trusca O.D. Получение композиционных плакированных порошков. Режимы работы раствора химического никелирования.....	233

ОБМЕН ОПЫТОМ

Дмитрович А. А., Лешок А. В., Роговой А. Н., Сарока Д. И. Композиционные фрикционные материалы: основные виды и требования к ним.....	241
---	-----

ХРОНИКА. ВЫСТАВКИ. КОНФЕРЕНЦИИ. ЮБИЛЕИ

15-я международная специализированная выставка «Порошковая металлургия–2015» и 15-я Международная специализированная выставка «Сварка и резка–2015» (г. Минск, 7–10 апреля 2015 г.).....	247
Петюшику Евгению Евгеньевичу – 50 лет.....	250
Ярковичу Александру Михайловичу – 60 лет.....	251
Дорофееву Юрию Григорьевичу – 85 лет.....	252
Забавскому Михаилу Тимофеевичу – 80 лет.....	254
Манойло Евгению Даниловичу – 70 лет.....	255
Раку Анатолию Леонидовичу – 60 лет.....	256
Астапчик Станислав Александрович. К 80-летию.....	257

Дорошкевич Евгений Адамович. К 80-летию.....	258
Роман Олег Владиславович. К 90-летию.....	259
Анонс.....	261

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF BELARUS

STATE RESEARCH AND PRODUCTION
POWDER METALLURGY ASSOCIATION

STATE SCIENTIFIC INSTITUTION «POWDER METALLURGY INSTITUTE»

POWDER METALLURGY

REPUBLICAN INTERDEPARTMENTAL COLLECTION OF SCIENTIFIC PAPERS

Founded in 1977. Annual edition

Issue 38

CONTENTS

Ilyushchenko A. PH. , Savich V.V. Current state of powder metallurgy in Western Europe: trends and prospects.....	7
THEORETICAL AND TECHNOLOGICAL FOUNDATIONS OF OBTAINING, PROCESSING AND APPLICATION OF POWDER AND COMPOSITE MATERIALS	
Gromyko G. F., Ilyuschenko A. PH. , Shevtsov A. I. , Okovity V. V. Complex programs testcoat for study of temperature fields, stresses and strains in the two-dimensional sample with a multilayer coating.....	18
Gorohkov V. M., Guchen V. N., Tarusov I. N. Finite element analysis of stress strain and density distribution during pressing complicated powder parts. Message 1. Modelling of gear tooth densification.....	22
Gorohkov V. M., Tarusov I. N. Structure and properties of powder infiltrated composite Materials «tungsten (tungsten carbide) – silver».....	30
Dyachkova L. N. Infiltration-assisted production of copper-based antifriction materials.....	39
Ilyuschenko A. Ph., Gromyko G. F., Matsuka N. P., Shevtsov A. I. Numerical experiments for the technological parameters choice of high-energy processing at a forming antiwear composite covering of the plastering with shs – reagents.....	45
Letsko A. I., Talako T. L., N. M. Parnitsky Regularities mechanoactivated shs ultra- and nano-dispersed powders ferromagnetic spinel.....	58
Martirosyan V.H., Savich V.V., Lisovskaya Yu. O., Sasuntsyan M.E., Zakaryan E.G. Behaviour of slags of steel works at mechanochemical activation.....	62
Ovchinnikov V.I., Ilyushchenko A.Ph. Transition from crystalline to amorphous state during dynamic treatment of steel with high-speed flows of particles.....	71
Ovchinnikov V. I. Process analysis of high-speed particle flow impacts with obstacles and their influence on microcircuit parameters.....	75
Petyushik E. E., Tihov S. Ph., Romanenkov V. E., Pinchuk T. I., Evtuhova T. E. Composite material for heterogeneous catalysis.....	82

NANOMATERIALS AND NANOTECHNOLOGIES

Vityaz P. A., Ilyushchenko A.F., Senyut V.T., Kheifez M. L., Charniak I.N., Kusin R.A., Zhezdryn D.I., Kolmakov A.G. Pressure sintering of aluminum-matrix composite material modified with shungite carbon.....	88
Ilyushchenko A. Ph., Andreev M. A., Markova L.V., Lisovskaya Yu. O. Investigation of the structure and tribological characteristics of multilayer nanostructured coatings with different thickness monolayer.....	95
Liopo V. A., Ovchinnikov V. I., Struk V. A., Gradzka-Dahlke M. The geometrical criterions of nanoparticles.....	105
Ovchinnikov V. I., Sudnik L. V., Churikov M. N., Kazanevskaya I. N. Peculiarities of manufacturing hardened nanostructured aluminum alloys.....	109

CERAMIC AND SUPERHARD MATERIALS

Gameza L. M., Vityaz P. A., Antonovich Ya. V., Mosunov E. I., Senyut V. T., Unyarkha L. S. Synthesis of cubic boron nitride in the BN – NaN ₃ system.....	115
Ilyushchenko A. Ph., Barai S. G., Letsko A. I., Kashaed E. A., Zhuk E. V., Nasonova N. V. Electrophysical properties of composite material TI-AL-N in radio frequency range.....	119
Ilyushchenko A. Ph., Barai S. G., Migal K. V., Zhuk E. V. Study of catalytic removal thermoplastic binder from injection molding preforms.....	125
Ilyushchenko A. Ph., Osipov V. A., Zvonarev E. V. , Vitko Zh. A., Babura D. V. Influence of reinforcing agents and siliconization temperature on the structure and certain properties of reaction-bonded ceramics based on silicon carbide.....	132
Senyut V. T., Zhornik V. I., Valkovich I. V., Parnitsky A. M., Kovaliova S. A., Mosunov E. I., Markova L. V., Gamzeleva T. V. Obtaining by the method of thermobaric sintering composites based on diamond and cbn modified with Si and SiC.....	142

POROUS POWDER MATERIALS AND PRODUCTS THEREOF

Azarova T. A., Azarov S. M., Ivanets A. I., Piatsiushyk Y. Y., Kulbitskaya L. V., Shemchenok S. V. The features of obtaining of porous materials based on mongolian quartz raw.....	151
Doktarau V. V., Maziuk V. V., Ancheuski P. S. Investigation of influence of previous oxidation of the copper powder on the shrinkage of the heat pipes capillary structure.....	159
Ilyushchenko A. Ph., Kaptsevich V. M., Korneeva V. K. , Zakrevskiy I. V. Permeable materials from copper cable wastes. Report 4. Improvement of dry isostatic pressing technique for manufacturing composite multilayer tubular filter elements based on copper fiber wastes.....	162
Ilyushchenko A. Ph., Kaptsevich V. M., Korneeva V. K. , Zakrevskiy I. V. Permeable materials from copper cable wastes. Report 5. Improvement of dry isostatic pressing technique for manufacturing composite filter elements with developed filtering surface made from copper fiber waste and metal mesh.....	166
Maziuk V. V., Doktarau V. V. Features of the application of miniature loop heat pipes powder capillary structures with inverted and not inverted meniscus.....	171
Savich V. V. Advanced methods for improving structural and operational properties of porous materials made of titanium powder.....	173
Sheluhina A. I., Stepanova K. V., Kokatev A. N., Tolstik V. E. Surface modification of porous materials made of sponge titanium powder by means of anodic oxidation.....	180

PHYSICOCHEMICAL INVESTIGATION OF MATERIALS

Aleksandrov V. M., Lobachev V. A., Drozdov A. V. Forming inserts of low-melting metals for gas.....	185
--	-----

Dmitrovich A. A., Leshok A. V., Rogovoy A. N., Saroka D. I. Study of a counterbody made of 65g, steel engaged in hydromechanic transmission together with a friction disc made of multicomponent composite friction material under boundary friction conditions.....	190
Lobachev V. A., Drozdov A. V., Shmuradko V. T. Modeling the processes of pulse forming products with a geometry of a hollow cylinder.....	196
Markova L. V., Koleda V. V., Kolodinskaya N. S. Particularities of studying powder grading by means of ‘MASTERSIZER’ laser analyzer.....	201
Sudnik L. V., Rudnitskiy F. I., Rudnitskiy K. Ph., Nikolaychik Y. A. Application of fine materials for modification of zinc-based alloys.....	208

FUNCTIONAL COATINGS AND MATERIAL COMPOUNDS

Andreev M. A., Markova L. V., Suvorov A. N., Gamzeleva T. V. Tungsten disulfide-based solid lubricant coatings.....	211
Ilyuschenko A. Ph., Shevtsov A. I., Astashinsky V. M., Kuzmitski A. M., Gromyko G. F., Markova L.V., Letsko A. I., Buikus K. V., Kozorez A. A. Question of forming of the wear-resistance composition coatings of plaster using shs-process and high-energy influences.....	216
Ilyuschenko A.Ph., Shevtsov A.I., Astashinsky V.M., Kuzmitski A.M., Gromyko G.F., Matsuka N.P., Fomikhina I.V., Letsko A.I. , Ilyuschenko T.A., Kozorez A.S. Research and optimization of coatings forming processes at processing of shs-reagents plaster by impulses of the high-concentrated flows of energy.....	222
Manoilo E. D., Zatoka A. E., Onaschenko F. E. Continuous gas-flame application of coating on cutting edges of forage harvester parts.....	229
Mikutski V. A., Smorygo O. L., IlyushchenkoA. Ph. , Stathopoulos V., Trusca I., Trusca O. D. Manufacture of composite clad powders operating regimes of the solution for electroless nickel plating.....	233

EXCHANGE OF EXPERIENCE

Dmitrovich A. A., Leshok A. V., Rogovoy A. N., Saroka D. I. Composite friction materials: main types and requirements.....	241
---	-----

CHRONICLE. EXHIBITIONS. CONFERENCES. ANNIVERSARIES

15th International specialized exhibition «Powder Metallurgy – 2015» (April 7-10, 2015, Minsk).....	247
Petyushik Evgeny Evgenyevich – 50 years.....	250
Yarkovich Aleksandr Mikhailovich – 60 years.....	251
Dorofeev Yuri Grigoryevich – 85 years.....	252
Zabavsky Mikhail Timofeyevich – 80 years.....	254
Manoilo Evgeny Danilovich – 70 years.....	255
Rak Anatoly Leonidovich – 60 years.....	256
Astapchik Stanislav Aleksandrovich.....	257
Doroshkevich Evgeny Adamovich.....	258
Roman Oleg Vladislavovich.....	259
Announcement.....	261

**СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ
В ЗАПАДНОЙ ЕВРОПЕ: ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ**

А. Ф. Ильющенко, В. В. Савич

*Институт порошковой металлургии, ул. Платонова 41, 220005, Минск, Беларусь,
e-mail: savich@pminstitute.by*

Поступила 05.11.2015 г.

