

# 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; Серебряков А.В., проф.; Сороина 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. Kelly, проф.(Англия);  
A. Kayama, проф. (Япония); W.M. Kriven, проф. (США); L.M. Manocha, проф. (Индия); V.M Olera, 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.: 7 495 780-94-73

<http://www.machizdat.ru>

e-mail: [virste@dol.ru](mailto: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. 10. 3D-Модель кузова вагона хоппера и Рис. 21. Кузов и крыша вагона хоппера на выставке EXPO 1520

ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПРОПИТКИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ КРЫШИ И КУЗОВА ВАГОНА ХОППЕРА ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ ВАКУУМНОЙ ИНФУЗИИ

# 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. Kelly (UK); Professor A. Kayama (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 A.V. Serebryakov (Russia); 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: 7 495 780 94 73  
<http://www.mashizdat.ru>

### Director of journal

M.A. Menzullov

### Making-up

A.A.Menzullov

**Photo on the cover:** Fig. 10. A 3D-Model of the hopper body, Fig. 21. The hopper roof and body on exhibition EXPO 1520  
APPLICATION OF MATHEMATICAL MODELING OF IMPRIGNATION DURING MANUFACTURE BY THE VARI  
INFUSION PROCESS OF RAILROAD FREIGHT CAR ROOF AND BODY FROM COMPOSITE MATERIALS

**СОДЕРЖАНИЕ**

**А.Е.Ушаков, А.А.Сафонов, Е.И.Корниенко, Н.В.Розин**

ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПРОПИТКИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ КРЫШИ И КУЗОВА ВАГОНА ХОППЕРА ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ ВАКУУМНОЙ ИНФУЗИИ .....	65
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

Композитные изделия при вакуумной инфузии формируются путем пропитки армирующего наполнителя смолой за счет вакуумирования. Задачей проектирования инфузионного процесса является разработка системы пропитки. В работе описывается опыт применения математического моделирования процесса пропитки при вакуумной инфузии крупногабаритных конструкций крыши и кузова вагона-хоппера из композиционных материалов. Приводятся примеры выбора системы пропитки (с. 65-83; ил. 21).

**И.С.Деев, Л.П.Кобец, А.Ф.Румянцев**

ФРАКТОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭПОКСИДНОГО УГЛЕПЛАСТИКА ПОСЛЕ ИСПЫТАНИЙ НА ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ ПО МОДЕ II .....	84
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

С помощью сканирующей электронной микроскопии проведены фрактографические исследования эпоксидного углепластика после испытаний на трещиностойкость по моде II. Показано, что расслоение углепластика сопровождается пластическим деформированием фазовой микроструктуры полимерной матрицы, образованием в ней торсионных и гиперболических микротрещин. Разнообразие видов разрушения является следствием длительного воздействия нагрузки. Обнаружено, что величина пластического деформирования фазовой микроструктуры матрицы возрастает в зонах разрушения, отличающихся меньшей скоростью расслоения. Подтверждена также выдвинутая гипотеза о гетерофазном строении эпоксидных матриц, при котором молекулярно-дисперсионная среда представляет собой высоковязкую жидкость, в которой под действием напряжений перемещаются и деформируются микро- и наноразмерные дисперсные частицы (с. 84-94; ил. 10).

**В.С.Зарубин, Г.Н.Кувыркин, И.Ю.Савельева**

ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ ПЛАСТИНЧАТЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ НА ЭФФЕКТИВНУЮ ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ КОМПОЗИТА .....	95
--------------------------------------------------------------------------------------	----

Проведен количественный анализ влияния отклонения от идеализированной формы одинаково ориентированных пластинчатых включений на эффективные коэффициенты теплопроводности композита. Идеализированная форма включений принята в виде тонких круглых дисков, отклонения от которой соответствуют эллипсоиду с произвольным соотношением полуосей. При проведении расчетов выбор исходных значений параметров в некоторой степени согласован с ожидаемыми соответствующими параметрами композита с графеновыми включениями. Адекватность построенных и использованных при выполнении количественного анализа математических моделей теплового взаимодействия эллипсоидальных включений и матрицы композита подтверждена двусторонними оценками эффективных коэффициентов теплопроводности, полученными с применением двойственной формулировки вариационной задачи стационарной теплопроводности в неоднородном теле (с. 95-104; ил. 2).

**А.Т.Волочко, А.А.Шегидевич, Д.В.Куис**

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ КОМПОЗИТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ ОБРАБОТКЕ АЛЮМИНИЕВОГО РАСПЛАВА ЛИГАТУРАМИ, СОДЕРЖАЩИМИ СТЕКЛОПОДОБНЫЕ УГЛЕРОДНЫЕ ЧАСТИЦЫ .....	105
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

Обработка алюминиевого расплава лигатурами, содержащими стеклоподобные углеродные частицы, позволяет получать композиты с повышенными пластическими, прочностными и триботехническими свойствами за счет улучшения структуры сплава основы. Показано, что образование в лигатуре стеклоподобных углеродных частиц возможно только при использовании наноструктурированного углерода в виде фуллеренов, фуллереновой черни и фуллереновой сажи, при этом отличий в структуре лигатур с использованием дорогостоящих фуллеренов и более дешевых их заменителей не обнаружено. Структура получаемых композитов характеризуется высокой дисперсностью, при этом она более однородна и равномерна, а дендриты  $\alpha$ -фазы слабо выражены. Изменение структуры сплава повышает износостойкость более чем в 5 раз (с. 105-116; ил. 10).

