

# ПРОБЛЕМЫ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

ISSN 1997-9258

**Журнал входит в перечень ведущих периодических изданий,  
рекомендованных ВАК для публикации научных результатов диссертаций  
на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук**

## Главный редактор:

Семенов В.В., канд. экон. наук

## Заместители главного редактора:

Леонтьев Л.И., академик РАН

Глезер А.М., д-р физ.-мат. наук

Могутнов Б.М., д-р хим. наук

Волков А.И., канд. хим. наук

## Члены редколлегии:

Алымов М.И., член-корр. РАН

Бабул Т., профессор (Польша)

Бродов А.А., канд. экон. наук

Григорович К.В., академик РАН

Денисов С.Н., д-р экон. наук

Дуб А.В., д-р техн. наук

Еремин Г.Н., канд. техн. наук

Зайцев А.И., д-р физ.-мат. наук

Иевлев В.М., академик РАН

Комлев В.С., член-корр. РАН

Куклев А.В., д-р техн. наук

Левашов Е.А., д-р техн. наук

Морозов Ю.Д., канд. техн. наук

Москвина Т.П., канд. техн. наук

Никулин А.Н., д-р техн. наук

Орыщенко А.С., член-корр. РАН

Петрова Л.Г., д-р техн. наук

Рубаник В.В., член-корр. НАНБ (Беларусь)

Рудской А.И., академик РАН

Родионова И.Г., д-р техн. наук

Скачков О.А.

Смирнов Л.А., академик РАН

Сомерс М.А.Дж., профессор (Дания)

Тихонов А.К., д-р техн. наук

Филиппов Г.А., д-р техн. наук

Филонов М.Р., д-р техн. наук

Флюге В., профессор (Германия)

С требованиями к публикациям в журнале «ПРОБЛЕМЫ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ» и правилами оформления статей можно ознакомиться на сайте ЦНИИчермет им. И.П. Бардина – [www.chermet.net](http://www.chermet.net)

## Подписной индекс 58999

в объединенном каталоге «Пресса России» на сайте [www.pressa-rf.ru](http://www.pressa-rf.ru) и «Пресса по подписке» <https://www.akc.ru>

**Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.**

**Свидетельство ПИ № ФС77-60022**

Выпуск подготовлен Информационно-издательским центром ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина»:

<b>Руководитель ИИЦ</b>	Е.Х. Иванова
<b>Редактор</b>	И.Я. Паршина
<b>Верстка</b>	М.Л. Красильникова

## Адрес редакции:

105005 Москва, ул. Радио, дом 23/9, стр. 2  
ЦНИИчермет им. И.П. Бардина,  
тел. 777 93 02, 777 95 13, факс 777 93 00,  
E-mail: [ntphm@yandex.ru](mailto:ntphm@yandex.ru), [rhenium@list.ru](mailto:rhenium@list.ru)

# ПРОБЛЕМЫ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

## СОДЕРЖАНИЕ

4 • 2022

### ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ МЕТАЛЛУРГИИ

*Степанов П.П.*

Формирование структуры и свойств сварных соединений стальных труб, выполненных высокочастотной сваркой ..... 3

*Матросов Ю.И., Колясникова Н.В.*

Влияние режимов контролируемой прокатки на структуру и свойства низколегированной трубной стали с молибденом типа 08Г2МФБ ..... 18

*Козырев Н.А., Зуева С.Н., Полевой Е.В., Усольцев А.А., Сычев А.А.*

Разработка технологии получения электродуговых покрытий системы Fe-C-Si-Mn-Cr-Mo-Ni с добавками титана. Сообщение 2. Исследование структуры и физико-механических свойств электродугового покрытия ..... 27

*Третьяков В.А., Богомолов И.В., Бокачев Ю.А., Филатов А.Н., Голи-Оглу Е.А.*

Разработка цифрового двойника процесса контролируемой прокатки толстого листа из низколегированных высокопрочных сталей. Сообщение 2. Моделирование многопроходной термомеханической прокатки и механических свойств толстого листа с учетом кинетики рекристаллизации и распада аустенита ..... 34

*Мощенко М.Г., Шпицберг И.Т.*

Формирование принципов разработки марок динамных сталей с использованием «домов качества» ..... 49

### МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

*Амежнов А.В., Родионова И.Г., Васечкина И.А., Гладченкова Ю.С.*

Влияние неметаллических включений на коррозионную стойкость холоднокатаных низкоуглеродистых микролегированных титаном сталей ..... 56

*Мазова Е.П., Тихонов С.М., Комиссаров А.А., Матросов М.Ю., Адигамов Р.Р., Мишнев П.А., Кузнецов Д.В.*

Опыт использования современных методов исследования неметаллических включений в низколегированном металлопрокате ..... 66

*Громов В.Е., Ефимов М.О., Иванов Ю.Ф., Коновалов С.В., Шлярова Ю.А., Панченко И.А.*

Структура и свойства покрытий из высокоэнтропийных сплавов. Сообщение 3. Структура зоны контакта покрытия из высокоэнтропийного сплава Al-Fe-Co-Cr-Ni на подложке из сплава 5083 после облучения импульсным электронным пучком ..... 78

*Митрофанов А.В., Кузюк М.В., Иваненко А.А., Жидкова М.А.*

Повышение коррозионной стойкости покрытий на основе цинка путем легирования цинкового расплава ..... 90

### НАНОМАТЕРИАЛЫ И НАНОТЕХНОЛОГИИ

*Вайнштейн Д.Л., Вахрушев В.О., Коновалов Е.П., Волков А.И., Шипова М.А.*

Применение метода масс-спектропии вторичных ионов для анализа состава сырья для производства фарфора ..... 97

*Иванов Ю.Ф., Громов В.Е., Коновалов С.В., Шугуров В.В., Ефимов М.О., Тересов А.Д.,*

*Петрикова Е.А., Панченко И.А., Шлярова Ю.А.*

Структура и свойства высокоэнтропийного сплава, подвергнутого электронно-ионно-плазменной обработке ..... 102