Статья подготовлена по материалам Европейского конгресса порошковой металлургии ЕвроПМ 2015 и представляет собой анализ тенденций и перспектив развития отрасли, представленных в материалах докладов и в презентациях, сделанных на пленарном и секционных заседаниях конгресса. Авторами также высказано и собственное субъективное мнение по поводу перспектив развития порошковой металлургии в Европе и в мире.

**CURRENT STATE OF POWDER METALLURGY IN WESTERN EUROPE:
TRENDS AND PROSPECTS**

A. Ph. Ilyuschenko, V. V. Savich

*Powder Metallurgy Institute, Minsk, Belarus, tel. (+375 17) 292-25-26,
e-mail: savich@pminstitute.by*

This article has been written following the European Powder Metallurgy Congress EuroPM 2015. The paper analyses trends and prospects of powder metallurgy considered in the reports and presentations delivered at the plenary and breakout sessions. The authors have also expressed their own opinions on the prospects for the development of powder metallurgy in Europe and the rest of the world.

**КОМПЛЕКС ПРОГРАММ TESTCOAT ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ
ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ, НАПРЯЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ
В ДВУМЕРНОМ ОБРАЗЦЕ С МНОГОСЛОЙНЫМ ПОКРЫТИЕМ**

Г.Ф. Громыко¹, А.Ф. Ильюшенко², А.И. Шевцов², В.В.Оковитый³

¹*Институт математики, ул. Сурганова, 11, 220072, г. Минск, Беларусь*

²*Институт порошковой металлургии, ул. Платонова, 41, 220005, г. Минск, Беларусь*

³*Белорусский национальный технический университет, пр. Независимости 65, Минск, Беларусь*

Поступила 15.07.2015 г.

В статье описан комплекс программ TestCoat, предназначенный для исследования температурных полей, напряжений и деформаций в двумерном образце с многослойным покрытием в зависимости от граничных температурных условий и условий нагружения.

**COMPLEX PROGRAMS TESTCOAT FOR STUDY OF TEMPERATURE FIELDS, STRESSES
AND STRAINS IN THE TWO-DIMENSIONAL SAMPLE WITH A MULTILAYER COATING**

G.F Gromyko¹, A.PH. Ilyuschenko², A.I. Shevtsov², V. V. Okovity³

¹*Institute of mathematics, Minsk, Belarus*

²*Powder Metallurgy Institute, Minsk, Belarus*

³*Belarusian national technical university, Minsk, Belarus*

This paper describes a complex of programs TestCoat, designed to study the temperature fields, stresses and strains in the two-dimensional sample with a multilayer coating, depending on the boundary conditions of temperature and loading conditions.

**КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ И ПЛОТНОСТИ ПРИ
ПРЕССОВАНИИ ДЕТАЛЕЙ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ.
СООБЩЕНИЕ 1. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРЕССОВАНИЯ ЗУБА ШЕСТЕРНИ**

В. М. Горохов, В. Н. Гучек, И. Н. Тарусов

*Институт порошковой металлургии, ул. Платонова, 41, 220005, Минск, Беларусь,
e-mail: gorokhov47@mail.ru*

Поступила 27.04.2015 г.

Проведено исследование распределения плотности и величины упругого последдействия в зубчатом венце при прессовании деталей типа «шестерня» для разных значений коэффициента внешнего трения. Показано, что увеличение давления прессования способствует уменьшению градиента относительной плотности в прессовке, вызванной контактным трением. Величины упругого последдействия смесей Densmix на основе диффузионно-легированных порошков Distaloy AE и DC находятся в интервале значений 0,1 - 0,2 % в зависимости от условий прессования, что обеспечивает правильное проектирование прессовочного инструмента.

**FINITE ELEMENT ANALYSIS OF STRESS STRAIN AND DENSITY DISTRIBUTION
DURING PRESSING COMPLICATED POWDER PARTS.
MESSAGE 1. MODELLING OF GEAR TOOTH DENSIFICATION**

V. M. Gorokhov, V. N. Guchek, I. N. Tarusov

Powder Metallurgy Institute, Minsk, Belarus

There have been investigated the distributions of density and springback after pressing powder gears under different values of friction ratio. It has been shown that increasing the applied pressure leads to decrease of density gradients caused contact friction. Springback values for the warm compacted Densmix mixtures based on diffusion alloyed powders Distaloy AE u DC are in the interval of 0,1 – 0,2 % that allows to proper calculate tooling for compaction and sizing the powder parts.

**СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ИНФИЛЬТРИРОВАННЫХ
ПОРОШКОВЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ
СИСТЕМЫ ВОЛЬФРАМ (КАРБИД ВОЛЬФРАМА) – СЕРЕБРО**

В. М. Горохов, И. Н. Тарусов

*Институт порошковой металлургии, ул. Платонова, 41, 220005, г. Минск, Беларусь,
e-mail: gorokhov47@mail.ru*

Поступила 27.04.2015 г.

Исследован процесс получения, структура и свойства порошковых композиционных материалов, содержащих вольфрам (карбид вольфрама), серебро и никель. Жидкофазным спеканием в вакууме и инфильтрацией при температурах 1100–1200 °С получены электроконтактные материалы с плотностью 11,4–12,6 г/см³, содержащие 30–45% тугоплавкой фазы с пористостью 0,5–2%. Электроконтактные материалы, с более высоким содержанием тугоплавкой фазы 40–60% и повышенной плотностью 11,8–14,0 г/см³ получены инфильтрацией отожженных прессовок, подвергнутых доуплотнению до относительной плотности 75–90%.

**STRUCTURE AND PROPERTIES OF POWDER INFILTRATED COMPOSITE MATERIALS
TUNGSTEN (TUNGSTEN CARBIDE) – SILVER**

V. M. Gorokhov, I. N. Tarusov

Powder Metallurgy Institute, Minsk, Belarus

There have been investigated the peculiarities of manufacturing, structure and properties of powder composites materials containing tungsten (tungsten carbide), silver and nickel. Shown that using liquid-phase sintering and infiltration of powder compacts in vacuum allows producing composite materials W–Ag–Ni, WC–Ag–Ni, W–WC–Ag–Ni at temperatures 1100–1200 °C with density of 11.4–12.6 g/cm³ comprising 30–45% of refractory phase. Electrical contact materials with higher content of refractory phase 40–60% and increased density of 11.8–14.0 g/cm³ can be manufactured by infiltration annealed compacts subjected to the re-pressing up to relative density 75–90%.

**ПРОЦЕССЫ ПОЛУЧЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ МЕДИ
АНТИФРИКЦИОННОГО НАЗНАЧЕНИЯ ИНФИЛЬТРАЦИЕЙ**

Л. Н. Дьячкова

*Институт порошковой металлургии», ул. Платонова, 41, 220005г. Минск, Беларусь,
e-mail: dyachkova@tut.by*

Поступила 22.07.2015 г.

Представлены результаты исследований влияния режимов инфильтрации оловом на триботехнические и механические свойства порошковых антифрикционных материалов на основе меди. Показано, что инфильтрация меди оловом позволяет повысить триботехнические свойства медных материалов, минимальный коэффициент трения и максимальное давление схватывания наблюдались у двухслойного инфильтрированного оловом материала, состоящего из слоя меди и слоя меди с добавкой 3% порообразователя.

INFILTRATION-ASSISTED PRODUCTION OF COPPER-BASED ANTIFRICTION MATERIALS

L. N. Dyachkova

Powder Metallurgy Institute, Minsk, Belarus, e-mail: dyachkova@tut.by

We provided the results of studies concerning the influence of tin infiltration conditions on tribological and mechanical properties of copper-based anti-friction powder materials. It was proved that tin infiltration of copper improves tribological properties of copper materials. We observed the minimum friction coefficient and maximum setting pressure in the two-layered tin infiltrated material consisting of a copper layer and a copper layer with 3% of blowing agent.

**ЧИСЛЕННЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ ДЛЯ ВЫБОРА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ОБМАЗКИ С СВС – РЕАГЕНАМИ ПРИ
ФОРМИРОВАНИИ ИЗНОСОСТОЙКИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ**

А. Ф. Ильющенко¹, Г. Ф. Громыко², Н. П. Мацука², А. И. Шевцов¹

¹*Институт порошковой металлургии, ул. Платонова, 41, 220005, г. Минск, Беларусь*

²*Институт математики, ул. Сурганова, 11, 220072, г. Минск, Беларусь*

Поступила: 15.07.2015 г.

В работе представлены результаты вычислительного эксперимента по исследованию тепловых процессов при формировании композиционного покрытия на основе карбида титана. Разработана математическая модель тепловых процессов при воздействии импульсом плазмы на обмазку, содержащую СВС - реагенты, с инициированием самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. Краевая задача решалась методом конечных объемов в двумерной постановке с использованием итерационных процессов. Проведена серия численных экспериментов по изучению поведения исходной шихты при различной обработке образца. Показано, что характер СВС существенно зависит от мощности плазменной струи, дистанции обработки, подогрева подложки и др. С помощью вычислительных экспериментов установлены оптимальные режимы обработки и предварительного подогрева подложки.

