

ПОРОШКОВАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

Основан в 1997 г. Издается 1 раз в год

Выпуск 39

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОЛУЧЕНИЯ, ОБРАБОТКИ И ПРИМЕНЕНИЯ ПОРОШКОВЫХ И КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

- Горохов В. М., Гучек В. Н. Тарусов И. Н.** Конечно-элементный анализ распределения напряженно-деформированного состояния и плотности при прессовании деталей сложной формы. Сообщение 2. Моделирование прессования шестерни с буртом..... 5
- Ильющенко А. Ф., Кривонос О. К., Петюшик Е. Е. Смирнов Г. В.** Энергонасыщенные гетерогенные композиционные материалы на полимерной основе. Некоторые проблемы разработки и пути их решения..... 10
- Ильющенко А. Ф., Шевцов А. И., Лецко А. И., Фомихина И. В., Ильющенко Т. А., Буйкус К. В., Козорез А. А.** Исследование процессов и оптимизация технологических параметров синтеза порошка на основе самофлюсующегося сплава с твердыми тугоплавкими включениями при использовании шихты, содержащей СВС – реагенты..... 17
- Лецко А. И., Талако Т. Л., Парницкий Н. М.** Исследование влияния предварительной механической обработки на процессы горения при получении интерметаллидов на основе никеля, железа и титана при СВС..... 24

КЕРАМИЧЕСКИЕ И СВЕРХТВЕРДЫЕ МАТЕРИАЛЫ. НАНОМАТЕРИАЛЫ И НАНОТЕХНОЛОГИИ

- Шевченко А. А., Ульянова Т. М., Фомихина И. В., Кашаед Е. А., Сегень Д. А., Овсенок Л. В., Титова Л. В.** Микроструктура и физико-механические свойства корундовой керамики с наноструктурными компонентами частично стабилизированного диоксида циркония..... 31

ПОРИСТЫЕ ПОРОШКОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ ИЗ НИХ

- Азаров С. М., Азарова Т. А., Петюшик Е. Е., Дробыш А. А., Балыдко Д. Н.** Влияние природы сырьевых компонентов на процессы формирования многослойных порошковых материалов на основе алюмосиликатов..... 37

Андреев М. А., Савич В. В., Кузнечик О. О., Голодок Р. П. Перспективная многофункциональная порошковая композиция «Ti-Al-Me / оксидно-нитридная керамика» для химической промышленности и водородной энергетики.....	43
Маркова Л. В., Коледа В. В., Гамзелива Т. В., Азаров С. М., Азарова Т. А. Применение СЭМ при исследовании структуры высокопроницаемых композиционных материалов.....	58
Романенков В. Е., Евтухова Т. Е., Мазюк В. В., Петюшик Е. Е. Капиллярные структуры контурной тепловой трубы: тенденция развития.....	62
Савич В.В. Методы регулирования пористой структуры спеченных материалов из губчатых порошков титана.....	70
Тарайкович А. М., Шеко Г. А., Голодок Р. П., Кузнечик О. О., Романенков В. Е., Евтухова Т. Е. Получение из порошков губчатого титана электроимпульсным спеканием и плазмохимическим синтезом перспективного носителя катализатора для высокотемпературного каталитического реформинга.....	77

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ

Ильющенко А. Ф., Прохоров О. А., Осипов В. А., Звонарев Е. В., Витко Ж. А., Мадарин А. В., Бабуря Д. В. Силицированный углерод-углеродный композиционный материал: возможности получения, структура и некоторые свойства.....	83
Ильющенко А. Ф., Талако Т. Л., Лецко А. И., Щербо А. С., Реутенок Ю. А. Исследование возможности получения МАХ-фаз системы Та-Al-C методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза.....	92
Ильющенко А. Ф., Фомихина И. В., Дечко М. М., Ковалевский В. Н. Влияние интенсивной пластической деформации взрывом на измельчение зерен высокопрочных сталей.....	97
Овчинников В. И. Методология и метод динамических испытаний материалов применяемых в конструкции космических аппаратов.....	101
Пилиневич Л. П. Классификация ультрадисперсных частиц по размерам.....	108
Судник Л. В., Лученок А. Р., Колодкевич Ю. И., Ткачук В. С., Прихна Т. А., Басюк Т. В., Козырев А. В. Исследование условий синтеза мах-фаз системы Ti-Al-C и их компактирование методом ударно-волнового нагружения.....	113
Талако Т. Л., Лецко А. И., Реутёнок Ю. А., Хомич Н. С. Корогода О. П. Структура и свойства композиционного ферроабразивного порошка для магнитно-абразивной обработки, полученного методом СВС.....	120

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПОКРЫТИЯ И СОЕДИНЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ

Занковец П. В. Исследование закономерностей образования дефектности сварных соединений в условиях единичного и мелкосерийного сварочного производства.....	129
Ильющенко А. Ф., Шевцов А. И., Асташинский В. М., Кузьмицкий А. М., Громько Г. Ф., Маркова Л. В., Лецко А. И., Ильющенко Т. А., Козорез А. С. Разработка научных и технологических основ нанесения композиционных покрытий, формируемых импульсами плазмы и СВС.....	142
Лемешев О. А., Бойко И. Ю. Исследование механической обработки резанием аустенитной нержавеющей стали.....	151
Манойло Е. Д., Онащенко Ф. Е., Цынгель Р. В. Восстановление валов фильтр-пресса газопламенным напылением защитного покрытия материалом RILSAN.....	157
Чигринова Н. М., Ловыгин С. И. Влияние режимов электроискровой обработки с ультразвуковым воздействием переменной интенсивности и частоты на свойства покрытий.....	162
Чумаков А. Н., Гулай А. В., Шевченко А. А., Баран Л. В., Райченко Т. Ф., Кароза А. Г., Мацукович А. С., Босак Н. А. Исследование тонких пленок оксида цинка с легирующими добавками фторидов редкоземельных элементов.....	168

ХРОНИКА. ВЫСТАВКИ. КОНФЕРЕНЦИИ. ЮБИЛЕИ

15-я международная специализированная выставка «Сварка и резка» (г. Минск, 5 – 8 апреля 2016 г.).....	172
12-я Международная научно-техническая конференция «Новые материалы и технологии: порошковая металлургия, композиционные материалы, защитные покрытия» (г. Минск, 25 – 27 мая 2016 г.).....	176
Памяти Анциферова Владимира Никитовича.....	180
Памяти Ждановича Геннадия Михайловича.....	182
Памяти Дорофеева Юрия Григорьевича.....	183
Памяти Кухарева Анатолия Васильевича.....	184
Александр Федорович Ильющенко. С 60 - летием!.....	185
Петр Александрович Витязь. С 80-летием!.....	187
Владимир Александрович Чекан. С 75 - летием!.....	189
Евгений Владимирович Звонарев. С 80-летием!.....	190
Лариса Владимировна Судник. С юбилеем!.....	192
Валерий Константинович Шелег. С 70-летием!.....	193
Евгению Игнатьевичу Маруковичу – 70 лет!.....	195
Анатолий Илларионович Гордиенко. С 75 –летием!.....	196
Анатолий Иванович Свиридёнок. С 80 - летием!.....	198
Виктору Александровичу Миронову – 75 лет!.....	200
Геннадий Анатольевич Баглюк. С 60 – летием!.....	201
С Юбилеем!.....	202
Анонс.....	203

