

ИЗВЕСТИЯ

ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

ЧЕРНАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ

Том 63 Номер 5 2020



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ

ИЗВЕСТИЯ

ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

ЧЕРНАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ

№ 5, 2020

Издается с января 1958 г. ежемесячно

Том 63

ИЗВЕСТИЯ

ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

ЧЕРНАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ

Главный редактор: ЛЕОНТЬЕВ Л.И.
(Российская Академия Наук, г. Москва)

Заместитель главного редактора: ПРОТОПОПОВ Е.В.
(Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк)

Заместитель ответственного секретаря: БАЩЕНКО Л.П.
(Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк)

Члены редакционной коллегии:

АЛЕШИН Н.П. (Российская Академия Наук, г. Москва)
АСТАХОВ М.В. (Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва)
АШИХМИН Г.В. (ОАО «Институт Цветмет-обработка», г. Москва)
БАЙСАНОВ С.О. (Химико-металлургический институт им. Ж.Абишева, г. Караганда, Республика Казахстан)
БЕЛСОВ В.Д. (Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва)
БРДСОВ А.А., редактор раздела «Экономическая эффективность металлургического производства» (ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина», г. Москва)
ВОЛЫНКИНА Е.П. (Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк)
ГЛЕЗЕР А.М. (Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва)
ГОРБАТЮК С.М. (Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва)
ГРИГОРОВИЧ К.В., редактор раздела «Металлургические технологии» (Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, г. Москва)
ГРОМОВ В.В. (Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк)
ДМИТРИЕВ А.Н. (Институт металлургии УрО РАН, г. Екатеринбург)
ДУБ А.В. (ЗАО «Наука и инновации», г. Москва)
ЖУЧКОВ В.И. (Институт металлургии УрО РАН, г. Екатеринбург)
ЗИНГЕР Р.Ф. (Институт Фридриха-Александра, Германия)
ЗИНИГРАД М. (Институт Ариэль, Израиль)
ЗОЛОТУХИН В.И. (Тульский государственный университет, г. Тула)
КОЛМАКОВ А.Г. (Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, г. Москва)

КОЛКОЛЬЦЕВ В.М. (Магнитогорский государственный технический университет, г. Магнитогорск)
КОСТИНА М.В. (Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, г. Москва)
КОСЫРЕН К.Л. (АО «НПО «ЦНИИТМаш», г. Москва)
КУРГАНОВА Ю.А. (МГУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва)
КУРНОСОВ В.В. (Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва)
ЛИНН Х. (ООС «Линн Хай Терм», Германия)
ЛЫСАК В.И. (Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград)
МЫШАЛКИН В.П. (Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева, г. Москва)
МУЛЮКОВ Р.Р. (ФГБУН Институт проблем сверхпластичности металлов РАН, г. Уфа)
МЫШЛЯЕВ Л.П. (Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк)
НИКУЛИН С.А. (Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва)
НУРУМГАЛИЕВ А.Х. (Карагандинский государственный индустриальный университет, г. Караганда, Республика Казахстан)
ОСТРОВСКИЙ О.И. (Университет Нового Южного Уэльса, Сидней, Австралия)
ПИЕТРЕЛЛИ ЛОРИС (Итальянское национальное агентство по новым технологиям, энергетике и устойчивому экономическому развитию, Рим, Италия)
ПОДГОРЮНКИН Г.С., редактор раздела «Ресурсосбережение в черной металлургии» (Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва)
ПЫШМИНЦЕВ И.Ю., редактор раздела «Инновации в металлургическом и лабораторном оборудовании, технологиях и материалах» (Российский научно-исследовательский институт трубной промышленности, г. Челябинск)

РАПЕВ Ц.В., редактор раздела «Стали особого назначения» (Академия наук Болгарии, Болгария)
РУДСКОЙ А.И. (Санкт-Петербургский Политехнический Университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург)
СИВАК В.А. (АО АХК «ВНИИМЕТМАШ», г. Москва)
СИМСЯН Л.М., редактор раздела «Экология и рациональное природопользование» (Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва)
СМИРНОВ Л.А. (ОАО «Уральский институт металлов», г. Екатеринбург)
СОЛОДОВ С.В., редактор раздела «Информационные технологии и автоматизация в черной металлургии» (Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва)
СПИРИН Н.А. (Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург)
ТАНГ ГУСИ (Институт перспективных материалов университета Циньхуа, г. Шэньжень, Китай)
ТЕМЛЯНЦЕВ М.В. (Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк)
ФИЛСОНОВ М.Р., редактор раздела «Материаловедение» (Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва)
ЧУМАНОВ И.В. (Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск)
ШЕШУКОВ С.Ю. (Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург)
ШПАЙДТЕЛЬ М.О. (Швейцарская академия материаловедения, Швейцария)
ЮРЬЕВ А.Б. (ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК», г. Новокузнецк)
ЮСУПОВ В.С. (Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, г. Москва)