**NUMERICAL EXPERIMENTS FOR THE TECHNOLOGICAL PARAMETERS CHOICE OF
HIGH-ENERGY PROCESSING AT A FORMING ANTIWEAR COMPOSITE COVERIATING OF
THE PLASTERING WITH SHS – REAGENTS**

A. Ph. Ilyuschenko¹, G. F. Gromyko², N. P. Matsuka², A. I. Shevtsov¹

¹*Powder Metallurgy Institute, Minsk, Belarus*

²*Institute of mathematics, Minsk, Belarus*

The mathematical model of thermal processes at influence by a plasma impulse on the plaster containing SHS-reagents with initiation of the self-propagating high temperature synthesis is developed. A series of numerical experiments on studying of behavior of initial charge at various processing of a sample is carried out. It is shown that a character of SHS significantly depends on the heating of a substrate, duration of an impulse, material of an inert matrix, preliminary mechanoactivation of SHS-reagents.

**ПОЛУЧЕНИЕ УЛЬТРА- И НАНОДИСПЕРСНЫХ ПОРОШКОВ
ФЕРРОМАГНЕТИКОВ-ШПИНЕЛЕЙ МЕТОДОМ МЕХАНОАКТИВИРУЕМОГО
САМОРАСПРОСТРАНЯЮЩЕГОСЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СИНТЕЗА**

А. И. Лецко, Т. Л. Талако, Н. М. Парницкий

Институт порошковой металлургии, ул. Платонова, 41, 220005, г. Минск, Беларусь,

e-mail: skeyone@rambler.ru

Поступила 15.07.2015 г.

Магнитомягкие ультра- и нанодисперсные порошки ферромагнетиков – шпинелей $NiFe_2O_4$ и $CoFe_2O_4$ получены методом механоактивируемого самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. Полученные порошки имели сложную многоуровневую структуру со средним размером первичных частиц от 20 до 150 нм.

**PREPARATION ULTRA- AND NANO-DISPERSED FERROMAGNETIC SPINEL
POWDERS BY MECHANICALLY ACTIVATED SHS**

A. I. Letsko, T. L. Talako, N. M. Parnitsky

Powder Metallurgy Institute, Minsk, Belarus, e-mail: skeyone@rambler.ru

Ultra- and nano-dispersed soft magnetic powders ferromagnets - spinel $CoFe_2O_4$ and $NiFe_2O_4$, prepared by a method mechanoactivated by SHS. The synthesized powders using mechanical activation complex had a layered structure with an average primary particle size of from 20 to 150 nm.

ПОВЕДЕНИЕ ШЛАКОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ЗАВОДОВ ПРИ МЕХАНОХИМИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ

В. А. Мартиросян¹, В. В. Савич², Ю. О. Лисовская², М. Э. Сасунцян¹, Э. Г. Закарян³

¹Государственный инженерный университет Армении (Политехник), Ереван, Армения

²Институт порошковой металлургии, ул. Платонова, 41, 220005, г. Минск, Беларусь

³ЗАО «Техут», Ереван, Армения

Поступила 17. 08. 2015 г.

Обсуждается процесс механохимической активации шлаков медного и молибденового производства действующих металлургических заводов Армении методом их тонкого измельчения в вибромельнице в водном режиме. Показано, что при тонком измельчении (до 10 мкм) шлаки, содержащие сложные малореакционноспособные соединения железа и кремния, подвергаются глубоким химическим изменениям, превращаясь в аморфные оксиды. Полученные активированные оксиды могут служить сырьем для получения железо- и кремнийсодержащего сплава - ферросилиция. Результаты исследования подтверждены методами химического, гранулометрического и рентгенофазового анализов.

BEHAVIOUR OF SLAGS OF STEEL WORKS AT MECHANOCHEMICAL ACTIVATION

V. H. Martirosyan¹, V. V. Savich², Yu. O. Lisovskaya², M. E. Sasuntsyan, E. G. Zakaryan³

¹State Engineering University of Armenia, Yerevan, Armenia

²Powder Metallurgy Institute, Minsk, Belarus

³«Teghout», Yerevan, Armenia

Process of mechanochemical activation of copper and molybdenic production of the operating steel works of Armenia by method of their thin crushing in a vibromill in the water mode is discussed. It is shown that at thin crushing (before -10 μm) the slags containing difficult a little reactive compound of iron and silicon are exposed to profound chemical changes, turning into amorphous oxides. The received activated oxides can serve syry for receiving an iron-and siliceous alloy - ferrosilicium. The received results are confirmed with methods of chemical, granometrishesky and X-ray phase analyses. Keywords: slags of steel works, mechanochemical activation, crushing, iron, silicon.

**ПЕРЕХОД ИЗ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ В АМОРФНОЕ
ПРИ ДИНАМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ СТАЛЕЙ ВЫСОКОСКОРОСТНЫМИ
ПОТОКАМИ МИКРОЧАСТИЦ**

В. И. Овчинников, А. Ф. Ильющенко

*Научно-исследовательский институт импульсных процессов с опытным производством,
ул. Платонова, 12б, 220005, г. Минск, Беларусь*

Поступила 06. 07. 2015 г.

В статье описано современное понимание механизма аморфизации материалов, обработанных высокоскоростными потоками частиц. Показано, что в условиях высокой степени пластической деформации и при введении микрочастиц в вещество, начинается процесс перехода структуры в аморфное состояние, что приводит в конечном итоге к образованию аморфной фазы. Динамическое легирование металлов и сплавов частиц способствует фазовому переходу кристаллического вещества в аморфное состояние.

**TRANSITION FROM CRYSTALLIC TO AMORPHOUS STATE DURING DYNAMIC
TREATMENT OF STEEL WITH HIGH-SPEED FLOWS OF PARTICLES**

V. I. Ovchinnikov, A. Ph. Ilyushchenko

Research Institute of Pulse Processes with Pilot Plant, Minsk, Belarus

The article considers the modern understanding of the mechanism amorphization of materials treated with high-speed flows of particles. It is shown that in the field of extremely high degree of plastic deformation and the introduction of micro-particles in the material is the process of amorphization structure, leading eventually to the formation of the amorphous phase. Dynamic alloying of metals and alloys particles contributes to the phase transition of crystalline material in the amorphous state.

АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО СОУДАРЕНИЯ ПОТОКОВ ЧАСТИЦ С ПРЕГРАДОЙ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА СВОЙСТВА МИКРОСХЕМ

В. И. Овчинников

*Научно-исследовательский институт импульсных процессов с опытным производством,
ул. Платонова, 12б, г. Минск, Беларусь, e-mail: OvchinnikovVI@yandex.ru*

Поступила 21. 07. 2015 г.

В работе представлен анализ процессов высокоскоростного взаимодействия потоков микрочастиц с преградой, результаты экспериментальных и теоретических исследований зависимости глубины проникания микрочастиц в различные материалы от энергии ускорителя, скорости и размера микрочастиц, влияния соударения и проникания микрочастиц на дефектообразование в структуре материалов после воздействия высокоскоростным потоком микрочастиц на различных субструктурных уровнях протекания процесса.

PROCESS ANALYSIS OF HIGH-SPEED PARTICLE FLOW IMPACTS WITH OBSTACLES AND THEIR INFLUENCE ON MICROCIRCUIT PARAMETERS

V. I. Ovchinnikov

*Research Institute of Pulse Processes with Pilot Plant, Minsk, Belarus,
e-mail: OvchinnikovVI@yandex.ru*

The paper provides the analysis of the processes of high-speed interaction of the flows of microparticles with an obstacle, the results of experimental and theoretical studies of the dependence of the depth of penetration of microparticles in various materials from the energy of the accelerator, the speed and size of the particles, the impact of the impact and penetration of microparticles on defect formation in the structure of the materials after the impact of the high-speed stream of particles at different substructures levels of the process.

КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ ГЕТЕРОГЕННОГО КАТАЛИЗА

Е. Е. Петюшик¹, С. Ф. Тихов², В. Е. Романенков², Т. И. Пинчук¹, Т. Е. Евтухова²

¹Институт порошковой металлургии, ул. Платонова, 41, 220005, Минск, Беларусь,
e-mail: pet65@bk.ru

²Институт катализа им Г.К. Борескова СО РАН, пр. акад. М.А. Лаврентьева, 5, 630090,
г. Новосибирск, Россия

³Белорусский национальный технический университет, пр. Независимости, 65, 220113, Минск,
Беларусь, e-mail: rom52@mail.ru

Поступила 01. 10. 2015 г.

Исследована структура пористого материала, синтезированного из механически активированного порошка Cu-Al (13 вес.% Al) на компактной подложке из коррозионно-стойкой стали 12X18H9T, исследована структура переходного слоя и установлено наличие фазовых контактов между синтезированным пористым материалом и компактной подложкой.

COMPOSITE MATERIAL FOR HETEROGENEOUS CATALYSIS

E. E. Petyushik¹, S. Ph. Tihov², V. E. Romanenkov², T. I. Pinchuk¹, T. E. Evtuhova²

¹Powder Metallurgy Institute, Minsk, Belarus, e-mail: pet65@bk.ru

²Boreskov Institute of Catalysis SB RAS, Novosibirsk, Russia

³Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, e-mail: rom52@mail.ru

This paper presents a structure investigation of the porous material synthesized from mechanically activated powder Cu-Al (13 % wt Al) on a compact substrate of corrosion-resistant steel 12X18H9T. We studied the structure of the transition layer and revealed presence of phase contacts between the synthesized porous material and compact substrate.