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 39

CONTENTS

THEORETICAL AND TECHNOLOGICAL FOUNDATIONS OF OBTAINING, PROCESSING AND APPLICATION OF POWDER AND COMPOSITE MATERIALS

- Gorohkov V. M., Guchek V. N., Tarusov I. N.** Finite element analysis of stress strain and density distribution during pressing complicated powder parts. Message 2. Modelling of densification of gear with shoulder..... 5
- Ilyushchenko A. Ph., Krivonos O. K., Piatsiushyk Ya. Ya, Smirnov G. V.** Saturated by energy heterogeneous composite materials on polymeric base. some problems of development and methods of their resolution..... 12
- Ilyuschenko A. Ph., Shevtsov A. I., Letsko A. I., Fomikhina I. V., Ilyuschenko T. A., Buikus K. V., Kozorez A. A.** Research of processes and optimization of technological parameters of synthesis of powder on a basis of self-fluxing alloy with hard refractory inclusions at using the furnace charge containing SHS-reagents..... 17
- Letsko A. I., Talako T. L., Dyachkova L. N., Parnitsky N. M.** Research of influence of preliminary mechanical treatment on the combustion processes in the preparation of intermetallic compounds based on nickel, iron, and titanium at SHS..... 24

CERAMIC AND SUPERHARD MATERIALS. NANOMATERIALS AND NANOTECHNOLOGIES

- Shevchenok A. A. , Ulyanova T. M., Fomikhina I. V., Kashayed E. A., Segen D. A., Ovseenko L.V., Titova L.V.** Microstructure and physical and mechanical properties of corundum ceramics with nanostructural components of partially stabilized zirconium dioxide..... 31

POROUS POWDER MATERIALS AND PRODUCTS THEREOF

Azarov S. M., Azarova T. A., Piatsiushyk Ya. Ya., Drobysh A. A., Balydko D. N. Formation of multilayer porous materials on the base of silicates of aluminium.....	37
Andreyev M. A., Savich V. V., Kuznechik O. O., Golodok R. P. Perspective applications of "Ti-Al-XX" powder composition to produce catalyst-carrier materials, getter-materials and filtering materials demanded in chemical industry and hydrogen energetic.....	43
Markova L. V., Koleda V. V., Gamzeleva T. V., Azarov S. M., Azarova T. A. Use of SEM during investigation of a structure of high-permeable composite materials.....	58
Romanenkov V. E., Evtukhova T. E., Mazyuk V. V., Petiushik E. E. Capillary structures of contour heat pipe: tendencies of development.....	62
Savich V. V. Methods of porous structure regulation of sintered materials from spongy powders of titanium.....	70
Taraikovich A. M., Sheko G. A., Gololdok R. P., Kuznechik O. O., Romanenkov V. E. The use of electro-pulse sintering process of titanium powders and of plasma-chemical synthesis process for produce of catalyst carriers with oxide and nitride surface layer.....	77

PHYSICOCHEMICAL INVESTIGATION OF MATERIALS

Ilyushchenko A. Ph., Prokhorov O. A., Osipov V. A., Zvonarev E. V., Vitko Zh. A., Madarin A. V., Babura D. V. Siliconized carbon-carbon composite material: possibilities of its manufacturing, structure and properties.....	83
Ilyushchenko A. Ph., Talako T. L., Letsko A. I., Shcherbo A. S., Reutenok YU. A. investigation possibility of obtaining MAX-phase system Ta-Al-C by SHS.....	92
Ilyushchenko A. Ph., Fomikhina I. V., Dechko M. M., Kovalevskiy V. N. Influence of intensive plastic deformation by explosion on grain crushing of high-resistant steels.....	97
Ovchinnikov V. I. Methodology and method of dynamic tests of the materials used in the design of the spacecrafts.....	101
Pilinevich L. P. Classification of ultrafine particle size.....	108
Sudnik L. V., Prikhna T. A., Luchenok A. R., Basyuk T. V., Kozyrev A. V., Kolodkevich Y. I., Tkachuk V. S. Investigation of synthesis MAX phases of the system Ti-Al-C and compacting by method of shock wave loading.....	113
Talako T. L., Letsko A. I., Reutsionok Y. A., Homich N. S., Korogoda O. P. Structure and properties of composite ferro-abrasive powder for magnetic-abrasive machining, obtained by SHS.....	120

FUNCTIONAL COATINGS AND MATERIAL COMPOUNDS

Zankovets P. V. Investigating the regularities in formation of welded connections defectiveness under the conditions of individual and short-run welding fabrication.....	129
Ilyuschenko A. Ph., Shevtsov A. I., Astashinski V. M., Kuzmitski A. M., Gromyko G. F., Markova L. V., Letsko A. I., Ilyuschenko T. A., Kozorez A. S. Development of scientific and technological foundations of applying the composite coatings formed by impulses of plasma and SHS.....	142
Lemeshev A. O., Boyko I. Yu. Investigation of cutting process of austenitic stainless steel.....	151
Manoylo E. D., Onashchenko Ph. E., Tsyngel R. V. Restoration of the shafts of a filter press by gas-flame spraying of a protective coating using RILSAN material.....	157
Chigrinova N. M., Lovygin S. I. Influence of the electric spark treatment modes with ultrasonic exposure of variable intensity and frequency on coating properties.....	162
Chumakov A. N., Gulay A. V., Shevchenok A. A., Baran L. V., Raychenok T. Ph., Karoza A. G., Matsukovich A. S., Bosak N. A. Investigation of thin films of zinc oxide with the alloying additives of fluorides of rare-earth elements.....	168

CHRONICLE. EXHIBITIONS. CONFERENCES. ANNIVERSARIES

15 th International specialized exhibition «Welding and Cutting» (Minsk, April, 5 - 8, 2016)...	172
12 th International scientific conference «New materials and technologies: powder metallurgy, composite materials, and protective coatings» (Minsk, May, 25 - 27, 2016).....	176
Antsiferov Vladimir Nikitovich's memories.....	180
Zhdanovich Gennady Mikhaylovich's memories.....	182
Dorofeyev Yury Grigoryevich's memories.....	183
Kukharev Anatoly Vasilyevich's memories.....	184
Alexander Fedorovich Ilyushchenko. With 60 - the anniversary!	185
Pyotr Aleksandrovich Vityaz. With the 80 anniversary!	187
Vladimir Aleksandrovich Chekan. With 75 - the anniversary!	189
Evgeny Vladimirovich Zvonarev. With the 80 anniversary!	190
Larisa Vladimirovna Sudnik. With anniversary!	192
Valery Konstantinovich Sheleg. With the 70 anniversary!	193
Evgeny Ignatyevich Marukovich -70 years!	195
Anatoly Illarionovich Gordiyenko. With the 75th anniversary!	196
Anatoly Ivanovich Sviridyonok. With 80 - the anniversary!	198
Victor Aleksandrovich Mironov – 75 years!	200
Gennadiy Anatolyevich Bagliyk. With 60 - the anniversary!	201
With Anniversary!	202
Announcement.....	203

**КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ И ПЛОТНОСТИ
ПРИ ПРЕССОВАНИИ ДЕТАЛЕЙ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ.
СООБЩЕНИЕ 2. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРЕССОВАНИЯ ШЕСТЕРНИ С БУРТОМ**

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

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

Поступила 01.08.2016 г.

На основе теории пластичности пористого сжимаемого тела с применением метода конечных элементов проведено моделирование прессования порошка низколегированной стали при изготовлении шестерни с буртом. Проведен анализ различных схем прессования и показана возможность управления распределения плотности в прессовках путем изменения различных параметров прессования. Показано, что неравномерность распределения плотности обусловлена отношением скоростей формообразующих элементов технологической оснастки при прессовании, а также влиянием внешнего трения и сложной геометрической формы изделий.

**FINITE ELEMENT ANALYSIS OF STRESS STRAIN AND DENSITY DISTRIBUTION
DURING PRESSING COMPLICATED POWDER PARTS.
MESSAGE 2. MODELLING OF DENSIFICATION OF GEAR WITH SHOULDER**

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

Powder Metallurgy Institute, Minsk, Belarus

Taking into account plasticity theory of porous compactable body and using finite element method there has been calculated density distribution within the volume of complicated shape structural parts consist of gear with collar during warm compaction pressing. The comparative analysis for different schemes of pressing has been done as well as the possibility for properties improvement by changing of warm compaction parameters has been shown. Also there has been determined that heterogeneity in density distribution depends on velocity ratio of different tooling units as well as on friction and complicated part shape.

