

# 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](mailto: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. 6. Образцы композита  $Al_2O_3-Y_3Al_5O_{12}/Mo$ , покрытые слоем хрома – до испытания (слева) и после пребывания в струе продуктов сгорания керосина с температурой газа 1300 °С в течение 20 часов (справа).

ОБ ОДНОЙ ВОЗМОЖНОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ЖАРОПРОЧНЫХ ЖАРОСТОЙКИХ КОМПОЗИТОВ С ТУГОПЛАВКОЙ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ МАТРИЦЕЙ

## 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**

Dorodnitsyn 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 «TEKhnologiya» 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](mailto:info@periodicals.ru)

<http://www.periodicals.ru>

*(Inquire Komposity i nanostruktury)*

**Photo on the cover:** Fig. 6.  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}/\text{Mo}$  composite specimens,  
coated with a chromium layer. (a) – before testing; (b) – after being for 20  
h in a jet of kerosene combustion products at a temperature of 1300 °C.  
ON A POSSIBILITY TO MAKE HEAT RESISTANT COMPOSITES  
OF HIGH GAS CORROSION RESISTANCE BASED ON REFRACTORY  
METAL MATRIX

**СОДЕРЖАНИЕ**

**С.Т.Милейко, Н.И.Новохатская**

**ОБ ОДНОЙ ВОЗМОЖНОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ЖАРОПРОЧНЫХ ЖАРОСТОЙКИХ КОМПОЗИТОВ С ТУГОПЛАВКОЙ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ МАТРИЦЕЙ ..... 5**

Введение в молибденовую матрицу иттрий-содержащих оксидных волокон резко тормозит окисление молибденовой матрицы при повышенных и высоких температурах. Если эти волокна монокристаллические или имеют структуру эвтектики, то они при этом определяют высокую крипостойкость композитов вплоть до температур около 1300 °С.

В статье рассмотрен частный пример указанного типа композитов, из анализа экспериментальных данных по длительной прочности и окислению матрицы которого следует общая идея построения жаропрочных, жаростойких и трещиностойких композитов с тугоплавкой металлической матрицей: армирование матрицы высококрипостойкими волокнами, содержащими элементы, обеспечивающие жаростойкость композита. (с. 5-14; ил. 9).

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

**ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ КОМПОЗИТА, МОДИФИЦИРОВАННОГО ФУЛЛЕРЕНАМИ ..... 15**

Построена математическая модель переноса тепловой энергии в композите, модифицированном фуллеренами. Получены оценки эффективного коэффициента теплопроводности такого композита, в том числе с использованием двойственной вариационной формы математической модели процесса стационарной теплопроводности в неоднородном твердом теле. Указано ограничение на интервал изменения объемной концентрации фуллеренов, в пределах которого представленные оценки сохраняют смысл (с. 15-22; ил. 2).

**В.Д.Борман, В.Я.Варшавский, А.Л.Кванин, Ю.Ю.Лебединский, М.А.Пушкин,**

**В.Н.Тронин, И.В.Тронин, В.И.Троян**

**ИДЕНТИФИКАЦИЯ ОПАСНЫХ ДЕФЕКТОВ В УГЛЕРОДНЫХ ВОЛОКНАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТАТИСТИКИ РЕДКИХ СОБЫТИЙ ..... 23**

Углеродные волокна (УВ) обладают высокой прочностью, высоким модулем упругости и используются в качестве армирующего наполнителя в современных композиционных материалах. Прочность УВ определяется их структурой и лимитируется дефектностью структуры. В настоящей работе разработана, основанная на анализе устойчивых распределений методика, позволяющая оценить влияние различных дефектов структуры на прочность волокон, а так же позволяющая устанавливать влияние механических свойств волокон на одних стадиях предела на механические свойства волокон на последующих стадиях (с. 23-32; ил. 3).

**О.Н.Абрамов, П.А.Стороженко, Д.В.Сидоров, Т.Л.Мовчан, А.В.Орешина**

**СИНТЕЗ ВОЛОКНООБРАЗУЮЩЕГО НЕФТЯНОГО ПЕКА НА ОСНОВЕ ТЯЖЕЛОЙ СМОЛЫ ПИРОЛИЗА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ УГЛЕРОДНОГО ВОЛОКНА ..... 33**

Впервые синтезированы волокнообразующие нефтяные пеки на основе тяжелой смолы пиролиза, отхода нефтеперерабатывающей промышленности, пригодные для получения углеродного волокна, сформулированы требования к волокнообразующему нефтяному пеку. Полученные нефтяные пеки изучены современными методами (ИК-спектроскопия, элементный анализ, термогравиметрический анализ, анализ молекулярно-массового распределения, анализ характеристических температур размягчения, начала нитеобразования и каплепадения) (с. 33-40; ил. 5).

**М.Х.Блохина, Г.И.Щербакова, П.А.Стороженко, Д.В.Жигалов,**

**Д.В.Сидоров, И.А.Тимофеев, П.А.Тимофеев**

**МОДИФИКАТОРЫ УГЛЕРОД-УГЛЕРОДНЫХ КОМПОЗИТОВ ..... 41**

В ГНИИХТЭОС разработаны пропиточные композиции на основе карбосилановых олигомеров и металлоорганических соединений циркония, гафния и тантала, которые можно использовать для получения высокотемпературных стойких к окислению матриц и защитных покрытий.

Особенностью модифицирования углерод-углеродных материалов с помощью пропиточных композиций на основе карбосиланов и металлоорганических соединений тугоплавких металлов является возможность вводить прекурсоры карбида кремния или тугоплавких металлов (Zr, Hf, Ta) в углеродный каркас. Это позволяет создавать непрерывные особо прочные керамические структуры во всем объеме материала (с. 41-52; ил. 9).