СПЕКАНИЕ ПОД ДАВЛЕНИЕМ АЛЮМОМАТРИЧНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА, МОДИФИЦИРОВАННОГО ШУНГИТОВЫМ УГЛЕРОДОМ

П.А. Витязь¹, А.Ф. Ильюшенко^{2,3}, В.Т. Сеньют³, М.Л. Хейфец⁴, И.Н. Черняк³,
Р.А. Кусин³, Д.И. Жегздринь³, А.Г. Колмаков⁵

¹Президиум НАН Беларуси, пр-т. Независимости, 66, 220072, г. Минск, Беларусь

²ГНПО порошковой металлургии, ул. Платонова, 41, 220005, г. Минск, Беларусь

³ГНУ «Институт порошковой металлургии», ул. Платонова, 41, 220005, г. Минск, Беларусь

⁴ГНПО «Центр» НАН Беларуси, ул. Шаранговича, 19, 220018, г. Минск, Беларусь

⁵Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, Ленинский пр-т, 49, 119991, г. Москва, Россия

Поступила 05. 08. 2015 г.

В работе проведено исследование структуры алюминиевого сплава, модифицированного наноструктурированными добавками шунгитового углерода, после термообработки в условиях высокого давления. Показано, что модифицирование шунгитового углерода алюминием способствует повышению химического сродства и прочности удержания наполнителя в алюминиевой матрице. Снижение в шихте концентрации наполнителя с 5 до 1,5 мас. %, а также повышение температуры спекания приводит к уменьшению размеров включений шунгитового углерода до 10–15 мкм, при этом его распределение в композите более равномерно. Установлено, что с ростом температуры спекания наблюдается увеличение микротвердости композита.

PRESSURE SINTERING OF ALUMINUM-MATRIX COMPOSITE MATERIAL MODIFIED WITH SHUNGITE CARBON

Vityaz P. A.¹, Ilyushchenko A. F.^{2,3}, Senyut V. T.³, Kheifez M. L.⁴, Charniak I. N.³, Kusin R. A.³,
Zhehdryn D. I.³, Kolmakov A. G.⁵

¹Presidium of NAS of Belarus, Minsk, Belarus

²The State Scientific and Production Amalgamation of Powder Metallurgy, Minsk, Belarus

³State Scientific Institution The Powder Metallurgy Institute, Minsk, Belarus

⁴The State Scientific and Production Amalgamation "Center", Minsk, Belarus

⁵Institute of Metallurgy and Material Science of RAS, Moscow, Russia

In this paper we investigated the structure of aluminum alloy modified with additives of shungite carbon after heat treatment under high pressure. It has been shown that the introduction of shungite carbon in aluminum matrix inhibits growth of the aluminum grains in the high temperature sintering region and increases the microhardness of the composite material. Reducing the concentration of shungite from 5 to 1.5 wt.% leads to a decrease in size of the inclusions of shungite and promotes their more uniform distribution in the aluminum matrix.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МНОГОСЛОЙНЫХ НАНОСТРУКТУРНЫХ ПОКРЫТИЙ С РАЗЛИЧНОЙ ТОЛЩИНОЙ МОНОСЛОЯ

А. Ф. Ильюшенко¹, М. А. Андреев², Л. В. Маркова¹, Ю. О. Лисовская¹

¹Институт порошковой металлургии, ул. Платонова, 41, 220005, г. Минск, Беларусь

²ОХП Институт сварки и защитных покрытий, ул. Платонова, 12б, 220005, г. Минск, Беларусь

Поступила 24. 08. 2015 г.

Изучается влияние толщины монослоя в многослойном наноструктурном покрытии на его структуру и триботехнические характеристики. Установлена зависимость размера зерна и параметра шероховатости поверхности от толщины монослоя в покрытии. Исследование триботехнических характеристик показало, что образцы с толщиной монослоя 20 и 40 нм на протяжении пути трения более 8 м имеют коэффициент 0,25 – 0,35, что свидетельствует о высоких триботехнических характеристиках. Причем при разрушении одного или нескольких функциональных блоков покрытие возвращается в рабочий режим, за счет поступления на рабочую поверхность новых триботехнических монослоев содержащих дисульфид молибдена.

INVESTIGATION OF THE STRUCTURE AND TRIBOLOGICAL CHARACTERISTICS OF MULTILAYER NANOSTRUCTURED COATINGS WITH DIFFERENT THICKNESS MONOLAYER

A. Ph. Ilyushchenko¹, M. A. Andreev², L. V. Markova¹, Yu. O. Lisovskaya¹

Powder Metallurgy Institute, Minsk, Belarus

SSSI Institute of welding and protective coatings, Minsk, Belarus

Influence of thickness of a monolayer in a multilayered nanostructural covering on its structure and tribotechnical characteristics is studied. Dependence of the size of grain and parameter of a roughness of a surface on monolayer thickness in a covering is established. Research of tribotechnical characteristics showed that samples with thickness of a monolayer of 20 and 40 nanometers throughout a way of friction more than 8 m have coefficient 0,25 – 0,35 that testifies to high tribotechnical characteristics. And at destruction of one or several functional blocks the covering back to an operating mode, due to revenues to a working surface of the new tribotechnical monolayers containing a molybdenum disulfide.

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЙ КРИТЕРИЙ НАНОРАЗМЕРНОСТИ**В.А.Лиопо, Е.В.Овчинников, В.А.Струк, М.Градска-Далке**

¹Гродненский государственный университет им. Янки Купалы,
ул. Ожешко, 22, 230023, г. Гродно, Беларусь, e-mail: ovchin_1967@mail.ru

²Белостокский технический университет, г. Белосток, Польша

Поступила 24. 08. 2015 г.

Атомно-молекулярная структура нанокристаллов зависит от структуры их объемных аналогов. Однако следует учитывать, что удельная поверхностная энергия влияет на энергетическое состояние нанокристаллов. Кроме этого в нанокристалле отсутствует трансляция. Размеры кристаллитов атомов соизмеримы с длиной свободного пробега фонона, а также с размерами плазмонов. Для макрообъектов применяется адиабатическая модель свободного электрона, а для нанокристаллов необходимо использовать модель «электронного желе». Для больших кристаллов применима классическая теория, а для нанокристаллов требуется привлечь аппарат квантовой механики. При описании формы (габитуса) нанокристаллов следует учитывать точечную группу макрокристалла. В идеальном случае кристаллографические индексы поверхностных атомов $[[uvw]]$ соответствует их одинаковым радиус-векторам и так и индексы граней (hkl) связаны друг с другом группой точечной симметрии.

THE GEOMETRICAL CRITERIONS OF NANOPARTICLES**V. A. Liopo, Y. V. Auchynnika, V. A. Struk, M. Gradzka-Dahlke**

*Grodno State University, Grodno, Belarus
Politechnika Bialostocka, Białystok, Polska*

The structure of the bulk crystals allow to determine the habit of the nanocrystales on their base only as a source point. It is impossible to neglect the size, form and influence of surface. The liquids surface relatively quickly passes to equilibrium form when free energy is minimum. Debye's temperature is rather arbitrary parameter. Its determination is based on some approach. However this parameter is introduced to the reference books and is broadly used in the crystal physics. Proposed strategy allows to define habit maximum size of nanoparticles on the base well known physics representations. The L-value is determined the bounder between sizes where it can be done value description and where it's necessary to take into account the particle sizes.

**ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ
УПРОЧНЕННЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ**

В. И. Овчинников, Л. В. Судник, М. Н. Чурик, И. Н. Казаневская

*ОХП «Научно-исследовательский институт импульсных процессов с опытным производством»,
ул. Платонова, 12 б, 220005, Минск, Беларусь*

Поступила 23. 07. 2015 г.

*Исследован способ получения композиционного материала на основе заэвтектического
алюминиевого сплава наноструктурированием с синтезом упрочняющих фаз непосредственно в
расплаве.*

**PECULARITIES OF MANUFACTURING
HARDENED NANOSTRUCTURED ALUMINUM ALLOYS**

V. I. Ovchinnikov, L. V. Sudnik, M. N. Churikov, I. N. Kazanevskaya

SSSI RIPPPP at SSI PMI of NAS of Belarus, Platonova 12b, 220005, Minsk, Belarus

*We studied the method of manufacturing a composite material based on hypereutectic aluminum
alloy using nanostructuring with reinforcing phase synthesis directly within the melt.*

СИНТЕЗ КУБИЧЕСКОГО НИТРИДА БОРА В СИСТЕМЕ BN – NaN₃

Л. М. Гамеза, П. А. Витязь, Я. В. Антонович, Е. И. Мосунов,

В. Т. Сеньют, Л. С. Унярха

Объединенный институт машиностроения, ул. Академическая, 12, 220072, г. Минск, Беларусь

Поступила 13. 05 .2015 г.

Впервые при высоких давлениях и температурах получены микророшки кубического нитрида бора с помощью азиды натрия в качестве инициатора синтеза. Определено оптимальное содержание азиды натрия в смеси, а также оптимальные условия синтеза кубического нитрида бора в системе BN – NaN₃. Максимальное значение степени превращения графитоподобного нитрида бора в кубический в проведенных экспериментах зафиксировано на уровне 72 масс.%, а размер порошков основной фракции кубического нитрида бора составил 2 – 4 мкм.

SYNTHESIS OF CUBIC BORON NITRIDE IN THE BN – NaN₃ SYSTEM

L. M. Gameza, P. A. Vityaz, Ya. V. Antonovich, E. I. Mosunov, V. T. Senyut, L. S. Unyarkha

The Joint Institute of Mechanical Engineering, Minsk, Belarus

The cubic boron nitride micron powders have been first synthesized at high pressures and temperatures using sodium azide as the catalyst. The optimal content of sodium azide in the mixture as well as the optimal conditions of the cubic boron nitride synthesis in the BN – NaN₃ system were determined. The maximum value of the degree of graphitelike boron nitride to cubic boron nitride conversion in these experiments was fixed to be 72 mass. % and the size of powders of basic fraction of cubic boron nitride varied from 2 to 4 μm.

**ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННОГО
МАТЕРИАЛА Ti-Al-N В ДИАПАЗОНЕ РАДИОЧАСТОТ**

**А. Ф. Ильющенко¹, С. Г. Барай¹, А. И. Лецко¹, Е. А. Кашаед¹,
Е. В. Жук¹, Н. В. Насонова²**

¹*Институт порошковой металлургии", ул. Платонова, 41, 220005, Минск, Беларусь,
e-mail: baraysg@yahoo.com*

²*БГУИР, ул. П.Бровки, 6, 220013, Минск, Беларусь, e-mail:nasonovaN@bsuir.by*

Поступила 29. 07. 2015 г.

Изучены электрофизические свойства композиционного материала Ti-Al-N, синтезированного методами СВС и МАСВС. Показано, что материал относится к классу тройных систем $M_{n+1}AX_n$ с так называемой МАХ-фазой и обладает характеристиками, присущими резистивным материалам.

**ELECTROPHISICAL PROPERTIES OF COMPOSITE MATERIAL
TI-AL-N IN RADIO FREQUENCY RANGE**

**A. PH. Ilyushchenko¹, S. G.Barai¹, A. I. Letsko¹, E. A. Kashaed¹, E. V. Zhuk¹,
N. V. Nasonova²**

¹*Powder Metallurgy Institute, Minsk, Belarus*

²*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Belarus*

Electrophysical properties of the composite Ti-Al-N, synthesized by SHS and MASHS are studied. It is shown that the material belongs to the class of ternary system $M_{n+1}AX_n$ with so called MAX-phase and has the characteristics inherent resistive materials.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА КАТАЛИТИЧЕСКОГО УДАЛЕНИЯ
ТЕРМОПЛАСТИЧНОГО СВЯЗУЮЩЕГО
ИЗ ЗАГОТОВОК ИНЖЕКЦИОННОГО ФОРМОВАНИЯ**

А. Ф. Ильющенко , С. Г. Барай , К. В. Мигаль, Е. В. Жук

*Институт порошковой металлургии, ул. Платонова, 41, 220005, Минск, Беларусь,
e-mail: baraysg@yahoo.com*

Поступила 27. 07. 2015 г.

Изучен процесс каталитического удаления термопластичного связующего на основе полиацетала из керамических заготовок инжекционного формования. Исследованы режимы процесса и установлены параметры, определяющие получение бездефектной структуры.

**STUDY OF CATALYTIC REMOVAL THERMOPLASTIC BINDER FROM INJECTION
MOLDING PREFORMS**

A. PH. Ilyushchenko, S. G. Barai , K. V. Migal, E. V. Zhuk

Powder Metallurgy Institute, Minsk, Belarus

The process of catalytic debinding of the thermoplastic binder based on polyacetal from ceramic injection molding parts are study. Modes of the process are investigated and parameters defining obtain defect-free structure are indentify.

**ВЛИЯНИЕ АРМИРУЮЩИХ ДОБАВОК И ТЕМПЕРАТУРЫ СИЛИЦИРОВАНИЯ
НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА РЕАКЦИОННО-СВЯЗАННОЙ КЕРАМИКИ
НА ОСНОВЕ КАРБИДА КРЕМНИЯ**

А. Ф. Ильющенко, В. А. Осипов, Е. В. Звонарёв, Ж. А. Витко, Д. В. Бабура

Институт порошковой металлургии, ул. Платонова, 41, 220005, г. Минск, Республика Беларусь

Поступила 09. 09. 2015 г.

В рамках настоящей работы рассмотрены вопросы повышения прочностных свойств и трещиностойкости SiC-керамики путем модифицирования ее мелкодисперсными частицами бескислородных тугоплавких соединений. Отличительной особенностью в проведенных экспериментах является использование в качестве армирующей фазы относительно крупных по сравнению с применяемыми для армирования микропорошков тугоплавких соединений зернистостью 3-5 мкм. Кроме того, для получения полной картины влияния таких добавок на свойства керамики, полученной при разных температурах реакционного спекания в диапазоне 1500-1800 °С, предполагалось, что положительный результат по повышению прочности может быть достигнут и за счет повышения температуры силицирования.

**INFLUENCE OF REINFORCING AGENTS AND SILICONIZATION TEMPERATURE ON
THE STRUCTURE AND CERTAIN PROPERTIES OF REACTION-BONDED CERAMICS
BASED ON SILICON CARBIDE**

A. Ph. Ilyushchenko, V. A. Osipov, E. V. Zvonarev, Zh. A. Vitko, D. V. Babura

Powder Metallurgy Institute, Minsk, Belarus

In this paper we addressed issues of increasing strength properties and crack resistance of SiC-ceramics by modifying it with fine particles of oxygen-free refractory compounds. A distinctive feature of the performed experiments is usage of refractory compounds with grains of 3–5 microns, as a reinforcing phase. They are relatively large, compared to the compounds applied for reinforcement of industrial micropowders. Furthermore, for better understanding of the influence of such additives on properties of ceramics, obtained at different temperatures during reaction sintering in the range of 1500–1800 °C, it was assumed that strength improvement can also be achieved by raising the temperature of siliconization.

ПОЛУЧЕНИЕ МЕТОДОМ ТЕРМОБАРИЧЕСКОГО СПЕКАНИЯ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ АЛМАЗА И КНБ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ Si И SiC

**В.Т. Сенють¹, В.И. Жорник¹, И.В. Валькович¹, А.М. Парницкий¹,
С.А. Ковалева¹, Е.И. Мосунов¹, Л.В. Маркова², Т.В. Гамзелева²**

¹Объединенный институт машиностроения, ул. Академическая, 12, 220072, г. Минск, Беларусь

²Институт порошковой металлургии, ул. Платонова, 41, 220005, г. Минск, Беларусь

Поступила 12. 05. 2015 г.

Представлены результаты спекания в условиях высоких статических давлений и температур микропорошков алмаза и КНБ после их модифицирования кремнием и карбидом кремния. Показано, что при высоких температурах спекания происходит частичная графитизация алмазных зерен и образование SiC, тормозящего дальнейшую графитизацию алмаза. Модифицирование порошков алмаза и КНБ карбидом кремния SiC позволяет проводить их компактирование при более низком давлении и более высокой температуре по сравнению с исходными порошками СТМ.

OBTAINING BY THE METHOD OF THERMOBARIC SINTERING COMPOSITES BASED ON DIAMOND AND cBN MODIFIED WITH Si AND SiC

**V.T. Senyut¹, V.I. Zhornik¹, I.V. Valkovich¹, A. M. Parnitsky¹,
S. A. Kovaliova¹, E.I. Mosunov¹, L.V. Markova², T.V. Gamzeleva²**

¹The Joint Institute of Mechanical Engineering, Minsk, Belarus

²Powder Metallurgy Institute, Minsk, Belarus

The results of sintering at high static pressures and temperatures of diamond and cBN micron powders after modifying by silicon and a silicon carbide are presented. It is shown that at high temperatures of sintering partial graphitization of diamond grains and formation of SiC, retarding further graphitization of diamond, takes place. Modifying of diamond and cBN powders by silicon carbide SiC allows to compact them at lower pressures and higher temperatures compared to the initial powder of SHM.

**ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ
НА ОСНОВЕ МОНГОЛЬСКОГО КВАРЦЕВОГО СЫРЬЯ**

**Т. А. Азарова¹, С. М. Азаров¹, А. И. Иванец¹, Е. Е. Петюшик²,
Л. В. Кульбицкая¹, С. В. Шемченко¹**

¹*Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси, ул. Сурганова, 9, 220072, Минск, Беларусь,
e-mail: azarova@yahoo.com*

²*Государственное научно-производственное объединение порошковой металлургии,
ул. Платонова, 42, 220005, Минск, Беларусь*

Поступила 20.07.2015 г.

В статье анализируется возможность получения пористой силикатной керамики на основе монгольской осадочной породы местности Хустайн нуруу, Лун сумон, Тав аймаг. Выявлены температурозависимые, структуроопределяющие факторы, влияющие на свойства материалов.

**THE FEATURES OF OBTAINING OF POROUS MATERIALS BASED ON MONGOLIAN
QUARTZ RAW**

**T. A. Azarova¹, S. M. Azarov¹, A. I. Ivanets¹, Y. Y. Piatsiushyk², L. V. Kulbitskaya¹, S. V.
Shemchenok¹**

¹*Institute of General and Inorganic Chemistry, Minsk, Belarus, e-mail: azarava@yahoo.com*

²*State Research and Production Powder Metallurgy Association, Minsk, Belarus*

The possibilities of obtaining of porous ceramic based on Mongolian sedimentary rock have been analyzed in manuscript. The temperature-depended and structure defining factors which effect on properties of materials have been presented.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ОКИСЛЕНИЯ ПОРОШКА МЕДИ НА
УСАДКУ КАПИЛЛЯРНЫХ СТРУКТУР ТЕПЛОВЫХ ТРУБ**

Докторов В.В.¹, Мазюк В.В.², Анчевский П.С.²

¹ *Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
ул. П. Бровки, 6, 220005, г. Минск, Беларусь*

² *Институт порошковой металлургии, ул. Платонова, 41, 220005, г. Минск, Беларусь*

Поступила 24. 07. 2015 г.

В работе показано влияние предварительного окисления медных порошковых капиллярных структур на усадку при спекании. Установлено, что предварительное окисление медного сформованного порошка в интервале температур 325-400 °С снижает усадку при спекании.

**INVESTIGATION OF INFLUENCE OF PREVIOUS OXIDATION OF THE COPPER
POWDER ON THE SHRINKAGE OF THE HEAT PIPES CAPILLARY STRUCTURE**

V.V. Doktorau¹, V.V. Maziuk², P.S. Ancheuski²

¹*Belorussian State University of Informatic and Radioelectronic, Minsk, Belarus*

²*State Scientific Institution "Powder Metallurgy Institute" of National Academy of Sciences of Belarus*

The article shows the influence of the previous oxidation of copper powder capillary structures for heat pipes on the shrinkage while sintering. Previous oxidation of copper powder in the temperature range from 325 °C to 400 °C is established to decrease the shrinkage while sintering.

