

<h1>Черные металлы</h1>	Издательский дом «Руда и Металлы»
№ 6 (1062), июнь 2020 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 Журнала «Stahl und Eisen»	Официальный информационный орган Федерального УМО «Технологии материалов»	

Редакционный совет:
Председатель редакционного совета: О. Н. Сосковец Главный редактор: В. М. Колокольцев Первый зам. главного редактора: К. Л. Косырев Зам. главного редактора: А. Г. Воробьев, Е. В. Цирульников А. М. Беленький, В. Блек (Германия), О. И. Борискин, Р. М. Валеев, Е. П. Волынкина, А. В. Выдрин, С. П. Галкин, Е. А. Голи-Оглу (Дания), Я. М. Гордон (Канада), В. Я. Дашевский, Д. Г. Еланский, Н. А. Зюбан, В. П. Иващенко, 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, И. А. Султангузин, С. С. Ткаченко, А. Я. Травянов, Н. А. Чиченев, М. В. Чукин, П. Шеллер (Германия), А. А. Юсупходжаев
Редакция:
Зам. главного редактора: Е. В. Цирульников Ответственный секретарь: Е. Ю. Рахманова Редактор Г. Е. Форысенкова Набор: Л. М. Чичерина Перевод: А. Л. Алексашин, Ю. А. Платонов, В. А. Цирульников Ответственный за предпечатную подготовку издания: И. В. Воловик

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: chermet@rudmet.ru, tsirulnikov@rudmet.ru www.rudmet.ru	Ежемесячный научно-технический и производственный журнал по актуальным проблемам металлургии и машиностроения «Черные металлы» № 6 (1062) июнь 2020 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 ООО «Формула» 170016, г. Тверь, ул. Трудовая, дом 106 тел: 8 (4822) 633-121; info@formulapress.ru Дата выхода в свет: 26.06.2020. Формат 60×90/8. Печ. л. 9,5. Офсетная печать. Бумага офсетная. Тираж 1000 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
		Подписные индексы: 92650 («Роспечать») 12985 («Пресса России»)
		ISSN 0132-0890  9 770132 089006 >

СОДЕРЖАНИЕ

Производство стали

А. Н. Шаповалов, В. А. Голубцов, И. В. Бакин, И. В. Рябчиков. Применение комплексных модификаторов для снижения загрязненности стали коррозионно-активными неметаллическими включениями. 4

Производство мелющих шаров

С. С. Титов, В. Н. Мещеряков, И. О. Леушин, О. В. Федоров. Разработка технологии и оборудования для индукционной осесимметричной закалки мелющих стальных шаров 11

К 80-летию Нижнетагильского металлургического комбината

А. В. Кушнарев, П. Н. Колпаков, К. В. Миронов, А. А. Форшев. Технология производства и применения пылеугольного топлива в АО «ЕВРАЗ НТМК» 17

В. В. Темников, А. А. Форшев, Е. Г. Калимулина, Л. П. Бабкин. Опыт использования шлака установки десульфурации в доменном производстве 24

М. В. Савельев, О. Ю. Шешуков, А. А. Метелкин, О. И. Шевченко, Д. К. Егиазарян. Применение ионной теории шлаков при расчете десульфурации серы в агрегате ковш-печь 27

А. В. Кушнарев, С. С. Пузырев. Определение влияния параметров заготовки на формоизменение чернового колеса при штамповке методом компьютерного моделирования 31

В. Ю. Рубцов, В. В. Курочкин, О. И. Шевченко. Моделирование прокатки мелющих шаров на валках с непрерывно изменяющимся шагом 36

Прокатка и другие процессы ОМД

М. Лаугвитц, Й. Лохмар, Г. Хирт, С. Сойрен, М. Йохум. Оценка плоскостности толстого листа в автоматическом режиме 41

Х. ван Норель. Новое роботизированное решение компании Tebulo для безопасного резания полосы . . 46

Металловедение и термообработка

А. В. Ключев, В. Ю. Столбов, Н. В. Копцева, Ю. Ю. Ефимова. Оценка прочностных характеристик сталей после термомеханической обработки на основе нейросетевого анализа цифровых фотографий микроструктур 50

В. В. Науменко, А. В. Мунтин, О. А. Баранова, К. С. Сметанин. Исследование влияния термической обработки на механические свойства и стойкость к растрескиванию в среде сероводорода конструкционной стали 56

Экономика и финансы

Г. Ф. Ручкина, Е. Н. Харитонова, В. К. Шайдуллина, Е. Л. Венгеровский. Проблемы введения биржевых механизмов экспорта лома черных металлов в условиях развития электронной коммерции 62