Учредители:



Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»



Сибирский государственный индустриальный университет

Настоящий номер журнала подготовлен к печати
Сибирским государственным индустриальным университетом

Адреса редакции:

119991, Москва, Ленинский пр-т, д. 4
Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС».
Тел.: (495) 638-44-11, (499) 236-14-27
E-mail: fermet.misis@mail.ru, ferrous@isis.ru
www.fermet.misis.ru

654007, Новокузнецк, 7.
Кемеровской обл., ул. Кирова, д. 42
Сибирский государственный индустриальный университет,
Тел.: (3843) 74-86-28
E-mail: redjizvz@sibsiu.ru

Журнал «Известия ВУЗов. Черная металлургия» по решению ВАК входит 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».

Журнал «Известия ВУЗов. Черная металлургия» индексируется в международной базе данных Scopus.

Журнал «Известия ВУЗов. Черная металлургия» зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи и массовых коммуникаций ПИ № ФС77-35456

IZVESTIYA

VUZOV. CHERNAYA METALLURGIYA

IZVESTIYA. FERROUS METALLURGY

Editor-in-Chief: LEONTEV L.I.
(Russian Academy of Sciences, Moscow)

Deputy Editor-in-Chief: PROTOPOPOV E.V.
(Siberian State Industrial University, Novokuznetsk)

Deputy Coordinating Editor: BASHCHENKO L.P.
(Siberian State Industrial University, Novokuznetsk)

Editorial Board:

N.P. ALESHIN (Russian Academy of Sciences, Moscow)
G.V. ASHIKHMIN (JSC "Institute
Tsnetmetobrabotka", Moscow)

M.V. ASTAKHOV (National Research Technological
University "MISIS", Moscow)

S.O. BAISANOV (Abishev Chemical-Metallurgical
Institute, Karaganda, Republic of Kazakhstan)

V.D. BELOV (National Research Technological
University "MISIS", Moscow)

A.A. BRODOV, Editor of the section "Economic effi-
ciency of metallurgical production" (IP Bardin Central
Research Institute for Ferrous Metallurgy, Moscow)

I.V. CHUMANOV (South Ural State Research
University, Chelyabinsk)

A.N. DMITRIEV (Institute of Metallurgy, Ural
Branch of the Russian Academy of Sciences, Ural Federal
University, Ekaterinburg)

A.V. DUB (JSC "Science and Innovations", Moscow)

M.R. FILONOV, Editor of the section "Material
science" (National Research Technological University
"MISIS", Moscow)

A.M. GLEZER (National Research Technological
University "MISIS", Moscow)

S.M. GOREFATYUK (National Research Technological
University "MISIS", Moscow)

K.V. GRIGOROVICH, Editor of the section "Metallur-
gical Technologies" (Baikon Institute of Metallurgy and
Materials Science of RAS, Moscow)

V.E. GROMOV (Siberian State Industrial University,
Novokuznetsk)

A.G. KOLMAKOV (Baikon Institute of Metallurgy and
Materials Science of RAS, Moscow)

V.M. KOLOKOL'TSEV (Magnitogorsk State Technical
University, Magnitogorsk)

M.V. KOSTINA (Baikon Institute of Metallurgy and
Materials Science of RAS, Moscow)

K.L. KOSYREV (JSC "NPO "TSNIIMash", Moscow)

YU.A. KURGANOVA (Bauman Moscow State
Technical University, Moscow)

V.V. KURNOSOV (National Research Technological
University "MISIS", Moscow)

H. LINN (Linn High Therm GmbH, Hirschbach,
Germany)

V.I. LYSAK (Volograa State Technical University,
Volograd)

V.P. MESHALKIN (D.I. Mendeleev Russian Chemical-
Technological University, Moscow)

