

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор **А. С. ОРЫШЧЕНКО**  
д-р техн. наук

Зам. главного редактора **В. П. ЛЕОНОВ**  
д-р техн. наук

### Члены редакционной коллегии

А. А. АБРАМОВ, д-р техн. наук  
А. В. АНИСИМОВ, д-р техн. наук  
О. А. БАННЫХ, д-р техн. наук, профессор, акад. РАН  
В. Е. БАХАРЕВА, д-р техн. наук, профессор  
К. В. ГРИГОРОВИЧ, д-р техн. наук, профессор,  
чл.-корр. РАН  
Е. Л. ГЮЛИХАНДАНОВ, д-р техн. наук, профессор  
Э. П. ЗАРУБИН, канд. техн. наук (отв. секретарь)  
А. В. ИЛЫН, д-р техн. наук  
А. А. КАЗАКОВ, д-р техн. наук, профессор  
Г. П. КАРЗОВ, д-р техн. наук, профессор  
В. А. КАРХИН, д-р техн. наук, профессор  
П. А. КУЗНЕЦОВ, д-р техн. наук  
В. А. МАЛЫШЕВСКИЙ, д-р техн. наук, профессор  
Б. З. МАРГОЛИН, д-р техн. наук, профессор  
Ю. К. ПЕТРЕНЯ, д-р физ.-мат. наук, профессор,  
чл.-корр. РАН  
Е. И. ХЛУСОВА, д-р техн. наук, профессор

Адрес редакции: Россия, 191015,  
Санкт-Петербург, ул. Шпалерная, 49  
ФГУП «Центральный научно-исследовательский  
институт конструкционных материалов  
«Прометей»»  
Факс: (812) 710-3756. Телефон: (812) 274-1032  
E-mail: mail@crism.ru  
Internet site: <http://www.crism-prometey.ru>

Журнал издается с сентября 1995 г.,  
выходит четыре раза в год.  
Зарегистрирован в Министерстве Российской  
Федерации по делам печати, телерадиовещания и  
средств массовых коммуникаций.  
Свидетельство о регистрации  
ПИ № 77-13228 от 22 июля 2002 г.

Журнал «Вопросы материаловедения»  
включен в перечень периодических изданий,  
рекомендуемых ВАК РФ для публикации  
трудов соискателей ученых степеней,  
индексируется в базах данных Российского  
индекса научного цитирования (РИНЦ/RSCI),  
Ulrich's Periodicals Directory, входит в состав  
RSCI на платформе Web of Science.  
Отдельные статьи журнала переводятся на  
английский язык и публикуются издательст-  
вом «Pleiades Publishing, Ltd.» в журнале «In-  
organic Materials: Applied Research» (ISSN  
PRINT: 2075-1133, ISSN ONLINE: 2075-115X)

Перепечатка материалов из журнала возможна  
при письменном согласовании с редакцией,  
при этом ссылка на журнал обязательна.

© Федеральное государственное  
унитарное предприятие  
«ЦНИИ КМ «Прометей»», 2016

## THE EDITORIAL BOARD

Editor-in-Chief Dr. Sc. A. S. ORYSHCHENKO

Associate Editor Dr. Sc. V. P. LEONOV

### Members of the Editorial Board

Dr. Sc. A. A. ABRAMOV  
Dr. Sc. A. V. ANISIMOV  
Dr. Sc., Prof., Acad. of the RAS O. A. BANNYKH  
Dr. Sc., Prof. V. Ye. BAKHAREVA  
Dr. Sc., Prof., Corresponding Member of the RAS  
K. V. GRIGOROVITCH  
Dr. Sc., Prof. Ye. L. GULIKHANDANOV  
Dr. Sc. E. P. ZARUBIN (Exec. Secretary)  
Dr. Sc. A. V. ILYIN  
Dr. Sc., Prof. A. A. KAZAKOV  
Dr. Sc., Prof. G. P. KARZOV  
Dr. Sc., Prof. V. A. KARKHIN  
Dr. Sc., P. A. KUZNETSOV  
Dr. Sc., Prof. V. A. MALYSHEVSKY  
Dr. Sc., Prof. B. Z. MARGOLIN  
Dr. Sc., Prof. Corresponding Member of the RAS  
Yu. K. PETRENYA  
Dr. Sc., Prof. E. I. KHLUSOVA

Address of the Editorial Office:  
The Central Research Institute  
of Structural Materials «Prometey», FSUE,  
49 Shpalernaya Street,  
St. Petersburg, 191015, Russia  
Fax: (812) 710 3756. Phone: (812) 274 1032  
E-mail: mail@crism.ru  
Internet site: <http://www.crism-prometey.ru>

Published since September 1995,  
the journal comes out four times a year.  
It is registered in the Ministry of Press,  
Broadcasting and Mass Communications  
of Russian Federation.  
Registration certificate  
ПИ N 77-13228 dated 22 July 2002.