### ИНФОРМАЦИЯ

Памяти А.М. Глезера ..... 116

ЦНИИчермет им. И.П. Бардина на Металл-Экспо'2022 ..... 118

# PROBLEMS OF FERROUS METALLURGY AND MATERIALS SCIENCE

## CONTENTS

4 • 2022

### TECHNOLOGICAL PROCESSES OF METALLURGY

- Stepanov P.P.*  
Formation of the structure and properties of welded joints of steel pipes made by high-frequency welding ..... 3
- Matrosov Y., Kolyasnicova N.*  
Influence of Controlled Rolling Modes on the Structure and Properties of Low-Alloyed Pipe Steel with Molybdenum Type 08G2MFB ..... 18
- Kozyrev N.A., Zueva S.N., Polevoy E.V., Usoltsev A.A., Sychev A.A.*  
Development of technology for obtaining electric arc coatings of the Fe-C-Si-Mn-Cr-Mo-Ni system with titanium additives. 1. Investigation of structure and physical and mechanical properties of electric arc coating ..... 27
- Tretyakov V.A., Bogomolov I.V., Bokachev Yu.A., Filatov A.N., Goli-Oglu E.A.*  
Development of a digital twin of the process of controlled rolling of thick plate from low-alloy high-strength steels. Message 2. Simulation of multi-pass thermomechanical rolling and mechanical properties of heavy plates, taking into account the kinetics of recrystallization and decomposition of austenite ..... 34
- Moshchenko M., Spitsberg I.*  
Formulation of principles for the development of ngo electrical steel grades using houses of quality ..... 49

### MATERIALS SCIENCE AND NEW MATERIALS

- Amezhnov A.V., Rodionova I.G., Vasechkina I.A.*  
Influence of non-metallic inclusions on the corrosion resistance of cold-rolled low-carbon steels microalloyed with titanium ..... 56
- Mazova E.P., Tikhonov S.M., Komissarov, Matrosov M.Yu., Mishnev P.F. Kuznetsov D.V.*  
Experience in the use of modern methods for the study of non-metallic inclusions in low-alloy rolled metal ..... 66
- Gromov V.E., Efimov M.O., Ivanov Yu.F., Konovalov S.V., Shliarova Yu.A. Panchenko I.A.*  
Structure and properties of coatings from high-entropic alloys. 3. Structure of the contact zone of a high-entropy Al-Fe-Co-Cr-Ni alloy coating on a 5083 alloy substrate after irradiation with a pulse electron beam ..... 78
- Mitrofanov A.V., Kuzyuk M.V., Ivanenko A.A., Zhidkova M.A.*  
Increasing the corrosion resistance of zinc-based coatings by zinc melt alloying ..... 90

### NANOMATERIALS AND NANOTECHNOLOGIES

- Wainstein D.L., Vakhrushev V.O., Konovalov E.P., Volkov A.I., Shipova M.A.*  
Application of secondary ions mass spectroscopy for analysis of porcelain raw materials compositions ..... 97
- Ivanov Yu.F., Gromov V.E., Konovalov S.V., Shugurov V.V., Efimov M., Teresov A.D., E Petrikova.A., Panchenko I.A.I., Shlyarova Yu.A.*  
Structure and properties of a high-entropy alloy subjected to electron-ion-plasma treatment ..... 102

### INFORMATION

- Memory – Glezer A.M. .... 116
- I.P. Bardin TsNIIChermet • Metal-Expo'2022 ..... 118

DOI: 10.54826/19979258\_2022\_4\_3  
УДК 669.15-194.2:621.79

## Формирование структуры и свойств сварных соединений стальных труб, выполненных высокочастотной сваркой

© Степанов Павел Петрович, канд. техн. наук

*АО «Выксунский металлургический завод», г. Выкса, Россия. E-mail: stepanov\_pp@vsw.ru*

Исследованы некоторые параметры высокочастотной сварки труб малого и среднего диаметра из низколегированных сталей, структура и характер разрушения сварных соединений.

Показано, что термический цикл и микроструктура при сварке ТВЧ не являются основным фактором, определяющим вязкость сварного соединения из низкоуглеродистой стали. Для сталей с повышенным содержанием углерода (0,2–0,3 % С) и марганца термический цикл сварки ТВЧ приводит к формированию мартенсита, что требует полного охлаждения трубы и ЛТО по режиму высокого отпуска и исключает возможность возникновения трещин напряжения.

При сварке с образованием «перемычек» при их движении происходит предварительная очистка кромок от окислов, но процесс может быть нестабильным; сварка с повышенными углами схождения кромок и без образования перемычек приводит к меньшему окислению кромок и повышенной скорости осадки.

Показано, что глобулярные НВ, имеющиеся в прокате, приобретают форму линзы в результате нагрева до температуры плавления и осадки кромок при сварке ТВЧ и располагаются неблагоприятно вблизи линии сплавления в плоскости разрушения при испытании на ударный изгиб поперечного образца.

Определены основные факторы (структурные механизмы), оказывающие влияние на вязкость и хладостойкость сварного соединения, выполненного высокочастотной сваркой. Предложены основные направления оптимизации технологии производства стали и труб.

Ключевые слова: сталь, трубы, высокочастотная сварка, локальная термическая обработка, микроструктура сварного соединения, ударная вязкость, хрупкое разрушение.

Some parameters of high-frequency welding (HFW) of pipes of small and medium diameters from low-alloy steels, the structure and nature of the fracture of welded joints have been studied.

The thermal cycle and microstructure in HFW are not the main factor determining the toughness and cold resistance of a low carbon steel welded joint. For steels with a high content of carbon (0.2–0.3 % C) and manganese, the thermal cycle of HFW leads to the formation of martensite, which requires complete cooling of the pipe and local high tempering and eliminates the possibility of stress cracks.

When welding with the formation of «jumpers» during their movement, the edges are pre-cleaned from oxides, but the process may be unstable; welding with increased angles of convergence of the edges and without the formation of «jumpers» – leads to less oxidation of the edges and an increased upset rate.

It is shown that globular non-metallic inclusions available in rolled products acquire the shape of a lens as a result of heating to the melting temperature and edge upsetting during HFW and are unfavorably located near the fusion line in the fracture plane when testing for impact bending of a transverse sample.

The main factors (structural mechanisms) affecting the toughness and cold resistance of a welded joint made by HFW are determined. The main directions for optimizing the technology of steel and pipe production are proposed.

Keywords: steel, pipes, high-frequency welding, local heat treatment, welded joint microstructure, impact toughness, brittle fracture.

