

Композиты и наноструктуры (Composites and Nanostructures)

Научно-технический журнал

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

ISSN 1999-7590

Издаётся с 2009 г.

Главный редактор профессор С.Т. Милейко

Редакционная коллегия

Алымов М.И., чл.-корр. РАН; Андриевский Р.А., проф.; Аннин Б.Д., академик; Бахвалов Ю.О., д-р. техн. наук;
Викулин В.В., проф.; Георгиевский Д.В., проф.; Глезер А.М., проф.; Колобов Ю.Р., проф.; Костиков В.И., чл.-корр. РАН;
Куперман А.М., проф.; Лурье С.А., проф.; Патлажан С.А., проф.; Победря Б.Е., проф.; Сапожников С.Б., проф.;
Севастьянов В.Г., чл.-корр. РАН; Сорокина Т.Г., канд. техн. наук;
Столин А.М., проф.; Шмотин Ю.Н., канд. техн. наук

Редакционный совет

Л.Р. Вишняков, проф. (Украина); С.В. Ломов, проф. (Бельгия); A.R. Bunsell, проф. (Франция); K.K. Chawla, проф. (США);
T-W Chou, проф. (США); Sh. Du, проф. (КНР); T. Ishihara, д-р (Япония); A. Kohyama, 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); G.C. Sih, проф. (США); M. Singh, д-р (США);
H.D. Wagner, проф. (Израиль)

Учредители:

ИФТТ РАН;

ООО «Научно-техническое предприятие
«Вираз-Центр»

Редакция:

ИФТТ РАН

Россия, 142432, г. Черноголовка

Московской обл.

Тел./Факс: +7(49652)22493

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

Ведущий редактор: Н.А. Прокопенко

Издательство: ООО НТП «Вираз-Центр»

Россия, 105264, Москва,

ул. Верхняя Первомайская, д. 49, корп. 1 офис 401.

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

Тел.: 7 495 290-34-73

<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. 7. Нагрев сегмента СА с тремя лопатками из ДУКМ алмаз/SiC

Из статьи: Дисперсно-упрочнённые композиции алмаз – карбид кремния – новые материалы для машиностроения

Composites and Nanostructures

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

ISSN 1999-7590

Editor-in-Chief
Professor Sergei T. Mileiko

Editorial Board

Professor M.I. Alymov (Russia); Professor R.A. Andriyevskii (Russia); Professor B.D. Annin (Russia);
Dr Yu.O. Bakhvalov, (Russia); Professor A.R. Bunsell (France); Professor K.K. Chawla (USA); Professor T-W Chou (USA);
Dr T. Ishihara (Japan); Professor Sh. Du (China); Professor D.V. Georgievskii (Russia); Professor A.M. Gleser (Russia);
Professor A. Kohyama (Japan); Professor Yu.R. Kolobov (Russia); Professor V.I. Kostikov (Russia);
Professor W.M. Kriven (USA); Professor A.M. Kuperman (Russia); Professor S.V. Lomov (Belgium);
Professor S.A. Lurie (Russia); Professor L.M. Manocha (India); Professor V.M. Orera (Spain); Professor S.A. Patlazhan (Russia);
Professor B.E. Pobyedrya (Russia); Professor S.B. Sapozhnikov (Russia); Professor H. Schneider (Germany); Dr
Shmotin Yu. N. (Russia); Dr T.G. Sorina (Russia); Professor A.M. Stolin (Russia); Professor K. Schulte (Germany);
Professor V.G. Sevastyanov (Russia); Professor G.C. Sih (USA); Dr M. Singh (USA); Professor V.V. Vikulin (Russia);
Professor L.R. Vishnyakov (Ukraine); Professor H.D. Wagner (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, 105043.
Phone: 7 495 290 34 73
<http://www.mashizdat.ru>

Director of journal

M.A. Menzullov

Making-up

A.A.Menzullov

Photo on the cover: Fig. 7. Heating of the vane unit containing three vane made of the C_p/SiC composite

