

# ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ ЧЕРНАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ

Научно-технический журнал

Издается с января 1958 г. Выпускается 6 раз в год

2024 Том 67 № 2  
Vol. No.

# IZVESTIYA FERROUS METALLURGY

Scientific and Technical Journal

Published since January 1958. Issued 6 times a year

# ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ ЧЕРНАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ

www.fermet.misis.ru

ISSN 0368-0797 (Print) ISSN 2410-2091 (Online)

## Варианты названия:

Известия вузов. Черная металлургия

Izvestiya. Ferrous Metallurgy

## Учредители:



## Редакционная коллегия:

**С. О. Байсанов**, д.т.н., профессор, ХМИ им. Ж.Абишева, г. Караганда, Республика Казахстан  
**В. Д. Белов**, д.т.н., профессор, НИТУ МИСИС, г. Москва  
**А. А. Бродов**, к.экон.н., ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина», г. Москва  
**Е. П. Волынкина**, д.т.н., советник, ОЮЛ «Кузбасская Ассоциация переработчиков отходов», г. Новокузнецк  
**С. М. Горбатюк**, д.т.н., профессор, НИТУ МИСИС, г. Москва  
**К. В. Григорович**, академик РАН, д.т.н., ИМЕТ им. А.А. Байкова РАН, г. Москва  
**В. Е. Гролов**, д.ф.-м.н., профессор, СибГИУ, г. Новокузнецк  
**А. Н. Дмитриев**, д.т.н., профессор, академик РАЕН, академик АИН РФ, г. Екатеринбург  
**А. В. Дуб**, д.т.н., профессор, ЗАО «Наука и инновации», г. Москва  
**В. И. Жучков**, д.т.н., профессор, ИМЕТ УрО РАН, г. Екатеринбург  
**Р. Ф. Зингер**, д.т.н., профессор, Институт Фридриха-Александра, Германия  
**М. Зиниград**, д.т.н., профессор, Институт Ариэля, Израиль  
**В. И. Золотухин**, д.т.н., профессор, ТулГУ, г. Тула  
**А. Г. Колмаков**, д.т.н., чл.-корр. РАН, ИМЕТ им. А.А. Байкова РАН, г. Москва  
**В. М. Колокольцев**, д.т.н., профессор, МГТУ им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск  
**М. В. Костина**, д.т.н., ИМЕТ им. А.А. Байкова РАН, г. Москва  
**К. Л. Косырев**, д.т.н., академик РАЕН, ОАО «Электростальский завод тяжелого машиностроения», г. Москва  
**Ю. А. Курганова**, д.т.н., профессор, МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва  
**Х. Линн**, ООО «Линн Хай Терм», Германия  
**В. И. Лысак**, академик РАН, д.т.н., профессор, ВолгГТУ, г. Волгоград  
**В. П. Мешалкин**, академик РАН, д.т.н., профессор, РХТУ им. Д.И. Менделеева, г. Москва

В соответствии п. 5 Правил формирования перечня ВАК журнал «Известия вузов. Черная металлургия» входит в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, публикация в которых учитывается при защитах кандидатских и докторских диссертаций как индексируемый в МБД.

## Главный редактор:

**Леопольд Игоревич Леонтьев**, академик РАН, советник, Президиум РАН; д.т.н., профессор, НИТУ «МИСИС»; главный научный сотрудник, Институт металлургии УрО РАН  
Россия, 119049, Москва, Ленинский просп., д. 4, стр. 1, Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»

## Заместитель главного редактора:

**Евгений Валентинович Протопопов**, д.т.н., профессор, Сибирский государственный индустриальный университет г. Новокузнецк

## Издатель:

Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»

## Адреса подразделений редакций:

### в Москве

Россия, 119049, Москва, Ленинский просп., д. 4, стр. 1  
Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»  
Тел.: +7 (495) 638-44-11 E-mail: ferrous@sisis.ru

### в Новокузнецке

Россия, 654007, Новокузнецк,  
Кемеровская обл. – Кузбасс, ул. Кирова, зд. 42  
Сибирский государственный индустриальный университет  
Тел.: +7 (3843) 74-86-28 E-mail: redjizvz@sibsiu.ru

