



ISSN 0135-5910 (Print)  
ISSN 2619-0753 (Online)

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«Южно-Уральский государственный университет  
(национальный исследовательский университет)»

# ЧЕРНАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ

---

## БЮЛЛЕТЕНЬ научно-технической и экономической информации

Журнал включен в перечень научных изданий, рекомендованных ВАК РФ для публикации основных результатов диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору  
в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций  
Регистрационный номер ПИ №ФС77-82438

*Издается с 1944 года, ежемесячно*

**Том 80, № 9**

**2024**

Челябинск,  
ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)»

ISSN 0135-5910 (Print)  
ISSN 2619-0753 (Online)

# ЧЕРНАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ

## БЮЛЛЕТЕНЬ научно-технической и экономической информации

### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

**Главный редактор – СМЕРНОВ Л.А.**, академик РАН (Российская академия наук, ОАО “Уральский институт металлов”, Институт металлургии УрО РАН, г. Екатеринбург)

**Зам. главного редактора – ВИННИК Д.А.**, профессор РАН, д-р хим. наук (Южно-Уральский государственный университет (НИУ), г. Челябинск)

**Зам. главного редактора – БЕССОНОВ А.В.**, канд. экон. наук

**Зам. главного редактора – ЧУМАНОВ И.В.**, д-р техн. наук (Южно-Уральский государственный университет (НИУ), г. Челябинск)

**Зам. главного редактора – ГАМОВ П.А.**, канд. техн. наук (Южно-Уральский государственный университет (НИУ), г. Челябинск)

**АКСЕЛЬБРОД Л.М.**, канд. техн. наук (Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва)

**АНДРЕЕВ К.П.**, канд. техн. наук (Уханьский университет науки и технологии (WUST), г. Ухань, Китай)

**БАБЕНКО А.А.**, д-р техн. наук (Институт металлургии УрО РАН (ИМет УрО РАН), г. Екатеринбург)

**БАБИЧ А.И.**, д-р техн. наук (университет Ахена, Германия)

**БЕЛОВ В.К.**, канд. физ.-мат. наук (Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск)

**БРОДОВ А.А.**, канд. экон. наук (ФГУП “ЦНИИЧермет им. И.П. Бардина”, г. Москва)

**ВЕДЕНЕВ А.В.**, канд. техн. наук (ООО “ТулаЧермет-Сталь”, г. Тула)

**ВЫДРИН А.В.**, д-р техн. наук (Южно-Уральский государственный университет (НИУ), г. Челябинск)

**ГОРДОН Я.М.**, д-р техн. наук (фирма Хатч, г. Торонто, Канада)

**ДЕНИСОВ С.В.**, д-р техн. наук (ОАО ММК, г. Магнитогорск)

**ДМИТРИЕВ А.Н.**, д-р техн. наук (Институт металлургии УрО РАН, г. Екатеринбург)

**ЖЕРЕБЦОВ Д.А.**, д-р хим. наук (Южно-Уральский государственный университет (НИУ), г. Челябинск)

**ИБРАЕВ И.К.**, д-р техн. наук (Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, г. Астана, Республика Казахстан)

**КОЖЕВНИКОВА И.А.**, д-р техн. наук (Череповецкий государственный университет, г. Череповец)

**КОЗЫРЕВ Н.А.**, д-р техн. наук (ЦНИИЧермет им. И.П. Бардина, г. Москва)

**КОСТЮХИН Ю.Ю.**, д-р экон. наук (Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва)

**КУЛАКОВ Б.А.**, д-р техн. наук (Южно-Уральский государственный университет (НИУ), г. Челябинск)

**ОКИШЕВ К.Ю.**, д-р физ.-мат. наук (Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург)

**ОРЛОВ Г.А.**, д-р техн. наук (Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург)

**ПРОТАСОВ А.В.**, канд. техн. наук (АО АХК ВНИИМЕТ-МАШ, г. Москва)

**РОЩИН В.Е.**, д-р техн. наук (Южно-Уральский государственный университет (НИУ), г. Челябинск)

**РУЩИЦ С.В.**, д-р физ.-мат. наук (Южно-Уральский государственный университет (НИУ), г. Челябинск)

**СИДОРОВА Е.Ю.**, д-р экон. наук (Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва)

**СТОЛЯРОВ А.М.**, д-р техн. наук (Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск)

**ТАНДОН ПУНИТ**, д-р философии (технические науки) (Индийский институт информационных технологий, проектирования и производства, г. Джабалпур, Индия)