## Влияние режимов контролируемой прокатки на структуру и свойства низколегированной трубной стали с молибденом типа 08Г2МФБ

© **Матросов Юрий Иванович**, д-р техн. наук, проф.; **Колясникова Наталия Валерьевна**, канд. техн. наук

*ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина», Москва, Россия. E-mail: Ymatrosov@mail.ru; nkolyasnicova@yandex.ru*

Высокие требования, предъявляемые к толстолистовым сталям для газопроводных труб большого диаметра, эксплуатируемых под высоким давлением в северных районах, привели к разработке малоуглеродистых Mn–Mo–Nb–V-сталей, содержащих в своей структуре игольчатый феррит. В лабораторных условиях исследовано влияние температуры нагрева и горячей пластической деформации на положение критических точек  $A_{r1}$  и  $A_{r3}$  образцов опытной стали 08Г2МФБ. Показана зависимость микроструктуры и механических свойств опытных сталей от температуры нагрева и пластической деформации, а также от содержания молибдена.

Ключевые слова: низколегированная сталь, содержание молибдена, термомеханическая обработка, механические свойства, критические точки превращения.

The high requirements for steel plates for large-diameter gas pipelines operated under high pressure in the northern regions have led to the development of low-carbon Mn–Mo–Nb–V-steels containing acicular ferrite in their structure. The effect of heating temperature and hot plastic deformation on the position of critical points  $A_{r1}$  and  $A_{r3}$  of samples of experimental steel 08G2MFB was studied under laboratory conditions. The dependence of the microstructure and mechanical properties of experimental steels on the heating temperature and plastic deformation, as well as on the molybdenum content, is shown.

Keywords: low alloy steel, molybdenum content, thermomechanical treatment, mechanical properties, critical transformation points.

## Разработка технологии получения электродуговых покрытий системы Fe–C–Si–Mn–Cr–Mo–Ni с добавками титана.

### Сообщение 2. Исследование структуры и физико-механических свойств электродугового покрытия

© **Козырев Николай Анатольевич**<sup>1</sup>, д-р техн. наук; **Зуева Светлана Николаевна**<sup>2</sup>, канд. техн. наук; **Полевой Егор Владимирович**<sup>2</sup>, канд. техн. наук; **Усолецв Александр Александрович**<sup>3</sup>, канд. техн. наук; **Сычев Антон Андреевич**<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина», Москва, Россия. E-mail: n.kozyrev@chermet.net

<sup>2</sup> АО «ЕВРАЗ ЗСМК», г. Новокузнецк, Россия. E-mail: 748198@mail.ru; Egor.polevoj@evras.com

<sup>3</sup> Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Кузбасс, Россия. E-mail: a.us@rambler.ru; Nvkz.m1@gmail.com

Изучены структуры электродуговых покрытий, полученных с использованием порошковой проволоки системы Fe–C–Si–Mn–Cr–Mo–Ni с добавками титана. Формирование электродугового покрытия проводили посредством сварочного трактора ASAW-1250 на пластины из стали 09Г2С. Металлографический анализ полученных покрытий осуществляли методами оптической и растровой электронной микроскопии.

Исследовано формирование послойной структуры наплавленного порошковой проволокой слоя. Проведено изучение твердости и скорости износа наплавленного слоя. Для обработки данных использованы статистические методы исследования. По полученным данным построены зависимости влияния химического состава наплавов на твердость и скорость износа.

Ключевые слова: порошковая проволока, электродуговое покрытие, микроструктура, твердость, скорость износа.

The structures of electric arc coatings obtained using flux-cored wire of the Fe–C–Si–Mn–Cr–Mo–Ni system with titanium additives were studied. The formation of the electric arc coating was carried out by means of a welding tractor ASAW-1250 on plates made of steel 09G2S. Metallographic analysis of the obtained coatings was carried out by methods of optical and scanning electron microscopy. The formation of a layer-by-layer structure of a flux-cored wire welded layer was studied. The hardness and wear rate of the deposited layer was studied. Statistical research methods were used to process the data. According to the data obtained, the dependencies of the influence of the chemical composition of the surfacing on the hardness and rate of wear are constructed.

Keywords: flux-cored wire, electric arc coating, microstructure, hardness, wear rate.

## **Разработка цифрового двойника процесса контролируемой прокатки толстого листа из низколегированных высокопрочных сталей. Сообщение 2. Моделирование многопроходной термомеханической прокатки и механических свойств толстого листа с учетом кинетики рекристаллизации и распада аустенита**

© **Третьяков Владимир Аркадьевич<sup>1</sup>**, д-р техн. наук; **Богомолов Игорь Викторович<sup>1</sup>**, канд. техн. наук; **Бокачев Юрий Алексеевич<sup>2</sup>**; **Филатов Андрей Николаевич<sup>2</sup>**; **Голи-Оглу Евгений Александрович<sup>2</sup>**, канд. техн. наук

<sup>1</sup> *Липецкий государственный технический университет, г. Липецк, Россия.*

*E-mail: tva@stu.lipetsk.ru*

<sup>2</sup> *Металлургический завод NLMK DanSteel, г. Фредериксверк, Дания. E-mail: afi@nlmk.com*

В работе рассмотрены этапы построения «цифрового двойника» процесса термомеханической горячей прокатки толстых листов из низколегированных высокопрочных сталей с прогнозом механических свойств в сечениях по толщине листа. Разработанная 3D-модель прокатки методом конечных элементов, используя в качестве исходного неравномерное поле распределения температур нагрева сляба в печи, адаптирована по измерениям температур поверхности листа и усилий в проходах в условиях промышленного производства. Результаты численного моделирования температурно-скоростных и деформационных параметров, сложнораспределенных по объему листа при термомеханической прокатке, использованы в расчетах кинетики статической рекристаллизации, среднего диаметра и остаточного деформационного упрочнения зерна аустенита. Выполнено моделирование кинетики распада аустенита при завершающем охлаждении прокатанного листа на воздухе с количественной оценкой микроструктуры толстолистовой стали марки EN 10225-1:2019 S355MLO и прогнозом механических свойств по толщине листа. Расчетные значения сопоставлены с измеренными на стандартных образцах, отобранных от листа промышленного производства.

**Ключевые слова:** цифровой двойник, термомеханическая прокатка, толстый лист, высокопрочные стали, зерно аустенита, статическая рекристаллизация, распад аустенита, механические свойства, метод конечных элементов.