**ЭНЕРГОНАСЫЩЕННЫЕ ГЕТЕРОГЕННЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ
НА ПОЛИМЕРНОЙ ОСНОВЕ. НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ И ПУТИ ИХ
РЕШЕНИЯ**

А. Ф. Ильющенко¹, О. К. Кривонос¹, Е. Е. Петюшик¹, Г. В. Смирнов²

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

²*ОХП «Научно-исследовательский институт импульсных процессов с опытным производством»,
ул. Платонова 12 б, 220005, г. Минск, Беларусь*

Поступила 07.10.2016 г.

В статье с учетом анализа общих тенденций развития энергонасыщенных гетерогенных композиционных материалов на полимерной основе рассмотрены некоторые проблемы их разработки и систематизированы основные задачи, решение которых обеспечит создание научных и технологических основ производства такого класса материалов.

**SATURATED BY ENERGY HETEROGENEOUS COMPOSITE MATERIALS ON POLYMERIC
BASE. SOME PROBLEMS OF DEVELOPMENT AND METHODS OF THEIR RESOLUTION**

A. Ph. Ilyushchenko¹, O. K. Krivonos¹, E. E. Petiushek¹, G. V. Smirnov²

¹*Powder Metallurgy Institute, Minsk, Belarus*

²*SSU Institute of welding and protective coatings of Powder Metallurgy Institute, Minsk, Belarus*

In this paper taking in consideration the analysis of general tendencies of development of saturated by energy heterogeneous composite materials on polymeric base there were examined some problems of their design and there were systematized main tasks resolution of which provides creation of scientific and technologic bases of such class of materials.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ И ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СИНТЕЗА ПОРОШКА НА ОСНОВЕ САМОФЛЮСУЮЩЕГОСЯ СПЛАВА С ТВЕРДЫМИ ТУГОПЛАВКИМИ ВКЛЮЧЕНИЯМИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ШИХТЫ, СОДЕРЖАЩЕЙ СВС - РЕАГЕНТЫ

**А. Ф. Ильющенко¹, А. И. Шевцов², А. И. Лецко¹, И. В. Фомихина¹,
Т. А. Ильющенко¹, К. В. Буйкус³, А. А. Козорез³**

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

²*ОХП «Институт сварки и защитных покрытий», ул. Платонова 41, 220005, г. Минск, Беларусь*

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

Поступила 04.07.2016 г.

Исследованы процессы и оптимизированы технологические параметры синтеза композиционного порошка на основе самофлюсующегося сплава NiCrBSi с твердыми тугоплавкими включениями TiC при использовании шихты, содержащей СВС – реагенты

RESEARC OF PROCESSES AND OPTIMIZATION OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF SYNTHESIS OF POWDER ON A BASIS OF SELF-FLUXING ALLOY WITH HARD REFRACTORY INCLUSIONS AT USING THE FURNACE CHARGE CONTAINING SHS-REAGENTS

**A. P.H. Ilyuschenko¹, A. I. Shevtsov¹, A. I. Letsko¹, I. V. Fomikhina¹, T. A. Ilyuschenko¹,
K. V. Buikus², A. A. Kozorez²**

¹*Powder Metallurgy Institute, Minsk, Belarus*

²*Belarusian national technical university, Minsk, Belarus*

Processes are researched and technological parameters of synthesis of composite powder on a basis self-fluxing alloy NiCrBSi with hard refractory inclusions of TiC at using the furnace charge containing SHS-reagents are optimized

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ
НА ПРОЦЕССЫ ГОРЕНИЯ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ИНТЕРМЕТАЛЛИДОВ
НА ОСНОВЕ НИКЕЛЯ, ЖЕЛЕЗА И ТИТАНА ПРИ СВС**

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 27.07.2016 г.

Представлены результаты исследований влияния предварительной механической обработки на процессы горения при получении алюминидов на основе никеля, железа и титана при СВС. Показано, что оптимальный режим механоактивации в рассматриваемых системах, обеспечивающий максимальную полноту превращений для получения требуемого состава фаз, зависит от вида основы и содержания алюминия. Установлено, что увеличение времени механоактивации системы Ni-Al приводит к частичному протеканию реакции взаимодействия уже в процессе активации, приводя к невозможности дальнейшего проведения СВС в реакторе.

**RESEARCH OF INFLUENCE OF PRELIMINARY MECHANICAL TREATMENT ON THE
COMBUSTION PROCESSES IN THE PREPARATION OF INTERMETALLIC COMPOUNDS
BASED ON NICKEL, IRON, AND TITANIUM AT SHS**

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

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

The effect of pre-machining of the combustion process in the preparation of aluminides, based on nickel, iron and titanium at SHS. It is shown that optimum mechanical activation-mode Referring proxy systems for maximum fullness transformations to obtain the desired phase composition depends on the kind of base and aluminum content. An increase of time of mechanoactivation Ni-Al system leads to partial interaction with the reaction in the activation process, leading to the impossibility of further SHS in the reactor.

**МИКРОСТРУКТУРА И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
КОРУНДОВОЙ КЕРАМИКИ С НАНОСТРУКТУРНЫМИ КОМПОНЕНТАМИ
ЧАСТИЧНО СТАБИЛИЗИРОВАННОГО ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ**

**А. А. Шевченко¹, Т. М. Ульянова², И. В. Фомихина¹, Е. А. Кашаед¹, Д. А. Сегень¹,
Л. В. Овсеенко², Л. В. Титова²**

¹Институт порошковой металлургии, ул. Платонова, 41, 220005, г. Минск, Беларусь, e-mail:
alexshev56@mail.ru

²Институт общей и неорганической химии, ул. Сурганова, 9, 220005, г. Минск, Беларусь,
e-mail: ulya@igic.bas-net.by

Поступила 26. 07. 2016 г.

Изучено влияние активных наноструктурных добавок частично стабилизированного диоксида циркония с различной кристаллической структурой на микроструктуру композиционной корундовой керамики и ее физико-механические свойства. Определены плотность, пористость, влагопоглощение, микротвердость, прочность при сжатии и изгибе полученных керамических образцов.

Установлено, что прочность образцов керамики при изгибе не связана прямо пропорциональной зависимостью с количеством введенного модификатора. Определенное значение имела температура синтеза самой наноструктурной добавки, поскольку с повышением температуры синтеза модификатора изменялись размеры наночастиц, удельная поверхность порошка и его реакционная способность. Этот фактор заметно проявлялся при изменении температуры и времени отжига.

Максимальный результат по упрочнению композиционной керамики во всех случаях был получен при использовании добавки ЧСЦ-900 в количестве 5 масс. % и ЧСЦ-1100 в количестве 15 масс. %. Причем упрочняющее влияние модификатора ЧСЦ-1100 снижалось с увеличением его содержания до 20 масс. % в связи с образованием дополнительной пористости в материале.

Введенные модификаторы изменяли микроструктуру композитов, повышая не только их прочностные характеристики, но и пластичность материала. Частицы частично стабилизированного диоксида циркония не механически заполняли поровое пространство, но и создавали на поверхности крупных частиц корунда промежуточную прослойку, которая при давлении на материал способствовала скольжению частиц друг относительно друга, тем самым повышался коэффициент вязкого разрушения K_{Ic} и механическая прочность.

**MICROSTRUCTURE AND PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF CORUNDUM
CERAMICS WITH NANOSTRUCTURAL COMPONENTS OF PARTIALLY STABILIZED
ZIRCONIUM DIOXIDE**

**A. A. Shevchenok¹, T. M. Ulyanova², I. V. Fomikhina¹, E. A. Kashayed¹, D. A. Segen¹,
L. V. Ovseenko², L. V. Titova²**

¹Powder Metallurgy Institute, Minsk, Belarus, e-mail: alexshev56@mail.ru

²The Institute of General and Inorganic Chemistry, Minsk, Belarus, e-mail: ulya@igic.bas-net.by

Influence of active nanostructural additives of partially stabilized zirconium dioxide with various crystal structure on a microstructure of composite corundum ceramics and its physicomachanical properties is studied. Density, porosity, moisture absorption, microhardness, compression strength and bending strength of the obtained ceramic samples are determined.

