

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ  
ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ «ПРОМЕТЕЙ» имени И. В. ГОРЫНИНА  
НАЦИОНАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЦЕНТРА  
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»

# ВОПРОСЫ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

№ 3(115)  
июль – сентябрь

2023

## 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. В. АНИСИМОВ, д-р техн. наук  
О. А. БАННЫХ, д-р техн. наук, профессор, акад. РАН  
С. А. ВОЛОГЖАНИНА, д-р техн. наук, профессор  
С. К. ГОРДЕЕВ, д-р техн. наук  
К. В. ГРИГОРОВИЧ, д-р техн. наук, профессор,  
акад. РАН  
Э. П. ЗАРУБИН, канд. техн. наук (отв. секретарь)  
А. В. ИЛЬИН, д-р техн. наук  
В. А. КАРХИН, д-р техн. наук, профессор  
А. Д. КАШТАНОВ, д-р техн. наук  
М. В. КОСТИНА, д-р техн. наук  
А. В. КУДРЯ, д-р техн. наук, профессор  
П. А. КУЗНЕЦОВ, д-р техн. наук  
Б. З. МАРГОЛИН, д-р техн. наук, профессор  
С. Ю. МУШНИКОВА, д-р техн. наук  
О. Л. ПЕРВУХИНА, д-р техн. наук  
С. Н. ПЕТРОВ, д-р техн. наук  
О. В. ФОМИНА, д-р техн. наук  
Е. И. ХЛУСОВА, д-р техн. наук, профессор  
В. В. ЦУКАНОВ, д-р техн. наук, профессор  
В. Я. ШЕВЧЕНКО, д-р техн. наук, профессор,  
акад. РАН

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, EBSCO, входит  
в состав RSCI на платформе Web of Science.

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

© НИЦ «Курчатовский институт» –  
ЦНИИ КМ «Прометей»,  
2023

## 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.V. ANISIMOV  
Dr Sc., Prof., Acad. of the RAS O.A. BANNYKH  
Dr Sc., Prof. S.A. VOLOGZHANINA  
Dr Sc. S.K. GORDEEV  
Dr Sc., Prof., Acad. of the RAS  
K.V. GRIGOROVITCH  
Cand. Sc. E. P. ZARUBIN (Exec. Secretary)  
Dr Sc. A.V. ILYIN  
Dr Sc., Prof. V.A. KARKHIN  
Dr Sc. A.D. KASHTANOV  
Dr Sc. M.V. KOSTINA  
Dr Sc., Prof. A.V. KUDRYA  
Dr Sc., P.A. KUZNETSOV  
Dr Sc., Prof. B.Z. MARGOLIN  
Dr Sc. S.Yu. MUSHNIKOVA  
Dr Sc. O.L. PERVUKHINA  
Dr Sc. S. N. PETROV  
Dr Sc. O.V. FOMINA  
Dr Sc., Prof. E.I. KHLUSOVA  
Dr Sc., Prof. V.V. TSUKANOV  
Dr Sc., Prof., Acad. of the RAS  
V.YA. SHEVCHENKO

Founder & Editor Address:  
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, EBSCO,  
and Ulrich's Periodicals Directory.