The paper considers the stages of constructing a «digital twin» of the thermomechanical hot rolling process of heavy plates of low-alloy high-strength steels with a prediction of mechanical properties in cross sections along the thickness of the plate. The developed 3D-model of rolling by the finite element method, using the non-uniform temperature distribution field of the slab heating in the furnace as the initial one, is adapted according to the measurements of the plates surface temperatures and the forces in passes at the real industrial production conditions. The results of numerical modeling of temperature-rate and deformation parameters, which are complexly distributed over the volume of the plates during thermomechanical rolling, are used in calculations of the kinetics of static recrystallization, average diameter and residual deformation hardening of austenite grains. The kinetics of austenite decomposition during the final cooling of the rolled plate on the air was simulated with a quantitative assessment of the microstructure of steel grade EN 10225-1:2019 S355MLO and a prediction of mechanical properties by plate thickness. The calculated values are compared with measured on standard samples taken from the plate of real industrial production.

**Keywords:** digital twin, thermomechanical rolling, thick sheet, high-strength steels, austenite grain, static recrystallization, austenite decomposition, mechanical properties, finite element method.

## Формирование принципов разработки марок динамных сталей с использованием «домов качества»

© **Мощенко Максим Геннадьевич**<sup>1,2</sup>, канд. техн. наук; **Шпицберг Ирина Теодоровна**<sup>2</sup>, канд. физ.-мат. наук

<sup>1</sup> *Высшая школа системного инжиниринга МФТИ, Москва, Россия.*

*E-mail: moschenko\_mg@nlmk.com*

<sup>2</sup> *ПАО «НЛМК», г. Липецк, Россия. E-mail: shpitsberg\_it@nlmk.com*

Работа посвящена формулированию принципов построения программы по разработке марок изотропных электротехнических сталей с использованием «домов качества». Данный инструмент помогает рассмотреть металл, как систему, в которую входят элементы микроструктуры, текстура, а также химический состав. С помощью «дома качества» авторы установили связь между ключевыми потребительскими требованиями к металлу и характеристиками металла. Также авторы приоритизировали элементы системы, которые необходимо улучшать в первую очередь, чтоб максимально удовлетворить требования клиента. Построение следующего «дома качества» помогло авторам определить передель, оптимизация процессов на которых позволяет наиболее эффективно работать с элементами системы металла, выделенных на предыдущем этапе работы.

Ключевые слова: динамная сталь, изотропные электротехнические стали, дом качества, системы металла.

The paper is devoted to the principals of the program design on the development of isotropic electrical steels grades by means of the quality houses. The tool considers metal as a system that consists of elements of microstructure, texture, and chemical composition. Using the quality house, the authors established the references between the most important customer requirements for metal and metal as a system of sub-elements. The authors also prioritized the elements of the system that need to be improved in order to satisfy the customer requirements. By means of design of the following quality house, the authors specify the producing processes, optimization of which allow one to improve the metal system the most effective way that have been defined in a previous steps.

Keywords: NGO electrical steel, isotropic electrical steels, quality house, metal system.



DOI: 10.54826/19979258\_2022\_4\_56  
УДК 669.15-194.2:620.193

## Влияние неметаллических включений на коррозионную стойкость холоднокатаных низкоуглеродистых микролегированных титаном сталей

© **Амежнов Андрей Владимирович**<sup>1</sup>, канд. техн. наук; **Родионова Ирина Гавриловна**<sup>1</sup>, д-р техн. наук; **Васечкина Ирина Алексеевна**<sup>1,2</sup>; **Гладченкова Юлия Сергеевна**<sup>3</sup>, канд. техн. наук

<sup>1</sup> ГНЦ ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина». Москва, Россия. E-mail: amejnov@mail.ru; igrodi@mail.ru

<sup>2</sup> Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС». Москва, Россия. E-mail: iavasechkina@mail.ru

<sup>3</sup> Химический факультет, МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия. E-mail: jubykova@yandex.ru

Проведен анализ возможности оптимизации технологии производства холоднокатаного листового проката низкоуглеродистых сталей, микролегированных титаном, в условиях ПАО «ММК» для повышения стойкости против атмосферной коррозии. Показано, что среди факторов, влияющих на коррозионную стойкость, наиболее сильное отрицательное влияние оказывают неметаллические включения с высоким содержанием алюминия и отношением Al/Mg и Al/(Mg + Ca) в оксидной составляющей включения. Анализ применяемой сталеплавильной технологии позволил сделать соответствующие рекомендации, направленные на снижение загрязненности стали указанными включениями путем модифицирования включений корунда добавками извести.

Ключевые слова: холоднокатаный листовой прокат, коррозионная стойкость, низкоуглеродистая сталь, микролегированная титаном, непрерывный отжиг, неметаллические оксидные включения, модифицирование неметаллических включений.

---

The analysis of the possibility of optimizing the production technology of cold-rolled sheet rolled low-carbon steels, microalloyed with titanium, in the conditions of MAGNITOGORSK IRON & STEEL WORKS PJSC to increase resistance against atmospheric corrosion. It is shown that among the factors affecting corrosion resistance, the strongest negative influence is exerted by non-metallic inclusions with a high aluminum content and the ratio of Al/Mg and Al/(Mg + Ca) in the oxide component of the inclusion. The analysis of the steelmaking technology used made it possible to make appropriate recommendations aimed at reducing the contamination of steel with these inclusions by modifying corundum inclusions with lime additives.