It is established that bending strength of samples of ceramics is not connected by directly proportion with the quantity of the added modifier. Temperature of synthesis of the nanostructural additive had a

certain value so as the sizes of nanoparticles, the specific surface of the powder and its reactive capability changed with the temperature increase of synthesis of the modifier. This factor was considerably shown at temperature change and time of annealing.

The maximum result on strengthening of composite ceramics in all cases has been achieved when using ChSTs-900 additive in the quantity of 5 % wt. and ChSTs-1100 in the quantity of 15 % wt. Moreover, the strengthening influence of the ChSTs-1100 modifier went down with increase of its contents up to 20 % wt. due to a formation of additional porosity in the material.

The added modifiers changed the microstructure of the composites, raising not only their strength characteristics but also plasticity of the material. The particles of partially stabilized zirconium dioxide not mechanically filled pore space but also created an intermediate layer on a surface of large particles of corundum. This layer with a pressure upon the material promoted sliding of the particles relative to each other, the ductile fracture coefficient (K_{Ic}) and mechanical strength thereby increased.

**ВЛИЯНИЕ ПРИРОДЫ СЫРЬЕВЫХ КОМПОНЕНТОВ
НА ПРОЦЕССЫ ФОРМИРОВАНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ
НА ОСНОВЕ АЛЮМОСИЛИКАТОВ.**

С. М. Азаров¹, Т. А. Азарова², Е. Е. Петюшик³, А. А. Дробыш¹, Д. Н. Балыдко¹

¹*Белорусский национальный технический университет пр. Независимости, 20, 220072, г. Минск, Беларусь, e-mail: azarov@bntu.by*

²*Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси, ул. Сурганова, 9, 220072, г. Минск, Беларусь, e-mail: azarava@yahoo.com*

³*ГНПО порошковой металлургии НАН Беларуси, ул. Платонова, 41, 220005, г. Минск, Беларусь, e-mail: pet65@bk.ru*

Поступила 07.10.2016 г.

В статье представлены результаты исследований влияния природы сырьевых компонентов на процессы создания многослойных пористых материалов из керамических порошков.

FORMATION OF MULTILAYER POROUS MATERIALS ON THE BASE OF SILICATES OF ALUMINIUM

S. M. Azarov¹, T. A. Azarova², E. E. Petiushek³, A. A. Drobysch¹, D. N. Balydko¹

¹*Belarus National Technical University, Minsk, Belarus*

²*Institute of general and inorganic chemistry, Minsk, Belarus*

³*Belarus State Powder Metallurgy Association of Powder Metallurgy, 41, Platonov st., 220070, Minsk, Belarus*

In this paper there are presented results of investigations of raw materials components influence on processes of creation of multilayer porous materials from ceramics powders.

**ПЕРСПЕКТИВНАЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ПОРОШКОВАЯ КОМПОЗИЦИЯ
«Ti-Al-Me / ОКСИДНО-НИТРИДНАЯ КЕРАМИКА» ДЛЯ ХИМИЧЕСКОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**

М. А. Андреев, В. В. Савич, О. О. Кузнецик, Р. П. Голодок

*Институт порошковой металлургии, ул. Платонова, 41, 220005, г. Минск, Беларусь,
e-mail: pmi.nil26@gmail.com*

Поступила 30. 09. 2016 г.

Отражена роль водорода в развитии химического производства и водородной энергетики. Показаны основные сырьевые источники его получения и значение каталитического риформинга, включающего в себя ступени высокотемпературных процессов парогазовой конверсии, в выделении из этих источников водорода и химического синтеза с его участием. Приведен анализ среды этих высокотемпературных процессов, а также используемых в этой среде материалов-носителей катализаторов, материалов-геттеров и фильтрующих материалов для обеспечения протекания таких процессов. Показано, что в высокопроизводительных процессах каталитического риформинга, использующего высокотемпературные процессы парогазовой конверсии водорода и химического синтеза с его участием, в качестве основы для получения материалов-носителей катализаторов, может быть использована оксидная металлокерамика с применением оксидов алюминия и титана, а также титановые сплавы для получения материалов-геттеров и фильтрующих материалов. Исходя из результатов анализа наличия сырьевой базы, включая залежи титановых и алюминиевых руд в России, Украине и Казахстане, а также технологических возможностей порошковой металлургии этих стран, включая Беларусь, предложено выделить порошковую композицию «Ti-Al-Me / оксидно-нитридная керамика» в унифицированную систему для изготовления материалов-носителей катализаторов, материалов-геттеров и фильтрующих материалов для химической промышленности и водородной энергетики. Высказана возможность получения из порошковых композиций такой системы композиционных материалов, поверхностные слои которых имеют полученную из основы оксидно-нитридную металлокерамику, а основа которой, является жаропрочным тройным титановым сплавом.

**PERSPECTIVE APPLICATIONS OF "TI-AL-XX" POWDER COMPOSITION TO PRODUCE
CATALYST-CARRIER MATERIALS, GETTER-MATERIALS AND FILTERING MATERIALS
DEMANDED IN CHEMICAL INDUSTRY AND HYDROGEN ENERGETICS**

M. A. Andreyev, V. V. Savich, O. O. Kuznechik, R. P. Golodok

Powder Metallurgy Institute, Minsk, Belarus

The role of hydrogen has been presented in the development of chemical production and hydrogen energetics. The main raw sources of its obtaining have been shown and also the value of the catalytic reforming including steps of high-temperature processes of steam-gas conversion, the hydrogen and chemical synthesis release from these sources with its participation. The analysis of the environment of these high-temperature processes has been carried out, and also the materials used in this environment of catalyst-carrier materials, getter-materials and filtering materials to provide such processes. It has been shown that in high-performing processes of the catalytic reforming using high-temperature processes of steam-gas conversion of hydrogen and chemical synthesis with its participation oxide metal ceramics can be used as a base for obtaining catalyst-carrier materials with the use of aluminum and titanium oxides, and also titanium alloys for obtaining getter-materials and the filtering materials. According to the analysis results of raw-material base including deposits of titanium and aluminum ores in Russia, Ukraine and Kazakhstan and also technological capabilities of powder metallurgy of these countries including Belarus, it

has been offered to pick out "Ti-Al-xx" powder composition in the unified system for production of catalyst-carrier materials, getter-materials and filtering materials for chemical industry and hydrogen energetics. The possibility of obtaining such system of composite materials from powder compositions has been stated. Their surface layers have the oxide-nitride metal ceramics obtained from the base, and the base is hot-resistant triple titanium alloy.

**ПРИМЕНЕНИЕ СЭМ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ СТРУКТУРЫ
ВЫСОКОПРОНИЦАЕМЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Л. В. Маркова¹, В. В. Коледа¹, Т. В. Гамзелева¹, С. М. Азаров², Т. А. Азарова²

¹*Институт порошковой металлургии, ул. Платонова, 41, 220005, г. Минск, Беларусь,
e-mail:iscentr@tut.by*

²*Институт общей и неорганической химии, ул.Сурганова, 9, 220072, г. Минск, Беларусь,
e-mail:azarova@yahoo.com*

Поступила 22.08. 2016 г.

В работе представлены результаты исследования структуры высокопроницаемых композиционных материалов методом сканирующей электронной микроскопии. Показано, что структура материала зависит от условий получения керамики.