NEW MATERIALS FOR MACHINERY ENGINEERING: SILICON CARBIDE REINFORCED WITH DIAMOND PARTICLES

СОДЕРЖАНИЕ

Гордеев С.К., Ежов А.Ю., Каримбаев Т.Д., Корчагина С.Б., Мезенцев М.А. ДИСПЕРСНО-УПРОЧНЕННЫЕ КОМПОЗИЦИИ АЛМАЗ - КАРБИД КРЕМНИЯ – НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ	61
Описан процесс получения дисперсно-упрочненного композиционного материала (ДУКМ) алмаз – карбид кремния, представляющего собой новую группу сверхтвердых композиционных материалов. Особенностью технологии, отличающейся от получения известных сверхтвердых материалов (алмаз, кубический нитрид бора), является возможность создания изделий сложных форм и больших размеров. Эта особенность позволяет рассматривать ДУКМ алмаз/SiC, как особый вид инженерной керамики, сочетающий в себе уникальные свойства по износостойкости, жесткости, теплопроводности, температурному расширению (с. 1–13; ил. 8).	
С.А.Фирстов, В.Ф.Горбань, Н.А.Крапивка, Э.П.Печковский, М.В.Карпец СВЯЗЬ СООТНОШЕНИЯ σ -ФАЗЫ И ГЦК-ФАЗЫ С ЭЛЕКТРОННОЙ КОНЦЕНТРАЦИЕЙ ЛИТЫХ ДВУХФАЗНЫХ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНЫХ СПЛАВОВ	72
Изучены одиннадцать многокомпонентных двухфазных высокоэнтروпийных сплавов (ВЭС) преимущественно эквиатомного состава, включающих 5-7 элементов из числа V, Cr, Mo, Mn, Fe, Co, Ni, Cu (энтропия смешивания - $S_{\text{смеш}} = 13.4-16.2$ Дж/моль·К), и содержащих интерметаллическую поликомпонентную σ -фазу и ГЦК-твердый раствор замещения в количестве от 0 до 100 масс. %. Электронная концентрация Csd сплавов находится в пределах 6.9 – 8.2 эл/ат; при этом ее величина рассчитывается как среднеарифметическое валентных электронов всех элементов его химического шихтового состава. Для изученных ВЭСов данного типа установлены закономерности связи между тремя характеристиками: химическим составом сплава, его расчетной величиной электронной концентрации Csd и экспериментально определенным количественным соотношением σ -фазы и ГЦК-фазы. Установлено, что величина электронной концентрации Csd ВЭСов данного типа отражает не только их химический и фазовый состав, но также и количественное соотношение σ -фазы и ГЦК-фазы в них. С использованием электронной концентрации индивидуальных элементов и термодинамических характеристик σ -образующих пар в сплавах предложено физическое обоснование их влияния на изменение количества σ -фазы и ГЦК-фазы в изученных ВЭСах данного типа. Показано влияние количества σ -фазы в изученных ВЭСах и индивидуальных элементов в них на твердость, модуль упругости и упругую деформацию, определенных методом инструментального автоматического индентирования (с. 72–84; ил. 3).	
И.С.Деев, П.А.Белов, Л.П.Кобец ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ НЕКЛАССИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ КАК ФУНДАМЕНТ «ТЕОРИИ ТОРСИОНОВ» В МЕХАНИКЕ РАЗРУШЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ	85
