

ЧЕРНЫЕ МЕТАЛЛЫ

Издательский дом
«Руда и Металлы»

№ 12 (1092), декабрь 2022 г.

Издается с 1961 г.

Ежемесячный научно-технический и производственный журнал
по актуальным проблемам металлургии и машиностроения

Учредители:

Акционерное общество
«Издательский дом
«Руда и Металлы»

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
«Национальный исследовательский
технологический университет «МИСиС»

Федеральное бюджетное автономное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
«Магнитогорский государственный технический
университет им. Г. И. Носова»

При участии:

ПАО «ММК»
ПАО «Ракетно-космическая корпорация «Энергия»
имени С. П. Королева»
ОАО «БМЗ — управляющая компания холдинга «БМК»
ФГБУК «Государственный Эрмитаж»

Официальный информационный орган
Федерального УМО
«Технологии материалов»

Редакционный совет:

Главный редактор: В. М. Колокольцев
Первый зам. главного редактора: К. Л. Косырев
Зам. главного редактора: Е. В. Цирульников, А. Г. Воробьев
А. М. Беленький, В. Блек (Германия), Ю. Л. Бобарикин (Беларусь), О. И. Борискин, И. В. Буторина,
Р. М. Валеев, Е. П. Волынкина, А. В. Выдрин, С. П. Галкин, Е. А. Голи-Оглу (Дания), Я. М. Гордон (Канада),
Д. Г. Еланский, Н. А. Зюбан, И. Е. Илларионов, Л. М. Капуткина, А. А. Казаков, А. П. Коликов,
А. Г. Корчунов, А. В. Кушнарв, И. О. Леушин, И. П. Мазур, Т. Н. Матвеева, А. Е. Пелевин,
Ю. Ю. Пиотровский, И. М. Потравный, А. Н. Савенок (Беларусь), А. В. Серебряков, Е. Ю. Сидорова,
И. А. Султангузин, С. С. Ткаченко, А. Я. Травянов, Н. А. Чиченев, М. В. Чукин, П. Шеллер (Германия),
Е. А. Яценко

Редакция:

Зам. главного редактора: Е. В. Цирульников
Ответственный секретарь: Е. Ю. Рахманова

Издатель — АО «Издательский дом «Руда и Металлы»
Адрес издателя: 119049, Москва, Ленинский просп., 6,
стр. 2, МИСиС, оф. 622

Адрес редакции:

• фактический: 119049, Москва, Ленинский проспект 6,
стр. 2, МИСиС, оф. 617
• почтовый: 119049, Москва, а/я № 71
Телефон/факс: (495) 955-01-75
Эл. почта: chernet@rudmet.ru, tsirulnikov@rudmet.ru

www.rudmet.ru

Ежемесячный научно-технический и производственный журнал
по актуальным проблемам металлургии и машиностроения
«Черные металлы» № 12 (1092), декабрь 2022 г.

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере
связи, информационных технологий и массовых коммуникаций
(Свидетельство ПИ № ФС77-48681 от 28.02.2012 г.)

Товарный знак и название «Черные металлы» являются исключительной
собственностью Издательского дома «Руда и Металлы»

Отпечатано с предоставленных готовых файлов
в типографии «Кандлер»
150044, Россия, Ярославль, ул. Полушкина Роща, 16. стр. 66А.
Тел. (4852) 58-76-33

Дата выхода в свет: 12.01.2023. Формат 60x90/8.

Печ. л. 12,75. Офсетная печать. Бумага офсетная.

Тираж 800 экз. Цена свободная

За достоверность рекламной информации ответственность несет рекламодатель
За достоверность научно-технической информации ответственность несет автор
Перепечатка материалов возможна только с письменного разрешения редакции
При перепечатке ссылка на «Черные металлы» обязательна
«Реклама» — материал публикуется на правах рекламы
Публикуемые материалы не обязательно отражают точку зрения редакции
и редсовета журнала

Подписной индекс:

12985 («Пресса России»)

ISSN 0132-0890



9 770132 089006 >

СОДЕРЖАНИЕ

Обогащение руд

- А. Е. Пелевин.* Снижение числа стадий измельчения железных руд путем применения в замкнутом цикле тонкого грохочения. 4