**USE OF SEM DURING INVESTIGATION OF A STRUCTURE OF HIGH-PERMEABLE
COMPOSITE MATERIALS**

L. V. Markova¹, V. V. Koleda¹, T. V. Gamzeleva¹, S. M. Azarov², T. A. Azarova²

¹*Powder Metallurgy Institute, Minsk, Belarus*

²*The Institute of General and Inorganic Chemistry, Minsk, Belarus*

The investigation results of the structure of high-permeable composite materials are presented in the work using a method of the scanning electronic microscopy. It is shown that the structure of the material depends on conditions of obtaining ceramics.

КАПИЛЛЯРНЫЕ СТРУКТУРЫ КОНТУРНОЙ ТЕПЛОВОЙ ТРУБЫ: ТЕНДЕНЦИЯ РАЗВИТИЯ

В. Е. Романенков¹, Т. Е. Евтухова¹ В. В. Мазюк², Е. Е. Петюшик³

¹Белорусский национальный технический университет, пр-т Независимости, 65, 220113, г. Минск,
Беларусь, e-mail: rom52@mail.ru

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

³ГНПО порошковой металлургии, ул. Платонова, 41, 220005, г. Минск, Беларусь,
e-mail: pet65@bk.ru

Поступила 07. 10. 2016 г.

Выполнен обзор современных капиллярных структур контурных тепловых труб на основе дискретных структурообразующих элементов. Приведены результаты собственных работ по изготовлению капиллярно-пористых материалов на основе титана, никеля, алюминия. Выявлены тенденции к снижению массы теплопередающих устройств при сохранении и повышении функциональных характеристик за счет применения новых материалов.

CAPILLARY STRUCTURES OF CONTOUR HEAT PIPE: TENDENCES OF DEVELOPMENT

V. E. Romanenkov¹, T. E. Evtukhova¹ V. V. Mazyuk², E. E. Petiushik³

¹Belarus national technical university, Minsk, Belarus

²Powder Metallurgy Institute, Minsk, Belarus

³SSPA of Powder Metallurgy, Minsk, Belarus

It is executed review of modern capillary structures of contour heat pipes on the base of discrete structure forming elements. Results of our works for production of capillary porous materials on the base of titanium, nickel and aluminum are given. Tendencies to reduction of mass of heat transferring devices with conservation and increase of functional characteristics owing to use of new materials are determined.

МЕТОДЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПОРИСТОЙ СТРУКТУРЫ СПЕЧЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ГУБЧАТЫХ ПОРОШКОВ ТИТАНА

В. В. Савич

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

Поступила 15.07.2016 г.

На основании анализа литературных источников, собственных результатов исследований, определены и рекомендованы методы регулирования параметров поровой структуры спеченных пористых материалов из губчатых порошков титана: формование шихты с использованием улетучивающегося при спекании порообразователя; использование шихты из смеси сферических и губчатых частиц; формование с приложением давления к насыпке порошка через эластичную оболочку или облицовку пуансона;

Для регулирования параметров микро- и макроструктуры рекомендована химическая или электрохимическая обработка спеченных образцов и изделий, позволяющая увеличить толщину оксидного слоя на поверхности пор, модифицировать текстуру слоя вплоть до наноразмерного уровня.

METHODS OF POROUS STRUCTURE REGULATION OF SINTERED MATERIALS FROM SPONGY POWDERS OF TITANIUM

V. V. Savich

SSI Powder Metallurgy Institute, 220005, Platonova str. 41, Minsk savich@pminstitute.by

On the basis of the analysis of literary sources and own results of researches the methods of parameters regulation of porous structure of the sintered porous materials from spongy powders of titanium are defined and recommended: formation of the charge using evaporating pore-former at the sintering process; the use of the charge from a mix of spherical and spongy particles; formation with the pressure toward powder filling through an elastic casing or facing of a punch;

For parameters regulation of micro- and macrostructures the chemical or electrochemical treatment of the sintered samples and products is recommended. It allows to increase thickness of an oxide layer on the pore surfaces and to modify layer texture up to the nanodimensional level.

**ПОЛУЧЕНИЕ ИЗ ПОРОШКОВ ГУБЧАТОГО ТИТАНА
ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНЫМ СПЕКАНИЕМ И ПЛАЗМОХИМИЧЕСКИМ
СИНТЕЗОМ ПЕРСПЕКТИВНОГО НОСИТЕЛЯ КАТАЛИЗАТОРА
ДЛЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО КАТАЛИТИЧЕСКОГО РИФОРМИНГА**

**А. М. Тарайкович¹, Г. А. Шеко¹, Р. П. Голодок¹, О. О. Кузнечик²,
В. Е. Романенков², Т. Е. Евтухова²**

¹*Институт порошковой металлургии, ул. Платонова, 41, 220005, г. Минск, Беларусь,
e-mail: pmi.nil26@gmail.com*

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

Поступила 21. 09. 2016 г.

Приведен краткий анализ развития химической промышленности, на основе которого показаны перспективы использования порошков губчатого титана для получения материалов-носителей катализатора, применяемых осуществлении высокопроизводительного каталитического риформинга. Показана возможность получения таких материалов с помощью электроимпульсного спекания и плазмохимического синтеза, инициированного электроконтактным нагревом. Представлены результаты исследования структуры, проницаемых и прочностных свойств полученных из порошков губчатого титана экспериментальных образцов материалов-носителей катализаторов, по своей форме и размерам, сопоставимым с кольцами Рашига. Установлено, что после осуществления плазмохимического синтеза, проведенного в азотно-кислородной атмосфере, этот материал имел развитую, оксидно-нитридную поверхность. На основе представленных результатов металлографических исследований, механических и газодинамических испытаний, выявлено, что полученные из порошков губчатого титана электроимпульсным спеканием и плазмохимическим синтезом, инициированным электроконтактным нагревом, материалы имели прочность на сжатие (116–120 МПа), которая в 1,3–1,5 раза превосходила аналогичный материал из оксида алюминия.

**THE USE OF ELECTRO-PULSE SINTERING PROCESS OF TITANIUM POWDERS
AND OF PLASMA-CHEMICAL SYNTHESIS PROCESS FOR PRODUCE OF CATALYST
CARRIERS WITH OXIDE AND NITRIDE SURFACE LAYER**

**A. M. Taraikovich¹, G. A. Sheko¹, R. P. Gololdok¹, O. O. Kuznechik¹,
V. E. Romanenkov², T. E. Evtukhova²**

¹*Powder Metallurgy Institute, Minsk, Belarus*

²*Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus*

A brief analysis of chemical industry development and on the base of them there are shown perspectives of use of powders of sponge titanium for production of materials – catalyst carriers used during a highly productive catalytic reforming is presented. It is shown a possibility of such materials production using electrical-pulse sintering and plasma-chemical synthesis initiated by electro-contact heating. Results of investigation of structure, properties of permeability and durability of obtained from powders of sponge titanium of experimental samples of materials- catalyst carriers according to their form and sizes comparables with Rashig's rings are presented. It is determined that after execution of plasma-chemical synthesis made in nitrogen-oxygen atmosphere this material have had a developed oxide -nitride surface. On the base of presented results of metallographic investigations, mechanic and gas-dynamic

testing, it was determined that produced from powders of sponge titanium by electrical-pulse sintering and plasma-chemical synthesis ,initiated by electro-contact heating, materials have had a durability of 117–119 MPa which in 1,3–1,5 times exceeds analogous material from oxide of aluminum.

**СИЛИЦИРОВАННЫЙ УГЛЕРОД-УГЛЕРОДНЫЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ:
ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ, СТРУКТУРА И НЕКОТОРЫЕ СВОЙСТВА**

**А. Ф. Ильющенко, О. А. Прохоров, В. А. Осипов, Е. В. Звонарев, Ж. А. Витко,
А. В. Мадарин, Д. В. Бабура**

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

Поступила 09.08.2016 г.

