

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.; Победра 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. Мензулов

Вёрстка: А.А. Мензулов

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, 2 и 4

Из статьи: ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБРАЗЦОВ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ УГЛЕРОД-УГЛЕРОДНОГО КОМПОЗИТА ДЛЯ ЭЛЕКТРОДОВ ИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

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. 1, 2 u 4

EVALUATION OF OPERATIONAL CHARACTERISTICS OF CARBON/CARBON COMPOSITES FOR GRIDS OF ION
ENGINES

СОДЕРЖАНИЕ

В.И.Солодилов, И.В.Бессонов, А.В.Кирейнов, Н.Ю.Тараскин, А.М.Куперман СВОЙСТВА СТЕКЛОПЛАСТИКОВ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНОГО СВЯЗУЮЩЕГО, МОДИФИЦИРОВАННОГО ФУРФУРОЛАЦЕТОНОВОЙ СМОЛЫ И ПОЛИСУЛЬФОНОМ	77
--	-----------

В работе представлены результаты изучения свойств стеклопластиков на основе стеклянного волокна РВМПН 10-420-80 и эпоксидных матриц, в состав которых входят либо термореактивная фурановая смола ФА-5, либо полисульфон ПСК-1, либо оба этих компонента совместно. Полученные данные подтверждают перспективность использования эпоксиполисульфоновых матриц, модифицированных фурановым олигомером, для изготовления композиционных материалов. Созданные гибридные многокомпонентные связующие позволяют существенно расширить технологические возможности метода намотки. Введение 10 мас. % ФА-5 в эпоксидные связующие, содержащие полисульфон, позволяет значительно повысить их технологичность, т.к. в 2-3 раза снижается вязкость и на 20 °С температура переработки. При этом трещино- и ударостойкость армированных пластиков заметно увеличивается практически без снижения температуры стеклования. Максимальный эффект от введения полисульфона в эпоксидную матрицу наблюдается при добавлении более 20 мас. % ПСК-1 (с. 77–87; ил. 3).

В.В.Васильев, С.А.Лурье ЗАДАЧА О ТРЕЩИНЕ В ОДНОНАПРАВЛЕННОМ КОМПОЗИТНОМ СЛОЕ	88
---	-----------

Рассматривается армированный в одном направлении нерастяжимыми и абсолютно гибкими волокнами неограниченный композитный слой, имеющий трещину конечной длины в матрице, параллельную волокнам, и равномерно растягиваемый в направлении, ортогональном трещине. С использованием комплексных потенциалов построено решение, описывающее форму раскрывающейся трещины и определяющее напряженное состояние с традиционной для классической теории упругости сингулярностью перед кончиком трещины. Получено решение аналогичной задачи с помощью соотношений обобщенной теории упругости [1, 2], которое определяет деформированную форму трещины, отличающуюся от формы, соответствующей классической теории упругости и не являющееся сингулярным в отношении напряжений. Предложен способ экспериментального определения входящего в уравнения обобщенной теории структурного параметра и представлены численные результаты, определяющие зависимости формы деформированной трещины и распределения напряжений в окрестности трещины от величины структурного параметра (с. 88–98; ил. 5).

В.А. Щербаков, А.Н. Грядун, А.М. Терехин, Н.В. Сачкова ВЛИЯНИЕ НАНОЧАСТИЦ TiN НА ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВА КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ZrB_2-Zr	99
--	-----------

Статья посвящена получению методом СВС-компактирования керамических композитов на основе системы ZrB_2 -Zr с остаточной пористостью менее 1% и размером частиц ZrB_2 менее 1 мкм. Изучено влияние наночастиц TiN на формирование микроструктуры керамического композита. Показано, что введение в состав реакционной смеси наночастиц TiN приводит к формированию дисперсной фазы и керамической связи в виде твердых растворов $(Zr,Ti)B_2$ и $(Zr,Ti)N_x$ с размером частиц дисперсной фазы менее 0,1 мкм и твердостью 1700 - 2200 МПа (с. 99–109; ил. 9).

В.Т.Сапунов ПРОЧНОСТЬ, НАДЕЖНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ КОМПОЗИТОВ КАК КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ	110
--	------------

Рассмотрены особенности поведения композитов под нагрузкой. Предложен общий подход, позволяющий принимать в рассмотрение указанные особенности. Реализация подхода дает возможность оценить прочность при разрушении, надежность и долговечность стеклотекстолитов, используемых при изготовлении некоторых элементов конструкций (с. 110–119).

