

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор **А. С. ОРЫШЧЕНКО**  
д-р техн. наук, профессор,  
чл.-корр. РАН  
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,  
акад. 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  
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 учредителя и издателя: 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  
http://www.crism-prometey.ru

Журнал издается с сентября 1995 г.,  
выходит четыре раза в год.

Зарегистрирован в Министерстве РФ по делам  
печати, телерадиовещания и средств массовых  
коммуникаций. Свидетельство о регистрации  
ПИ № 77-13228 от 22 июля 2002 г.

Изменения внесены Роскомнадзором,  
ПИ № ФС 77-73502 от 31 августа 2018 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»,  
2021

## THE EDITORIAL BOARD

Editor-in-Chief Dr Sc., Prof.,  
Corresponding Member of the RAS  
**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., Acad. of the RAS  
K.V. GRIGOROVITCH  
Dr Sc., Prof. Ye. L. GULIKHANDANOV  
Cand. Sc. 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. B.Z. MARGOLIN  
Dr Sc., Prof. Corresponding Member of the RAS  
Yu.K. PETRENYA  
Dr Sc., Prof. E.I. KHLUSOVA

Founder & EditorAddress:  
NRC “Kurchatov Institute” – CRISM “Prometey”,  
49 Shpalernaya Street,  
191015 St Petersburg, Russian Federation

Fax: (812) 710 3756. Phone: (812) 274 1032  
E-mail: mail@crism.ru

Internet site: http://www.crism-prometey.ru

The journal comes out four times a year  
since September 1995

It is registered in the Ministry of Press,  
Broadcasting and Mass Communications  
of the Russian Federation. Registration certificate  
ПИ No 77-13228 dated 22 July 2002.

Changes applied by Roskomnadzor  
ПИ No ФС 77-73502 dated 31 August 2018.

The “Voprosy Materialovedeniya” journal  
is included into the list of periodicals approved  
by VAK RF (High Attestation Committee)  
for publication works of competitors  
for academic 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 Pleiades Publish-  
ing, 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”,  
2021

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>К 95-летию со дня рождения академика РАН И. В. Горынина (1926–2015)</b> .....	5
--	---

### МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ. МЕТАЛЛУРГИЯ

<i>Китаев Н. И., Пичхидзе С. Я.</i> Анализ напряженно-деформированного состояния цементованного зубчатого колеса .....	13
<i>Сенникова Л. Ф., Волкова Г. К., Ткаченко В. М., Гангало А. Н.</i> Структура и свойства меди М06 после комбинированной пластической деформации .....	21
<i>Савченко А. М., Коновалов Ю. В., Лаушкин А. В.</i> Изменение характера межатомной связи при образовании твердых и жидких растворов. Взаимосвязь колебательной и конфигурационной энтропии и их физическая интерпретация .....	28

### ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

<i>Иванов В. Г., Бубликов В. С.</i> Формирование МДО-покрытий повышенной толщины на титановых сплавах и оценка триботехнических свойств в паре трения с бронзой .....	41
<i>Геращенко Е. Ю., Бобкова Т. И., Самоделькин Е. А., Геращенко Д. А., Васильев А. Ф., Фармаковский Б. В.</i> Наноструктурированные композиционные порошки для получения защитных покрытий деталей и узлов машиностроения .....	52
<i>Юрков М. А., Быстров Р. Ю., Яковлева Н. В., Фармаковский Б. В.</i> Изучение процесса микроплазменного напыления объемно-пористых функциональных покрытий на основе $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ .....	60

### ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

<i>Лишевич И. В., Анисимов А. В., Николаев Г. И., Савёлов А. С., Саргсян А. С.</i> Влияние конструкции подшипников скольжения на эффективность фторопластового макромоодификатора антифрикционных углеродистых .....	65
<i>Колтачков Е. Д., Павлов Д. В., Вавилова М. И., Жириков А. А.</i> Исследование свойств стеклопластика на основе полиэфирэфиркетона .....	76
<i>Борукаев Т. А., Мартазанова Р. М.</i> Теплофизические и физико-механические свойства модернизированного промышленного ПВХ-пластиката .....	84

### КОРРОЗИЯ И ЗАЩИТА МЕТАЛЛОВ

<i>Тимофеев М. Н., Морозовская И. А., Галаткин С. Н., Зотоковенко Н. И., Куценко Е. И., Лозовицкий Н. А.</i> Исследование коррозионно-стойких наплавов оборудования АЭУ, выполненных ленточным электродом дуговым и электрошлаковым способами .....	94
<i>Мовенко Д. А., Лантеев А. Б., Загорских О. А.</i> Исследование состава и морфологии продуктов горячей солевой коррозии жаропрочных никелевых сплавов .....	107

### РАДИАЦИОННОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

<i>Марголин Б. З., Швецова В. А., Сорокин А. А., Минкин А. И., Пирогова Н. Е.</i> Исследование состояния металла внутрикорпусных устройств реактора ВВЭР после эксплуатации в течение 45 лет. Часть 4. Характеристики прочности и пластичности и механизмы разрушения .....	116
<i>Минкин А. И., Марголин Б. З., Фоменко В. Н., Беляева Л. А., Пирогова Н. Е.</i> Оценка прочности и прогноз ресурса захватов штанг СУЗ реактора ВВЭР-440. Часть 1. Исследование охрупчивания стали 14X17H2 в условиях нейтронного облучения .....	145
<i>Минкин А. И., Марголин Б. З., Федосов В. Г.</i> Оценка прочности и прогноз ресурса захватов штанг СУЗ реактора ВВЭР-440. Часть 2. Оценка прочности и обоснование сроков проведения мониторинга деградации металла захвата .....	163
<i>Минкин А. И., Марголин Б. З., Беляева Л. А., Пирогова Н. Е., Шумко А. М., Петров С. Н.</i> Оценка прочности и прогноз ресурса захватов штанг СУЗ реактора ВВЭР-440. Часть 3. Оптимизация восстановительного режима послерадиационного отжига захватов штанг СУЗ .....	177

<b>Научно-технический журнал «Вопросы материаловедения». Оформление статей. Правила для авторов</b> .....	192
---	-----

## CONTENTS

<b>In memory of the Academician of the RAS Igor Gorynin (1926–2015)</b> .....	5
<b>METALS SCIENCE. METALLURGY</b>	
<i>Kitaev N. I., Pichkhidze S. Ya.</i> Analysis of the stress-strain state in carburized gearwheels.....	13
<i>Sennikova L. F., Volkova G. K., Tkachenko V. M., Gangalo A. N.</i> Structure and properties of copper M0b after combined plastic deformation .....	21
<i>Savchenko A. M., Konovalov Yu. V., Laushkin A. V.</i> Change in inter-atomic communication character in the formation of solid and liquid solutions. Relationship of vibrational and configuration entropy and their physical interpretation .....	28
<b>FUNCTIONAL MATERIALS</b>	
<i>Ivanov V. G., Bublikov V. S.</i> Formation of MAO-coatings of high thickness on titanium alloys and evaluation of tribological properties in friction pair with bronze .....	41
<i>Gerashchenkova E. Yu., Bobkova T. I., Samodelkin E. A., Gerashchenkov D. A., Vasiliev A. F., Farmakovskiy B. V.</i> Nanostructured composite powders for producing protective coatings of machine-building parts and units.....	52
<i>Yurkov M. A., Bystrov R. Yu., Yakovleva N. V., Farmakovskiy B. V.</i> On the microplasma spraying of volume-porous functional coatings based on $\gamma$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	60
<b>POLYMER COMPOSITE MATERIALS</b>	
<i>Lishevich I. V., Anisimov A. V., Nikolaev G. I., Savelov A. S., Sargsyan A. S.</i> Influence of sliding bearing design on efficiency of the fluoroplast macromodifier for antifriction carbon plastics .....	65
<i>Kolpachkov E. D., Pavlov D. V., Vavilova M. I., Zhirikov A. A.</i> Research of the properties of fiberglass based on polyetheretherketone.....	76
<i>Borukaev T. A., Martazanova R. M.</i> Thermophysical and physical-mechanical properties of the modernized industrial PVC-plastic compound.....	84
<b>CORROSION AND PROTECTION OF METALS</b>	
<i>Timofeev M. N., Morozovskaya I. A., Galyatkin S. N., Zatokovenko N. I., Kutsenko E. I., Lozovitsky N. A.</i> Research of corrosion-resistant welding of NPP equipment performed with a strip electrode by arc and electroslag methods .....	94
<i>Movenko D. A., Laptev A. B., Zagorskiykh O. A.</i> Composition and morphology of hot-salt corrosion in heat resistant nickel alloys.....	107
<b>RADIATION MATERIALS SCIENCE</b>	
<i>Margolin B. Z., Sorokin A. A., Shvetsova V. A., Minkin A. J., Pirogova N. E.</i> Investigation of irradiated metal of WWER-type reactor internals after 45 years of operation. Part 4. Mechanical properties and fracture mechanisms.....	116
<i>Minkin A. J., Margolin B. Z., Fomenko V. N., Belyaeva L. A., Pirogova N. E.</i> Structural integrity assessment and lifetime prediction for the control rods couplings of the WWER-440 reactor. Part 1: Investigation of steel 14Kh17N2 grade embrittlement under neutron irradiation.....	145
<i>Minkin A. J., Margolin B. Z., Fedosov V. G.</i> Structural integrity assessment and lifetime prediction for the control rods couplings of the WWER-440 reactor. Part 2. Assessment of the coupling structural integrity and justification of its material degradation monitoring interval.....	163
<i>Minkin A. J., Margolin B. Z., Belyaeva L. A., Pirogova N. E., Shumko A. M., Petrov S. N.</i> Structural integrity assessment and lifetime prediction for the control rods couplings of the WWER-440 reactor. Part 3. Optimization of post-irradiation recovery annealing of the control rods couplings .....	177
<b>Guidelines for authors of the scientific and technical journal “Voprosy Materialovedeniya”. Manuscript requirements</b> .....	192