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”,  
2023

## СОДЕРЖАНИЕ

### МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ. МЕТАЛЛУРГИЯ

Коротовская С. В., Никитина В. Р., Хлусова Е. И., Ушанова Э. А. Влияние дополнительной термической обработки на структуру и микротвердость высокопрочной стали для судостроения .....	7
Мендагалиев Р. В., Зотов О. Г., Иванов С. Ю., Климова-Корсмик О. Г., Лебедева Н. В., Куклина А. А. Структура и механические свойства судостроительной стали, полученной методом прямого лазерного выращивания и горячей прокатки .....	17
Исаева А. В., Приймак Е. Ю., Атамашкин А. С., Сёмка Я. С. Микроструктурные аспекты усталостной прочности сварных соединений среднеуглеродистых сталей, полученных ротационной сваркой трением .....	27
Громов В. Е., Порфирьев М. А., Иванов Ю. Ф., Крюков Р. Е., Шляров В. В. Градиенты структуры, фазового состава и дислокационной субструктуры в головке рельсов из заэвтектоидной стали после эксплуатации .....	39
Цуканов В. В., Смирнова Д. Л. Усовершенствованный метод определения диффузионных превращений аустенита в изотермических условиях. Часть 1. Анализ стандартных диаграмм и возможность применения усовершенствованной диаграммы в диффузионной области .....	49
Цуканов В. В., Смирнова Д. Л. Усовершенствованный метод определения диффузионных превращений аустенита в изотермических условиях. Часть 2. Диаграммы изотермических превращений и их роль при назначении режимов термической обработки .....	60
Цуканов В. В., Смирнова Д. Л., Кархин В. А., Хомич П. Н., Ефимов С. В. Решение задачи теплопроводности для расчетного моделирования процесса снижения содержания водорода при противоблоксной термической обработке .....	68
Александрова Н. М., Алиев А. А., Филиппов Г. А. Разработка технологии химико-термической обработки для изготовления деталей электрооборудования автомобильного транспорта .....	76
Толорай В. Н., Остроухова Г. А. Изучение механизма зарождения монокристаллов из Re-Ru-содержащих никелевых жаропрочных сплавов с заданной пространственной кристаллографической ориентацией от затравок системы Ni-W-Re-C с температурой ликвидус 1550–1600°C .....	83
Бутрим В. Н., Адашкин А. М., Каширцев В. В., Трушников А. С. Влияние вольфрама на структуру жаропрочных сплавов на основе хрома .....	96
Лукина Е. А., Кочубей А. Я., Медведев П. Н., Журавлева П. Л. Термомеханика пластического течения сплавов системы Al-Cu-Li .....	107

### ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Бобкова Т. И., Васильев А. Ф., Геращенко Д. А., Гошкодера М. Е., Самоделкин Е. А., Фармаковский Б. В. Разработка технологии получения функциональных покрытий из порошков стали X15Ю5 .....	121
Артемьев А. В., Переславцев А. В., Воишин С. А., Тресвятский С. С., Коробцев С. В. Анализ базальтоподобного шлака плазменной переработки отходов: влияние морфологического состава отходов .....	127

### ПОЛИМЕРНЫЕ КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Лебедев В. Л., Косильников В. Ю., Серый П. В., Трошкин С. Н. Акустическая эмиссия при испытаниях сферопластиков на гидростатическую прочность .....	136
Старостин Н. П., Аммосова О. А. Совершенствование управления охлаждением при электродуговой сварке полиэтиленовых труб в условиях низких температур .....	147
Салахова Р. К., Панарин А. В. Исследование поверхностных энергетических характеристик стекло- и углеволокна методом Вашбурна .....	159
Андреанова К. А., Халиков А. А., Беззаметнов О. Н., Амирова Л. М. Функционально-градиентный углепластик на основе эпоксидной матрицы, модифицированной термозластопластом .....	170
Полотнянников К. С., Юдин В. Е., Светличный В. М., Ваганов Г. В. Легкие термо- и теплостойкие композиционные материалы на основе пенополиимидов .....	178

### КОРРОЗИЯ И ЗАЩИТА МЕТАЛЛОВ

Ваганов Р. К., Михалкина О. Г., Лопаткин В. А., Ибатуллин К. А., Стрельникова К. О. Сравнение агрессивности сероводородных сред по отношению к сталям в паровой и водной фазах .....	188
--	-----

## РАДИАЦИОННОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

*Марголин Б. З., Пирогова Н. Е. Сорокин А. А., В. И. Кохонов, Дуб А. В., Сафонов И. А.* Исследование сопротивления коррозионному растрескиванию под напряжением облученной ферритно-мартенситной нержавеющей стали 07X12НМФБ в сверхкритической водной среде. Часть 1. Проведение автоклавных испытаний ..... 202