М.А.Хасков, К.Р.Ахмадиева, А.Н.Кудрявцева, Т.А.Гребенева

ВЛИЯНИЕ ФУЛЛЕРЕНА C_{60} НА КИНЕТИКУ ОТВЕРЖДЕНИЯ ТЕРМОРЕАКТИВНЫХ СВЯЗУЮЩИХ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНЫХ СМОЛ 120

Методом диэлектрического анализа и дифференциальной сканирующей калориметрии изучено влияние добавок фуллерена C_{60} на кинетику отверждения связующего на основе эпоксидных смол. Показано, что добавки C_{60} замедляют реакцию отверждения в кинетически-контролируемой области, вероятно, вследствие образования аддукта фуллерен-амин вызывающего повышение энергии активации реакции отверждения, и повышают скорость структурной релаксации полимерной матрицы, что может замедлять реакцию в диффузионно-контролируемой области (с. 120–132; ил. 2).

H.L.Gajera and S.Manocha

ПОЛУЧЕНИЕ ГРАФЕНА ПУТЁМ ТЕРМИЧЕСКОГО РАССЛОЕНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ СТАБИЛЬНОСТИ ГРАФЕН-ЭПОКСИДНЫХ НАНОКОМПОЗИТОВ 133

Графен был получен из окси-графита, который, в свою очередь, синтезирован модифицированным методом Хаммерса с использованием в качестве исходного материала чешуек природного графита. При получении графена использовано термическое расщепление высушенного окси-графита. Далее графен был исследован методами сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии и рентгено-структурного анализа. Графен-эпоксидные нано-композиты получались с использованием метода перемешивания растворов. Влияние графена на термическую стабильность и температуру стеклования исследовано термogravиметрическим анализом и дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК), соответственно.

Показано, что внесение графена в эпоксидный полимер приводит к увеличению его температуры деградации. Сохраняющиеся функциональные группы графена действуют как катализаторы для сшивки эпоксидных цепочек, что повышает температуру разложения материала. ДСК-результаты показывают увеличение температуры стеклования от 126° для исходного эпоксиды до 139° для полимера, содержащего 1.5% массовых графена (с. 133–140; ил. 7).

С.В.Мадеев, А.С. Ловцов, И.Н.Лаптев, Н.Н.Ситников

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБРАЗЦОВ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ УГЛЕРОД-УГЛЕРОДНОГО КОМПОЗИТА ДЛЯ ЭЛЕКТРОДОВ ИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ 141

В ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша» ведутся работы по созданию ионных двигателей с повышенными ресурсными характеристиками. Ресурс двигателя определяется эрозионной стойкостью материала ускоряющего электрода ионно-оптической системы (ИОС). Наибольшей эрозионной стойкостью обладают материалы на основе углерода. Электроды ИОС должны выдерживать стартовые вибрационные нагрузки, что позволяет сделать выбор в пользу углерод-углеродных композиционных материалов (УУКМ). Поскольку механические и теплофизические свойства УУКМ определяются технологией производства, в данной работе приведены результаты исследований свойств УУКМ российского производства, проведено сравнение механических характеристик ИОС из УУКМ с наполнителем из двунаправленной ткани с ИОС, выполненный из титана (с. 141–150; ил. 6).

CONTENS

V.I.Solodilov, I.V.Bessonov, A.V.Kireinov, N.Yu.Taraskin, A.M.Kuperman GLASS FIBER REINFORCED PLASTIC WITH EPOXY MATRIX MODIFIED BY FURFURAL-ACETONE RESIN AND POLYSULFONE	77
---	-----------

The paper introduces a novel glass fiber reinforced plastic based on rowing RVMPN-10-420-80 and epoxy matrixes modified by thermosetting furanic resin, thermoplastic polysulfone, or both these components altogether. Data obtained confirm viability and promising outlook of epoxy-polysulfone matrixes modified by furanic co-monomer for manufacturing polymer-matrix composites by winding. Developed multi-component hybrid resins will permit to broaden substantially technological limits of filament winding. Introduction of 10 wt. % furanic resin into epoxy resin improves essentially its processability as a result of reducing viscosity by 2-3 times, and, hence, reducing processing temperature to 20°C. Both fracture and impact toughness Increase noticeable without negative impairing of glass transition temperature. Maximum efficiency from modification of epoxy matrix with polysulfone is observed at its concentration above 20 wt. % (p. 77-87; fig. 3).