Keywords: cold-rolled sheet steel, corrosion resistance, low-carbon steel, microalloyed with titanium, continuous annealing, non-metallic oxide inclusions, modification of non-metallic inclusions

## Опыт использования современных методов исследования неметаллических включений в низколегированном металлопрокате

© **Мазова Елена Павловна**<sup>1</sup>; **Тихонов Сергей Михайлович**<sup>1</sup>, канд. техн. наук; **Комиссаров Александр Александрович**<sup>1</sup>; **Матросов Максим Юрьевич**<sup>2</sup>, канд. техн. наук; **Адигамов Руслан Рафкатович**<sup>3</sup>, канд. техн. наук; **Мишнев Пётр Александрович**<sup>3</sup>, канд. техн. наук; **Кузнецов Денис Валерьевич**<sup>1</sup>, канд. техн. наук

<sup>1</sup> Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Москва, Россия. E-mail: elena.sidorova91@gmail.com; tserg491@yandex.ru; komissarov@misis.ru; dk@misis.ru

<sup>2</sup> Центральный научно-исследовательский институт черной металлургии им. И.П. Бардина, Москва, Россия. E-mail: pscenterchermet@gmail.com

<sup>3</sup> Публичное акционерное общество «Северсталь», г. Череповец, Россия. E-mail: radigamov@severstal.com; pamishnev@severstal.com

В работе рассмотрен опыт использования новой методики экспериментального исследования неметаллических включений для низколегированного проката строительного назначения. Полученные результаты подтверждают эффективность указанной методики и позволяют дать количественную оценку процесса локального коррозионного разрушения локальных зон металлической матрицы, окружающих различные неметаллические включения, присутствующие на поверхности проката рассматриваемого сортамента. В рассмотренных образцах проката выявлены основные группы типовых включений, определен состав и распределение концентрации основных элементов во включениях, оказывающих различное коррозионное растворяющее воздействие на стальную матрицу. Разработан и испытан метод короткой химической экстракции, который может быть успешно применен для оценки процессов коррозии стальной матрицы вокруг различных неметаллических включений, присутствующих в промышленных образцах низколегированного проката.

Ключевые слова: низколегированный прокат, строительный прокат, неметаллические включения, огнеупорные материалы, электролитическая экстракция, химическая экстракция.

This paper focuses on the experience of using a new method of the experimental study of non-metallic inclusions for low-alloy steels for construction purposes. The results obtained confirm the effectiveness of this method and also make it possible to determine the quantity parameters of corrosion destruction of local zones of the metal matrix surrounding various non-metallic inclusions. In the samples of hot rolled steels, the main groups of typical inclusions identified, the composition and distribution of the concentration of the main elements in the inclusions, which have a different corrosive dissolving effect on the steel matrix, are determined. A short chemical extraction method has been developed and tested, which can be successfully applied to assess the corrosion processes of a steel matrix around various non-metallic inclusions present in industrial samples of low-alloy steels.

Keywords: pipeline steels, non-metallic inclusions, corrosion, electrolytic extraction, chemical extraction.

## **Структура и свойства покрытий из высокоэнтропийных сплавов. Сообщение 3. Структура зоны контакта покрытия из высокоэнтропийного сплава Al–Fe–Co–Cr–Ni на подложке из сплава 5083 после облучения импульсным электронным пучком**

© Громов Виктор Евгеньевич<sup>1</sup>, д-р физ.-мат. наук; Ефимов Михаил Олегович<sup>1</sup>; Иванов Юрий Федорович<sup>2</sup>, д-р физ.-мат. наук; Коновалов Сергей Валерьевич<sup>1</sup>, д-р техн. наук; Шлярова Юлия Андреевна<sup>1</sup>; Панченко Ирина Алексеевна<sup>1</sup>, канд. техн. наук

<sup>1</sup> *Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия. E-mail: gromov@physics.sibsiu.ru*

<sup>2</sup> *Институт сильноточной электроники СО РАН, г. Томск, Россия. E-mail: yufi55@mail.ru*

С помощью технологии проволоочно-дугового аддитивного производства (WAAM) на подложку из сплава 5083 было нанесено покрытие из высокоэнтропийного сплава (ВЭС) Al–Fe–Co–Cr–Ni неэквивалентного состава. Используя методы современного физического материаловедения, проанализированы структурно-фазовые состояния, элементный состав и дислокационная субструктура зоны контакта после электронно-пучковой обработки. Выявлено взаимное легирование покрытия и подложки. Установлено формирование многоэлементной многофазной субмикронанокристаллической структуры, образовавшейся преимущественно в подложке, имеющей более низкую температуру плавления по сравнению с ВЭС.

**Ключевые слова:** высокоэнтропийный сплав, проволоочно-дуговое аддитивное производство, сплав алюминия 5083, импульсный электронный пучок, элементный и фазовый состав, дефектная субструктура.

Using the technology of wire-arc additive manufacture (WAAM) on a substrate of alloy 5083 coating was formed with high-entropy alloy (HEA) Al–Fe–Co–Cr–Ni of non-equiatom composition. By methods of modern physical materials science the structure-phase states, elemental composition and dislocation substructure of contact zone after electron-beam treatment are analyzed. The mutual alloying of surfacing and substrate is established. The formation of multi-element multi-phase submicrocrystalline structure formed mainly in a substrate which the lower melting point compared to the HEA is revealed.

**Keywords:** high-entropy alloy, wire-arc additive manufacturing, aluminum alloy 5083, impulse electron beam, elemental and phase composition, defect substructure.

## Повышение коррозионной стойкости покрытий на основе цинка путем легирования цинкового расплава

© Митрофанов Артем Викторович<sup>1,2</sup>; Кузюк Максим Вадимович<sup>2</sup>; Иваненко Артем Аркадьевич<sup>2</sup>; Жидкова Мария Александровна<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Кафедра системного инжиниринга МФТИ, ВШСИ МФТИ, г. Долгопрудный, Московская обл., Россия. E-mail: sehs@mipt.ru; mitrofanov\_av2@nlmk.com*

<sup>2</sup> *ПАО «Новолипецкий металлургический комбинат», г. Липецк, Россия. E-mail: sp-rnd@nlmk.com; kuzyuk\_mv@nlmk.com; ivanenko\_aa@nlmk.com; zhidkova\_ma@nlmk.com*

В работе приведены результаты металлографических исследований покрытий различного состава на образцах металла производства Группы НЛМК. Проанализированы интерметаллидные фазы, их морфология и распределение. Приведен анализ результатов натуральных испытаний цинкового и цинкалюмомагниевого покрытий за годовой период экспозиции.

Ключевые слова: цинковое покрытие, цинкалюмомагниево покрытие, микроструктура, эвтектические фазы, атмосферная коррозия, коррозионная стойкость, коррозионные потери.

The paper presents the results of metallographic studies of coatings of various compositions on samples manufactured by the NLMK Group, analyzes the intermetallic phases, their morphology and distribution. Also present the analysis of the results of full-scale tests of zinc and zinc-aluminum-magnesium coatings for the annual period of exposure.

Keywords: zinc coating, zinc-aluminum-magnesium coating, microstructure, eutectic phases, atmospheric corrosion, corrosion resistance, corrosion losses.