**ФИЛИППОВ Г.А.**, д-р техн. наук (ФГУП “ЦНИИЧермет им. И.П. Бардина”, г. Москва)

**ФИЛОСОФОВА Т.Г.**, д-р экон. наук (Исследовательский университет “Высшая школа экономики” (НИУ ВШЭ), г. Москва)

**ФРОЛОВ Ю.А.**, д-р техн. наук (ООО НПП “Уралэлектра”, г. Екатеринбург)

**ХАРИТОНОВ В.А.**, канд. техн. наук (Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск)

**ЧИЖИКОВА В.М.**, д-р техн. наук (ООО “Управляющая компания “Румелко”, г. Москва)

**ШЕШУКОВ О.Ю.**, д-р техн. наук (Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург)

**Ю ХАЙЛЯНГ**, д-р философии (технические науки) (Колледж механики и электротехники Центрального Южного университета, г. Чанша, Китай)

**ЯЧИКОВ И.М.**, д-р техн. наук (Южно-Уральский государственный университет (НИУ), г. Челябинск)

**Учредитель:** Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования “Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)”

**Адрес редакции:**

454080, Челябинская обл., г. Челябинск, пр-т Ленина, д. 76, кафедра Пирометаллургических и литейных технологий, каб. 120

**Тел./факс:** +7 (351) 267-91-61

**e-mail:** gamovpa@susu.ru

<https://chermet.susu.ru>

# FERROUS METALLURGY

---

## BULLETIN of Scientific, Technical and Economic Information

### EDITORIAL BOARD

**Editor-in-Chief** – SMIRNOV L.A., Academician of RAS (Russian Academy of Sciences, OJSC “Ural’sky Institute of Metals”, Institute of Metallurgy Ural Branch of RAS, Ekaterinburg)

**Deputy Editor-in-Chief** – VINNIK D.A., Professor of RAS, HD (Chem) (South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk)

**Deputy Editor-in-Chief** – BESSONOV A.V., PhD (Econ)

**Deputy Editor-in-Chief** – CHUMANOV I.V., HD (Tech) (South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk)

**Deputy Editor-in-Chief** – GAMOV P.A., PhD (Tech) (South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk)  
AKSELROD L.M., PhD (Tech) (National University of Science and Technology “MISiS”, Moscow)

ANDREEV K.P., PhD (Tech) (Wuhan University of Science and Technology (WUST), Wuhan, China)

BABENKO A.A., HD (Tech) (Institute of metallurgy UrO RAN (IMet UrO RAN), Ekaterinburg)

BABICH A.I., HD (Tech) (Aachen University, Germany)

BELOV V.K., PhD (Phys and Mathematic) (Magnitogorsk State Technical University after G.I. Nosov, Magnitogorsk)

BRODOV A.A., PhD (Econ) (FGUP “CNIIchermet after I.P. Bardin”, Moscow)

VEDENEV A.V., PhD (Tech) (OJSC “TulaChermet–Steel”, Tula)

VYDRIN A.V., HD (Tech) (South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk)

GORDON Ya.M., HD (Tech) (Hutch, Toronto, Canada)

DENISOV S.V., HD (Tech) (OJSC MMK, Magnitogorsk)

DMITRIEV A.N., HD (Tech) (Institute of Metallurgy Ural branch of RAS, Ekaterinburg)

ZHEREBTSOV D.A., HD (Chem) (South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk)

IBRAEV I.K., HD (Tech) (Eurasia National University after L.N. Gumilev, Astana, Republic of Kazakhstan)

KOZHEVNIKOVA I.A., HD (Tech) (Cherepovets State University, Cherepovets)

KOZYREV N.A., HD (Tech) (Central Research Institute of Ferrous Metallurgy named after I.P. Bardin, Moscow)

KOSTYUKHIN Yu. Yu., HD (Econ) (National University of Science and Technology “MISiS”, Moscow)

KULAKOV B.A., HD (Tech) (South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk)

OKISHEV K. Yu., HD (Phys.-Math.), (Ural Federal University after the First President of Russia B.N. El'tsin, Ekaterinburg)

ORLOV G.A., HD (Tech) (Ural Federal University after the First President of Russia B.N. El'tsin, Ekaterinburg)

PROTASOV A.V., PhD (Tech) (JSC AKhK BNIIMETMASH, Moscow)

ROSHCHIN V.E., HD (Tech) (South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk)

RUSHCHITS S. V., HD (Phys.-Math.) (South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk)

SIDOROVA E.Y., HD (Econ) (National University of Science and Technology “MISiS”, Moscow)

STOLYAROV A.M., HD (Tech) (Magnitogorsk State Technical University after G.I. Nosov, Magnitogorsk)

PUNEET TANDON, PhD (Indian Institute of Information Technology, Design and Manufacturing, Jabalpur, India)

FILIPPOV G.A., HD (Tech) (FGUP “CNIIchermet after I.P. Bardin”, Moscow)

FILOSOFOVA T.G., HD (Econ), (Research University “The Highest School of Economics” (NIU VShE), Moscow)