R.R. MULYUKOV (Institute of Metals Superplasticity
Problems of RAS, Ufa)

L.P. MYSHLYAEV (Siberian State Industrial
University, Novokuznetsk)

S.A. NIKULIN (National Research Technological
University "MISIS", Moscow)

A.KH. NURUMGALIEV (Karaganda State Industrial
University, Karaganda, Republic of Kazakhstan)

O.I. OSTROVSKI (University of New South Wales,
Sidney, Australia)

LORIS PIETRELLI (Italian National Agency for
New Technologies, Energy and Sustainable Economic
Development, Rome, Italy)

G.S. PODGORODETSKII, Editor of the section
"Resources Saving in Ferrous Metallurgy" (National
Research Technological University "MISIS", Moscow)

I.YU. PYSHMINTSEV, Editor of the section
"Innovations in metallurgical industrial and
laboratory equipment, technologies and materials"
(Russian Research Institute of the Pipe Industry,
Chelyabinsk)

TS.V. RASHEV, Editor of the section "Superduty steel"
(Bulgarian Academy of Sciences, Bulgaria)

A.I. RUDEKOL (Peter the Great Saint-Petersburg
Polytechnic University, Saint-Petersburg)

O.YU. SHESHUKOV (Ural Federal University,
Ekaterinburg)

L.M. SIMONYAN, Editor of the section "Ecology
Rational Use of Natural Resources" (National Research
Technological University "MISIS", Moscow)

R.F. SINGER (Friedrich-Alexander University, Germany)

P.A. SIVAK (VNIIMETMASH Holding Company,
Moscow)

L.A. SMIRNOV (OJSC "Ural Institute of Metals",
Ekaterinburg)

S.V. SOLODOV, Editor of the section "Information
Technologies and Automatic Control in Ferrous
Metallurgy" (National Research Technological University
"MISIS", Moscow)

M. SPEIDEL (Swiss Academy of Materials, Switzerland)

N.A. SPIRIN (Ural Federal University, Ekaterinburg)
TANG GUO (Institute of Advanced Materials of
Tsinghua University, Shenzhen, China)

M.V. TEMLYANTSEV (Siberian State Industrial
University, Novokuznetsk)

E.P. VOLYNKINA (Siberian State Industrial
University, Novokuznetsk)

A.F. YUR'EV (OJSC "ZSMK", Novokuznetsk)

V.S. YUSUFOV (Baikon Institute of Metallurgy and
Materials Science of RAS, Moscow)

V.I. ZHUCHKOV (Institute of Metallurgy, Ural
Branch of the Russian Academy of Sciences, Ural Federal
University, Ekaterinburg)

M. ZINIGRAD (Ariel University, Israel)

V.I. ZOLOTUKHIN (Tula State University, Tula)

Founders:



National Research Technological University "MISIS"



Siberian State Industrial University

This issue of the journal was prepared by
Siberian State Industrial University

Editorial Addresses:

119991, Moscow, Leninskii prosp., 4
National Research Technological University "MISIS",
Tel.: +7 (495) 638-44-11, +7 (499) 236-14-27
E-mail: fermet.misis@mail.ru, ferrous@sisis.ru
www.fermet.misis.ru

654007, Novokuznetsk, Kemerovo region.
Kirova str., 42
Siberian State Industrial University.
Tel.: +7 (3843) 74-86-28
E-mail: redjizvz@sibsiu.ru

Journal "Izvestiya VUZov. Chernaya Metallurgiya = Izvestiya. Ferrous metallurgy" is included in the "List of the leading peer-reviewed scientific journals and publications. in which should be published major scientific results of dissertations for the degree of doctor and candidate of sciences" by the decision of the Higher Attestation Commission.

The journal "Izvestiya VUZov. Chernaya Metallurgiya = Izvestiya. Ferrous metallurgy" is indexed in Scopus.