Агломерация

- А. С. Харченко, С. К. Сibaгатуллин, В. И. Сысоев, С. В. Осколков.* Определение рациональных параметров агломерации титаномагнетитовых руд Суроямского месторождения 10

Производство чугуна

- А. С. Харченко, М. И. Сibaгатуллина, Д. М. Чукин, В. А. Бигеев.* Возможность восстановления железа дополнительным водородом, вводимым в поток природного газа доменной плавки 17

Литейное производство

- Н. А. Кидалов, Н. В. Белова, А. А. Белов, А. С. Адамова.* Разупрочнение песчаных смесей на жидкостекольном связующем в результате термоокислительной деструкции комбинированной углеродосодержащей добавки. Часть 1 24

55 лет кафедре материаловедения и технологии материалов

Оренбургского государственного университета

- В. И. Юршев, С. Е. Крылова, А. Г. Кравцов, А. С. Кириленко.* 55 лет кафедре материаловедения и технологии материалов Оренбургского государственного университета. 30
- С. Е. Крылова, А. Ю. Плесовских, И. А. Курносин, И. Ш. Тавилов.* Влияние термической обработки на структуру и свойства вольфрамсодержащего покрытия рабочей части нефтегазового оборудования 36
- В. С. Репях, А. А. Кириченко, В. М. Кушнарeнко, В. И. Юршев.* Анализ причины разрушения ремонтного сварного соединения гибкой насосно-компрессорной трубы 43
- Е. А. Кузьмина, Е. Ю. Приймак, А. С. Кириленко, Я. С. Сёмка.* Влияние силы нагрева при ротационной сварке трением на механические свойства и механизм разрушения при растяжении разнородных сварных соединений сталей 30ХГСА и 40ХМФА 49
- В. С. Репях, В. М. Кушнарeнко, Ю. А. Чирков, С. В. Бойко.* Определение причин разрушения корпуса обратного клапана скважинного оборудования 58

Прокатка и металловедение

- И. С. Васильев, П. Ю. Жихарев, А. В. Пересторонин, В. В. Мухин.* Разработка технологии производства новых материалов на традиционных широкополосных станах горячей прокатки с применением современных методов численного и физического моделирования. Часть 1 63
- А. Б. Круглов, М. Д. Савельев, Б. А. Тарасов.* Зависимость теплофизических свойств сплавов системы Fe – Cr – Al – Si от состава и температуры 72

Нанесение покрытий и защита от коррозии

- О. С. Бондарева, О. С. Добычина.* Обзор систем легирования цинкового расплава для погружного горячего цинкования. 76
- М. А. Леванцевич, Н. Н. Максимченко, Р. Р. Дёма, А. Н. Шаповалов.* Формирование функциональных защитных покрытий на основе хрома методом фрикционного плакирования . . . 86

История металлургии

- Вас. В. Запарий.* Разработка и производство гетерогенной танковой брони на Мариупольском заводе им. Ильича в 1932–1934 гг. 93

Журнал «Черные металлы» по решению ВАК Министерства образования и науки РФ включен в «Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук» по металлургии

Журнал «Черные металлы» включен в Международную базу данных Chemical Abstracts Service

Журнал «Черные металлы» включен в Международную базу данных Scopus, II квартиль (2021)

(по версии SCIMAGO)

"CHERNYE METALLY"/"FERROUS METALS" 12 (1092)-2022

Monthly scientific-technical journal on the actual problems of metallurgy and machine-building

Founders

- "Ore and Metals" Publishing House
- National University of Science and Technology "Moscow Institute of Steel and Alloys"
- Nosov Magnitogorsk State Technical University

With participation of

- Magnitogorsk Iron and Steel Works
- S. P. Korolev Rocket and Space Corporation Energia
- Byelorussian Steel Works — Management Company of "Byelorussian Metallurgical Company" holding
- The State Hermitage museum