**Р. Р. Мулюков**, д.ф.-м.-н., профессор, чл.-корр. ФГБУН ИПСМ РАН, г. Уфа  
**С. А. Никулин**, д.т.н., профессор, чл.-корр. РАЕН, НИТУ МИСИС, г. Москва  
**А. Х. Нурумгалиев**, д.т.н., профессор, КГИУ, г. Караганда, Республика Казахстан  
**О. И. Островский**, д.т.н., профессор, Университет Нового Южного Уэльса, Сидней, Австралия  
**Л. Пиетрелли**, д.т.н., Итальянское национальное агентство по новым технологиям, энергетике и устойчивому экономическому развитию, Рим, Италия  
**И. Ю. Пышминцев**, д.т.н., РосНИТИ, г. Челябинск  
**А. И. Рудской**, академик РАН, д.т.н., профессор, СПбПУ Петра Великого, г. Санкт-Петербург  
**Б. А. Сивак**, к.т.н., профессор, АО АХК «ВНИИМЕТМАШ», г. Москва  
**Л. М. Симонян**, д.т.н., профессор, НИТУ МИСИС, г. Москва  
**Л. А. Смирнов**, академик РАН, д.т.н., профессор, ОАО «Уральский институт металлов», г. Екатеринбург  
**С. В. Солодов**, к.т.н., НИТУ МИСИС, г. Москва  
**Н. А. Спирин**, д.т.н., профессор, УрФУ, г. Екатеринбург  
**Г. Танг**, Институт перспективных материалов университета Циньхуа, г. Шеньжень, Китай  
**М. В. Темлянец**, д.т.н., профессор, СибГИУ, г. Новокузнецк  
**М. Р. Филонов**, д.т.н., профессор, НИТУ МИСИС, г. Москва  
**И. В. Чуманов**, д.т.н., профессор, ЮУрГУ, г. Челябинск  
**О. Ю. Шешуков**, д.т.н., профессор, УрФУ, г. Екатеринбург  
**М. О. Шпайдель**, д.т.н., профессор, Швейцарская академия материаловедения, Швейцария  
**А. Б. Юрьев**, д.т.н., ректор, СибГИУ, г. Новокузнецк  
**В. С. Юсупов**, д.т.н., профессор, ИМЕТ им. А.А. Байкова РАН, г. Москва

**Индексирование:** Scopus, Russian Science Citation Index (RSCI), Research Bible, Chemical Abstracts, OCLC и Google Scholar

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи и массовых коммуникаций ПИ № ФС77-35456.



Статьи доступны под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

# IZVESTIYA FERROUS METALLURGY

www.fermet.misis.ru

ISSN 0368-0797 (Print) ISSN 2410-2091 (Online)

## Alternative title:

Izvestiya vuzov. Chernaya metallurgiya

## Founders:



## Editor-in-Chief:

**Leopol'd I. Leont'ev**, Academician, Adviser of the Russian Academy of Sciences; Dr. Sci. (Eng.), Prof., NUST "MISIS"; Chief Researcher, Institute of Metallurgy UB RAS, Moscow

4 Leninskii Ave., Moscow 119049, Russian Federation  
National University of Science and Technology "MISIS"

## Deputy Editor-in-Chief:

**Evgenii V. Protopopov**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Siberian State Industrial University, Novokuznetsk

## Publisher:

National University of Science and Technology "MISIS"

## Editorial Office Address:

### in Moscow

4 Leninskii Ave., Moscow 119049, Russian Federation  
National University of Science and Technology "MISIS"  
Tel.: +7 (495) 638-44-11

E-mail: fermet.misis@mail.ru, ferrous@sisis.ru

### in Novokuznetsk

42 Kirova Str., Novokuznetsk, Kemerovo Region – Kuzbass  
654007, Russian Federation  
Siberian State Industrial University  
Tel.: +7 (3843) 74-86-28 E-mail: redjizvz@sibsiu.ru