Рассмотрены возможности получения углерод-углеродного композиционного материала на основе углеродных нитей и волокон путем их бакелизации, полимеризации, карбонизации и силицирования в расплаве кремния в вакууме. При этом не имеется в виду получение полностью керамического материала, не содержащего свободного углерода, а изучены возможности разработки материала состава «углеродное волокно – кремний – карбид кремния», в котором кремний является связующим компонентом.

**SILICONIZED CARBON-CARBON COMPOSITE MATERIAL: POSSIBILITIES
OF ITS MANUFACTURING, STRUCTURE AND PROPERTIES**

**A. Ph. Ilyushchenko, O. A. Prokhorov, V. A. Osipov, E. V. Zvonarev, Zh. A. Vitko,
A. V. Madarin, D. V. Babura**

Powder Metallurgy Institute, Minsk, Belarus

The possibilities of carbon-carbon composite material production are considered based on the carbon threads and fibers by their bakelization, polymerization, carbonization and siliconizing in silicon melt in vacuum. In this regard it is not intended to produce completely ceramic material which does not contain free carbon but the possibilities of material development of "carbon fiber – silicon – silicon carbide" composition are studied. In this composition the silicon is a binding component.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ МАХ-ФАЗ
СИСТЕМЫ Ta-Al-C МЕТОДОМ САМОРАСПРОСТРАНЯЮЩЕГОСЯ
ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СИНТЕЗА**

А. Ф. Ильющенко, Т. Л. Талако, А. И. Лецко, А. С. Щербо, Ю. А. Реуенок

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

Поступила 22.07.2016 г.

Исследована возможность синтеза композиций в системе Ta-Al-C методом СВС. Показано, что применение предварительной механоактивации реакционной смеси способствует существенному увеличению в процессе синтеза общего содержания МАХ-фаз.

INVESTIGATION POSSIBILITY OF OBTAINING MAX-PHASE SYSTEM Ta-Al-C BY SHS

A. Ph. Ilyushchenko, T. L. Talako, A. I. Letsko, A. S. Shcherbo, Yu. A Reutenok

Powder Metallurgy Institute, Minsk, Belarus

The possibility of synthesizing compositions sisteme Ta-Al-C by SHS. It is shown that the use of pre-reaction mixture to mechanical activation contributes to a substantial increase in the total synthesis of MAX-phases.

ВЛИЯНИЕ ИНТЕНСИВНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ ВЗРЫВОМ НА ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ ЗЁРЕН ВЫСОКОПРОЧНЫХ СТАЛЕЙ

А. Ф. Ильющенко¹, И. В. Фомихина¹, М. М. Дечко², В. Н. Ковалевский³

¹*Институт порошковой металлургии, ул. Платонова, 41, 220005, г. Минск, Беларусь,
e-mail: iscentr@tut.by*

²*Белорусский аграрный технический университет, пр. Независимости, 99, 220023, г. Минск,
Беларусь, e-mail: mdechko@rambler.ru*

³*Белорусский национальный технический университет, ул. Я. Коласа, 24, 220013, г. Минск, Беларусь,
e-mail: vn.kovalevskii@gmail.com*

Поступила 30. 08. 2016 г.

В работе представлены результаты исследования зависимости размера зерна легированных высокопрочных сталей аустенитного, бейнитного, мартенситно-старееющего классов от температуры и степени деформации при нестационарной интенсивной пластической деформации взрывом. Установленные закономерности позволили построить модель, учитывающую зависимость коэффициента зернограницной диффузии от степени деформации и температуры, позволяющую рассчитывать величину предела диспергирования.

INFLUENCE OF INTENSIVE PLASTIC DEFORMATION BY EXPLOSION ON GRAIN CRUSHING OF HIGH-RESISTANT STEELS

A.Ph. Ilyushchenko¹, I.V. Fomikhina¹, M.M. Dechko², V.N. Kovalevskiy³

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

²*Belarusian Agricultural Technical University, Minsk, Belarus, e-mail: mdechko@rambler.ru*

³*Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, e-mail: vn.kovalevskii@gmail.com*

Research results of the dependence of the grain size of alloyed high-resistance steels of the austenitic, bainitic, maraging classes on temperature and degree of deformation at unsteady intensive plastic deformation by the explosion are presented in the work. The determined consistent patterns have made it possible to construct the model considering the dependence of grain-boundary diffusion coefficient on deformation degree and temperature allowing to calculate the value of limit atomization.

**МЕТОДОЛОГИЯ И МЕТОД ДИНАМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ МАТЕРИАЛОВ
ПРИМЕНЯЕМЫХ В КОНСТРУКЦИИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ**

В. И. Овчинников

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

Поступила 25.07.2016 г.

В работе предложен метод динамических испытаний материалов, элементов конструкций и электроники, применяемых в космических аппаратах в лабораторных условиях, имитирующих условия взаимодействия высокоскоростных потоков частиц космической пыли с элементами конструкций и микроэлектроники систем управления космических аппаратов. В процессе разработки метода и методик динамических испытаний создана экспериментальная установка, позволяющая проводить испытания в условиях имитирующих космические.

**METHODOLOGY AND METHOD OF DYNAMIC TESTS OF THE MATERIALS USED
IN THE DESIGN OF THE SPACECRAFTS**

V. I. Ovchinnikov

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

This paper proposes a method for dynamic testing of materials, subassemblies and electronics used in spacecrafts in laboratory conditions, simulating the conditions of interaction of high-speed streams of particles of cosmic dust with the subassemblies and microelectronics control systems of spacecraft. In the process of developing a method and technique of dynamic tests of an experimental setup, allowing to conduct tests in conditions simulating the space.

КЛАССИФИКАЦИЯ УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ ПО РАЗМЕРАМ

Л. П. Пилиневич

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
ул. П. Бровки, 6, 220013, г. Минск, Беларусь*

Поступила 16. 09. 2016 г.

Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований возможности классификации ультрадисперсных материалов по размерам в поле центробежных сил. В результате исследований обоснована возможность классификации ультрадисперсных материалов в поле центробежных сил, разработано устройство, которое позволяет классифицировать ультрадисперсные частицы с размерами менее 1мкм.

CLASSIFICATION OF ULTRAFINE PARTICLE SIZE

L. P. Pilinevich

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Belarus

The results of and experimental study of classification of ultrafine materials by size in a centrifugal force field. The studies substantiated the possibility of classification of ultrafine materials in the field of centrifugal forces, developed a device that allows us to classify ultrafine particles by size, with the particle sizes less than 1mm.

ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ СИНТЕЗА МАХ ФАЗ СИСТЕМЫ ТI-AL-C И ИХ КОМПАКТИРОВАНИЕ МЕТОДОМ УДАРНО-ВОЛНОВОГО НАГРУЖЕНИЯ

Л. В. Судник¹, Т. А. Прихна², А. Р. Лученок¹, Т. В. Басюк², А. В. Козырев²,
Ю. И. Колодкевич¹, В. С. Ткачук¹

¹Научно-исследовательский институт импульсных процессов с опытным производством,
ул. Платонова 12б, г. Минск, 220005, Беларусь, juliakolodkevich@gmail.com

²Институт сверхтвердых материалов НАН Украины, ул. Автозаводская 2, Киев, 04074, Украина,
e-mail: prikhna@mail.ru

Поступила 06. 09. 2016 г.

Исследован массовый состав образцов МАХ материалов состава Ti_3AlC_2 , полученных различными методами синтеза. Установлено, что образцы с максимальным содержанием исследуемой фазы (96 масс.%) и минимальной пористостью (1-2 %) были получены путем двухстадийного синтеза (свободное спекание при 1350 °С с последующей термической обработкой в условиях высоких квазиизостатических давлений при 2 ГПа). Образцы, синтезированные только методом свободного спекания, имеют пористость более 10 %, а в аппаратах высокого давления реакция синтеза Ti_3AlC_2 не протекает.