Journal "Izvestiya VUZov. Chernaya Metallurgiya = Izvestiya. Ferrous metallurgy" is registered
in Federal Service for Supervision in the Sphere of Mass Communications PI number FS77-35456

СОДЕРЖАНИЕ

Протопопов Е.В. СибГИУ – 90! Гордимся прошлым, развиваемся в настоящем, создаем будущее!	291
--	-----

МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

Протопопов Е.В., Числавлев В.В., Темлянец М.В., Головатенко А.В. Повышение эффективности рафинирования рельсовой стали в промежуточных ковшах МНЛЗ на основе рациональной организации гидродинамических процессов	298
Козырев И.А., Шевченко Р.А., Усольцев А.А., Прудников А.Н., Башченко Л.П. Разработка и моделирование технологического процесса сварки дифференцированно термоупрочненных железнодорожных рельсов. Промышленное опробование	305
Фастыковский А.Р., Никитин А.Г., Беляев С.В., Добрянский А.В. Особенности освоения технологии прокатки-разделения на действующем непрерывном мелкосортном стане	313
Уманский А.А., Дорофеев В.В., Думова Л.В. Разработка теоретических основ энергоэффективного производства железнодорожных рельсов с повышенными эксплуатационными свойствами	318
Приходько О.Г., Деев В.Б., Прусов Е.С., Куценко А.И. Влияние теплофизических характеристик сплава и материала литейной формы на скорость затвердевания отливок	327
Аникин А.Е., Галевский Г.В., Руднева В.В. Исследование технологических режимов эффективной металлизации оксиджелезосодержащих отходов металлургического производства	335

ЭКОЛОГИЯ И РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

Нохрина О.И., Рожихина И.Д., Едильбаев А.И., Едильбаев Б.А. Марганцевые руды Кемеровской области – Кузбасса и методы их обогащения	344
--	-----

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Осколкова Т.Н., Симачев А.С. Влияние импульсно-плазменного модифицирования титаном и бором поверхности твердого сплава VK10KS на его структуру и свойства	351
Зоря И.В., Полегаев Г.М., Старостенков М.Д., Ракитин Р.Ю., Кокханенко Д.В. Влияние примесей легких элементов на процесс кристаллизации никеля в области тройного стыка границ зерен: молекулярно-динамическое моделирование	357

ИННОВАЦИИ В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ ПРОМЫШЛЕННОМ И ЛАБОРАТОРНОМ ОБОРУДОВАНИИ, ТЕХНОЛОГИЯХ И МАТЕРИАЛАХ

Рыбенко И.А., Роос Х.-Г. Метод и инструментальная система для моделирования и оптимизации технологических режимов процессов прямого восстановления металлов в агрегате струйно-эмульсионного типа	364
---	-----

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И АВТОМАТИЗАЦИЯ В ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

Зимин А.В., Золн И.А., Буркова И.В., Зимин В.В. Планирование развертывания сервисных активов, основанное на данных о применении ИТ-сервисов	373
---	-----

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

ГлушакOVA О.В., Черникова О.П., Стрекалова С.А. Интегральная оценка эффективности реализации корпоративных стратегий предприятиями черной металлургии	379
---	-----

ПОДГОТОВКА КАДРОВ ДЛЯ ОТРАСЛИ

Цымбал В.П., Буинцев В.Н., Кожемяченко В.И., Калашников С.Н., Сеченов П.А. Математическое моделирование в учебном процессе, исследованиях и малозатратных металлургических технологиях	389
--	-----

CONTENTS

E.V. Protopopov To the 90 th Anniversary of Siberian State Industrial University	291
---	-----

METALLURGICAL TECHNOLOGIES

E.V. Protopopov, V.V. Chislavlev, M.V. Temlyantsev, A.V. Golovatenko Increasing efficiency of rail steel refining in CCM tundish based on rational organization of hydrodynamic processes	298
N.A. Kozyrev, R.A. Shevchenko, A.A. Usol'tsev, A.N. Prudnikov, L.P. Bashchenko Welding of differentially heat-strengthened rails. Industrial testing	305
A.R. Fastyskovskii, A.G. Nikitin, S.V. Belyaev, A.V. Dobryanskii Features of the rolling-separation technology development on operating continuous small-grade mill	313
A.A. Umanskii, V.V. Dorofeev, L.V. Dumova Theoretical foundations for energy-efficient production of railway rails with improved performance properties	318
O.G. Prikhod'ko, V.B. Deev, E.S. Prusov, A.I. Kutsenko Influence of thermophysical characteristics of alloy and mold material on castings solidification rate	327
A.E. Anikin, G.V. Galevskii, V.V. Rudneva Technological modes of efficient metallization of iron-oxide-containing waste from metallurgical production	335

