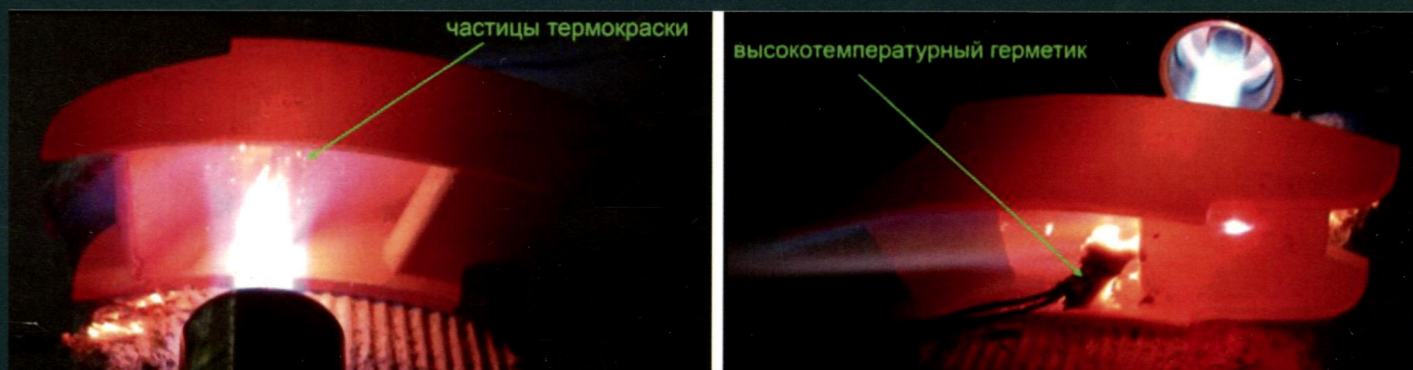


# **КОМПОЗИТЫ И НАНОСТРУКТУРЫ**

**(COMPOSITES and NANOSTRUCTURES)**

**Том 7 (Volume 7) № 2 (26) 2015**



**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  $\sigma$ -ФАЗЫ И ГЦК-ФАЗЫ С ЭЛЕКТРОННОЙ КОНЦЕНТРАЦИЕЙ**  
**ЛИТЫХ ДВУХФАЗНЫХ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНЫХ СПЛАВОВ ..... 72**  
Изучены одиннадцать многокомпонентных двухфазных высокоэнтропийных сплавов (ВЭС) преимущественно эквиатомного состава, включающих 5-7 элементов из числа V, Cr, Mo, Mn, Fe, Co, Ni, Cu (энтропия смешивания -  $S_{смеш} = 13.4-16.2$  Дж/моль·К), и содержащих интерметаллидную поликомпонентную  $\sigma$ -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  $\sigma$ -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  $\sigma$ -фазы и ГЦК-фазы в них. С использованием электронной концентрации индивидуальных элементов и термодинамических характеристик  $\sigma$ -образующих пар в сплавах предложено физическое обоснование их влияния на изменение количества  $\sigma$ -фазы и ГЦК-фазы в изученных ВЭСах данного типа.  
Показано влияние количества  $\sigma$ -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.Кобен**  
**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 пиролитического 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).



## CONTENTS

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).	
<b>S.A.Firstov, V.F.Gorban, N.A.Krapivka, E.P.Pechkovsky, M.V.Karpets</b>	
AN EFFECT OF RATIO OF $\sigma$ -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 $\sigma$ -phase and FCC-substitutional solid solution in quantity from 0 up to 100 mass %. Electronic concentrations $C_{sd}$ of alloys are within 6.9 – 8.2 electron/atom.	
Dependencies between three characteristics of alloys chemical composition, its calculated value of electronic concentration $C_{sd}$ and experimentally obtained ratio of $\sigma$ -phase to FCC-phase are evaluated.	
It is shown that the value of electronic concentration, $C_{sd}$ , for HEAs of a type under consideration reflects not only their chemical and phase structure, but also a quantitative ratio of $\sigma$ -phase and the FCC-phase in them. Using electronic concentration of individual elements and thermodynamic characteristics of $\sigma$ -forming pairs in alloys, a physical interpretation of their effect on a change in quantity of $\sigma$ -phase and FCC-phase in HEAs is suggested.	
An effect of quantity of $\sigma$ -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).	
<b>Deev I.S., Belov P.A., Kobets L.P.</b>	
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).	
<b>V.S. Zarubin, G.N. Kuvyrkin, I.Y. Savelyeva</b>	
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).	
<b>S.M.Nikulin, A.A.Tashkinov, V.E.Shavshukov, A.V.Rozhkov</b>	
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).	
<b>N.A.Popova, A.I.Drachev, G.V.Stepanov, R.A.Sadykov</b>	
GRAPHENE MICROTUBES DERIVED FROM POLYACRYLONITRILE PRECURSOR .....	115
Single-walled carbon microtubes with diameter of 0.5-3 $\mu m$ and length of more then 1000 $\mu m$ 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).	