**ПРОНИЦАЕМЫЕ МАТЕРИАЛЫ ИЗ МЕДНЫХ КАБЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ.
СООБЩЕНИЕ 4. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА СУХОГО
ИЗОСТАТИЧЕСКОГО ПРЕССОВАНИЯ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ
МНОГОСЛОЙНЫХ ТРУБЧАТЫХ ФИЛЬТРОЭЛЕМЕНТОВ
НА ОСНОВЕ МЕДНЫХ ВОЛОКНОВЫХ ОТХОДОВ**

А.Ф. Ильющенко¹, В.М. Капцевич², В.К. Корнеева², И.В. Закревский²

*Государственное научно-производственное объединение порошковой металлургии,
ул. Платонова, 41, 220005, г. Минск, Беларусь, e-mail: alexil@belpak.minsk.by
Белорусский государственный аграрный технический университет,
пр. Независимости, 99, 220023, г. Минск, Беларусь, e-mail: lerakor1974@yandex.by*

Поступила 24. 09. 2015 г.

Предложен и апробирован метод сухого изостатического прессования для изготовления композиционных многослойных трубчатых фильтроэлементов на основе порошковых, волоконных и сетчатых материалов, предусматривающий использование телескопической эластичной оснастки.

**PERMEABLE MATERIALS FROM COPPER CABLE WASTES.
REPORT 4. IMPROVEMENT OF DRY ISOSTATIC PRESSING TECHNIQUE FOR
MANUFACTURING COMPOSITE MULTILAYER TUBULAR FILTER ELEMENTS BASED ON
COPPER FIBER WASTES**

A. Ph. Ilyuschenko¹, V. M. Kaptssevich², V. K. Korneeva², I. V. Zakrevskiy²

*State Research and Production Association of Powder Metallurgy, Minsk, Belarus,
e-mail: alexil@belpak.minsk.by
Belarusian State Agrarian Technical University, Minsk, Belarus,
e-mail: lerakor1974@yandex.by*

We proposed and tested the method of dry isostatic pressing for manufacturing composite multilayer tubular filter elements based on powder, fiber and mesh materials, involving usage of telescopic flexible tooling.

**ПРОНИЦАЕМЫЕ МАТЕРИАЛЫ ИЗ МЕДНЫХ КАБЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ.
СООБЩЕНИЕ 5. РАЗВИТИЕ МЕТОДА СУХОГО ИЗОСТАТИЧЕСКОГО ПРЕССОВАНИЯ
ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ ФИЛЬТРОЭЛЕМЕНТОВ С РАЗВИТОЙ
ПОВЕРХНОСТЬЮ ФИЛЬТРОВАНИЯ ИЗ МЕДНЫХ ВОЛОКНОВЫХ ОТХОДОВ И
МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ СЕТКИ**

А.Ф. Ильющенко¹, В.М. Капцевич², В.К. Корнеева², И.В. Закревский²

*Государственное научно-производственное объединение порошковой металлургии,
ул. Платонова, 41, 220005, г. Минск, Беларусь, e-mail: alexil@belpak.minsk.by
Белорусский государственный аграрный технический университет,
пр. Независимости, 99, 220023, г. Минск, Беларусь, e-mail: lerakor1974@yandex.by*

Поступила: 24.09.2015 г.

Предложен и апробирован метод сухого изостатического прессования для изготовления композиционных фильтроэлементов с развитой поверхностью фильтрования путем использования закладных жестких металлических стержней, устанавливаемых между эластичным элементом и монолитным стержнем.

**PERMEABLE MATERIALS FROM COPPER CABLE WASTES.
REPORT 5. IMPROVEMENT OF DRY ISOSTATIC PRESSING TECHNIQUE FOR
MANUFACTURING COMPOSITE FILTER ELEMENTS WITH DEVELOPED FILTERING
SURFACE MADE FROM COPPER FIBER WASTE AND METAL MESH**

A. Ph. Ilyuschenko¹, V. M. Kaptevich², V. K. Korneeva², I. V. Zakrevskiy²

*¹State Research and Production Association of Powder Metallurgy, Minsk, Belarus,
e-mail: alexil@belpak.minsk.by*

*²Belarusian State Agrarian Technical University, Minsk, Belarus,
e-mail: lerakor1974@yandex.by*

We proposed and tested the method of dry isostatic pressing for manufacturing composite filter elements with a developed filtering surface, through the use of embedded hard metal rods installed between the elastic element and monolithic rod.

**ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПОРОШКОВЫХ КАПИЛЛЯРНЫХ СТРУКТУР
МИНИАТЮРНЫХ КОНТУРНЫХ ТЕПЛОВЫХ ТРУБ С ПЕРЕВЕРНУТЫМ И
НЕПЕРЕВЕРНУТЫМ МЕНИСКОМ**

В. В. Мазюк¹, В. В. Докторов²

¹ *Институт порошковой металлургии, ул. Платонова, 41, 220005, г. Минск, Беларусь*

² *Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий,
Логойский тракт, 22, корп. 2, 220090, г. Минск, Беларусь*

Показаны результаты применения порошковых капиллярных структур миниатюрных контурных тепловых труб с неперевернутым мениском. Установлено, что их коэффициент теплоотдачи превышает коэффициент теплоотдачи порошковых капиллярных структур с перевернутым мениском.

**FEATURES OF THE APPLICATION OF MINIATURE LOOP HEAT PIPES POWDER
CAPILLARY STRUCTURES WITH INVERTED AND NOT INVERTED MENISCUS**

V. V. Maziuk¹, V. V. Doktorau²

¹ *Powder Metallurgy Institute, Minsk, Belarus*

² *Center of LED and Optoelectronic Technologic, Minsk, Belarus*

There are some results of the application of miniature loop heat pipes powder capillary structures with not inverted meniscus in the article. It is shown that heat transfer coefficient for not inverted meniscus is greater than for inverted one.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КОМПЛЕКСА СТРУКТУРНЫХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ПОРОШКОВ ТИТАНА**В. В. Савич**

*Институт порошковой металлургии, ул. Платонова, 41, 220005, г. Минск, Беларусь,
e-mail: savich@pminstitute.by*

Поступила 16.07.2015 г.

В наших предыдущих работах было отмечено, что губчатые порошки титана обладают комплексом уникальных свойств, которые характерны и для пористых материалов, полученных из таких порошков. Это происходит благодаря микро- и наноструктурированной поверхности частиц и оксидной плёнке с увеличенной до 100 нм толщиной, которая образуется в процессе производства порошка. Пористые материалы из губчатых порошков титана обладают: высокой коррозионной стойкостью и биосовместимостью, увеличенной удельной поверхностью по сравнению с пористыми материалами из электролитических порошков, высокой сорбционной ёмкостью, малым краевым углом смачивания водными растворами и т.д. В данной статье мы подытожили результаты собственных исследований и рассмотрели перспективные способы получения пористых материалов (ПМ) из губчатого титанового порошка. Среди них: разработка новых методов повышения механической прочности пористых материалов – микролегирование и использование бидисперсной исходной шихты, которые также косвенно позволяют снизить материалоемкость 1 м^2 компонента пористого порошкового материала и впоследствии его себестоимость за 1 м^2 . Была рассмотрена возможность получения образцов пористых материалов из губчатого порошка титана методом электроимпульсного спекания. Такой материал имеет гораздо большую проницаемость, чем образцы пористых материалов, полученные при помощи традиционной технологии: прессованием стальным пуансоном и спеканием в вакууме или аргоне, при сопоставимой механической прочности.

ADVANCED METHODS FOR IMPROVING STRUCTURAL AND OPERATIONAL PROPERTIES OF POROUS MATERIALS MADE OF TITANIUM POWDER**V. V. Savich**

Powder Metallurgy Institute, Minsk, Belarus, e-mail: savich@pminstitute.by

Our previous reports have shown that spongy titanium powders possess a complex of unique properties that preserve their inheritance in porous materials obtained from these powders due to micro- and nanostructured particle surface and oxide film thickness increased to 100 nm, which are formed during the production of powder: high corrosion resistance and biocompatibility, increased specific surface area compared to electrolytic powders, high sorption capacity, low contact angle of water solutions, etc. Results of own researches are summarized and promising ways of producing porous materials (PM) from spongy titanium powder are shown in this paper: development of new methods to increase mechanical strength of PM – microalloying, using bidispersed initial charge, etc., which also indirectly allows reducing the material capacity of 1 м^2 element from PPM and subsequently its cost price (for 1 м^2). The possibility of obtaining PM samples from spongy titanium powder by electroimpulse sintering has been shown. Thus they have much greater permeability than the PM samples pressed by a steel punch with their comparable mechanical strength.

МОДИФИКАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ГУБЧАТОГО ПОРОШКА ТИТАНА МЕТОДОМ АНОДНОГО ОКСИДИРОВАНИЯ

А.И.Шелухина¹, К.В. Степанова², А.Н. Кокатев², В.Е. Толстик¹

¹Институт порошковой металлургии, ул. Платонова 41, 220005, г. Минск, Беларусь,
e-mail: savich@pminstitute.by

²Петрозаводский государственный университет, пр. Ленина, 33,
185910, г. Петрозаводск, Карелия, Россия

Поступила 03. 08. 2015 г.

Изучены образцы пористых порошковых материалов (ППМ) из губчатого порошка титана марки ТПП, полученные традиционной технологией прессования стальными пуансонами с последующим анодированием при различных условиях. Методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) показано, что образцы до электрохимического оксидирования имеют развитую поверхность с достаточно однородным первичным оксидным слоем. Показано, что анодирование в водном фторсодержащем электролите 10% H₂SO₄ + 0,15% HF позволяет модифицировать структуру поверхности ППМ, в частности путем формирования самоорганизованной нанопористой анодно-оксидной пленки.

