

Композиты и наноструктуры (Composites and Nanostructures)

Научно-технический журнал

<http://www.issp.ac.ru/journal/composites/>

ISSN 1999-7590

Издаётся с 2009 г.

Учредители:

ИФТТ РАН

ООО «Научно-техническое предприятие

«Выраж-Центр»

Редакция: ИФТТ РАН

Россия, 142432, г. Черноголовка Московской обл.

Тел./Факс: +7(49652)22493

<http://www.issp.ac.ru>

Ведущий редактор: Нелли Анатольевна Прокопенко

Издательство:

ООО НТП «Выраж-Центр»

Россия, 105264, Москва, ул. Верхняя Первомайская, д. 49, корп. 1 офис 401.

Почтовый адрес: Россия, 105043, Москва, а/я 29

Тел.: 7 495 780-94-73

<http://www.machizdat.ru>

e-mail: virste@dol.ru

Директор журнала

М.А.Мензуллов

Вёрстка

А.А.Мензуллов

Отпечатано: ООО «РПЦ ОФОРТ» г. Москва, пр-кт

Будённого, 21

Заказ №

Тираж 100

Цена – договорная

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи и массовых коммуникаций.

Свидетельство о регистрации средства массовой информации № ФС77-33449 от 08.10.2008.

Авторы опубликованных материалов несут полную ответственность за достоверность приведённых сведений, а также за наличие в них данных, не подлежащих открытой публикации. Материалы рецензируются.

Перепечатка, все виды копирования и воспроизведения материалов, публикуемых в журнале, осуществляются только с разрешения редакции.

На первой стр. обложки: Рис.1. Эффект Тиндаля, наблюдаемый в результате пропускания светового пучка через образующуюся при гидролизе коллоидную систему стр. 52 статья «Функционально градиентный композиционный материал $\text{SiC}/(\text{ZrO}_2\text{-HfO}_2\text{-Y}_2\text{O}_3)$, полученный с применением золь-гель метода».

Главный редактор

С.Т. Милейко

д-р техн. наук, проф., ИФТТ РАН, Россия

Редакционная коллегия

М.И. Алымов

чл.-корр. РАН, ИМЕТ РАН, Россия

Р. А. Андриевский

д-р физ.-мат. наук, ИПХФ РАН, Россия

Ю.О. Бахвалов

д-р техн. наук, ГКНПЦ им. Хруничева, Россия

С.И. Бредихин

д-р физ.-мат. наук, ИФТТ РАН, Россия

Л.Р. Вишняков

д-р техн. наук, ИПМ НАНУ, Украина

В. В. Видулин

проф., ФГУП ОНПП «ТЕХНОЛОГИЯ»

В.М. Кийко

канд. техн. наук, ИФТТ РАН, Россия

Ю.Р. Колобов

д-р физ.-мат. наук, проф., БелГУ, Россия

В.И. Костиков

чл.-корр. РАН, МИСИС, Россия

А.М. Куперман

д-р техн. наук, ИХФ РАН им. Н.Н. Семёнова, Россия

С.А. Лурье

д-р физ.-мат. наук, ВЦ РАН, Россия

Б.Е. Победра

д-р физ.-мат. наук, проф., МГУ им. М.В. Ломоносова, Россия

В.Г. Севастьянов

д-р хим. наук, ИОНХ РАН, Россия

А.В. Серебряков

д-р техн. наук, проф., ИФТТ РАН, Россия

A.R. Bunsell

проф., Франция

K. Chawla

проф., США

T.W. Chou

проф., США

George C. Sih

проф., США

Shanyi Du

проф., Китай

T. Ishihara

проф. Япония

A. Kelly

проф., Великобритания

A. Koyama

проф. Япония

W.M. Kriven

проф., США

L.M. Manocha

проф., Индия

V.M. Orera

проф., Испания

H. Schneider

проф., Германия

K. Schulte

проф., Германия

M. Singh

проф., США

H.D. Wagner

проф., Израиль

Composites and Nanostructures

<http://www.issp.ac.ru/journal/composites/>

ISSN 1999-7590

Editor-in-Chief:

Professor **S.T. Mileiko**,
Institute of Solid State Physics of RAS, Russia

Editorial Board:

