

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

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. 10. Сетчатая структура экспериментальной композитной секции фюзеляжа самолета.

АНИЗОГРИДНАЯ КОМПОЗИТНАЯ СЕТЧАТАЯ СЕКЦИЯ
ФЮЗЕЛЯЖА ПАССАЖИРСКОГО САМОЛЁТА

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, ГKNПЦ 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. Викулин

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.В. Ломов

д-р техн. наук, профессор Католического Университета, Лёвена, Бельгия

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.V. Lomov**

Katholieke Universiteit, Belgium

Professor **S.A. Lurie**

Dorodnicyn 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, Ukraine

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

<http://www.periodicals.ru>

(Inquire Komposity i nanostruktury)

Photo on the cover: Fig. 10. A photograph of an
experimental lattice structure of a section of the fuselage.

**ANISOGRID COMPOSITE LATTICE FUSELAGE SECTION
OF A COMMERCIAL AEROPLANE**

СОДЕРЖАНИЕ

В.В.Васильев, А.Ф.Разин, В.А.Никитюк

АНИЗОГРИДНАЯ КОМПОЗИТНАЯ СЕТЧАТАЯ СЕКЦИЯ ФЮЗЕЛЯЖА ПАССАЖИРСКОГО САМОЛЕТА 5

В статье рассматривается разработка геодезической сетчатой анизогридной (Anisogrid – анизотропная сетка) конструкции секции фюзеляжа пассажирского самолета. Описывается силовая схема конструкции, технология ее изготовления и представлены результаты расчета, проектирования и весового анализа (с. 5-14; ил. 10).

И.В.Сергеев, Ф.К.Антонов, А.Ю.Константинов, А.Е.Ушаков, А.А.Сафонов

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ КОМПОЗИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ НАЛИЧИИ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ И НАЧАЛЬНЫХ ДЕФЕКТОВ ТИПА РАССЛОЕНИЙ 15**

Предложена методика оценки прочности элементов конструкций, изготовленных из композиционных материалов (КМ) с термореактивной матрицей при наличии дефектов типа расслоений и технологических деформаций. Для определения последних реализована математическая модель, учитывающая температурную и химическую деформацию, выделение тепла в процессе полимеризации матрицы, изменение свойств матрицы при переходе из сверхэластичного состояния в твердое. Проведено моделирование деформации типовой КМ заготовки с внедренным дефектом типа расслоения. Получена количественная оценка влияния технологических деформаций и начальных размеров дефекта на величину нагрузки, при которой начинается развитие дефекта (15-24; ил. 5).

Е.В.Голосов, М.В.Жидков, Ю.Р.Колобов

**ФОРМИРОВАНИЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ В СТАЛИ 12Х18Н10Т МЕТОДОМ
ТЕПЛОЙ ПОПЕРЕЧНО-ВИНТОВОЙ ПРОКАТКИ 25**

Исследована возможность формирования наноструктурированного (НС) состояния в аустенитной стали 12Х18Н10Т методом поперечно-винтовой прокатки в сочетании с продольной прокаткой. Показано, что в определенных температурно-скоростных условиях деформации формируется НС структура с высокой долей большеугловых границ зерен. Демонстрируется возможность получения прутков диаметром 8 мм с улучшенными механическими свойствами (25-34; ил. 5).

Димитриенко Ю.И., Сборщиков С.В., Соколов А.П., Гафаров Б.Р., Садовничий Д.Н.

**ЧИСЛЕННОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ
ХАРАКТЕРИСТИК СФЕРОПЛАСТИКОВ 35**

Представлены результаты численного конечно-элементного моделирования процессов микроразрушения полимерных материалов, наполненных микросферами. Моделирование осуществляется на основе конечно-элементного решения локальных задач на ячейке периодичности для сред с повреждаемостью, постановка которых обусловлена применением метода асимптотического осреднения периодических структур. Проведен детальный анализ полей тензоров концентрации напряжений в матрице и наполнителях. В качестве критерия прочности матрицы и микросфер использован модифицированный критерий прочности Писаренко-Лебедева. Проведено численное исследование процесса последовательного микроразрушения сферопластика вплоть до полного его разрушения. Проведено экспериментальное исследование упругих и прочностных характеристик эпоксидных сферопластиков, которое показало, что результаты численного моделирования обеспечивают достаточно высокую точность прогноза эффективных упруго-прочностных свойств композитов (35-51; ил. 7).

Систер В.Г., Иванникова Е.М., Ломакин С.М., Новокшопова Л.А., Бревнов П.Н., Шилкина Н.Г., Ямчук А.И.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ГОРЮЧЕСТИ КОМПОЗИЦИЙ ПОЛИПРОПИЛЕНА С ГИДРООКИСЬЮ
МАГНИЯ И СЛОИСТЫМ НАНОСИЛИКАТОМ 52**

Изучены особенности горения композиций полипропилена, содержащих гидроокись магния и нанонаполнитель - слоистый силикат. Основные параметры горючести композиций полипропилена определены с использованием кон-калориметра. Обнаружен эффект синергизма в снижении горючести полипропилена, проявляемый при комплексном использовании слоистого наносиликата и гидроокиси магния (52-59; ил. 3).