SURFACE MODIFICATION OF POROUS MATERIALS MADE OF SPONGE TITANIUM POWDER BY MEANS OF ANODIC OXIDATION

A. I. Sheluhina¹, K. V. Stepanova², A. N. Kokatev², V. E. Tolstik¹

¹ Powder Metallurgy Institute, Minsk, Belarus, e-mail: savich@pminstitute.by

² Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, Karelia, Russia

We studied samples of porous powder materials (PPM) made of TPP sponge titanium powder, obtained using a traditional technology of pressing with steel punches followed by anodizing under different conditions. Scanning Electron Microscopy (SEM) showed that prior to electrochemical oxidation the samples have a developed surface with a sufficiently uniform primary oxide layer. It has been shown that anodization in aqueous fluorine-containing electrolyte 10% H₂SO₄ + 0,15% HF can modify PPM surface structures, in particular through formation of a self-organized nanoporous anodic oxide film.

ФОРМОВАНИЕ ВСТАВОК ИЗ ЛЕГКОПЛАВКИХ МЕТАЛЛОВ ДЛЯ СИСТЕМ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ

В. М. Александров, В. А. Лобачев, А. В. Дроздов

*Научно-исследовательский институт импульсных процессов с опытным производством,
ул. Платонова, 126, 220005, г. Минск, Беларусь, e-mail: impuls@bn.by*

Поступила 05. 08. 2015 г.

Рассмотрены технологические схемы получения плавких вставок из гранулированных легкоплавких металлов. Проведены математические расчеты процесса пластической деформации для определения усилия на пуансоне при выдавливании заготовок. Определены параметры нагружения при формовании заготовок плавких вставок через фильеру.

FORMING INSERTS OF LOW-MELTING METALS FOR GAS

V. M. Aleksandrov, V. A. Lobachev, A. V. Drozdov

¹ISFU «Research institute of pulsing processes with pilot production», Minsk, Belarus

Reviewed flow diagrams for fuse links of granular fusible metals. Mathematical calculations of plastic deformation process to determine the force on the punch at extrusion billets. Identified loading parameters for forming blanks of fusible inserts through a die.

**ИССЛЕДОВАНИЕ КОНТРТЕЛА ИЗ СТАЛИ 65Г,
РАБОТАЮЩЕГО В ГИДРОМЕХАНИЧЕСКОЙ КОРОБКЕ ПЕРЕДАЧ
СОВМЕСТНО С ФРИКЦИОННЫМ ДИСКОМ ИЗ ПОЛИКОМПОНЕНТНОГО
КОМПОЗИЦИОННОГО ФРИКЦИОННОГО МАТЕРИАЛА
В УСЛОВИЯХ ГРАНИЧНОГО ТРЕНИЯ**

А. А. Дмитриевич, А. В. Лешок, А. Н. Роговой, Д. И. Сарока

*Институт порошковой металлургии,
ул.Платонова, 41, 220005, г. Минск, Беларусь*

Поступила 22. 07. 2015 г.

В статье представлены результаты исследования контртела из стали 65г, работающего с фрикционным диском из поликомпонентного композиционного фрикционного материала в условиях полуграничного трения в нормальном режиме эксплуатации и с их нарушением. Установлено, что при нарушении нормального режима работы фрикционного узла наблюдается перенос основных составляющих металллокерамического фрикционного материала (меди и олова) на поверхность стального диска и что в месте переноса материала в стальном диске формируются три области с различной твердостью. Показано, что в условиях нормальной эксплуатации фрикционного узла переноса материала на контртело практически не происходит.

**STUDY OF A COUNTERBODY MADE OF 65G STEEL ENGAGED IN HYDROMECHANIC
TRANSMISSION TOGETHER WITH A FRICTION DISC MADE OF MULTICOMPONENT
COMPOSITE FRICTION MATERIAL UNDER HALF-BOUNDARY FRICTION CONDITIONS**

A. A. Dmitrovich, A. V. Leshok, A. N. Rogovoy, D. I. Saroka

Powder Metallurgy Institute, Minsk, Belarus

This article presents the study results regarding a counterbody made of 65G steel which was tested along with a friction disc made of a multicomponent composite friction material. Testing was performed under semi-boundary friction conditions in normal operation and with operational disturbances. It has been found that when normal operation of the friction unit is violated, we observe transfer of main components from the cermet frictional material (copper and tin) onto the surface of the steel disc. As a result, three areas of different hardness appear on the steel disk where materials are transferred. It has been shown that in normal operation of the friction unit, the material transfer to the counterbody is close to nothing.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ИМПУЛЬСНОГО
ФОРМОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ С ГЕОМЕТРИЕЙ ПОЛОГО ЦИЛИНДРА**

В. А. Лобачев¹, А. В. Дроздов¹, В. Т. Шмурадко²

¹*ОХП «Научно-исследовательский институт импульсных процессов с опытным производством»,
ул. Платонова, 12б, 220005, г. Минск, Республика Беларусь, e-mail: impuls@bn.by*

²*Белорусский национальный технический университет, пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск,
Беларусь*

Разработана универсальная математическая модель и программное обеспечение импульсного формования порошковых изделий в гидродинамической машине без учета волновых процессов (нуль-мерная постановка). Проведено моделирование импульсного формования заготовок с переменной толщиной засыпки.

**MODELING THE PROCESSES OF PULSE FORMING PRODUCTS WITH A GEOMETRY
OF A HOLLOW CYLINDER**

V. A. Lobachev¹, A. V. Drozdov¹, V. T. Shmuradko²

¹*ISFU «Scientific and Research Institute of Impulse Processes with Pilot Production», Minsk, Belarus,
e-mail: impuls@bn.by*

²*Belarusian National technical University, Minsk, Belarus*

Developed a universal mathematical model and software pulse forming of powder products in a hydrodynamic machine without consideration of wave processes (zero-dimensional formulation). The simulation of pulse forming workpieces with variable thickness of the backfill.

**ОСОБЕННОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА
ПОРОШКОВ НА ЛАЗЕРНОМ АНАЛИЗАТОРЕ «MASTERSIZER»**

Л. В. Маркова, В. В. Коледа, Н. С. Колодинская

*Институт порошковой металлургии, ул. Платонова, 41, 220005, Минск, Беларусь,
e-mail: iscentr@tut.by*

Поступила 18. 08. 2015 г.

Представлены результаты исследования гранулометрического состава образцов на лазерном дифракционном анализаторе «Mastersizer». В результате проведенных исследований были разработаны методики выполнения измерения гранулометрического состава наноструктурных материалов в виде сухих порошков, эмульсий и суспензий.

**PARTICULARITIES OF STUDYING POWDER GRADING BY MEANS
OF 'MASTERSIZER' LASER ANALYZER**

L. V. Markova, V. V. Koleda, N. S. Kolodinskaya

*¹ Powder Metallurgy Institute", Minsk, Belarus,
e-mail: iscentr@tut.by*

The paper describes the results of studying size distribution of samples using Mastersizer laser diffraction analyzer. In consequence of the studies we designed measurement procedures for granulometric composition of nanostructured materials in the form of dry powders, emulsions and suspensions.

**ПРИМЕНЕНИЕ ТОНКОДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ
ДЛЯ МОДИФИЦИРОВАНИЯ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ ЦИНКА**

Л. В. Судник¹, Ф. И. Рудницкий², К. Ф. Рудницкий¹, Ю. А. Николайчик²

¹ ОХП «Импульсных процессов с опытным производством»,

ул. Платонова, 41, 220005, г. Минск, Беларусь, *lsudnik@tut.by; impuls@bn.by*;

² Белорусский национальный технический университет, пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск,
Беларусь, e-mail: *stl_minsk@tut.by*;

Поступила 24. 08. 2015 г.

В работе рассмотрены вопросы влияния модифицирования ультрадисперсными материалами на структуру и физико-механические антифрикционных сплавов на основе цинка.

APPLICATION OF FINE MATERIALS FOR MODIFICATION OF ZINC-BASED ALLOYS

L. V. Sudnik¹, F. I. Rudnitskiy², K. Ph. Rudnitskiy¹, Y. A. Nikolaychik²

*SSSI Research Institute of Pulse Processes with Pilot Plant, Belarus, Minsk, e-mail: lsudnik@tut.by;
impuls@bn.by;*

Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, e-mail: stl_minsk@tut.by;

The paper deals with the influence of modification with ultradispersed materials on the structure and physical mechanical properties of zinc-based anti-friction alloys.

ТВЕРДОСМАЗОЧНЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ДИСУЛЬФИДА ВОЛЬФРАМА

М. А. Андреев¹, Л. В. Маркова², А. Н. Суворов¹, Т. В. Гамзелева²

¹ ОХП «Институт сварки и защитных покрытий», ул. Платонова, 126, 220005, г. Минск, Беларусь

² Институт порошковой металлургии, 220005, ул. Платонова, 41, г. Минск, Беларусь

Поступила 18. 08. 2015 г.

Исследованы структура и свойства ионно-лучевых твердосмазочных покрытий на основе металлов и сплавов с добавками в качестве твердой смазки дисульфида вольфрама. Рассмотрены отличительные особенности твердосмазочных покрытий с добавками дисульфида вольфрама по сравнению с традиционно используемым дисульфидом молибдена.

TUNGSTEN DISULFIDE-BASED SOLID LUBRICANT COATINGS

M. A. Andreev¹, L. V. Markova², A. N. Suvorov¹, T. V. Gamzeleva²

¹ SSSI Institute of welding and protective coatings, Minsk, Belarus

² Powder Metallurgy Institute, Minsk, Belarus

We studied the structure and properties of ion beam solid lubricant coatings on the basis of metals and alloys with addition of tungsten disulfide as a solid lubricant. We discussed features of solid lubricant coatings with addition of tungsten disulfide as compared to the conventional molybdenum disulfide.