DOI: 10.54826/19979258\_2022\_4\_97  
УДК 546.06

## Применение метода масс-спектропии вторичных ионов для анализа состава сырья для производства фарфора

© **Вайнштейн Дмитрий Львович**<sup>1,2</sup>, канд. физ.-мат. наук; **Вахрушев Владимир Олегович**<sup>1,2</sup>, канд. физ.-мат. наук; **Коновалов Егор Павлович**<sup>1,2</sup>; **Волков Антон Иванович**<sup>1,2</sup>, канд. хим. наук; **Шипова Мария Анатольевна**<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> ООО НТВП «Поверхность», Москва, Россия. E-mail: d\_wainstein@sprg.ru

<sup>2</sup> ГНЦ ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина», Москва, Россия

<sup>3</sup> Музей Императорского фарфорового завода (Государственный Эрмитаж), Санкт-Петербург, Россия. E-mail: kamyshinka@gmail.com

В работе приведено сравнение аналитических возможностей стандартно применяемого для исследований изделий художественной керамики метода рентгеновского флуоресцентного анализа (РФА) и современного метода анализа состава поверхности – времяпролетной масс-спектропии вторичных ионов (МСВИ, ВИМС) на примере исследований состава порошкообразных материалов для производства фарфора. Были исследованы пегматит П-1, глина Веско-прима, просьяновский каолин, костная зола, доломит, полевой шпат, кварцевый песок. Показано, что МСВИ успешно детектирует легкие элементы, «невидимые» для РФА (литий, бериллий, бор). Также в ряде образцов методом МСВИ были выявлены примеси, не обнаруженные РФА: кобальт, церий, медь, рубидий, ванадий. Полученные данные по соотношениям основных и примесных элементов могут быть использованы для выявления современных подделок исторического фарфора, а также для атрибуции изделий исторической художественной керамики при реставрационных работах.

Ключевые слова: рентгеновский флуоресцентный анализ (РФА); масс-спектропия вторичных ионов (МСВИ, ВИМС); фарфор; пегматит; глина Веско-прима; каолин; костная зола; доломит; полевой шпат; кварцевый песок.

The research compares the analytical potential of the X-ray fluorescent analysis (XRF) typically applied for studies ceramic art items and modern method for surface composition determination time-of-flight secondary ions mass spectroscopy (SIMS) using as samples the powder raw materials for porcelain fabrication. There were studied pegmatite P-1, Vesco-prima clay, kaolin, bone earth, dolomite, feldspar, and quartz sand. It was shown that SIMS successfully detects light elements «invisible» for XRF (lithium, beryllium, boron). Also SIMS has detected in the set of samples some heavy impurities not detected by XRF such as cobalt, cerium, copper, rubidium, vanadium. The obtained information on relations of basic and impurity elements could be used to uncover the modern falsifications of the historical porcelain as well as for attribution of ceramic art items during conservation.

Keywords: X-ray fluorescent analysis (XRF); secondary ions mass spectroscopy (SIMS); porcelain; pegmatite; Vesco-prima clay; kaolin; bone earth; dolomite; feldspar; quartz sand.

## Структура и свойства высокоэнтропийного сплава, подвергнутого электронно-ионно-плазменной обработке

© **Иванов Юрий Федорович**<sup>1</sup>, д-р физ.-мат. наук; **Громов Виктор Евгеньевич**<sup>2</sup>, д-р физ.-мат. наук; **Коновалов Сергей Валерьевич**<sup>2</sup>, д-р техн. наук; **Шугуров Владимир Викторович**<sup>1</sup>; **Ефимов Михаил Олегович**<sup>1</sup>; **Тересов Антон Дмитриевич**<sup>1</sup>; **Петрикова Елизавета Алексеевна**<sup>1</sup>; **Панченко Ирина Алексеевна**<sup>2</sup>, канд. техн. наук; **Шлярова Юлия Андреевна**<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Институт сильноточной электроники СО РАН, г. Томск, Россия. E-mail: yufi55@mail.ru*

<sup>2</sup> *Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия. E-mail: gromov@physics.sibsiu.ru; konovalov@sibsiu.ru*

Методом проволочно-дугового аддитивного производства (WAAM) изготовлены объемные образцы высокоэнтропийного сплава нестехиометрического состава (33,4 Al; 8,3 Cr; 17,1 Fe; 5,4 Co; 35,7 Ni, ат. %). В работе выполнен анализ элементного и фазового состава, дефектной субструктуры и трибологических свойств поверхностного слоя ВЭС, сформированного в результате комплексной обработки, сочетающей напыление пленки (B + Cr) и облучение импульсным электронным пучком в среде аргона. Выявлен режим облучения (20 Дж/см<sup>2</sup>, 200 мкс, 3 имп., 0,3 с<sup>-1</sup>), позволяющий повысить микротвердость (почти в два раза) и износостойкость (более чем в пять раз), снизить коэффициент трения в 1,3 раза. При плотности энергии пучка электронов  $E_s = 20$  Дж/см<sup>2</sup> поверхность фрагментируется сеткой микротрещин. Размеры фрагментов изменяются в пределах 40–200 мкм. Увеличение плотности энергии пучка электронов приводит к полному растворению пленки (B + Cr). Независимо от величины  $E_s$  ВЭС является однофазным материалом, имеет простую кубическую кристаллическую решетку. Высокая кристаллизация поверхностного слоя приводит к формированию субзернистой структуры 150–200 нм. Высказано предположение, что увеличение прочностных и трибологических свойств ВЭС обусловлено существенным (в 4,5 раза) снижением среднего размера зерна, формированием частиц боридов и оксиборидов сложного элементного состава, внедрением атомов бора в кристаллическую решетку ВЭС.

Ключевые слова: высокоэнтропийный сплав, AlCrFeCoNi, электронно-ионно-плазменная обработка, система «пленка/подложка», борирование, структура, свойства.