The «Voprosy Materialovedeniya» journal  
is included into the list of periodicals approved  
by VAK RF (High Attestation Committee)  
for publication works of competitors for aca-  
demic degrees, and into the data bases  
of the Russian Science Citation Index (RSCI),  
within the Web of Science,  
and Ulrich's Periodicals Directory.  
Selected articles of the journal are translated into  
English and issued by the company «Pleiades  
Publishing, Ltd.» in the «Inorganic Materials:  
Applied Research» (ISSN PRINT: 2075-1133,  
ISSN ONLINE: 2075-115X).

No part of this publication may be reproduced  
without prior written consent of the editor,  
a reference to the journal is mandatory.

© The Federal State  
Unitary Enterprise  
CRISM «Prometey», 2016

## СОДЕРЖАНИЕ

### МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ. МЕТАЛЛУРГИЯ

Панин П. В., Манохин С. С., Дзунович Д. А. Получение и исследование субмикроструктурной структуры в титановых сплавах при обратимом легировании водородом и пластической деформации. 7

Адашкин А. М., Бутрим В. Н., Кубаткин В. С., Сапронов И. Ю. Влияние режима термической обработки на жаростойкость сплава на основе хрома при высокотемпературном окислении на воздухе..... 18

### ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Марков М. А., Манина И. В., Шпотаковский И. Д., Орданьян С. С., Вихман С. В., Снимщиков Д. В., Красилов А. В. Износостойкие керамические материалы на основе  $Al_2O_3$  с различным размером зерна для опор гироскопов..... 29

Горынин И. В., Фармаковский Б. В. Высокопрочные литые микропровода системы Ni–Cr–Mo, полученные высокоскоростной закалкой расплава. .... 35

### ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Шульцешова П. М., Железина Г. Ф., Соловьева Н. А., Шульцешов Е. М. Арамидные органоластики для звукопоглощающих конструкций ..... 42

Курносое А. О., Раскутин А. Е., Мухаметов Р. Р., Мельников Д. А. Полимерные композиционные материалы на основе термореактивных полиимидных связующих для авиакосмической техники. Обзор ..... 50

Гончаров В. А., Раскутин А. Е. Исследование спектральных свойств оптоволоконных сенсоров в панели из углепластика ..... 63

Деев И. С., Куршев Е. В., Лонский С. Л., Железина Г. Ф. Влияние длительного климатического старения на микроструктуру и характер разрушения в объеме эпоксидных органоластиков в условиях силового воздействия (изгиба и сжатия)..... 72

### СВАРКА И РОДСТВЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ. СВАРОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ

Ерофеев В. А., Пьянков И. Б. Критерии оценки условий эксплуатации электродов при контактной точечной сварке..... 83

Верхотуров А. Д., Гордиенко П. С., Андрианова Н. С. Разработка и исследование электродных материалов, полученных с использованием концентраторов и отходов минерального сырья ..... 93

Сизова О. В., Заикина А. А., Рубцов В. Е. Влияние технологических режимов сварки трением с перемешиванием на механические свойства и характер разрушения алюминий-магниевого сплава..... 101

### КОРРОЗИЯ И ЗАЩИТА МЕТАЛЛОВ

Леонов В. П., Чудаков Е. В., Маликина Ю. Ю. Влияние рутения на структуру, коррозионно-механические свойства и усталостные характеристики титановых  $\alpha$ -сплавов в коррозионной среде ..... 109

### КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОЧНОСТЬ И РАБОТОСПОСОБНОСТЬ МАТЕРИАЛОВ

Марголин Б. З., Фоменко В. Н., Гуленко А. Г., Костылев В. И., Швецова В. А. Дальнейшее развитие модели Прометей и метода Unified Curve. Часть 1. Развитие модели Прометей..... 120

Марголин Б. З., Гуленко А. Г., Фоменко В. Н., Костылев В. И. Дальнейшее развитие модели Прометей и метода Unified Curve. Часть 2. Развитие метода Unified Curve ..... 151

### РАДИАЦИОННОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Леонов В. П., Счастливая И. А., Ханжин А. В., Кудрин Ю. С., Обухов А. В., Макаров О. Ю. Исследование радиационной стойкости и структурной стабильности титановых  $\alpha$ - и псевдо- $\alpha$ -сплавов..... 179

### МОДЕЛИРОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Носов В. К., Нестеров П. А., Ермаков Е. И. Формализация 3D моделирования равновесного полиэдрического структурного строения титановых сплавов в системе «трехмерного материаловедения (3D-MS)»..... 189