## Editorial Board:

**Sailaubai O. Baisanov**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Abishev Chemical-Metallurgical Institute, Karaganda, Republic of Kazakhstan  
**Vladimir D. Belov**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., NUST MISIS, Moscow  
**Anatolii A. Brodov**, Cand. Sci. (Econ.), Bardin Central Research Institute for Ferrous Metallurgy, Moscow  
**Il'ya V. Chumanov**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., South Ural State Research University, Chelyabinsk  
**Andrei N. Dmitriev**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Academician, RANS, A.M. Prokhorov Academy of Engineering Sciences, Institute of Metallurgy, Ural Branch of RAS, Ural Federal University, Yekaterinburg  
**Aleksei V. Dub**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., JSC "Science and Innovations", Moscow  
**Mikhail R. Filonov**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., NUST MISIS, Moscow  
**Sergei M. Gorbatyuk**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., NUST MISIS, Moscow  
**Konstantin V. Grigorovich**, Academician of RAS, Dr. Sci. (Eng.), Baikov Institute of Metallurgy and Materials Science of RAS, Moscow  
**Victor E. Gromov**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Siberian State Industrial University, Novokuznetsk  
**Aleksei G. Kolmakov**, Dr. Sci. (Eng.), Corresponding Member of RAS, Baikov Institute of Metallurgy and Materials Science of RAS, Moscow  
**Valerii M. Kolokol'tsev**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk  
**Mariya V. Kostina**, Dr. Sci. (Eng.), Baikov Institute of Metallurgy and Materials Science of RAS, Moscow  
**Konstantin L. Kosyrev**, Dr. Sci. (Eng.), Academician of RANS, Electrosteel Heavy Engineering Works JSC, Moscow  
**Yuliya A. Kurganova**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Bauman Moscow State Technical University, Moscow  
**Linn Horst**, Linn High Therm GmbH, Hirschbach, Germany  
**Vladimir I. Lysak**, Academician of RAS, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Rector, Volgograd State Technical University, Volgograd  
**Valerii P. Meshalkin**, Dr. Sci. (Eng.), Academician of RAS, Prof., D.I. Mendeleyev Russian Chemical-Technological University, Moscow  
**Radik R. Mulyukov**, Dr. Sci. (Phys.-Chem.), Prof., Corresponding Member of RAS, Institute of Metals Superplasticity Problems of RAS, Ufa

**Sergei A. Nikulin**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Corresponding Member of RANS, NUST MISIS, Moscow  
**Asylbek Kh. Nurumgaliev**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Karaganda State Industrial University, Karaganda, Republic of Kazakhstan  
**Oleg I. Ostrovski**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., University of New South Wales, Sydney, Australia  
**Loris Pietrelli**, Dr., Scientist, Italian National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development, Rome, Italy  
**Igor' Yu. Pyshmintsev**, Dr. Sci. (Eng.), Russian Research Institute of the Pipe Industry, Chelyabinsk  
**Andrei I. Rudskoi**, Academician of RAS, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Rector, Peter the Great Saint-Petersburg Polytechnic University, Saint-Petersburg  
**Oleg Yu. Sheshukov**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Ural Federal University, Yekaterinburg  
**Laura M. Simonyan**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., NUST MISIS, Moscow  
**Robert F. Singer**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Friedrich-Alexander University, Germany  
**Boris A. Sivak**, Cand. Sci. (Eng.), Prof., VNIIMETMASH Holding Company, Moscow  
**Leonid A. Smirnov**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Academician of RAS, OJSC "Ural Institute of Metals", Yekaterinburg  
**Sergei V. Solodov**, Cand. Sci. (Eng.), NUST MISIS, Moscow  
**Speidel Marcus**, Dr. Natur. Sci., Prof., Swiss Academy of Materials, Switzerland  
**Nikolai A. Spirin**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Ural Federal University, Yekaterinburg  
**Tang Guoi**, Institute of Advanced Materials of Tsinghua University, Shenzhen, China  
**Mikhail V. Temlyantsev**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Siberian State Industrial University, Novokuznetsk  
**Ekaterina P. Volynkina**, Dr. Sci. (Eng.), Advisor, ALE "Kuzbass Association of Waste Processors", Novokuznetsk  
**Aleksei B. Yur'ev**, Dr. Sci. (Eng.), Rector, Siberian State Industrial University, Novokuznetsk  
**Vladimir S. Yusupov**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Baikov Institute of Metallurgy and Materials Science of RAS, Moscow  
**Vladimir I. Zhuchkov**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Institute of Metallurgy, Ural Branch of RAS, Ural Federal University, Yekaterinburg  
**Michael Zinigrad**, Dr. Sci. (Physical Chemistry), Prof., Rector, Ariel University, Israel  
**Vladimir I. Zolotukhin**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Tula State University, Tula

*In accordance with paragraph 5 of the Rules for the formation of the Higher Attestation Commission list journal "Izvestiya. Ferrous metallurgy" is included in the list of leading peer-reviewed scientific journals, publication in which is taken into account in the defense of candidate and doctoral dissertations, as indexed in international data bases.*

**Indexed:** Scopus, Russian Science Citation Index (RSCI), Research Bible, Chemical Abstracts, OCLC and Google Scholar

Registered in Federal Service for Supervision in the Sphere of Mass Communications **PI number FS77-35456**.