Изложены обобщенные результаты фрактографических исследований новой «торсионной» моды разрушения полимерных матриц, характерным признаком которой является фрагментация и выделение из массива материала локальных областей («торсионов») различной формы в нагруженных полимерах и полимерных композиционных материалах на их основе. Установлено, что «торсионная» мода разрушения в разных условиях нагружения универсальна и характерна для полимерных композитов с различными волокнами (углеродными, стеклянными, органическими и др.), наномодифицированных полимеров, не зависит от типа волокна и наблюдается на мезо- и микроуровнях. Выбраны и предложены к обсуждению наиболее яркие неклассические эффекты, которые можно формализовать и в дальнейшем построить на их основе «теорию торсионов». Обнаружено, что для каждой моды трещин существуют две подмоды, при которых берега трещины могут быть как шероховатыми, так и зеркально-гладкими. Показано существование целых (не разрушенных) торсионов с сохранением их внутренней структуры, наличие спиралевидной, цилиндрической, конической и других форм торсионов в зависимости от граничных условий на их торцах. Полученные данные представляют собой многообразный и интересный материал для построения математических моделей как образования самих торсионов, так и механики разрушения полимерных композитов в целом (с. 85–96; ил. 9).	
В.С. Зарубин, Г.Н. Кувыркин, И.Ю. Савельева УПРУГИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПОЗИТА С ПЛАСТИНЧАТЫМИ АНИЗОТРОПНЫМИ ВКЛЮЧЕНИЯМИ	97
С использованием вариационного подхода для композита с анизотропными включениями пластинчатой формы установлены двусторонние границы возможных значений объемного модуля упругости и модуля сдвига. Построена математическая модель, описывающая взаимодействие включений и частиц матрицы с изотропной линейно упругой средой, модули упругости которой подлежат определению как искомые характеристики рассматриваемого композита. С использованием этой модели методом самосогласования получены расчетные зависимости, позволяющие прогнозировать упругие свойства композитов, армированных анизотропными пластинчатыми включениями (в том числе в виде наноструктурных элементов) (с. 97–108; ил. 4).	
С.М.Никулин, А.А.Ташкинов, В.Е.Шавшуков, А.В.Рожков ВЛИЯНИЕ МОДИФИКАЦИИ КАРКАСОВ ИЗ УГЛЕРОДНОЙ ТКАНИ С ПОМОЩЬЮ МУНТ НА СТАДИЮ НАСЫЩЕНИЯ ПИРОУГЛЕРОДОМ В ПРОЦЕССЕ ПОЛУЧЕНИЯ УГЛЕРОД-УГЛЕРОДНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА	109
Рассмотрен способ получения наномодифицированного углерод-углеродного композиционного материала из углеволокнистой преформы и пиролизического углерода, осаждаемого изотермическим методом, в котором каталитические частицы формировались на поверхности углеродных волокон термическим разложением составов на основе солей каталитически активных металлов и восстановителей, а наномодификация угле-волокнистой преформы проводилась синтезом многослойных углеродных нанотрубок методом газофазного химического осаждения. На полученных материалах были определены плотность и открытая пористость. По результатам исследований были выявлены зависимости влияния углеродных нанотрубок и катализаторов на процесс изотермического насыщения пироуглеродом (с. 109–114; ил. 1).	
Н.А.Попова, А.И.Драчев, Г.В.Степанов, Р.А.Садыков ГРАФЕНОВЫЕ МИКРОТРУБКИ, СИНТЕЗИРОВАННЫЕ ИЗ ПОЛИМЕРНОГО ПРЕКУРСОРА ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛА	115
Однослойные графеновые трубки диаметром 0.5–3 мкм, длиной более 1000 мкм были синтезированы в результате термостабилизации и последующей карбонизации мелкодисперсного порошка полиакрилонитрила. Строение и размеры трубок исследованы методом сканирующей электронной микроскопии, двумерная графеновая структура стенок трубок подтверждена методом рентгеновской дифракции. (с. 115–120; ил. 7).	