**Научно-технический журнал «Вопросы материаловедения». Оформление статей.**  
**Правила для авторов** ..... 217

## CONTENTS

### METALS SCIENCE. METALLURGY

<i>Korotovskaya S.V., Nikitina V.R., Khlusova E.I., Ushanova E.A.</i> Effects of additional heat treatment on structure and microhardness of high-strength steel shipbuilding .....	7
<i>Mendagaliev R.V., Zotov O.G., Ivanov S. Yu., Klimova-Korsmik O.G., Lebedeva N.V., Kuklina A.A.</i> Structure and mechanical properties of shipbuilding steel produced by direct laser deposition and hot rolling. ....	17
<i>Isaeva A.V., Priymak E. Yu., Atamashkin A.S., Semka Ya.S.</i> Microstructural aspects of fatigue strength of welded joints of medium carbon steels produced by rotary friction welding.....	27
<i>Gromov V.E., Porfiriev M.A., Ivanov Yu.F., Kryukov R.E., Shlyarov V.V.</i> Gradients of structure, phase composition and dislocation substructure of the rail heads made of hypereutectoid steel after operation.....	39
<i>Tsukanov V.V., Smirnova D.L.</i> An improved method for determining the diffusion transformations of austenite under isothermal conditions. Part 1. Analysis of standard diagrams and the possibility of using an improved isothermal transformation diagram in the diffusion region .....	49
<i>Tsukanov V.V., Smirnova D.L.</i> An improved method for determining the diffusion transformations of austenite under isothermal conditions. Part 2. Isothermal transformation diagrams and their role in prescribing heat treatment regimes.....	60
<i>Tsukanov V.V., Smirnova D.L., Karkhin V.A., Khomich P.N., Efimov S.V.</i> A solution of the heat conduction problem for computational modeling of the hydrogen content reduction in large-size forgings during anti-flocken heat processing.....	68
<i>Alexandrova N.M., Aliev A.A., Filippov G.A.</i> Chemical-thermal treatment technology for manufacturing parts of electrical equipment for automobile transport.....	76
<i>Toloraya V.N., Ostroukhova G.A.</i> Study of the mechanism of nucleation of single crystals from Re–Ru-containing nickel superalloys with a given spatial crystallographic orientation from the seeds of the Ni–W–Re–C system with a liquidus temperature of 1550–1600°C.....	83
<i>Butrim V.N., Adaskin A.M., Kashitsev V.V., Trushnikova A.S.</i> Effect of tungsten on structure of chromium-based heat-resistant alloys.....	96
<i>Lukina E.A., Kochubey A.Ya., Medvedev P.N., Zhuravleva P.L.</i> Thermomechanics of Al–Cu–Li alloy plastic flow.....	107

### FUNCTIONAL MATERIALS

<i>Bobkova T.I., Vasiliev A.F., Gerashchenkov D.A., Goshkoderya M.E., Samodelkin E.A., Farmakovskiy B.V.</i> Development of technology for obtaining functional coatings from Kh15Yu5 steel powders .....	121
<i>Artemov A.V., Pereslavitsev A.V., Voshchinin S.A., Tresvyatsky S.S., Korobtsev S.V.</i> Analysis of basalt-like slag of plasma waste processing: The influence of morphological composition of waste .....	127

### POLYMER STRUCTURAL MATERIALS

<i>Lebedev V.L., Kosulnikov V.Yu., Sery P.V., Troshkin S.N.</i> Acoustic emission in hydrostatic strength tests of spheroplastics.....	136
<i>Starostin N.P., Ammosova O.A.</i> Improvement of the cooling control during electrofusion welding of polyethylene pipes at low temperatures .....	147
<i>Salakhova R.K., Panarin A.V.</i> Study of the surface energy characteristics of glass and carbon fiber by the Washburn method.....	159
<i>Andrianova K.A., Khalikov A.A., Bezametnov O.N., Amirova L.M.</i> Functional-gradient carbon fiber-reinforced plastic based on epoxy matrix modified with thermoplastic elastoplast.....	170
<i>Polotnyanshchikov K.S., Yudin V.E., Svetlichny V.M., Vaganov G.V.</i> Lightweight thermo- and heat-resistant composite materials based on polyimide foam.....	178

### CORROSION AND PROTECTION OF METALS

<i>Vagapov R.K., Mikhalkina O.G., Lopatkin V.A., Ibatullin K.A., Strelnikova K.O.</i> Comparison of the aggressiveness of hydrogen sulfide media to steel in the vapor and water phases.....	188
--	-----

## **RADIATION MATERIALS SCIENCE**

*Margolin B.Z., Pirogova N.E., Sorokin A.A., Kokhonov V.I., Dub A.V., Safonov I.A.* Study of stress corrosion cracking resistance of irradiated ferrite-martensitic stainless steel 07Kh12NMFB in supercritical water. Part 1. Autoclave testing ..... 202

**Guidelines for authors of the scientific and technical journal “Voprosy Materialovedeniya”.**  
**Manuscript requirements**..... 217