Articles are available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

- Мурысёв В.А., Шешуков О.Ю., Сафонов В.М., Со-  
мов С.А., Метелкин А.А., Егiazар'ян Д.К. Оцен-  
ка гомогенности рафинировочного шлака  
АКП расчетным и экспериментальными методами .... 140
- Стук Т.С., Потоцкий Е.П. Оценка аварийности домен-  
ных фурм ..... 148
- Чиченев Н.А., Горбатюк С.М., Соломонов К.Н.,  
Снитко С.А., Чиченева О.Н. Исследование изме-  
нения температуры прессового инструмента при  
обработке лазером ..... 155

РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ  
В ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

- Акуов А.М., Келаманов Б.С., Заякин О.В., Самура-  
тов Е.К., Есенгалиев Д.А. Изучение влияния флю-  
сующих добавок на свойства шлака высокоуглеро-  
дистого феррохрома ..... 161

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

- Попова Н.А., Никоненко Е.Л., Порфирьев М.А., Крю-  
ков Р.Е. Внутренние напряжения и их источники в  
сталях с ОЦК кристаллической решеткой ..... 167
- Иванов И.В., Аккузин С.А., Сафарова Д.Э., Литов-  
ченко И.Ю., Батаев И.А. Эволюция дислока-  
ционной структуры и фазового состава в процессе  
нагрева деформированного высокоэнтروпийного  
сплава  $Al_{0.3}CoCrFeNi$  ..... 176
- Невский С.А., Башенко Л.П., Громов В.Е., Перегу-  
дов О.А., Гостевская А.Н., Володин Т.В. Форми-  
рование градиента структурно-фазовых состояний  
быстрорежущей стали при наплавке. Часть 2. Роль  
неустойчивости Маллинза-Секерки в образовании  
структур кристаллизации ..... 185
- Гордиенко А.И., Абдульменова Е.В., Козлова Т.В.,  
Гоморова Ю.Ф., Власов И.В., Фотин И.А., Каю-  
ров К.Н., Буякова С.П. Влияние режимов терми-  
ческой обработки на структуру и свойства стали  
 $08X18H6AG10C$  ..... 195

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ  
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

- Уполовникова А.Г., Шартдинов Р.Р., Сметанни-  
ков А.Н. Влияние основности на физические свойст-  
ва ковшевых шлаков системы  $CaO - SiO_2 - Ce_2O_3 -$   
 $- Al_2O_3 - MgO$  ..... 205

METALLURGICAL TECHNOLOGIES

- Murysev V.A., Sheshukov O.Yu., Safonov V.M., So-  
mov S.A., Metelkin A.A., Egiazar'yan D.K. Assess-  
ment of homogeneity of ladle-furnace refining slag  
by calculation and experimental methods ..... 140
- Stuk T.S., Pototskii E.P. Estimation of accident rate of blast  
furnace tuyeres ..... 148
- Chichenev N.A., Gorbatyuk S.M., Solomonov K.N.,  
Snitko S.A., Chicheneva O.N. Investigation of  
changes in temperature of pressing tool during laser  
processing ..... 155

RESOURCE SAVING  
IN FERROUS METALLURGY

- Akuov A.M., Kelamanov B.S., Zayakin O.V., Samura-  
tov E.K., Yessengaliyev D.A. Influence of additives on  
properties of high-carbon ferrochrome slag ..... 161

MATERIALS SCIENCE

- Popova N.A., Nikonenko E.L., Porfir'ev M.A., Kryu-  
kov R.E. Internal stresses and their sources in steels  
with BCC lattice ..... 167
- Ivanov I.V., Akkuzin S.A., Safarova D.E., Litovchen-  
ko I.Yu., Bataev I.A. Evolution of dislocation struc-  
ture and phase composition of deformed  $Al_{0.3}CoCrFeNi$   
high-entropy alloy during heating ..... 176
- Nevskii S.A., Bashchenko L.P., Gromov V.E., Peregu-  
dov O.A., Gostevskaya A.N., Volodin T.V. Formation  
of the gradient of structural-phase states of high-speed  
steel during surfacing. Part 2. The role of the Mullins-  
Sekerka instability in formation of crystallization struc-  
tures ..... 185
- Gordienko A.I., Abdulmenova E.V., Kozlova T.V., Go-  
morova Yu.F., Vlasov I.V., Fotin I.A., Kayurov K.N.,  
Buyakova S.P. Effect of heat treatment modes on  
structure and properties of  $08Kh18N6AG10S$  steel ..... 195