Показана принципиальная возможность компактирования материалов на основе МАХ фаз системы Ti-Al-C методом ударно-волнового нагружения. Полученные компакты содержат 95-96 масс.% Ti_2AlC и 78-92 масс.% Ti_3AlC_2 . Отмечено частичное разрушение МАХ фазы структурного типа 312 в процессе импульсного прессования с образованием Ti_2AlC и TiC. Пористость компактированных образцов составляет 11-18 %, значения микротвердости находятся в пределах 450-690 МПа.

INVESTIGATION OF SYNTHESIS MAX PHASES OF THE SYSTEM TI-AL-C AND COMPACTING BY METHOD OF SHOCK WAVE LOADING

L. V. Sudnik¹, T. A. Prikhna², A. R. Luchenok¹, T. V. Basyuk², A. V. Kozyrev²,
Y. I. Kolodkevich¹, V. S. Tkachuk¹

¹Research Institute of Pulse Processes with Pilot Plant Institute of Powder Metallurgy, Minsk, Belaru., e-mail: juliakolodkevich@gmail.com

²Institute for Superhard Materials, Kiev, Ukraine. e-mail: prikhna@mail.ru

The phase composition of the samples MAX Ti_3AlC_2 material composition obtained by the different synthesis methods have been investigated. It is found that the samples with a maximum of desired phase (96 wt.%) and a minimum porosity (1-2%) were obtained by a two step synthesis (free sintering at 1350 °C with subsequent thermal treatment in high quasi-isostatic pressure at 2 GPa). Samples only were synthesized by free sintering have a porosity of 10% and Ti_3AlC_2 synthesis reaction does not proceed in high pressure apparatuses.

The principal possibility of compacting materials based on MAX phases of the system Ti-Al-C by shock wave loading has been demonstrated. These compacts contain 95-96 wt.% Ti_2AlC and 78-92 wt.% Ti_3AlC_2 . There was a partial destruction of the MAX phase structure type 312 in the pulse compression to form Ti_2AlC and TiC. The porosity of the compacted samples is 11-18%, the microhardness values are in the range of 450 to 690 MPa.

**СТРУКТУРА И СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННОГО
ФЕРРОАБРАЗИВНОГО ПОРОШКА ДЛЯ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ,
ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ СВС**

Т. Л. Талако¹, А. И. Лецко¹, Ю. А. Реутёнок¹, Н. С. Хомич², О. П. Корогода²

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

²*Научно-инженерное республиканское унитарное предприятие «Полимаг», пр-т Партизанский, 77, офис 208, 220107, г. Минск, Беларусь*

Поступила 02.08.2016 г.

С использованием метода СВС получены композиционные ферроабразивные порошки. Исследованы их структура, фазовый состав и свойства. Проведены испытания разработанных порошков при магнитно-абразивной обработке.

**STRUCTURE AND PROPERTIES OF COMPOSITE FERRO-ABRASIVE POWDER
FOR MAGNETIC-ABRASIVE MACHINING, OBTAINED BY SHS**

T. L. Talako¹, A. I. Letsko¹, Y. A. Reutsionok¹, N. S. Homich², O. P. Korogoda²

¹*Powder Metallurgy Institute, Minsk, Belarus*

²*Scientific and Engineering Republican Unitary Enterprise "Polimag", Minsk, Belarus*

Composite ferro-abrasive powders obtained by SHS. Were studied their structure, phase composition and properties. Created powders have been tested by magnetic abrasive machining.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ОБРАЗОВАНИЯ
ДЕФЕКТНОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ЕДИНИЧНОГО
И МЕЛКОСЕРИЙНОГО СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

П. В. Занковец

*Белорусский Национальный технический университет, пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск,
Беларусь, e-mail: pzankovets@mail.ru*

Поступила 07. 10. 2016 г.

Для условий единичного и мелкосерийного сварочного производства установлены доминирующие в формировании бездефектных сварных соединений факторы. С использованием математического моделирования и информационных технологий выполнены статистические и экспериментальные исследования для определения дефектности, образующейся по причинам каждого из доминирующих факторов. Исследования проводили при изготовлении сварных соединений технологических трубопроводов различных типоразмеров ручной дуговой сваркой (РДС), механизированной в среде CO₂, в смеси CO₂ + Ar и аргонодуговой сваркой (РАДС) в аттестованных сварочных лабораториях базовых предприятий в соответствии с заданиями Государственных Программ научных исследований. В результате исследований подтверждены ранее полученные данные статистического анализа и установлено, что отрицательные параметры каждого доминирующего фактора являются причиной образования уникальной, присущей только этому фактору, структуры дефектности. Рассчитан удельный вес доминирующих факторов в формировании бездефектных сварных соединений трубопроводов с учетом их типоразмеров и способов сварки. В результате для условий единичного и мелкосерийного сварочного производства установлены закономерности образования дефектности сварных соединений, позволяющие осуществлять управление технологическими процессами сборочно-сварочных работ по алгоритму «структура дефектов – причина – фактор».

**INVESTIGATING THE REGULARITIES IN FORMATION OF WELDED CONNECTIONS
DEFECTIVENESS UNDER THE CONDITIONS OF INDIVIDUAL AND SHORT-RUN WELDING
FABRICATION**

P. V. Zankovets

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

Dominated factors in forming of defectless welded joints were established for individual and low-volume welding production. With use of mathematical simulation and information technologies, statistical and experimental study in defectiveness was performed for each of dominated factors. Research were conducted during construction of technological pipelines of different sizes with shielded arc welding (SAW), GMAW in CO₂ and Ar + CO₂ and GTAW. Welding was performed at certified production welding laboratories in accordance with tasks of the State Programs in scientific research. Results confirmed data from previous study in statistical analyzing of defects occurring and concluded, negative factors of joint preparation are cause of forming of defectiveness structure forming which is unique, related to this only factor. Fraction of dominating factors for forming of defectless welded joints in pipelines of different size and for different welding methods was calculated. As a result, regularity of defectless welded joints forming was established for individual and low-volume production. That allowed monitoring of production welding technological processes using connection "structure defect - cause - factor".

**РАЗРАБОТКА НАУЧНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОСНОВ
НАНЕСЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ,
ФОРМИРУЕМЫХ ИМПУЛЬСАМИ ПЛАЗМЫ И СВС**

**А. Ф. Ильющенко¹, А. И. Шевцов², В. М. Асташинский³, А. М. Кузьмицкий³,
Г. Ф. Громыко⁴, Л. В. Маркова¹, А. И. Лецко¹, Т. А. Ильющенко¹, А. С. Козорез⁵**

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

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

³Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова, ул. П. Бровки, 15, 220072, г. Минск, Беларусь

⁴Институт математики, ул. Сурганова, 11, 220072, г. Минск, Беларусь

⁵ОАО «Завод Промбурвод», ул. Асаналиева, 29, 220024, г. Минск, Беларусь

Поступила 05.07.2016 г.

С учетом результатов комплексных исследований разработаны научные и технологические основы нанесения износостойких порошковых покрытий (NiCr/FeCr + TiC), (NiCr/FeCr + CaF₂/графит + TiC), формируемых импульсами плазмы и СВС

**DEVELOPMENT OF SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL FOUNDATIONS
OF APPLYING THE COMPOSITE COATINGS FORMED BY IMPULSES OF PLASMA AND SHS**

**A. Ph. Ilyuschenko¹, A. I. Shevtsov², V. M. Astashinski³, A. M. Kuzmitski³,
G. F. Gromyko⁴, L. V. Markova¹, A. I. Letsko¹, T. A. Ilyuschenko¹, A. S. Kozorez⁵**

¹Powder Metallurgy Institute, Minsk, Belarus

²Institute of welding and Protective Coatings, Minsk, Belarus

³Luikov Heat and Mass Transfer Institute, Minsk, Belarus

⁴Institute of mathematics, Minsk, Belarus

⁵Joint-Stock Company "Zavod Promburvod", Minsk, Belarus

Taking into account results of complex researches scientific and technological foundations of applying the wear-resistant powder coatings (NiCr/FeCr + TiC), (NiCr/FeCr + CaF₂/graphite + TiC) formed by impulses of plasma and SHS are developed

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ РЕЗАНИЕМ АУСТЕНИТНОЙ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ

А. О. Лемешев, И. Ю. Бойко

*Рижский Технический Университет, Институт Технологии Машиностроения – Вискалю 36В,
LV-1006, Рига, Латвия*

Поступила 07. 10. 2016 г.