**А.И.Саматадзе, И.В.Парахин, Н.Ф.Поросова, А.С.Туманов**

ВЫБОР ПЛАСТИФИКАТОРА ДЛЯ ФЕНОЛЬНО-КАУЧУКОВОГО ПЕНОПЛАСТА .....	117
----------------------------------------------------------------	-----

В работе исследуется влияние различных типов широко известных пластификаторов на технологические и эксплуатационные свойства фенольно-каучукового пенопласта (ФК). Изучается изменение свойств и структуры пенопласта в зависимости от выбранного модификатора.

Показано, что добавка 3 – 5 масс. частей на 100 масс. частей смолы пластификатора полиэфирного типа в фенольно-каучуковую смесь приводит к получению «безусадочных» эластичных композиций пенопласта (с. 117-124; ил. 6).

## CONTENS

**A.E.Ushakov, A.A.Safonov, E.I.Kornienko, N.V.Rozin**

APPLICATION OF MATHEMATICAL MODELING OF IMPREGNATION DURING  
MANUFACTURE BY THE VARI INFUSION PROCESS OF RAILROAD FREIGHT  
CAR ROOF AND BODY FROM COMPOSITE MATERIALS ..... 65

Composite structural elements are often produced by resin vacuum assisted impregnation of reinforcing fibres by vacuum. Designing the infusion process means developing a configuration of the impregnation system. The present paper describes an authors' experience in mathematical modeling of impregnation by vacuum infusion applied to large structures of roof and body of a hopper car made of composite materials. Some examples of impregnation system selection are presented (p. 65-83; fig. 21).

**I.S.Deev, L.P.Kobets, A.F.Rumyantsev**

A STUDY OF THE FRACTURE SURFACE OF CARBON FIBER REINFORCED EPOXY BINDER  
AFTER MEASUREING FRACTURE TOUGHNESS (MODE II) ..... 84

Scanning electron microscopy of fracture surfaces of the carbon fiber reinforced polymers (CFRP) after measuring fracture toughness (mode II). It is shown that delaminating epoxy of CFRP is accompanied by plastic deformation of microphase structure of polymeric matrix as well as formation of torsions and hyperbolic microcracks in it. A variety of the types of fracture is a consequence of long-time loading. It is revealed that plastic deformation of microphase structure of matrix is larger in the fracture zones in which the delamination rate is smaller. The hypothesis on heterophase structure of epoxy matrixes formulated earlier is confirmed. The polymer is actually a media composed molecular and dispersive of high viscosity fluid, in which nanoparticles are moving and deforming being under stresses (p. 84-94; fig. 10).

**V.S.Zarubin, G.N.Kuvyrkin, I.Y.Savelyeva**

AN EFFECT OF THE FORM OF LAMELLAR INCLUSIONS ON THE EFFECTIVE THERMAL  
CONDUCTIVITY OF A COMPOSITE ..... 95

A quantitative analysis of effect of deviations from an ideal form of directionally oriented lamellar inclusions on the effective thermal conductivity of a composite is carried out. The ideal form of the inclusions is assumed as thin circular disks; the deviations from which correspond to the ellipsoid with an arbitrary ratio of the semi-principal axes. In the calculations, reference values of the parameters are assumed to correspond to the values are expected to be observed in composites with graphene inclusions.

A bilateral evaluation of the effective coefficients of thermal conductivity made by using a dual formulation of the variation problem of stationary heat conduction in an non-homogeneous body confirms an adequacy of the model used in the analysis of the thermal interaction between the inclusions and matrix (p. 95-104; fig. 2).

**A.T.Volochko, A.A.Shegidevich, D.V.Kuis**

FORMATION OF STRUCTURE AND PROPERTIES OF COMPOSITES OBTAINED BY INTRODUCING IN ALUMINUM MELT  
LIGATURES CONTAINING GLASS-LIKE CARBON PARTICLES ..... 105

Introducing in alloys aluminum composites by ligatures containing particles of amorphous glass-like carbon phase improves the structure of base alloys and increases their plastic, strength and tribology properties. It is shown that formation of particles of amorphous glass-like carbon phase in ligature is possible provided nanostructured carbon in the form of fullerenes and fullerene blacks is used. No difference in the composite structure obtained by using expensive fullerenes and their cheap substitutes is found. The structure of composites is characterized by a high dispersity and homogeneity;  $\alpha$ -phase dendrites are hardly discernable. The alloy structure change increases wear resistance by a factor exceeding 5 (p. 105-116; fig. 10).

**A.I.Samatadze, I.V.Parahin, N.F.Porosova, A.S.Tumanov**

A CHOICE OF THE PLASTICIZER FOR PHENOLIC-RUBBER FOAM ..... 117

An effect of different types of the plasticizers on technological and working properties the phenol-rubber foam is studied. It is shown that adding 3-5 weight percent of a particular type of the plasticizers a phenol-rubber mixture yields a shrinkless elastic polymer foam (p. 117-124; fig. 6).