Professor **M.I. Alymov**

A.A. Baikov

Institute of Metallurgy and Materials Science of RAS, Russia

Professor **R. A. Andriyevskii**

Institute of Problem of Chemical Physics of RAS, Russia

Dr **Yu.O. Bakhvalov**

Khrunichev State Research and Production Space Center, Russia

Dr **S.I. Bredikhin**

Institute of Solid State Physics of RAS, Russia

Professor **A.R. Bunsell**

Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, France

Professor **K. Chawla**

University of Alabama, USA

Professor **T-W. Chou**

University of Delaware, USA

Professor **T. Ishihara**

Japan

Professor **Shanyi Du**

Harbin Institute of Technology, China

Professor **A. Kelly**

University of Cambridge, UK

Dr **V.M. Kiiko**

Institute of Solid State Physics of RAS, Russia

Professor **A. Koyama**

Kyoto University, Japan

Professor **Yu.R. Kolobov**

Belgorod State University, Russia

Professor **V.I. Kostikov**

State Technological University «Moscow Institute of Steel and Alloys»,
Russia

Professor **W.M. Kriven**

The University of Illinois at Urbana-Champaign, USA

Dr **A.M. Kuperman**

Institute of Chemical Physics of RAS, Russia

Professor **S.A. Lurie**

Dorodnicyn Computing Centre of RAS, Russia

Professor **L.M. Manocha**

Sardar Patel University, India

Professor **V.M. Orera**

Instituto de Ciencia de Materiales, Spain

Professor **B.E. Pobyedrya**

Lomonosov Moscow State University, Russia

Professor **H. Schneider**

Institute of Crystallography, University of Koeln, Germany

Professor **K. Schulte**

Technical University Hamburg – Hamburg, Germany

Professor **George C. Sih**

Lehigh University, Bethlehem, USA

Professor **A.V. Serebryakov**

Institute of Solid State Physics of RAS, Russia

Professor **V.G. Sevastyanov**

Institute of General and Inorganic Chemistry of RAS, Russia

Dr **M. Sing**

NASA Glenn Centre, USA

Professor **V.V. Vikulin**

FSUE ORPE «TEKNOLOGIYA» State Research Centre of the Russian
Federation, Russia

Dr **Leon Vishnyakov**

Frantsevich Institute for Problems of Materials Science, Ukrain

Professor **H.D. Wagner**

Weizmann Institute of Science, Israel

Established by:

Solid State Physics Institute

Russian Academy of Sciences

(ISSP RAS)

and

Science Technical Enterprise

«Virag-Centre» LTD

ISSP RAS:

2, Institutskaya str., Chernogolovka, Moscow district., Russia, 142432

Tel./Fax: +7(49652)22493

<http://www.issp.ac.ru/journal/composites/>

Editor: Nelli Prokopenko

Publishing House:

STE Virag-Centre LTD

49/1, Verchnyaya Pervomayskaya str., Moscow,
Russia, 105264.

Phone: 7 495 780 94 73

<http://www.mashizdat.ru>

Director of journal

M.A. Menzullov

Making-up

A.A. Menzullov

*Subscriptions: please apply to one of the partners
of JSC «MK-Periodica» in your country or to JSC
«MK-Periodica» directly:*

39, Gilyarovsky Street, Moscow Russia, 129110;

Tel: +7(495) 681-9137, 681-9763;

Fax +7(495) 681-3798

E-mail: info@periodicals.ru

<http://www.periodicals.ru>

(Inquire Komposity i nanostructurey)

Photo on the cover: Fig. 1. Tyndall effect observed as a result of propagation of
light beam through the colloid system formed during hydrolysis.
«FUNCTIONALLY GRADED COMPOSITE MATERIAL SiC/(ZrO₂-HfO₂-Y₂O₃)
PREPARED VIA SOL-GEL TECHNOLOGY» p. 52

СОДЕРЖАНИЕ

Ю.О.Бахвалов, Г.Е.Мишензников, А.С.Анисимова, И.В.Ананин, А.В.Сидоров,
А.А.Шмально, В.П.Сергеев

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА АНТИФРИКЦИОННОГО
ИЗНОСОСТОЙКОГО ПОКРЫТИЯ ДЛЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
МАГНЕТРОННОГО НАПЫЛЕНИЯ ХРОМА И ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ5

В статье рассмотрены процессы разработки и исследования нового экспериментального антифрикционного износоустойчивого покрытия для использования в узлах, подвергающихся значительному фрикционному износу. Представлены результаты измерения некоторых физических параметров покрытия, а также его испытаний на герметичность и износоустойчивость. Приведены преимущества нового покрытия относительно гальванического покрытия, традиционно используемого для увеличения износоустойчивости деталей в условиях высоких фрикционных нагрузок (с. 5-13; ил. 1).