<i>Колесник М. Ю., Алиев Т. Н., Лиханский В. В.</i> Моделирование переориентации гидридов в оболочках твэлов отработавших ТВС в условиях сухого хранения .....	198
<i>Кикинов К. И., Леонов В. П., Счастливая И. А., Иголкина Т. Н.</i> Моделирование технологического процесса изготовления макета цилиндрической обечайки из нового термически стабильного титанового сплава с использованием ПК DEFORM-3D .....	211
<b>Перечень статей, опубликованных в научно-техническом журнале «Вопросы материаловедения» в 2016 году.....</b>	<b>222</b>

## CONTENTS

### METALS SCIENCE. METALLURGY

*Panin P. V., Manohin S. S., Dzunovich D. A.* Research on submicron-grained structure formation in titanium alloys upon reversible hydrogenation and plastic deformation..... 7

*Adaskin A. M., Butrim V. N., Kubatkin V. S., Sapronov I. Yu.* Influence of the thermal treatment mode on heat resistance of the alloy on the basis of chrome at high-temperature oxidation on air..... 18

### FUNCTIONAL MATERIALS

*Markov M. A., Manina I. V., Shpotakovskiy I. D., Ordanian S. S., Vikhman S. V., Snimshchikov D. V., Krasikov A. V.* Wear-resistant ceramic materials based on Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> with different grain sizes for gyro bearings ..... 29

*Gorynin I. V., Farmakovskiy B. V.* High-strength cast Ni–Cr–Mo microwires produced by high-rate melt quenching ..... 35

### POLYMER COMPOSITE MATERIALS

*Shuldeshova P. M., Zhelezina G. F., Solovieva N. A., Shuldeshov E. M.* Aramide organoplastics for sound-proof designs ..... 42

*Kurnosov A. O., Raskutin A. E., Mukhametov R. R., Melnikov D. A.* Polymer composite materials based on thermosetting polyimide binders for aerospace engineering. Review ..... 50

*Goncharov V. A., Raskutin A. E.* Research data of the fiber optic sensors embedded in CFRP panel..... 63

*Deev I. S., Kurshev E. V., Lonsky S. L., Zhelezina G. F.* Effect of long climatic aging on microstructure and nature of fracture of organoplastics based on epoxy matrix in the conditions of bend and compression ..... 72

### WELDING AND RELATED PROCESSES. WELDING MATERIALS

#### AND TECHNOLOGIES

*Erofeev V. A., Pyankov I. B.* Criteria for evaluating the operating conditions of the electrodes when the resistance spot welding..... 83

*Verkhoturov A. D., Gordienko P. S., Andrianova N. S.* Development and research of electrode materials manufactured from mineral concentrates and mining waste ..... 93

*Sizova O. V., Zaikina A. A., Rubtsov V. E.* Effect of friction stir welding process parameters on mechanical and fracture behavior of aluminum-magnesium alloy ..... 101

### CORROSION AND PROTECTION OF METALS

*Leonov V. P., Chudakov E. V., Malinkina Yu. Yu.* Influence of ruthenium on structure, cracking corrosion and low-cycle fatigue of titanium alpha-alloys in corrosive environment..... 109

### STRUCTURAL-WORKING STRENGTH AND SERVICEABILITY OF MATERIALS

*Margolin B. Z., Fomenko V. N., Gulenko A. G., Kostylev V. I., Shvetsova V. A.* Development of the Prometey model and method of Unified Curve. Part 1: Prometey model ..... 120

*Margolin B. Z., Gulenko A. G., Fomenko V. N., Kostylev V. I.* Development of the Prometey model and method of Unified Curve. Part 2: Unified Curve ..... 151

### RADIATION MATERIALS SCIENCE

*Leonov V. P., Schastlivaya I. A., Khamzin A. V., Kudrin Yu. S., Obukhov A. V., Makarov O. Yu.* Investigation of radiation resistance and structural stability of titanium  $\alpha$ - and pseudo- $\alpha$ -alloys. .... 179

### MODELING OF MATERIALS AND PROCESSES

*Nosov V. K., Nesterov P. A., Ermakov E. I.* Formalization of 3D modeling structural equilibrium polyhedral structure of titanium alloys in the system "3D materials science (3DMS)" ..... 189

*Kolesnik M. Yu., Aliev T. N., Likhanskii V. V.* Hydride reorientation modeling in spent fuel cladding during dry storage..... 198

<i>Kikinov K. I., Leonov V. P., Schastlivaya I. A., Igolkina T. N.</i> DEFORM-3D mathematical modeling of technological process of cylindrical shell manufacturing of a new thermally stable titanium alloy .....	211
<b>A list of articles published in the scientific and technical journal “Voprosy Materialovedeniya” in 2016 year</b> .....	222