

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

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. ИЛЬИН, д-р техн. наук  
А. А. КАЗАКОВ, д-р техн. наук, профессор  
В. А. КАРХИН, д-р техн. наук, профессор  
Ю. Л. КУЗЬМИН, д-р техн. наук  
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  
НИЦ «Курчатовский институт» –  
ЦНИИ КМ «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 издательством  
“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.

© НИЦ «Курчатовский институт» –  
ЦНИИ КМ «Прометей»,  
2018

## THE EDITORIAL BOARD

Editor-in-Chief  
Dr. Sc., prof. **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  
PhD (Eng) E. P. ZARUBIN (Exec. Secretary)  
Dr. Sc. A. V. ILYIN  
Dr. Sc., Prof. A. A. KAZAKOV  
Dr. Sc., Prof. V. A. KARKHIN  
Dr. Sc. Yu. L. KUZMIN  
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:  
NRC “Kurchatov Institute” – CRISM “Prometey”,  
49, Shpalerная Street,  
191015, St Petersburg, RF

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 No 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.

© NRC “Kurchatov Institute” –  
CRISM “Prometey”,  
2018

## СОДЕРЖАНИЕ

### МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ. МЕТАЛЛУРГИЯ

<i>Ковальчук М. В., Орыщенко А. С., Малышевский В. А., Петров С. Н., Шумилов Е. А.</i> К вопросу об унификации химического состава высокопрочных сталей для судостроения .....	7
<i>Голубева М. В., Сыч О. В., Хлусова Е. И., Мотовилина Г. Д., Святышева Е. В., Рогожкин С. В., Лукьянчук А. А.</i> Изменение структуры высокопрочной экономнолегированной стали марки 09ХГН2МД при отпуске .....	15
<i>Чурбаев Р. В., Федотов В. П., Черемичина Э. Р.</i> Высокая пластичность магния под давлением при малых и больших скоростях деформации .....	27
<i>Базылева О. А., Аргинбаева Э. Г., Шестаков А. В., Фесенко Т. В.</i> Структура и свойства интерметаллидного сплава на основе алюминиды никеля, микролегированного редкоземельными металлами .....	35

### ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

<i>Сильченко О. Б., Силуянова М. В., Низовцев В. Е., Климов Д. А., Корнилов А. А.</i> О перспективах применения наноструктурных гетерофазных полифункциональных композиционных материалов в авиадвигателестроении .....	50
<i>Асланян И. Р.</i> Повышение ресурса эксплуатации приработочных покрытий .....	58
<i>Макаров А. М., Бобкова Т. И., Васильев А. Ф., Геращенко Д. А., Прудников И. С., Фармаковский Б. В.</i> Влияние состава газовой фазы на формирование функционально-градиентных покрытий методом сверхзвукового холодного газодинамического напыления .....	65
<i>Макаров А. М., Косульникова А. В., Бобкова Т. И., Васильев А. Ф., Геращенко Д. А., Климов В. Н., Самоделкин Е. А., Фармаковский Б. В.</i> Разработка технологии получения функциональных наноструктурированных покрытий на базе износ- и коррозионно-стойкого сплава системы Cu-Ni .....	70
<i>Быстров Р. Ю., Беляков А. Н., Васильев А. Ф., Геращенко Д. А., Геращенко Е. Ю., Барковская Е. Н., Коркина М. А., Самоделкин Е. А., Фармаковский Б. В.</i> Получение композиционного катода для магнетронного напыления функциональных покрытий .....	76
<i>Васильева О. В., Кузнецов П. А., Фармаковский Б. В.</i> Высокоомные сплавы на основе никеля для получения резистивных термостабильных микропроводов методом высокоскоростной заковки расплава .....	82
<i>Прибытков Г. А., Коржова В. В., Криницын М. Г., Фирсина И. А.</i> Синтез и электронно-лучевая наплавка композиционных порошков монокристаллов титана – титановая связка .....	88
<i>Васильев А. Ф., Самоделкин Е. А., Геращенко Е. Ю., Фармаковский Б. В.</i> Композиционное коррозионно-стойкое покрытие из сплава на основе германия .....	103
<i>Геращенко Д. А., Бобкова Т. И., Васильев А. Ф., Кузнецов П. А., Самоделкин Е. А., Фармаковский Б. В.</i> Функциональные защитные покрытия из сплава на основе никеля .....	110
<i>Роголев А. М., Раевских А. Н., Аргинбаева Э. Г., Прагер С. М.</i> Особенности получения металлопорошковых композиций высокотемпературного интерметаллидного сплава с карбидным упрочнением системы Ni-Al-Ta-C методом газовой атомизации применительно к технологии селективного лазерного сплавления .....	115
<i>Скворцова А. Н., Толочко О. В., Бобкова Т. И., Васильева Е. А., Старицын М. В.</i> Исследование влияния технологических параметров метода холодного газодинамического напыления на износостойкость покрытия алюминий – углеродные нановолокна .....	126
<i>Вакулов Н. В., Мышлявец А. В., Малютин В. И., Митряева Н. С.</i> Исследование изменения свойств резины при хранении и эксплуатации резинотехнических изделий с использованием метода динамического механического анализа как экспресс-метода .....	137

### ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

<i>Бахарева В. Е., Никитина И. В., Чурикова А. А.</i> Эпоксидные радиотехнические стеклопластики горячего прессования для судовых антенных обтекателей и защиты антенн в системах радиосвязи и радиолокации .....	143
<i>Терехов И. В., Чистяков Е. М., Филатов С. Н., Деев И. С., Куршев Е. В., Лонский С. Л.</i> Факторы, влияющие на огнестойкость эпоксидных композиций, модифицированных эпоксидсодержащими фосфазенами .....	159

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

*Мельников П. В., Гежа В. В., Мотовилина Г. Д., Мозильников В. А.* Влияние микролегирования бором на структуру и свойства сварного шва, выполненного порошковой проволокой, для сварки листового проката из высокопрочной стали с нормируемым пределом текучести 750 МПа..... 169

*Ковтунов А. И., Семистенова Т. В., Остряко А. М.* Исследование процессов формирования, структуры и свойств наплавленных покрытий на основе сплавов системы Cu–Ti ..... 175

#### **КОРРОЗИЯ И ЗАЩИТА МЕТАЛЛОВ**

*Оленин М. И., Горынин В. И., Бережко Б. И., Ховратович И. М., Пташник А. В.* Некоторые аспекты исследования коррозионных процессов на крепежных деталях из стали марки 25Х1МФ после алитирования ..... 182

#### **МОДЕЛИРОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

*Рябцов А. В., Виленский О. Ю.* Математическая модель радиационного формоизменения сборок активной зоны реакторов типа БН и ее реализация в ПК ANSYS ..... 190

**Научно-технический журнал «Вопросы материаловедения». Оформление статей. Правила для авторов ..... 200**

## CONTENTS

### METALS SCIENCE. METALLURGY

<i>Kovalchuk M. V., Oryshchenko A. S., Malyshevsky V. A., Petrov S. N., Shumilov E. A.</i> Unifying chemical compositions of high-strength steels in shipbuilding.....	7
<i>Golubeva M. V., Sych O. V., Khlusova E. I., Motovilina G. D., Sviatysheva E. V., Rogozhkin S. V., Lukyanchuk A. A.</i> Structure changes of high-strength economically alloyed steel 09KhGN2MD (09CrMnNi2MoCu) when tempering.....	15
<i>Churbaev R. V., Fedotov V. P.<sup>†</sup>, Cheremitsyna E. R.</i> High ductility of magnesium at different strain rates under pressure .....	27
<i>Bazyleva O. A., Arginbaeva E. G., Shestakov A. V., Fesenko T. V.</i> Structure and properties of the intermetal- lide based on nickel aluminide microalloyed by rare-earth metals.....	35