Д.А.Паршин, Л.С.Степняк, А.М.Столин

ВЛИЯНИЕ ДИСПЕРСНОСТИ МЕТАЛЛА-СВЯЗКИ НА КИНЕТИКУ
УПЛОТНЕНИЯ ПРИ СВС-ЭКСТРУЗИИ ТУГОПЛАВКИХ МАТЕРИАЛОВ14

На основе математического моделирования СВС-экструзии тугоплавких материалов в цилиндрической пресс-форме исследовано влияние дисперсности металла-связки на основные характеристики материала: плотность и разнородность по высоте, получаемого изделия. Показано, что при использовании в качестве металла-связки ультра- и нанодисперсных порошков образцы получают лучшего качества: стержни уплотняются до предельной плотности по всей длине (за исключением малой части стержня, находящейся у отверстия профилирующей матрицы) (с. 14-20; ил. 2).

Н.Н.Головин, В.С.Зарубин, Г.Н.Кувыркин

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНЫХ УПРУГИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛОВ,
МОДИФИЦИРОВАННЫХ ФУЛЛЕРЕНОМ21

Представлены количественные оценки эффективных модулей упругости и эффективного удельного модуля Юнга композитов на основе алюминиевой и магниевой матриц с включениями в виде фуллерена, механические характеристики которого определены путем математического моделирования (с. 21-31 ил. 7).

Е.А.Корнеева, А.Н.Скоморохов, Ю.Р.Колобов, Г.В.Храмов,

И.Н.Кузьменко, В.В.Ракитянский

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА КОМПОЗИТОВ ТИТАН-ПОКРЫТИЕ,
ПОЛУЧАЕМЫХ МЕТОДОМ МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ32

Представлены результаты исследований влияния биосовместимых покрытий, полученных методом микродугового оксидирования, на механические свойства композиционного материала «субмикроструктурный титан – покрытие». Обсуждаются результаты исследований структуры, фазового и элементного составов исследуемой системы методами электронной микроскопии и рентгеновской дифракции. Рассматривается влияние покрытий на прочностные свойства и упруго-пластические характеристики композита *титан-покрытие* (с. 32-42; ил. 6).

Л.И.Тучинский

ТЕХНОЛОГИЯ КОМПОЗИТОВ С «ВОЛОКНАМИ ПУСТОТЫ»43

Предложена технология, базирующаяся на экструзии пластифицированных порошковых смесей и позволяющая трансформировать заготовки из «зелёных» композитов в пористые металлические и керамические материалы, которые могут быть представлены как композиты, армированные «волоконными пустотами» (микроканалами). Технология позволяет в широких пределах контролировать диаметр и объёмное содержание микроканалов в материале и анизотропию его свойств. Полученные пористые структуры могут найти широкое применение при создании микроканальных химических реакторов, теплообменников, носителей катализаторов, форсунок, биоматериалов и др (с. 43-51; ил. 8).

Е.П.Симоненко, Н.П.Симоненко, В.Г.Севастьянов, Д.В. Гращенко,

Н.Т.Кузнецов, Е.Н. Каблов

ФУНКЦИОНАЛЬНО ГРАДИЕНТНЫЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ $\text{SiC}/(\text{ZrO}_2\text{-HfO}_2\text{-Y}_2\text{O}_3)$,
ПОЛУЧЕННЫЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ МЕТОДА52

Разработан метод получения тугоплавкого наноструктурированного порошка заданного состава в системе $\text{ZrO}_2\text{-HfO}_2\text{-Y}_2\text{O}_3$ с применением золь-гель техники; по данным РФА рассчитан средний размер областей когерентного рассеяния (ОКР), с помощью СЭМ исследована микроструктура, определено термическое поведение на воздухе в интервале 20-1200°C, показано, что в сравнительно мягких условиях (температура 1000-1400 °C, время термической обработки 1-4 часа) происходит спекание порошка, в результате чего удельная площадь поверхности уменьшается с $155 \pm 5 \text{ м}^2/\text{г}$ до $7 \pm 15 \text{ м}^2/\text{г}$. Метод применен для создания функционально градиентного композиционного материала $\text{SiC}/(\text{ZrO}_2\text{-HfO}_2\text{-Y}_2\text{O}_3)$ с приповерхностным слоем, уплотненным тугоплавкой оксидной матрицей, что также показано и методом компьютерной рентгеновской микротомографии высокого разрешения (с. 52-64; ил. 11).

