

ЧЕРНЫЕ МЕТАЛЛЫ

Издательский дом
«Руда и Металлы»

№ 4 (1084), апрель 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»
ОАО «БМЗ — управляющая компания холдинга «БМК»
Государственного Эрмитажа

Официальный информационный орган
Федерального УМО
«Технологии материалов»

Редакционный совет:

Главный редактор: В. М. Колокольников
Первый зам. главного редактора: К. Л. Косырев
Зам. главного редактора: А. Г. Воробьев, Е. В. Цирульников
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. Кушнарев, И. О. Леушин, И. П. Мазур, Ю. Ю. Пиотровский, А. Н. Савенок (Беларусь),
А. В. Серебряков, 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
Редактор: Э. Э. Бабали

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» № 4 (1084), апрель 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: 06.05.2022. Формат 60х90/8.

Печ. л. 9,5. 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

ISSN 0132-0890



9 770132 089006 >

Подписные индексы:

12985 («Пресса России»)

© Оформление. АО «Издательский дом «Руда и Металлы», «Черные металлы», 2022

© Фото для обложки предоставлено пресс-службой РКК «Энергия» им. С. П. Королева

На фото: Ракета с кораблем-модулем «Прогресс М-УМ» с узловым модулем «Причал» перед стартом на космодроме Байконур, ноябрь 2021 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Производство чугуна

- К. В. Голощапов, О. А. Кобелев, А. Е. Титлянов, Р. Ю. Казбеков.* Разработка теплоизолирующей вставки в дутьевой канал воздушной фурмы доменной печи с применением математического моделирования 4

Производство стали

- Р. А. Гизатулин, А. И. Мусатова, Н. В. Мартюшев, Д. В. Валуев, А. И. Карлина.* Разработка и применение нормативных тактовых моделей для модернизации электросталеплавильного цеха. . . 10

Литейное производство

- И. О. Леушин, А. Н. Грачев, Л. И. Леушина, П. М. Явтушенко.* Жидкоподвижная самотвердеющая смесь улучшенной технологичности для изготовления форм и стержней стального литья. 17
- Т. Р. Гильманшина, А. А. Ковалева, С. А. Худоногов, Д. Ю. Крицкий.* Использование графисодержащего шлама в составе противопопригарных покрытий 23

Прокатка и термообработка

- Д. Л. Шварц, А. М. Михайленко, Е. И. Салихьянова.* Оптимизация калибровок валков для прокатки швеллеров. Сообщение 2. Пространство швеллерных калибров 27
- О. Б. Крючков, А. В. Крохалев, П. И. Маленко, Э. В. Седов.* Экспериментально-расчетное исследование эквивалентного коэффициента теплопроводности при нагреве рулона ленты 34

Химические технологии

- И. В. Скворцова, Е. А. Елисеева, С. Л. Березина, В. С. Болдырев.* Особенности анодного поведения хрома в кислотном электролите 41

Нанесение покрытий и обработка поверхности

- Ю. Н. Гойхенберг, Д. С. Полухин.* Структура, свойства и качество композитного никель-фосфорного покрытия, наносимого на стальные подложки различного состава 46

Энергетика и экология

- И. А. Султангузин, П. А. Шомов, А. В. Егоров, И. В. Евсеев, Ю. В. Яворовский.* Топливо-энергетический баланс электрометаллургического мини-комплекса 50
- В. С. Дубинин, Т. А. Степанова, С. О. Шкарупа, В. П. Крупский.* Новые способы производства электроэнергии с использованием пара систем испарительного охлаждения высокотемпературных установок черной металлургии 57

Машиностроительные технологии

- В. Д. Кухарь, В. А. Коротков, С. С. Яковлев, А. А. Шишкина.* Анализ напряженно-деформированного состояния при получении рифлей в стальной цилиндрической заготовке . . . 62
- Е. А. Даниленко, А. С. Ямников, А. А. Маликов.* Влияние упругих деформаций нежесткой коробчатой заготовки, лимитированных конструкцией приспособления, на точность обработанных поверхностей. 66
- В. В. Истоцкий.* Конструктивные особенности концевых фрез с комбинацией режущих и деформирующих зубьев для обработки вязко-пластичных сплавов 71

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 квартал (2020)

(по версии SCIMAGO)

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
- 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, Yury Piotrovsky, Piotr Scheller (Germany), Anatoly Savenok (Belarus), Andrey Serebryakov, 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
Editor: Elvina Babali

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: chernet@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**Production of Cast Iron**

- K. V. Goloshchapov, O. A. Kobelev, A. E. Titlyanov, R. Yu. Kazbekov.* Development of a heat-insulating insert in the blast channel of the blast furnace air tuyere using mathematical modeling 4

Pipe Production

- R. A. Gizatulina, A. I. Musatova, N. V. Martyushev, D. V. Valuev, A. I. Karlina.* Development and application of normative timing models for the modernization of an electric steel-smelting shop.....10

Foundry Production

- I. O. Leushin, A. N. Grachev, L. I. Leushina, P. M. Yavtushenko.* Liquid self-hardening mixture of improved technology for manufacture of molds and cores of steel castings17
T. R. Gilmanshina, A. A. Kovaleva, S. A. Khudonogov, D. Yu. Kritsky. Use of graphite-containing sludge in the composition of non-stick coatings 23

Rolling and Heat Treatment

- D. L. Shvartz, A. M. Mikhailenko, E. I. Salikhyanova.* Optimization of roll calibrations for beam channel rolling. Part 2. Space of channel gauges27
O. B. Kryuchkov, A. V. Krokhalov, P. I. Malenko, E. V. Sedov. Experimental and computational study of the equivalent thermal conductivity coefficient when heating a strip coil34

Chemical Technologies

- I. V. Skvortsova, E. A. Eliseeva, S. L. Berezina, V. S. Boldyrev.* Features of the anodic behavior of chromium in an acidic electrolyte.....41

Coating and Surface Treatment

- Yu. N. Goykhenberg, D. S. Polukhin.* Structure, properties and quality of a composite nickel-phosphorus coating deposited on steel substrates of various compositions46

Energy and Ecology

- I. A. Sultanguzin, P. A. Shomov, A. V. Egorov, I. V. Evseenko, Yu. V. Yavorovsky.* Fuel and energy balance of electrometallurgical mini-complex50
V. S. Dubinin, T. A. Stepanova, S. O. Shkarupa, V. P. Krupsky. New ways to generate electricity using steam evaporative cooling systems for high-temperature iron and steel plants57

Mechanical Engineering Technologies

- V. D. Kukhar, V. A. Korotkov, S. S. Yakovlev, A. A. Shishkina.* Analysis of the stress-strain state when knurling riffles in a steel cylindrical shell62
E. A. Danilenko, A. S. Yamnikov, A. A. Malikov. Influence of elastic deformations of a non-rigid box blanks, limited by the fixture design, on the accuracy of machined surfaces.....66
V. V. Istotsky. Design features of end mills with a combination of cutting and deforming teeth for machining tough-plastic alloys71