**К ВОПРОСУ ФОРМИРОВАНИЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ
КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ ИЗ ОБМАЗКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ
СВС – ПРОЦЕССА И ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ**

**А.Ф. Ильющенко¹, А.И. Шевцов¹, В.М. Асташинский², А.М. Кузьмицкий²,
Г.Ф. Громыко³, Л.В. Маркова¹, А.И. Лецко¹, К.В. Буйкус⁴, А.А. Козорез⁴**

¹*Институт порошковой металлургии, ул. Платонова 41, 220005 Минск, Беларусь*

²*Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова, ул. П. Бровки, 15, 220072, г. Минск, Беларусь*

³*Институт математики, ул. Сурганова, 11, 220072, г. Минск, Беларусь*

⁴*Белорусский национальный технический университет, пр. Независимости, 65, Минск, Беларусь*

Поступила 02. 07. 2015 г.

Рассмотрены теоретические предпосылки формирования покрытий с нанесением обмазки из СВС – реагентов и её обработкой импульсами высококонцентрированных потоков энергии. Рассмотрены вопросы оптимизации одного из этапов технологии, который касается активации исходной реакционной шихты для обмазки.

**TO QUESTION OF FORMING OF THE WEAR-RESISTANCE COMPOSITION
COATINGS OF PLASTER USING SHS-PROCESS AND HIGH-ENERGY INFLUENCES**

**A. Ph. Ilyuschenko¹, A. I. Shevtsov¹, V. M. Astashinsky², A. M. Kuzmitski²,
G. F. Gromyko³, L. V. Markova¹, A. I. Letsko¹, K. V. Buikus⁴, A. A. Kozorez⁴**

¹*Powder Metallurgy Institute, Minsk, Belarus*

²*Luikov Heat and Mass Transfer Institute, Minsk, Belarus*

³*Institute of mathematics, Minsk, Belarus*

⁴*Belarusian national technical university, Minsk, Belarus*

Theoretical premises of coatings forming with application of SHS–reagents plaster and its processing by impulses of the high-concentrated flows of energy are considered. Questions of optimization of one of technology stages which concerns activation of initial reactionary charge for plaster are considered.

**ИССЛЕДОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ
ПОКРЫТИЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ ОБМАЗКИ ИЗ СВС – РЕАГЕНТОВ ИМПУЛЬСАМИ
ВЫСОКОКОНЦЕНТРИРОВАННЫХ ПОТОКОВ ЭНЕРГИИ**

**А. Ф. Ильющенко¹, А. И. Шевцов¹, В. М. Асташинский², А. М. Кузьмицкий²,
Г. Ф. Громыко³, Н. П. Мацука³, И. В. Фомихина¹, А. И. Лецко¹,
Т. А. Ильющенко¹, А. С. Козорез⁴**

¹*Институт порошковой металлургии, ул. Платонова 41, 220005, Минск, Беларусь*

²*Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова, ул. П. Бровки, 15, 220072, г. Минск, Беларусь*

³*Институт математики, ул. Сурганова, 11, 220072, г. Минск, Беларусь*

⁴*ОАО “Завод Промбурвод”, ул. Асаналиева, 29, 220024, г. Минск, Беларусь*

Поступила 02. 07. 2015 г.

Исследованы и оптимизированы процессы формирования покрытий при обработке обмазки из СВС – реагентов импульсами плазмы. Изучены свойства покрытий, полученных при оптимизированных технологических параметрах.

**RESEARCH AND OPTIMIZATION OF COATINGS FORMING PROCESSES AT
PROCESSING OF SHS-REAGENTS PLASTER BY IMPULSES OF THE HIGH-
CONCENTRATED FLOWS OF ENERGY**

**A. Ph. Ilyushchenko¹, A. I. Shevtsov¹, V. M. Astashinsky², A. M. Kuzmitski², G. F. Gromyko³,
N. P. Matsuka³, I. V. Fomikhina¹, A. I. Letsko¹, T. A. Ilyushchenko¹, A. S. Kozorez⁴**

¹*Powder Metallurgy Institute, Minsk, Belarus*

²*Luikov Heat and Mass Transfer Institute, Minsk, Belarus*

³*Institute of mathematics, Minsk, Belarus*

⁴*Joint-Stock Company «Zavod Promburvod», Minsk, Belarus*

Coatings forming processes at processing SHS - reagents plaster by plasma impulses are investigated and optimized. Properties of the coatings received at the optimized technology parameters are studied.

НЕПРЕРЫВНОЕ ГАЗОПЛАМЕННОЕ НАНЕСЕНИЕ ПОКРЫТИЙ НА РЕЖУЩИЕ КРОМКИ ДЕТАЛЕЙ КОРМОУБОРОЧНОЙ ТЕХНИКИ.

Е. Д. Манойло, А. Е. Затока, Ф. Е. Онащенко

ГНУ «Институт порошковой металлургии», ул. Платонова 41, 220071 Минск, Беларусь

Поступила 31. 08. 2015 г.

Представлены результаты исследований основных свойств покрытия из самофлюсующегося материала Т-Термо №655, полученного методом непрерывного газопламенного напыления. Произведено сравнение полученных данных со свойствами покрытий, полученных газопламенным напылением с последующим оплавлением. Покрытия характеризуются высокой твердостью и незначительной пористостью. Произведена оценка возможности реализации процесса непрерывного газопламенного напыления при нанесении покрытий на режущие кромки деталей кормоуборочной техники на ОАО «Гомсельмаш».

CONTINUOUS GAS-FLAME APPLICATION OF COATING ON CUTTING EDGES OF FORAGE HARVESTER PARTS

E. D. Manoilo, A. E. Zatoka, F. E. Onaschenko

Powder Metallurgy Research Institute, Minsk, Belarus

In this paper we presented the research results concerning basic properties of the coating made of the self-fluxing material T-Thermo No.655, obtained by continuous gas-flame spraying. We compared the resulting data with the properties of the coatings obtained by means of gas-flame spraying with subsequent fusion. The coatings are characterized by high hardness and slight porosity. We assessed the feasibility of continuous gas-flame spraying during application of coatings on cutting edges of forage harvester parts at OJSC "Gomselmash".

**ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПЛАКИРОВАННЫХ ПОРОШКОВ.
РЕЖИМЫ РАБОТЫ РАСТВОРА ХИМИЧЕСКОГО НИКЕЛИРОВАНИЯ**

**В. А. Микущий¹, О. Л. Сморгыго¹, А. Ф. Ильющенко¹,
V. Stathopoulos², I. Trusca³, O. D. Trusca³**

¹«Институт порошковой металлургии», ул. Платонова 41, 220005, Минск, Беларусь

²«Technological Educational Institute of Sterea Ellada», 34400 Psahna Evias, Greece

³«Plasma Jet s.r.l.», Atomistilor, 410E, Magurele-Ilfov, 077125, Romania

Поступила 04. 09. 2015 г.

Работа посвящена изучению процесса металлизации дисперсных материалов методом химического восстановления никеля из гипофосфитных растворов для получения композиционного плакированного порошка на базе коммерческого порошка марки Metco 204 NS, характеризующегося сферической морфологией частиц размером -125...+11 мкм и составом ZrO_2 8Y₂O₃. В работе изучалось влияние загрузки раствора никелирования порошком и скорости подачи восстановителя (гипофосфита натрия) на эффективность использования восстановителя и скорость восстановления никеля. Установлены режимы химического никелирования порошка марки Metco 204 NS при котором не наблюдается “паразитное” осаждение покрытия на стенках реактора, а формируется покрытие на поверхности порошка в виде сплошной оболочки, изолирующей частицу-ядро.

**MANUFACTURE OF COMPOSITE CLAD POWDERS
OPERATING REGIMES OF THE SOLUTION FOR ELECTROLESS NICKEL PLATING**

**V. A. Mikutski¹, O. L. Smorygo¹, A. Ph. Ilyushchenko¹
V. Stathopoulos², I. Trusca³, O. D. Trusca³**

¹Powder Metallurgy Institute, Minsk, Belarus

²Technological Educational Institute of Sterea Ellada, 34400 Psahna, Evia, Greece

³Plasma Jet s.r.l., Str. Atomistilor 401E, Magurele-Ilfov, 077125, Romania

The paper is devoted to studying metallization of dispersed materials through chemical reduction of nickel from hypophosphite solutions for obtaining composite clad powder based on the commercial powder Metco 204 NS, characterized by spherical particle morphology with a size of -125...+11 microns and the following composition: ZrO_2 8Y₂O₃. We studied the effects of loading the nickel-plating solution with powder and the feed rate of the reducing agent (sodium hypophosphite) on the effectiveness of the reducing agent and nickel reduction speed. We determined the operating regimes of chemical nickel plating for the powder Metco 204 NS which do not involve parasitic deposition of coating on the reactor walls, but encourage formation of a coating on the surface of powder particles as a continuous shell, insulating the core.

**КОМПОЗИЦИОННЫЕ ФРИКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ:
ОСНОВНЫЕ ВИДЫ И ТРЕБОВАНИЯ К НИМ**

А. А. Дмитриевич, А. В. Лешок, Ф. Н. Роговой, Д. И. Сарока

Институт порошковой металлургии, ул. Платонова 41, 220005, Минск, Беларусь

Поступила 20. 11. 2015 г.

В работе представлен обзор литературных данных, некоторые собственные результаты авторов, посвященные основным видам композиционных фрикционных материалов, истории их разработки и применения, эксплуатационные требования к ним. Приведены некоторые характеристики таких материалов.

COMPOSITE FRICTION MATERIALS: MAIN TYPES AND REQUIREMENTS

A. A. Dmitrovich, A. V. Leshok, A. N. Rogovoy, D. I. Saroka

Powder Metallurgy Institute, Minsk, Belarus

This paper provides an overview of related literature sources, some authors' own findings on basic types of composite friction materials, their development and application history, as well as the operational requirements and certain characteristics of such materials.