Editorial Board

Chief Editor: Valeriy Kolokoltsev
1st Deputy chief editor: Konstantin Kosyrev
Deputy chief editors: Alexandr Vorobiev, Evgeny Tsirulnikov, Anatoly Belenky, Wolfgang Bleck (Germany), Yuriy Bobarikin (Belarus), Oleg Boriskin, Irina Butorina, Nikolay Chichenev, Mikhail Chukin, Dmitry Elansky, Sergey Galkin, Evgeny Goly-Oglu (Denmark), Yakov Gordon (Canada), Ilya Illarionov, Ludmila Kaputkina, Alexandr Kazakov, Alexandr Kolikov, Alexey Korchunov, Alexey Kushnarev, Igor Leushin, Igor Mazur, Tamara Matveeva, Alexey Pelevin, Yury Piotrovsky, Ivan Potravny, Piotr Scheller (Germany), Anatoly Savenok (Belarus), Andrey Serebryakov, Elena Sidorova, Ildar Sultanguzin, Stanislav Tkachenko, Andrey Travyanov, Rafael Valeev, Ekaterina Volynkina, Alexandr Vydrin, Elena Yatsenko, Nikolay Zyuban

Editorial Staff

Deputy chief editor Evgeny Tsirulnikov
Responsible secretary: Elena Rakhmanova

Editorial Address

Actual address: Moscow, Leninsky prospekt 6 bld. 2, office 617
Mailing address: 119049, Russia, Moscow, P.O. Box # 71
Phone/fax: +7-495-955-01-75
E-mail: chermet@rudmet.ru; tsirulnikov@rudmet.ru
Internet: www.rudmet.com

Printed: "Kancler" Printing house
Russia, Yaroslavl, ulitsa Polushkina Roshcha, 16, str. 66A
Publisher: "Ore and Metals" publishing house
Phone/fax: +7-495-638-45-18
E-mail: rim@rudmet.ru

CONTENTS

Mineral Processing

- A. E. Pelevin. Reduction of iron ore grinding stages through the use of fine screening in a closed cycle.....4

Agglomeration

- A. S. Kharchenko, S. K. Sibagatullin, V. I. Sysoev, S. V. Oskolkov. Determination of rational parameters of agglomeration of Suroyam deposit's titanomagnetite ores.....10

Cast Iron Production

- A. S. Kharchenko, M. I. Sibagatullina, D. M. Chukin, V. A. Bigeev. Ability to reduce iron with additional hydrogen introduced into the blast-furnace natural gas stream.....17

Foundry Production

- N. A. Kidalov, N. V. Belova, A. A. Belov, A. S. Adamova. Softening of sand mixtures on a liquid-glass binder as a result of thermal-oxidative destruction of a combined carbon-containing additive. Part 1.....24

55 years of the Department of Materials Science and Materials Technology of Orenburg State University

- S. E. Krylova, A. Yu. Plesovskikh, I. A. Kurnoskin, I. Sh. Tavtilov. Influence of heat treatment on the structure and properties of the tungsten-containing coating of the working part of oil and gas equipment.....36
V. S. Repyakh, A. A. Kirichenko, V. M. Kushnarenko, V. I. Yurshev. Analysis of the cause of destruction of the repair welded joint of a coiled tubing pipe.....43
E. A. Kuzmina, E. Yu. Priymak, A. S. Kirilenko, Ya. S. Syomka. Influence of the heating force in rotational friction welding on mechanical properties and tensile fracture mechanism of dissimilar welded joints of 30KhGSA and 40KhMFA steels.....49
V. S. Repyakh, V. M. Kushnarenko, Yu. A. Chirkov, S. V. Boyko. Determination of the cause of destruction of the check valve body of the downhole equipment.....58

Rolling and Metal Science

- I. S. Vasilyev, P. Yu. Zhikharev, A. V. Perestoronin, V. V. Mukhin. Development of technology for the production of new materials on traditional wide-strip hot rolling mills using modern methods of numerical and physical modeling. Part 1.....63
A. B. Kruglov, M. D. Savelyev, B. A. Tarasov. Dependence of the thermophysical properties of alloys of the Fe - Cr - Al - Si system on the composition and temperature.....72

Coating and Corrosion Protection

- O. S. Bondareva, O. S. Dobychina. Overview of zinc melt alloying systems for hot dip galvanizing.....76
M. A. Levantsevich, N. N. Maksimchenko, P. P. Dyoma, A. N. Shapovalov. Formation of functional protective chromium-based coatings by friction cladding.....86

History of Metallurgy

- Vas. V. Zaparyi. Development and production of heterogeneous tank armor at the Mariupol Plant named after Ilyich in 1932-1934.....93