FROLOV Yu.A., HD (Tech) (OJSC NPP “Uralelectra”, Ekaterinburg)

KHARITONOV V.A., PhD (Tech) (Magnitogorsk State Technical University after G.I. Nosov, Magnitogorsk)

CHIZHIKOVA V.M., HD (Tech) (OJSC “Managing Company “Rumelco”, Moscow)

SHESHUKOV O.Yu., HD (Tech) (Ural Federal University after the First President of Russia B.N. El'tsin, Ekaterinburg)

STOLYAROV A.M., HD (Tech) (Magnitogorsk State Technical University after G.I. Nosov, Magnitogorsk)

YU HAILIANG, PhD (Tech.) (College of Mechanical and Electrical Engineering, Central South University, Changsha, China)

YACHIKOV I.M., HD (Tech) (South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk)

**Founders:** Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education  
“South Ural State University (National Research University)”

**Editorial Addresses:** 76, Lenin Avenue, Chelyabinsk, Russia, 454080,  
Department of Pyrometallurgical and Foundry Technologies, room 120  
**Tel/fax:** +7 (351) 267-91-61  
**e-mail:** gamovpa@susu.ru  
<https://chermet.susu.ru>

## ЧЕРНАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ.

Бюллетень научно-технической  
и экономической информации.  
2024. Том 80. № 9

## FERROUS METALLURGY.

Bulletin of Scientific, Technical  
and Economic Information,  
2024, Vol. 80, № 9

### СОДЕРЖАНИЕ

#### Сталеплавильное производство

*Балановский А. Е., Нгуен В. В., Конюхов В. Ю.,  
Захаров А. М.* Структура и свойства боридного  
слоя стали при применении метода плазменного  
легирования

5

*Мельник С. Г., Ковалев П. В., Рябошук С. В., Куз-  
нецов А. М.* Производство стали улучшенного  
качества в большегрузных 350-т конвертерах с  
применением внепечного вакуумирования

14

*Протасов А. В.* Перспективное направление раз-  
вития процессов внепечного вакуумирования  
стали

28

#### Металлургическое оборудование и литейное производство

*Федотов Е. С., Адигамов Р. Р., Никишин И. А.,  
Смирнов М. А., Андреев А. Р., Карлина А. И.* Фор-  
мирование требований к ударостойкости и изно-  
стойкости мелющих шаров

39

*Карлина А. И., Кондратьев В. В., Колосов А. Д.,  
Дьячков А. А., Николаев М. Д.* Расчетная модель  
уноса пылевых частиц закрученным потоком в  
газоходах

48

#### Метизное производство

*Харитонов В. А., Баймурзина Г. С.* Развитие кон-  
струкций и технологий производства арматур-  
ной проволоки с винтовым профилем

53

#### Металловедение и термическая обработка

*Лаев К. А., Десятникова Н. А., Хаткевич В. М.,  
Худнев А. А., Шакиров Р. Д.* Влияние микро-  
структуры продольного сварного соединения  
ТБД класса прочности X52 и X70 на стойкость к  
водородному охрупчиванию

60

#### Новости зарубежной периодики

68

#### Книжная полка

71

#### ЭКСПРЕСС-ИНФОРМАЦИЯ

72

#### Статистика

80

### CONTENTS

#### Steelmaking

*Balanovskii A. E., Nguen V. V., Konyukhov V. Yu.,  
Zakharov A. M.* Structure and properties of the  
boride layer of steel using the plasma alloying  
method

*Mel'nik S. G., Kovalev P. V., Ryaboshuk S. V., Kuz-  
netsov A. M.* Production of improved quality steel in  
highscale basic oxygen furnaces using vacuum  
treatment

*Protasov A. V.* A promising direction of develop-  
ment of out-of-furnace vacuuming processes of  
steel

#### Metallurgical Equipment and Foundry Practice

*Fedotov E. S., Adigamov R. R., Nikishin I. A.,  
Smirnov M. A., Andreev A. R., Karlina A. I.* For-  
mation of requirements for impact resistance and  
wear resistance of grinding balls

*Karlina A. I., Kondrat'ev V. V., Kolosov A. D.,  
D'yachkov A. A., Nikolaev M. D.* Calculation model  
of enjoyment of dust particles by swirling flow in  
gas flowes

#### Wire Products Manufacturing

*Kharitonov V. A., Baimurzina G. S.* Development of  
structures and production technologies of reinforc-  
ing wire with a screw profile

#### Metal science and heat treatment

*Laev K. A., Devyaterikova N. A., Khatkevich V. M.,  
Khudnev A. A., Shakirov R. D.* Influence of the lon-  
gitudinal welded joint microstructure of X52 and  
X70 large diameter pipes on resistance to hydrogen  
embrittlement

#### News of the Foreign Periodicals

#### Bookshelf

#### EXPRESS INFORMATION

#### Statistics