Bulk samples of a high-entropy nonstoichiometric alloy (33,4 Al; 8,3 Cr; 17,1 Fe; 5,4 Co; 35,7 Ni, at. %) were fabricated by the wire-arc additive manufacturing (WAAM) method. The paper analyzes the elemental and phase composition, defect substructure, and tribological properties of the HEA surface layer formed as a result of a complex treatment that combines (B + Cr) film deposition and irradiation with a pulsed electron beam in an argon medium. An irradiation mode (20 J/cm<sup>2</sup>, 200 μs, 3 pulses, 0,3 s<sup>-1</sup>) was revealed, which makes it possible to increase microhardness (almost 2 times) and wear resistance (more than 5 times), reduce the friction coefficient by 1,3 times. At the energy density of the electron beam  $E_s = 20$  J/cm<sup>2</sup>, the surface is fragmented by a network of microcracks. Fragment sizes vary within 40–200 μm. An increase in the energy density of the electron beam leads to complete dissolution of the film (B + Cr). Regardless of the value of  $E_s$ , HEA is a single-phase material and has a simple cubic crystal lattice. High crystallization of the surface layer leads to the formation of a subgrain structure 150–200 nm. It has been suggested that the increase in the strength and tribological properties of HEA is due to a significant (4,5 times) decrease in the average grain size, the formation of particles of borides and oxyborides of complex elemental composition, and the incorporation of boron atoms into the crystal lattice of HEA.

Keywords: high-entropy alloy, AlCrFeCoNi, electron-ion-plasma processing, film/substrate system, boriding, structure, properties.

## Памяти Александра Марковича Глезера



**Директора Научного центра металловедения и физики металлов  
им. Г.В. Курдюмова ЦНИИчермет им. И.П. Бардина**

29 ноября 2022 г. ушел из жизни доктор физико-математических наук, профессор – крупный ученый и лидер научной школы в области изучения и разработки многофункциональных наноматериалов нового поколения. Его кончина – невосполнимая потеря для Российской науки и металлургии.

А.М. Глезером предложена оригинальная классификация нанокристаллических состояний, возникающих при закалке из жидкого состояния. В его работах обнаружены и детально описаны особенности структуры, а также особенности протекания диффузионных и мартенситных фазовых превращений в нанокристаллах различного типа. Им впервые обнаружены необычные эффекты структурно-фазовых превращений, связанные с высокой степенью пересыщения материалов избыточными вакансиями, формирующимися при закалке из расплава. Им также впервые обнаружен и детально проанализирован размерный эффект при мартенситном превращении в нанокристаллах. А.М. Глезером успешно развиты дисклинационные и зернограничные подходы к описанию пластического течения в нанокристаллах и предложен новый механизм пластической деформации в нанокристаллических материалах, получивший впоследствии всеобщее признание. Изучены фазовые и структурные превраще-

ния при тепловых и деформационных воздействиях на аморфное состояние, которые ведут к эффектам нанокристаллизации. Проанализированы магнитные и механические свойства в сплавах с двухфазной аморфно-нанокристаллической структурой.

А.М. Глезеру принадлежит новый оригинальный подход, позволивший понять природу структурно-фазовых превращений, происходящих при интенсивной пластической деформации. Им установлены способы и конкретные режимы кардинального повышения магнитных, прочностных и пластических и свойств модельных и промышленных функциональных материалов.

В разные годы А.М. Глезер возглавлял крупные научные проекты, выполнявшиеся в рамках Международного Научного Фонда, Немецкого Научного Общества, Французской Академии наук, Минобрнауки и Минпромторговли России, а также РФФ и РФФИ. А.М. Глезер – автор 12 монографий, 35 научных обзоров, свыше 300 научных статей

в российских и зарубежных высокорейтинговых научных журналах и 15 патентов РФ. В научной литературе имеется более двух с половиной тысяч ссылок на его работы по базе данных Web of Science и Scopus.

А.М. Глезер – председатель Межгосударственного Координационного Совета по физике прочности и пластичности материалов. Он председатель секции «Физика прочности и пластичности» в составе Научного Совета РАН по физике конденсированных сред, член Научного Совета РАН по материалам и наноматериалам, член Научного Совета ОХНМ РАН по металлургии и металлоредению, член диссертационных советов при ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина», главный редактор журнала «Деформация и разрушение материалов», который переводится за рубежом издательством «Шпрингер» и входит в базу данных Web of Science,

заместитель главного редактора журналов «Материаловедение», «Проблемы черной металлургии и материаловедения», член редколлегии журналов «Известия РАН, серия физическая», «Известия вузов. Черная Металлургия», «Materials Letters», «Journal of Material Science & Technology», председатель оргкомитетов регулярно проводимых авторитетных российских и международных конференций. Он воспитал более десятка кандидатов и докторов наук.

В нашей памяти Александр Маркович Глезер останется как яркий и самобытный ученый, неутомимый исследователь, человек высоких нравственных принципов и государственного мышления.

Имя Александра Марковича Глезера вписано в историю металлофизической науки. Мы навсегда сохраним светлую память об этом талантливом Человеке и Ученом!



## ЦНИИчермет им. И.П. Бардина и ММК подписали договор по разработке новых сплавов



Государственный научный центр ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина» и ПАО «ММК» заключили договор о совместной разработке новых металлургических материалов и сплавов. Подписание состоялось на Международной промышленной выставке «Металл-Экспо-2022» в присутствии статс-секретаря-заместителя Министра промышленности и торговли России Виктора Евтухова. Работа в рамках этого договора открывает для участников новые возможности по созданию сплавов, востребованных различными отраслями российской промышленности, в том числе в рамках импортозамещения.

Такой опыт совместной работы у сторон уже есть: оргкомитет выставки неоднократно награждал подписантов за металлургические разработки, в том числе для автопрома. К примеру, в прошлом году золотой медалью была отмечена совместная разработка касетной технологии производства из стали одного химического состава высокопрочного холоднокатаного и горячеоцинкованного листового проката разных типов и категорий прочности. У такого проката повышенные показатели пластичности, штампуемости и других технологических и служебных свойств.

В этом году на «Металл-Экспо-2022» ряд совместных разработок отмечен оргкомитетом выставки. Среди них: совместный про-

ект ЦНИИчермет им. И.П. Бардина, ММК и «Уралтрубпрома», который удостоен золотой медали – «За разработку и внедрение сквозной технологии производства полосового проката и электросварных труб класса прочности K52, стойких против разрушения в  $H_2S$ - и  $CO_2$ -содержащих средах». Кроме того, ММК-МЕТИЗ получил диплом лауреата за разработанную совместно с ЦНИИчермет им. И.П. Бардина сквозную технологию производства методом холодной объемной штамповки высокопрочных крепежных изделий из специальных легированных сталей для автомобилестроения.