Целью данной работы является исследование особенностей фрезерной обработки аустенитной нержавеющей стали AISI 321 (ГОСТ 08X18H10T, EN 1.4541). В отличие от широко используемой стали того же класса AISI 304 (ГОСТ 08X18H10, EN 1.4301) данный материал содержит титан, который оказывает существенное влияние на обработку резанием, в том числе на износ режущего инструмента. Проведено экспериментальное исследование особенностей фрезерной обработки аустенитной нержавеющей стали AISI 321 в сравнении со сталью AISI 304, по результатам которого разработаны и представлены рекомендации по обработке данного материала, обеспечивающие лучшие характеристики резания и меньший износ инструмента.

INVESTIGATION OF THE MACHINING PROCESS OF AUSTENITIC STAINLESS STEEL

A. O. Lemeshev, I. Yu. Boyko

*Riga Technical University, Mechanical Engineering Technology Institute, Viskalu street, Riga 36B,
LV-1006, Latvia*

This work is devoted to the investigation of the milling process of austenitic stainless steel AISI 321 (GOST 08X18H10T, EN 1.4541). As distinct from widely used steel of the same class AISI 304 (GOST 08X18H10, EN 1.4301) the steel AISI 321 contains titanium, which considerably influences the machining process and the wear of the cutting tool. The experimental research of the peculiarities of the milling of austenitic stainless steel AISI 321 in comparison with AISI 304 was done and presented in this work. After analysis of received results the recommendations on the milling of steel AISI 321 were elaborated and offered. The follow-through proposed procedure will provide better cutting characteristics and lower wear of the cutting tool.

**ВОССТАНОВЛЕНИЕ ВАЛОВ ФИЛЬТР-ПРЕССА
ГАЗОПЛАМЕННЫМ НАПЫЛЕНИЕМ ЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ
МАТЕРИАЛОМ RILSAN**

Е. Д. Манойло, Ф. Е. Онащенко, Р. В. Цынгель

ОХП «Институт сварки и защитных покрытий», ул. Платонова, 12б, г. Минск, Беларусь

Поступила 29.07.2016 г.

*Разработана технология ремонта валов фильтр-пресса Huber BS 251 ST (Германия), которая включает следующие основные операции: газопламенное напыление подслоя из экзотермически-реагирующего материала, подогрев детали до температуры 230-250°C и газопламенное нанесение основного слоя покрытия порошком **RILSAN**. Восстановлено пять прессовальных валов диаметром 245 и 273 мм, длиной - 2600 мм. Результаты эксплуатационных испытаний подтвердили высокую эффективность применения новой технологии.*

**RESTORATION OF THE SHAFTS OF A FILTER PRESS BY GAS-FLAME SPRAYING
OF A PROTECTIVE COATING USING RILSAN MATERIAL**

E. D. Manoylo, Ph. E. Onashchenko, R. V. Tsyngel

Institute of Welding and Protective Coatings, Minsk, Belarus

*The technology of repair of the shafts of Huber BS 251 ST filter press (Germany) is developed. This technology includes the following main operations: a gas-flame spraying of the intermediate layer from the exothermic reacting material, heating of the product up to the temperature of 230-250 °C and gas-flame deposition of the main layer using **RILSAN** powder. Five pressing shafts with the diameters of 245 and 273 mm, with the length of 2600 mm have been restored. The results of operating tests have confirmed a high efficiency for applying the new technology.*

**ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОИСКРОВОЙ ОБРАБОТКИ
С УЛЬТРАЗВУКОВЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ ПЕРЕМЕННОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ И
ЧАСТОТЫ НА СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ**

Н. М. Чигринова¹, С. И. Ловыгин²

¹Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь

²ОХП ИСЗП ГНУ «Институт порошковой металлургии» г. Минск, Республика Беларусь

Поступила 11. 09. 2016 г.

Изучались кинетика массопереноса и динамика формирования покрытий интегральным способом электроискрового легирования с дополнительным ультразвуковым воздействием на разных стадиях их формирования. Легирующими электродами являлись композиции, изготовленные методом высокоэнергетического горячего прессования (ВГП), на основе системы тугоплавкий карбид (WC) – связка в виде сплава на основе никеля из серии «колмоной», Ni-Ni₃B, легированный добавками меди и кремния.

**INFLUENCE OF THE ELECTRIC SPARK TREATMENT MODES WITH ULTRASONIC
EXPOSURE OF VARIABLE INTENSITY AND FREQUENCY ON COATING PROPERTIES**

N. M. Chigrinova¹, S. I. Lovygin²

¹Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

²Powder Metallurgy Institute, Minsk, Belarus

The kinetics of a mass transfer and dynamics of coating formation have been studied using an integrated way of an electro-spark alloying with additional ultrasonic exposure at different stages of their formation. The alloying electrodes were the compositions made by the method of the high-energy hot pressing (HEHP) on the base of refractory carbide system (WC) – a binder in the form of the nickel-based alloy of “colmonoy” Ni-Ni₃B series, alloyed by additives of copper and silicon.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК ОКСИДА ЦИНКА
С ЛЕГИРУЮЩИМИ ДОБАВКАМИ ФТОРИДОВ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

**А. Н. Чумаков¹, А. В. Гулай², А. А. Шевченко³, Л. В. Баран⁴, Т. Ф. Райченко¹,
А. Г. Кароза¹, А. С. Мацукович¹, Н. А. Босак¹**

¹*Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси, пр. Независимости, 68, г. Минск, Беларусь,
email: n.bosak@ifanbel.bas-net.by*

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

³*Институт порошковой металлургии, ул. Платонова, 41, 220005, г. Минск, Беларусь,
email: alexshev56@mail.ru*

⁴*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь*

Поступила 24.08.2016 г.

Получены пленки оксида цинка, легированные фторидом гольмия, на кремниевой подложке при высокочастотном (5-50 кГц) многоимпульсном лазерном испарении керамической мишени. Структура пленок исследована на атомно-силовом микроскопе, изучены спектры фотолюминесценции, поглощения и комбинационного рассеяния света. Показано, что легирование оксида цинка фторидом гольмия приводит к существенному увеличению пропускания в области спектра от 1 до 10 мкм.

**INVESTIGATION OF THIN FILMS OF ZINC OXIDE WITH THE ALLOYING ADDITIVES
OF FLUORIDES OF RARE-EARTH ELEMENTS**

**A. N. Chumakov¹, A. V. Gulay², A. A. Shevchenok³, L. V. Baran⁴, T. Ph. Raychenok¹,
A. G. Karoza¹, A. S. Matsukovich¹, N. A. Bosak¹**

¹*B. I. Stepanov Institute of Physics of NAS of Belarus, Minsk, Belarus, email: n.bosak@ifanbel.bas-net.by*

²*Belarusian National Technical University, Minsk, Republic Belarus*

³*Powder Metallurgy Institute, Platonova, Minsk, Belarus, email: alexshev56@mail.ru*

⁴*Belarusian State University, Minsk, Belarus*

The zinc oxide films alloyed by holmium fluoride on a silicon substrate are obtained at high-frequency (5-50 kHz) multipulse laser evaporation of a ceramic target. The structure of the films is investigated on an atomic-force microscope; the spectra of a photoluminescence, absorption and combinational light dispersion are studied. It is shown that the zinc oxide alloying by holmium fluoride leads to an essential increase of a transmission in the spectrum in the range from 1 to 10 μm .