CONTENS

NEW MATERIALS FOR MACHINERY ENGINEERING: SILICON CARBIDE REINFORCED WITH DIAMOND PARTICLES	71
A process of obtaining composites containing silicon carbide matrix and diamond particles (C_p/SiC) is disclosed. The process differs from well known fabrication technologies of producing super materials, such as diamond or cubic boron nitride by providing a possibility to make elements of both complicated shapes and large sizes. This allows consider a new type of the composite as structured material of unique combination of high wear resistance, rigidity, thermal conductivity and low thermal expansion (p. 61-71; fig. 8).	
S.A.Firstov, V.F.Gorban, N.A.Krapivka, E.P.Pechkovsky, M.V.Karpets	
AN EFFECT OF RATIO OF σ -PHASE AND FCC-PHASE TO ELECTRONIC CONCENTRATION OF CAST TWO-PHASE HIGH-ENTROPY ALLOYS	72
Eleven multicomponent two-phase high-entropy alloys (HEAs) of mainly equiatomic composition are studied. The alloys include 5 to 7 elements V, Cr, Mo, Mn, Fe, Co, Ni, Cu ($S_{mix}=13.4-16.2$ J/mol·K). They contain intermetallic polycomponent σ -phase and FCC-substitutional solid solution in quantity from 0 up to 100 mass %. Electronic concentrations Csd of alloys are within 6.9 – 8.2 electron/atom.	
Dependencies between three characteristics of alloys chemical composition, its calculated value of electronic concentration Csd and experimentally obtained ratio of σ -phase to FCC-phase are evaluated.	
It is shown that the value of electronic concentration, Csd, for HEAs of a type under consideration reflects not only their chemical and phase structure, but also a quantitative ratio of σ -phase and the FCC-phase in them. Using electronic concentration of individual elements and thermodynamic characteristics of σ -forming pairs in alloys, a physical interpretation of their effect on a change in quantity of σ -phase and FCC-phase in HEAs is suggested.	
An effect of quantity of σ -phase in HEAs and individual elements in them on hardness, elastic modulus and elastic deformation is measured by method of tool automatic indentation (p. 72-84; fig. 3).	
Deev I.S., Belov P.A., Kobets L.P.	
EXPERIMENTAL NONCLASSICAL EFFECTS AS A BASE OF «THEORY OF TORSIONS» IN FRACTURE MECHANICS OF POLYMERIC COMPOSITES	85
Results of fractographic observations of a new «torsion» mode of fracture of the polymer matrix which characteristic feature is fragmentation and localization of so called arrays of material of local areas «torsions» of various forms in the loaded polymers and polymer matrix composites are generalized. It is shown that the «torsion» mode of fracture in various types of loading is universal and characteristic for polymer matrix reinforced with various fibres (carbon, glass, organic etc.) nanomodified polymers, and is observed on both meso- and microlevels. The brightest nonclassical effects, which can be formalized to construct on their basis «a torsion's theory», are chosen and offered for discussion. It is found that for each mode of cracks there are two submodes, at which crack surfaces can be either rough, or mirror like. There are exist non-fractured torsions, which preserve their microstructure. Torsions can be of various shapes, spiral, cylindrical, conical etc. depending on boundary conditions on their ends. Obtained experimental data present a diverse and interesting base for theoretical models of torsions formation and fracture mechanics of polymers (p. 85–96; fig. 9).	
V.S. Zarubin, G.N. Kuvyrkin, I.Y. Savelyeva	
ELASTIC PROPERTIES OF A COMPOSITE WITH LAMELLAR ANISOTROPIC INCLUSIONS	97
Upper and lower boundaries values of the elastic volume and shear moduli of a composite with anisotropic inclusions of a lamellar form are obtained by using the variation approach. The mathematical model of interaction of the inclusions and with isotropic linearly elastic medium, moduli of elasticity of which are to be determined is constructed. With the use of this model, dependences predicting elastic properties of the composites with anisotropic lamellar inclusions (including in the form of nanostructural elements) are obtained by a self-comistancy method (p. 97–108; fig. 4).	
S.M.Nikulin, A.A.Tashkinov, V.E.Shavshukov, A.V.Rozhkov	
AN EFFECT OF MODIFICATION OF THE CARBON FABRIC SKELETON BY MWCNTS ON THE PYROLYTIC CARBON SATURATION STAGE IN THE PROCESS OF FABRICATION CARBON-CARBON COMPOSITE MATERIAL	109
A way of fabrication nanomodified carbon-carbon composite material, carbon-fiber preform with pyrolytic carbon deposited isothermal method, wherein the catalyst particles formed on the surface of carbon fibers by the thermal decomposition of compositions based on salts of the catalytically active metal and reducing and nanomodification carbon-fiber preforms carried synthesis of multi-walled carbon nanotubes by chemical vapor deposition. Density and open porosity of the material obtained were measured. According to the research have been identified depending on the effect of carbon nanotubes and catalysts for the process of isothermal saturation of pyrolytic carbon (p. 109–114; fig. 1).	
N.A.Popova, A.I.Drachev, G.V.Stepanov, R.A.Sadykov	
GRAPHENE MICROTUBES DERIVED FROM POLYACRYLONITRILE PRECURSOR	115
Single-walled carbon microtubes with diameter of 0.5-3 μm and length of more then 1000 μm were produced by thermostabilization and subsequent carbonization of polyacrylonitrile (PAN) fine powder. Structure and dimensions of tubes were studied by Scanning Electron Microscopy; two-dimensional graphene structure of tube walls were difined by X-ray diffraction (p. 115–120; fig. 7).	