### FUNCTIONAL MATERIALS

<i>Silchenko O. B., Siluyanova M. V., Nizovtsev V. E., Klimov D. A., Kornilov A. A.</i> On the prospects of applica- tion of nanostructured heterophase polyfunctional composite materials in engine building industry .....	50
<i>Aslanyan I. R.</i> Improving the service life of coatings during running-in.....	58
<i>Makarov A. M., Bobkova T. I., Vasiliev A. F., Geraschenkov D. A., Prudnikov I. S., Farmakovskiy B. V.</i> Effect of gas phase composition on functional-gradient coatings formation by supersonic cold gas dynamic spraying .....	65
<i>Makarov A. M., Kosulnikova A. V., Bobkova T. I., Vasiliev A. F., Geraschenkov D. A., Klimov V. N., Samo- delkin E. A., Farmakovskiy B. V.</i> Developing technology of fabrication of functional nanostructured coatings on wear- and corrosion-resistant alloy based on the Cu–Ni system .....	70
<i>Bystrov R. Yu., Belyakov A. N., Geraschenkova E. Yu., Barkovskaya E. N., Korkina M. A., Samodel- kin E. A., Farmakovskiy B. V.</i> Obtaining the composite cathode for magnetic spraying of functional coatings .....	76
<i>Vasilieva O. V., Kuznetsov P. A., Farmakovskiy B. V.</i> High-resistive nickel-based alloys for thermo-stable microwires manufactured by high-speed melt quenching.....	82
<i>Pribytkov G. A., Korzhova V. V., Krinitsyn M. G., Firsina I. A.</i> Synthesis and electron beam facing of tita- nium monoboride – titanium matrix composite powders.....	88
<i>Vasiliev A. F., Samodelkin E. A., Geraschenkova E. Yu., Farmakovskiy B. V.</i> Corrosion-resistant composite germanium-based alloys coatings.....	103
<i>Gerashchenkov D. A., Bobkova T. I., Vasiliev A. F., Kuznetsov P. A., Samodelkin E. A., Farmakovskiy B. V.</i> Functional protective coatings of nickel-based alloys .....	110
<i>Rogalev A. M., Raevskiykh A. N., Arginbaeva E. G., Prager S. M.</i> Particularity of producing high-temperature carbide hardened Ni–Al–Ta–C intermetallic alloy powder compositions by gas atomization method for fur- ther selective laser melting .....	115
<i>Skvortsova A. N., Tolochko O. V., Bobkova T. I., Vasilyeva E. A., Staritsyn M. V.</i> Studying influence of tech- nological parameters of cold gas dynamic spraying on the wear resistance of aluminum – carbon nanofibers coatings .....	126
<i>Vakulov N. V., Myshlyavtsev A. V., Malyutin V. I., Mitryaeva N. S.</i> Changes in rubber properties during sto- rage and operation studied by express method of dynamic mechanical analysis .....	137

### POLYMER COMPOSITE MATERIALS

<i>Bakhareva V. E., Nikitina I. V., Churikova A. A.</i> Radiotechnical hot pressed glass fiber plastics for ship aerial fairings and antennas protection in radio connection and radio location systems .....	143
<i>Terekhov I. V., Chistyakov E. M., Filatov S. N., Deev I. S., Kurshev E. V., Lonskii S. L.</i> Factors influencing the fire-resistance of epoxy compositions modified with epoxy-containing phosphazenes.....	159

### WELDING AND RELATED PROCESSES. WELDING MATERIALS AND TECHNOLOGIES

<i>Melnikov P. V., Gezha V. V., Motovilina G. D., Moguilnikov V. A.</i> Influence of boron microalloying on the structure and properties of joints welding rolled high-strength steel with a standard yield point of 750 MPa by flux-cored wire .....	169
---	-----

<i>Kovtunov A. I., Semistenova T. V., Ostryanko A. M.</i> Investigating formation, structure and properties of coatings based on Cu–Ti alloys .....	175
---	-----

#### **CORROSION AND PROTECTION OF METALS**

<i>Olenin M. I., Gorynin V. I., Berezhko B. I., Khovratovich I. M., Ptashnik A. V.</i> Some aspects in studying corrosion of 25Kh1MF (25Cr1MoW) steel fasteners after aluminizing.....	182
--	-----

#### **MODELING OF MATERIALS AND TECHNOLOGICAL PROCESSES**

<i>Ryabtsov A. V., Vilensky O. Yu.</i> Mathematical model of radiation-induced shape change in fuel subassemblies of the BN-type reactor core and its implementation in ANSYS software package.....	190
---	-----

<b>Instructions for authors of the scientific and technical journal “Voprosy Materialovedeniya”.</b> <b>Manuscript requirements</b> .....	200
--	-----