CONTENS

Yu.O.Bahvalov, G.E.Mishenznikov, A.S.Anisimova,

I.V.Ananin, A.V.Sidorov, A.A.Shmal'ko¹, V.P.Sergeev

DEVELOPMENT AND STUDY OF AN ANTIFRICTIONAL WEAR-RESISTANT COATING
USING MAGNETRON SPUTTERING AND ION IMPLANTATION TECHNOLOGIES FOR MACHINERY5

In this paper development and study of a new experimental antifrictional wear-resistant coating for details subjected to intensive friction wear are considered. Results of both measuring physical properties of the coatings and its leak proofness and wear-resistance tests are presented. The new coating have some advantages as compared to galvanic coatings, which are traditionally used to increase details wear-resistance in high friction load conditions (p. 5-13; fig. 1).

D.A.Parshin, L.S. Stelmakh, A.M.Stolin

INFLUENCE OF THE METAL-SHEAF DISPERSION ON THE DENSIFICATION KINETICS
UNDER SHS-EXTRUSION OF REFRACTORY MATERIALS14

On the basis of mathematical modeling SHS-extrusion of refractory materials in a cylindrical compression mould an effect of metal-sheaf dispersion on the basic characteristics of the material, density and heterogeneity of density on height of the sample is studied. It is shown that using as a metal-sheaf ultra- and nanodisperse powders yields the best quality: cores are obtained of a limiting density on all length (except for a small core part of a main matrix being at an aperture) (p. 14-20; fig. 2).

N.N.Golovin, V.S.Zarubin, G.N.Kuvyrkin

ESTIMATION OF EFFECTIVE MODULI OF MATERIALS MODIFIED BY FULLERENE21

Quantitative estimations of effective elastic moduli and effective specific Young's are presented. Fullerene C₆₀ mechanical characteristics are determined through mathematical modelling (p. 21-31; fig. 7).

E.A.Korneeva, A.N.Skomorokhov, Yu.R.Kolobov, G.V.Khramov,

I.N.Kuz'menko, V.V.Rakityansky

STRUCTURE AND PROPERTIES OF COMPOSITES TITANIUM – COATING PRODUCED
BY MICROARC OXIDATION METHOD32

Results of a study of an effect of biocompatible coatings obtained by *microarc oxidation method* (MAC) on mechanical properties of *submicrocrystalline (SMC) titanium - coating* composite are presented. Microstructure, phase and elemental composition of test specimens obtained by means of electron microscopy and X-ray diffraction methods are discussed. An effect of coatings on the strength properties and elastic-plastic characteristics of the composite is considered (p. 32-42; fig. 6).

L.Tuchinskiy

FABRICATION TECHNOLOGY FOR COMPOSITES WITH «VOID FIBERS»43

A technology that enables transformation of «green» composites into porous metals and ceramics, which may be presented as the composites «reinforced with gas fibers» (microchannels), is proposed. The technology is based on extrusion of plasticized powders. It makes possible a wide range control of the diameter and volume share of the microchannels in the material as well as its anisotropy. The resulting porous structures can be widely used in microchannel chemical reactors, heat exchangers, catalyst supports, burners, biomaterials, etc (p. 43-51; fig. 8).

E.P.Simonenko, N.P.Simonenko, V.G.Sevastyanov, D.V.Grashchenkov, N.T. Kuznetsov, E.N. Kablov

FUNCTIONALLY GRADED COMPOSITE MATERIAL SiC/(ZrO₂-HfO₂-Y₂O₃)
PREPARED VIA SOL-GEL TECHNOLOGY52

The technique of synthesis of specified composition nanocrystalline super refractory powders in ZrO₂ – HfO₂ – Y₂O₃ system was developed using sol-gel technology. Average crystallite sizes on the base of X-ray diffraction data were calculated. Microstructures were observed by SEM. Thermal behavior in the range 20-1200°C was investigated. The sintering of powders at relatively low-temperatures (1000-1400 °C, thermal treatment during 1-4 hours) were investigated that results in decreasing BET specific surface area from 155±5 m²/g to 7-15 m²/g. This technique was applied to yield functional gradient composite material SiC/(ZrO₂-HfO₂-Y₂O₃) with near-surface layer consolidated by oxide refractory matrix, that confirmed by high-resolution computed tomography (p. 52-64; fig. 11).