Из истории металлургии

В. А. Бобков. История производства артиллерии на заводах и арсеналах России в XVIII — середине XIX вв. 69

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 (2019) (по версии SCIMAGO)

Журнал «Черные металлы» входит в состав базы Russian Science Citation Index (RSCI) на платформе Web of Science

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
- Byelorussian Steel Works — Management Company of “Byelorussian Metallurgical Company” holding
- The State Hermitage museum
- “Stahl und Eisen” journal

Editorial Board

Chairman of Editorial Board: Oleg Soskovets
 Chief Editor: Valeriy Kolokoltsev
 1st Deputy chief editor: Konstantin Kosyrev
 Deputy chief editors: Alexandr Vorobiev, Evgeny Tsirulnikov, Anatoly Belenky, Wolfgang Bleck (Germany), Oleg Boriskin, Nikolay Chichenev, Mikhail Chukin, Viktor Dashevsky, Dmitry Elansky, Sergey Galkin, Evgeny Goly-Oglu (Denmark), Yakov Gordon (Canada), Ilya Illarionov, Valery Ivashchenko, Ludmila Kaputkina, Alexandr Kazakov, Alexandr Kolikov, Alexey Korchunov, Alexey Kushnarev, Igor Leushin, Igor Mazur, Yury Piotrovsky, Piotr Scheller (Germany), Anatoly Savenok, Ildar Sultanguzin, Stanislav Tkachenko, Andrey Travyanov, Rafael Valeev, Ekaterina Volynkina, Alexandr Vydrin, Anvar Yusupkhodzhaev, Nikolay Zyuban

Editorial Staff

Deputy chief editor Evgeny Tsirulnikov
 Responsible secretary: Elena Rakhmanova
 Editor: Galina Forsyenkova

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: cherm@rudmet.ru; tsirulnikov@rudmet.ru
 Internet: www.rudmet.com

Printed: «Formula» Printing house
 170016, Russia, Tver, ulitsa Trudovaya, 106

Publisher: “Ore and Metals” publishing house
 Phone/fax: +7-495-638-45-18
 E-mail: rim@rudmet.ru

CONTENTS

Steelmaking

- A. N. Shapovalov, V. A. Golubtsov, I. V. Bakin, I. V. Ryabchikov.* The use of complex modifiers to reduce the contamination of steel by corrosion-active non-metallic inclusions 4

Production of grinding balls

- S. S. Titov, V. N. Meshcheryakov, I. O. Leushin, O. V. Fedorov.* Development of technology and equipment for induction axisymmetric hardening of grinding steel balls 11

80th anniversary of Nizny Tagil Iron and Steel Plant (EVEAZ NTMK)

- A. V. Kushnarev, P. N. Kolpakov, K. V. Mironov, A. A. Forshev.* Technology for the production and use of pulverized coal at JSC EVRAZ NTMK 17
- V. V. Temnikov, A. A. Forshev, E. G. Kalimulina, L. P. Babkin.* Experience in the use of a slag desulphurization unit in blast furnace production 24
- M. V. Savelyev, O. Yu. Sheshukov, A. A. Metelkin, O. I. Shevchenko, D. K. Egiazaryan.* The use of the ionic theory of slags in the calculation of desulfurization in the ladle-furnace unit 27
- A. V. Kushnarev, S. S. Puzyrev.* Determination of the influence of the workpiece parameters on the shape change of the rough wheel during stamping by computer simulation 31
- V. Yu. Rubtsov, V. V. Kurochkin, O. I. Shevchenko.* Modeling rolling of grinding balls in rolls with continuously changing pitch. 36

Rolling and Other Metal Forming Processes

- M. Laugwitz, J. Lomar, G. Hirt, S. Soiren, M. Jochum.* Evaluation of thick sheet flatness in automatic mode 41
- H. van Norel.* Tebulo's new robotic solution for safe strip cutting 46

Metal Science and Heat Treatment

- A. V. Klyuev, V. Yu. Stolbov, N. V. Koptseva, Yu. Yu. Efimova.* Assessment of the strength characteristics of steels after thermomechanical treatment based on a neural network analysis of microstructures digital photographs 50
- V. V. Naumenko, A. V. Muntin, O. A. Baranova, K. S. Smetanin.* Study of the effect of heat treatment on mechanical properties and resistance of structural steel to cracking in the hydrogen sulfide environment 56

Economics and Finances

- G. F. Ruchkina, E. N. Kharitonova, V. K. Shaidullina, E. L. Vengerovsky.* Challenges of introducing exchange mechanisms for ferrous scrap export in the context of the electronic commerce development 62

Metallurgical history

- V. A. Bobkov.* The history of the artillery production in factories and arsenals of Russia in the XVIII — mid XIX centuries 69