Душин М.И., Коган Д.И., Хрульков А.В., Гусев Ю.А.

**ПРИЧИНЫ ОБРАЗОВАНИЯ ПОРИСТОСТИ В ИЗДЕЛИЯХ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ
КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ (ОБЗОР) 60**

Рассмотрены причины образования пористости в изделиях из полимерных композиционных материалов, изготовленных автоклавным и безавтоклавными методами, даны рекомендации по ее снижению (60-71; ил. 3).

CONTENS

V.V.Vasiliev, A.F.Razin, V.A.Nikityuk

ANISOGRID COMPOSITE LATTICE FUSELAGE SECTION OF A COMMERCIAL AEROPLANE 5

The paper is concerned with the development of the geodesic composite lattice fuselage section of a commercial airplane. A load carrying structure of the section and the manufacturing process are described along with the results of design, strength and weight analysis (p. 5-14; fig. 10).

I.V.Sergeichev, F.K.Antonov, A.Yu.Konstantinov, A.E.Ushakov, A.A.Safanov

EVALUATION OF STRENGTH OF COMPOSITE STRUCTURES WITH TECHNOLOGICAL

DISTORTIONS AND INITIAL DELAMINATIONS 15

A method of analysis of strength of structures made of composites with thermoreactive polymer matrix containing technological distortions and initial delaminations is suggested. To calculate technological strains and distortions, a thermomechanical model of composite has been implemented into a finite element code, which includes thermo- and chemical-strains, heat yield during polymerization and change in the material properties at the transition from superelastic state to solid one. Deformation of a typical composite structure with an embedded flaw defect has been modeled taking. A qualitative dependence of the crack growth initiation load on combined effect of the distortions and the initial defect size has been obtained (p. 15-24; fig. 5).

E.V.Golosov, M.V.Zhidkov, Yu.R.Kolobov

FORMATION OF NANOSTRUCTURE IN 18-10 STAINLESS STEEL BY WARM HELICAL ROLLING 25

A possibility of the formation of nanostructure in an austenitic 18-10 stainless steel as a result of helical rolling in combination with lengthwise rolling is studied. It is shown that under certain temperature/strain-rate conditions, nanostructure with high angle grain boundaries is formed. Austenitic 18-10 stainless steel with nanostructure demonstrates high mechanical properties (p. 25-34; fig. 5).

Yu.I.Dimitrienko, S.V.Sborshchikov, A.P.Sokolov, B.R.Gafarov, D.N.Sadovnichiy

COMPUTER AND EXPERIMENTAL STUDY MODELING OF FAILURE OF MICRO-SPHERE FILLED COMPOSITE 35

Results of computer simulation finite-element based and analysis are presented for processes of microdamage of polymer materials filled with microspheres. The simulation means finite-element approximate solving the local problems over a periodicity cell for media with damage, the statement of which is based on applying the asymptotic averaging method for periodic structures. Analysis has been conducted in detail for stress concentration tensor fields in a matrix and fillers. As a criterion of strength of the matrix and microspheres, the modified Pisarenko-Lebedev model has been used. Computational investigation has been conducted for the process of sequential microdamaging of the composite up to its final fracture. Experiments have been performed to observe elastic and strength characteristics of epoxy sphere-plastics, which show that the results of computational simulation provide a high accuracy of prediction of the effective elastic-strength properties of composites (p. 35-51; fig. 7).

V.G.Sister, E.M.Ivannikova, S.M.Lomakin, L.A.Novokshonova, P.N.Brevnov, N.G.Shilkina, A.I.Yamchuk

A STUDY OF FLAMMABILITY OF POLYPROPYLENE COMPOSITIONS WITH MAGNESIUM HYDROXIDE

AND LAYERED SILICATE 52

Combustion characteristics of polypropylene compositions with magnesium hydroxide and a layered silicate nanofiller are studied. The key burning behavior parameters of polypropylene compositions are evaluated with the use of cone calorimeter. It is discovered the synergistic effect on polypropylene flame retardation by the complex addition of the layered silicate nanofillers and magnesium hydroxide (p. 52-59; fig. 3).

M.I.Dushin, D.I.Kogan, A.V.Hrulkov, Y.A.Gusev

POROSITY FORMATION IN POLYMER MATRIX COMPOSITES (REVIEW) 60

Reasons for porosity formation in polymer matrix composites produced by autoclave and non-autoclave methods are examined. There are also given some recommendations for porosity reduction (p. 60-71; fig. 3).