**В.Г.Севастьянов, Е.П.Симоненко, В.В.Горский, А.Н.Гордеев, Н.П.Симоненко,**

**Н.Б.Генералова, Н.Т.Кузнецов**

**НЕРАЗРУШАЮЩИЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОНТРОЛЬ ТОЛЩИНЫ КАРБИДОКРЕМНИЕВОГО ПОКРЫТИЯ НА УГЛЕРОД-УГЛЕРОДНЫХ КОМПОЗИТАХ ..... 53**

Разработана методика неразрушающего контроля толщины карбидокремниевого покрытия на поверхности C/C-SiC-композитов с учетом шероховатости поверхности образцов. Выполнена верификация полученных методом ультразвуковой толщинометрии данных с применением оптической и сканирующей электронной микроскопии с энергодисперсионным анализом; установлено, что в пределах погрешности величин толщины покрытия, определенные тремя различными методами, совпадают. Показано, что уменьшение шероховатости поверхности образцов уменьшает погрешность определения толщины покрытия (с. 53-64; ил. 4).

## CONTENTS

**S.T.Mileiko, N.I.Novokhatskaya**

ON A POSSIBILITY TO MAKE HEAT RESISTANT COMPOSITES OF HIGH GAS CORROSION RESISTANCE BASED ON REFRACTORY METAL MATRIX ..... 5

Reinforcing a molybdenum matrix with yttrium containing oxide fibres slows down oxidation of molybdenum at elevated and high temperatures. If the fibres are either single crystalline or having eutectic microstructure they determine high creep resistance of the composites at temperatures up to about 1300 °C.

In the paper, a particular example of such composites is considered. An analysis of experimental data on creep rupture and matrix oxidation yields a general idea of tailoring creep resistant refractory-metal-matrix composites of high fracture toughness and sufficiently high gas corrosion resistance. To obtain such composites, we need to reinforce a refractory metal with fibres of high creep resistance, which contain an element providing gas corrosion resistance of the composite. (p. 5-14; fig. 9).

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

ESTIMATION OF EFFECTIVE HEAT CONDUCTIVITY COEFFICIENT OF FULLERENE-MODIFIED COMPOSITE MATERIAL ..... 15

A Mathematical model of the heat transfer in a fullerene-modified composite material is built up. An effective heat conductivity coefficient of such material is estimated. Dual variational form of stationary heat conductivity process mathematical model for heterogeneous solid is used. An interval for fullerene concentration, in with the estimation obtained are valid is pointed out (p. 15-22; fig. 2)

**V.D.Borman, V.Ya.Varshavskiy, A.L.Kvanin, Yu.Yu.Lebedinskii,**

**M.A.Pushkin, V.N.Tronin, I.V.Tronin, V.I.Troyan**

CARBON FIBER DANGEROUS DEFECTS IDENTIFICATION USING STATISTICS OF RARE EVENTS ..... 23

Carbon fibers have high strength and high elastic modulus and are being used as reinforcement in modern composite materials. Strength of carbon fibers is determined by their microstructure and is limited by defectiveness. An analysis of stable distributions yields a method of the evaluation of an effect of various structural defects on the strength of the fibers. This method allows also assessing the effect of mechanical properties at various stages of conversion on the mechanical properties at later stages (p. 23-32; fig. 3).

**O.N.Abramov, P.A.Storozhenko, D.V.Sidorov, T.L.Movchan, A.V.Oreshina**

SYNTHESIS OF FIBER-FORMING PETROLEUM PITCH BASED ON HEAVY PYROLYSIS RESIN FOR CARBON FIBER ..... 33

Fiber – forming petroleum pitch based on heavy pyrolysis resin, which is an oil refining industry waste, suitable for carbon fiber production was synthesized for the first time. The requirements for the fiber-forming petroleum pitch have been defined. The synthesized petroleum pitch was studied by modern methods (IR-spectroscopy, elemental analysis, thermal gravimetric analysis, molecular-mass distribution, characteristic softening temperature, filamentation and drop points analysis)(p. 33-40; fig. 5).

**M.Ch.Blokhina, G.I.Shcherbakova, P.A.Storozhenko, D.V.Zhigalov,**

**D.V.Sidorov, I.A.Timofeev, P.A.Timofeev**

CARBON-CARBON COMPOSITE MODIFIERS ..... 41

Researchers in GNIChTEOS have developed impregnating compositions based on carbosilane oligomers and organometallic compounds of zirconium, hafnium and tantalum that can be used for the production of high-temperature oxidation resistant matrices and protective coatings.

Peculiarity of carbon-carbon material modifying by impregnating compositions mentioned is a possibility to introduce silicon carbide and refractory metal precursors (Zr, Hf, Ta) in the carboniferous frame. This allows creating continuous very strong ceramic structures in the bulk of a material (p. 41-52; fig. 9).

**V.G.Sevastyanov, E.P.Simonenko, V.V.Gorsky, A.N.Gordeev, N.P.Simonenko, N.B.Generalova, N.T.Kuznetsov**

NONDESTRUCTIVE ULTRASONIC CONTROL OF THE THICKNESS OF SiC-COATING ON C/C-COMPOSITES ..... 53

A technique of nondestructive control of the thickness of SiC-coating on the C/C-SiC-composite surface taking into account the surface roughness of samples was developed. The data obtained by ultrasonic thickness gauging, optical and scanning electron microscopy with EDX-analysis were compared; it was found, that thickness values obtained by the three different methods are equal within limits of the error. It was shown that, decreasing surface roughness leads to a decrease in the error of measurement (p. 53-64; fig. 4).