V.V. Vasiliev, S.A.Lurie CRACK PROBLEM FOR A UNIDIRECTIONAL COMPOSITE LAYER	88
--	-----------

The paper is concerned with analysis of an infinite unidirectional composite layer reinforced with inextensible and absolutely flexible fibers. The layer has a finite crack in the matrix parallel to the fibers and is loaded with uniform tension in the direction orthogonal to the crack. The solution of the classical elasticity theory obtained in terms of complex variables specifies the deformed shape of the crack and demonstrates traditional singularity of stresses in the vicinity of the crack tip. Analogous solution found within the framework of the generalized theory of elasticity [1, 2] demonstrates the crack deformation which is different from the solution following from the classical theory and specifies the stresses that are not singular. An experimental approach allowing us to determine the structural parameter which enters the equations of the generalized theory is proposed. Numerical results demonstrating the dependences of the deformed crack shape and the stress distribution in the vicinity of the crack on the structural parameter value are presented. (p. 88–98; fig. 5).

V.A.Shcherbakov, A.N.Gryadunov, A.M.Terekhin, N.V.Sachkova EFFECT OF TIN NANOPARTICLES ON STRUCTURE FORMATION AND CHARACTERISTICS OF COMPOSITES BASED ON ZrB₂-ZR	99
--	-----------

The article is devoted to obtaining by SHS compacting ceramic composites on the basis of ZrB₂-Zr system with low a residual porosity (less than 1%) and fine micristructure. The effect of TiN nanoparticles on the microstructure formation of the ceramic composites was studed. It was shown that introduction TiN nanoparticles in the reaction mixture results to formation solid solutions of a dispersed phase and a ceramic binder (Zr,Ti)B₂ and (Zr,Ti)N_x accordingly. The particle size of dispersed phase is less than 0.1 microns and hardness of 1700 - 2200 MPa (p. 99–109; fig. 9).

V.T.Sapunov RESISTANCE, RELIABILITY AND DURABILITY OF COMPOSITES AS CONSTRUCTIONAL MATERIALS	110
---	------------

Features (particularities) of behavior of composites under loading are considered. One proposes is the general approach making it possible to take into account the particularities. The realization gives the chance to estimate of the resistance of the failure, the reliability and longevity of the laminates containing glass fibers used at production of elements of designs is offered (p. 110–119).

M.A.Khaskov, K.R.Akhmadieva, A.N.Kudryavtseva, T.A.Grebeneva AN EFFECT OF FULLERENE C₆₀ ON THE CURING KINETICS OF EPOXY-BASED THERMOSET BINDERS	120
---	------------

An effect of fullerene C_{60} on the curing kinetics of epoxy-based thermoset binders was studied by dielectric thermal analysis and differential scanning calorimeter. It was shown that the additives of C_{60} slow down the curing reaction in the chemical-controlled regime, probably, due to C_{60} -amine adduct formation, which causes an increase of the activation energy of the curing reaction. The enhance rate of structural relaxation of C_{60} -modified system may slow down the curing reaction in the diffusion-controlled regime (p. 120–132; fig. 2).

H.L.Gajera and S.Manocha

Preparation of Thermal Exfoliated Graphene and Studies of Effect of Graphene on Thermal Stability

of Graphene-Epoxy Nanocomposites 133

Thermally Exfoliated graphene (TEG) was synthesized from graphite oxide by thermal exfoliation treatment of dried graphite oxide, synthesized by modified Hummer's method using natural graphite flakes as starting material. This thermal exfoliated graphene (TEG) was characterized using SEM, TEM, and XRD techniques. TEG based epoxy nano composites were fabricated by using solution mixing method. The influence of graphene on the thermal stability and glass transition temperature of nano composites was studied by using thermo gravimetric analysis and differential scanning calorimetry, respectively. The thermo gravimetric results showed higher thermal stability of composites in comparison with pure epoxy and also an increase in char yield with increase in graphene content. It shows that pure epoxy resin starts degradation at 341 °C and maximum degradation takes place at 370 °C temperature and in case of composite with 1.5% of TEG degradation starts at 368 °C and maximum degradation takes place at higher temperature of 390 °C (p. 133–140; fig. 7).

S.V.Madeev, A.S.Lovtsov, I.N.Laptev, N.N.Sitnikov

EVALUATION OF OPERATIONAL CHARACTERISTICS

OF CARBON/CARBON COMPOSITES FOR GRIDS OF ION ENGINES 141

Keldysh Research Center investigates ion thrusters with extended lifetime capability. The lifetime depends on erosion resistance of material of accelerating grid of ion optics system (IOS). Carbon materials have the greatest erosion resistance. The grids of IOS must withstand launch vibration loads, therefore carbon/carbon composites look more promising. Mechanical and thermal properties of carbon composites depend on fabrication technology. Tests results, a complete description of the tests, and results of comparison of mechanical characteristics of carbon-carbon IOS and titanium IOS are presented herein (p. 141–150; fig. 6).