PHYSICO-CHEMICAL BASICS  
OF METALLURGICAL PROCESSES

- Upolovnikova A.G., Shartdinov R.R., Smetannikov A.N.  
Effect of basicity on physical properties of ladle slags of  
 $CaO - SiO_2 - Ce_2O_3 - Al_2O_3 - MgO$  system ..... 205

СОДЕРЖАНИЕ (продолжение)

CONTENTS (Continuation)

ИННОВАЦИИ В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ  
ПРОМЫШЛЕННОМ И ЛАБОРАТОРНОМ  
ОБОРУДОВАНИИ, ТЕХНОЛОГИЯХ  
И МАТЕРИАЛАХ

INNOVATIONS IN METALLURGICAL  
INDUSTRIAL AND LABORATORY  
EQUIPMENT, TECHNOLOGIES  
AND MATERIALS

Одинокое В.И., Евстигнеев А.И., Дмитриев Э.А., На-  
моконов А.Н., Евстигнеева А.А., Чернышова Д.В. Напряженно-деформированное состояние кера-  
мической оболочковой формы при формировании  
в ней стальной шарообразной отливки. Часть 1 ..... 211

Odinokov V.I., Evstigneev A.I., Dmitriev E.A., Namoko-  
nov A.N., Evstigneeva A.A., Chernyshova D.V. Stress-  
strain state of ceramic shell mold during formation of  
spherical steel casting in it. Part 1 ..... 211

ПО МАТЕРИАЛАМ  
МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ  
«НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ ШКОЛА  
ДЛЯ МОЛОДЫХ МЕТАЛЛУРГОВ»

BASED ON THE MATERIALS  
OF THE INTERNATIONAL CONFERENCE  
“SCIENTIFIC AND PRACTICAL SCHOOL FOR  
YOUNG METALLURGISTS”

Карасев В.С., Коджаспиров Г.Е., Федоров А.С., Аль-  
хименко А.А., Житенев А.И. Повышение корро-  
зионных свойств дуплексной стали с помощью мо-  
дифицирования РЗМ ..... 219

Karasev V.S., Kodzhaspirov G.E., Fedorov A.S., Al'khi-  
menko A.A., Zhitenev A.I. Increasing the corrosion  
properties of duplex steel with REM modification ..... 219

Ровбо А.С., Голубев И.А., Шапошников Н.О., Пени-  
гин А.В., Федоров А.С. Подходы к выбору мате-  
риального исполнения инфраструктурных объек-  
тов транспорта и заправки CO<sub>2</sub> ..... 229

Rovbo A.S., Golubev I.A., Shaposhnikov N.O., Peni-  
gin A.V., Fedorov A.S. Approaches to the selection of  
material design of infrastructure facilities for transport  
and injection of CO<sub>2</sub> ..... 229

ЭКОЛОГИЯ И РАЦИОНАЛЬНОЕ  
ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

ECOLOGY AND RATIONAL USE  
OF NATURAL RESOURCES

Рыбенко И.А., Рожихина И.Д., Нохрина О.И., Голо-  
дова М.А. Рациональные варианты применения  
высококачественного марганцевого концентрата ..... 237

Rybenko I.A., Rozhikhina I.D., Nokhrina O.I., Golo-  
dova M.A. Rational application of high quality manga-  
nese concentrate ..... 237

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ  
И АВТОМАТИЗАЦИЯ  
В ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

INFORMATION TECHNOLOGIES  
AND AUTOMATIC CONTROL  
IN FERROUS METALLURGY

Спирин Н.А., Гуринов И.А., Лавров В.В., Зайнул-  
лин Л.А. Информационно-моделирующая система  
движения слоев шихты и накопления расплава  
в горне доменной печи ..... 245

Spirin N.A., Gurin I.A., Lavrov V.V., Zainullin L.A. In-  
formation modeling system for movement of charge  
layers and melt accumulation in a blast furnace well .... 245