Подписание на «Металл-Экспо-2022» договора по разработке новых материалов продолжает линию стратегического сотрудничества ПАО «ММК» как одного из лидеров российской металлургии и ЦНИИчермет им. И.П. Бардина – ведущего отраслевого научно-исследовательского центра черной металлургии нашей страны. Так, в прошлом году стороны подписали Программу работ по модернизации производственных мощностей ПАО «ММК» и расширению портфеля заказов на поставку оборудования на рынке до 2025 года. Программа предусматривает разработку технологических процессов, проектирование, изготовление и шефмонтаж оборудования на производственных переделах Магнитки.

## ЦНИИчермет им. И.П. Бардина получил медали и дипломы «Металл-Экспо-2022»

По итогам работы «Металл-Экспо-2022» ЦНИИчермет им. И.П. Бардина награжден медалями и дипломами лауреата выставки за высокотехнологические разработки в области черной металлургии, а также за лучшее научное издание в металлургической промышленности.

Некоторые из наград «Металл-Экспо-2022» Институт получил за совместные проекты с предприятиями-партнерами. Среди них разработки Института, Магнитки и обществ Группы ПАО «ММК»:

– **совместный проект ЦНИИчермет им. И.П. Бардина, ММК и «Уралтрубпрома»** удостоен золотой медали – «За разработку и внедрение сквозной технологии производства полосового проката и электросварных труб класса прочности K52, стойких против разрушения в  $H_2S$ - и  $CO_2$ -содержащих средах»;

– «ММК-МЕТИЗ» получил диплом лауреата за разработанную совместно с ЦНИИчермет им. И.П. Бардина сквозную технологию производства методом холодной объемной штамповки высокопрочных крепежных изделий из специальных легированных сталей для автомобилестроения.

Оргкомитет выставки также отметил **совместный проект Института с ПАО «Север-**

**сталь»:** звание лауреата выставки и *золотую медаль* получили авторы за разработку технологии производства биметаллического листового проката нового поколения для применения в энергетическом, химическом, нефтяном машиностроении и других отраслях промышленности.

Интересен еще один **совместный проект ЦНИИчермет им. И.П. Бардина с ПАО «Северсталь», НИТУ «МИСиС» и ФГБУ ВНИИПО МЧС России:** званием лауреатов выставки и дипломами отмечены авторы достижений в разработке способа производства низколегируемого рулонного проката категории прочности С390П.

*Серебряную медаль* получил **совместный проект Института с ПАО «НЛМК»** – за разработку эффективной технологии производства горячекатаных типов стали S315MC, S355MC, S420VC по EN10149 и холоднокатаных HC340LA по EN10268 высокопрочных





низколегированных автолистовых сталей с улучшенными показателями свойств и качества, при снижении затрат.

Кроме того, *золотую медаль* получили ученые ЦНИИчермет им. И.П. Бардина за разработку сплава для электромашин авиационной техники повышенной энергоэффективности, а также составители книги «*Научное наследие Б.В. Молотилова. Сборник статей*».

*Диплом лауреата* Институт получил за установление механизма деформационного старения стали со структурой бейнита и разработка рекомендаций для трубных сталей с повышенным сопротивлением развитию деградиационных процессов при длительной эксплуатации.

*Премии «Молодые ученые»* получили сотрудники ЦНИИчермет им. И.П. Бардина за три разработки:

- «Исследование влияния легирования редкоземельными элементами на физико-механические свойства железо-кобальтовых сплавов»;
- «Закономерности влияния температуры отжига на магнитные и механические свойства аморфных сплавов на основе системы Fe–Co с высокой индукцией насыщения»;
- за разработку технологического задания на металлургический комплекс по производству горячекатаного и холоднокатаного полового проката из легированных и углеродистых сталей.

**ВНИМАНИЕ! ПРОДОЛЖАЕТСЯ ПОДПИСКА на журнал**

**«ПРОБЛЕМЫ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ»**

*Подписку на журнал вы можете оформить:*

- На сайте «Объединенного каталога «Пресса России» [www.pressa-rf.ru](http://www.pressa-rf.ru)  
**Подписной индекс – 58999**
- Подписаться через интернет-магазин «Пресса по подписке» можно на сайте <https://www.akc.ru>;
- Подписка в редакции.

На электронную версию журнала можно подписаться на сайте

Научной Электронной Библиотеки (НЭБ) <http://www.elibrary.ru>

Приобрести журналы за безналичный расчет можно в ГНЦ ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина».

Для оформления подписки на журнал по безналичному расчету необходимо прислать заявку с указанием номера журнала и количества экземпляров, адрес и банковские реквизиты.

**Всю информацию следует отправить по электронной почте:**

**E-mail: [ntpnm@yandex.ru](mailto:ntpnm@yandex.ru), [a.glezer@mail.ru](mailto:a.glezer@mail.ru)**

**Тел. редакции: (495)777-94-98; (495)777-93-02; (495)777-95-13**

**[www.chermet.net](http://www.chermet.net)**



## Уважаемые коллеги!

Приглашаем Вас опубликовать результаты своих исследований в журнале «Проблемы черной металлургии и материаловедения». Журнал публикует на безвозмездной основе оригинальные статьи и обзоры, связанные с переработкой рудного и техногенного сырья, получением чугуна, стали и ферросплавов, свойствам сплавов на основе железа, материаловедением и физикой металлов, вопросами ресурсосбережения, экологии, стратегии развития и экономической эффективности металлургической отрасли. Издание входит в перечень журналов, рекомендуемых ВАК для публикации трудов соискателей ученых степеней, в электронном виде статьи размещены в научной электронной библиотеке eLibrary.ru, РИНЦ, журнал входит в базу данных «Russian Science Citation Index» (коллекция лучших российских журналов на платформе Web of Science).

Журнал выпускается с 2007 г. Его учредителем является Центральный научно-исследовательский институт черной металлургии им. И.П. Бардина. В 2020 г. был обновлен состав редколлегии, в ее состав были приглашены известные ученые-металлурги. С 2021 г. статьям журнала присваиваются ссылки DOI. С 2022 г. значительно улучшены оформление, структура и полиграфический уровень печатной версии журнала. Для повышения качества публикаций, обеспечения высокого научного уровня, практической значимости, освещения последних научных достижений проводится серьезная работа по привлечению авторов, обсуждению, рецензированию рукописей.

---