ECOLOGY AND RATIONAL USE OF NATURAL RESOURCES

O.I. Nokhrina, I.D. Rozhikhina, A.I. Edil'baev, B.A. Edil'baev Manganese ores of the Kemerovo Region – Kuzbass and methods of their enrichment	344
--	-----

MATERIAL SCIENCE

T.N. Oskolkova, A.S. Simachev Influence of pulse-plasma modification of VK10KS solid alloy surface by titanium and boron on its structure and properties	351
I.V. Zorya, G.M. Poletaev, M.D. Starostenkov, R.Yu. Rakitin, D.V. Kokhanenko Effect of light elements impurity on process of nickel crystallization near the triple interface of grain boundaries: A molecular dynamics simulation	357

INNOVATIONS IN METALLURGICAL INDUSTRIAL AND LABORATORY EQUIPMENT, TECHNOLOGIES AND MATERIALS

I.A. Rybenko, Roos Hans-Georg Technological modes of metals direct reduction in an aggregate of jet-emulsion type	364
---	-----

INFORMATION TECHNOLOGIES AND AUTOMATIC CONTROL IN FERROUS METALLURGY

A.V. Zimin, I.A. Zolin, I.V. Burkova, V.V. Zimin Planning service assets deployment based on information about dynamics of IT services use	373
--	-----

ECONOMIC EFFICIENCY OF METALLURGICAL PRODUCTION

O.V. Glushakova, O.P. Chernikova, S.A. Strekalova Integral assessment of corporate strategies implementation efficiency of ferrous metallurgy enterprises	379
---	-----

ПОДГОТОВКА КАДРОВ ДЛЯ ОТРАСЛИ

V.P. Tsybmal, V.N. Buintsev, V.I. Kozhemyachenko, S.N. Kalashnikov, P.A. Sechenov Mathematical modeling in education process, research and low-energy metallurgical technologies	389
--	-----

УДК 621.771.25.04.001.5

ОСОБЕННОСТИ ОСВОЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПРОКАТКИ-РАЗДЕЛЕНИЯ НА ДЕЙСТВУЮЩЕМ НЕПРЕРЫВНОМ МЕЛКОСОРТНОМ СТАНЕ

Фастыковский А.Р.¹, д.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Обработка металлов давлением и металловедение. ЕВРАЗ ЗСМК» (omd@sibsiu.ru)

Никитин А.Г.¹, д.т.н., профессор кафедры «Механика и машиностроение»

Беляев С.В.², д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Литейное производство»

Добрянский А.В.³, старший калибровщик рельсобалочного цеха

¹ Сибирский государственный индустриальный университет
(654007, Россия, Кемеровская обл., Новокузнецк, ул. Кирова, 42)

² Сибирский федеральный университет
(660041, Россия, Красноярск, пр. Свободный, 79)

³ АО «ЕВРАЗ Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат»
(654042 Россия, Кемеровская обл., Новокузнецк, Космическое шоссе, 16)

Аннотация. В настоящее время наблюдается устойчивая тенденция на увеличение объемов промышленного и гражданского строительства. Это в свою очередь вызывает необходимость увеличения производства строительных профилей и в особенности арматуры. Одним из перспективных путей увеличения производства арматуры на действующих прокатных станах является освоение технологии прокатки-разделения. Такая технология позволяет без больших капитальных затрат повысить производительность действующих мелкосортных станов и снизить энергозатраты. Однако, несмотря на кажущуюся простоту, внедрение технологии прокатки-разделения на действующих предприятиях вызывает трудности, связанные с недостаточной освещенностью этого опыта в литературе. Приведен опыт внедрения технологии прокатки-разделения на действующем непрерывном мелкосортном стане. Исследования проведены на оборудовании, имеющемся в цехе и используемом для мониторинга загрузки главных двигателей. Изучены особенности распределения энергозатрат по клетям при классической прокатке и с использованием технологии прокатки-разделения арматуры № 10, № 14 из стали марок 35ГС и 3ПС. На экспериментальных графиках загрузки главных двигателей прокатного стана показано перераспределение энергозатрат по клетям черновой, промежуточной и чистовой групп при использовании технологии прокатки-разделения. Приведены в графическом виде данные по использованию мощности главных двигателей и распределению удельной нагрузки по клетям при классическом способе прокатки и с использованием технологии прокатки-разделения. Анализ полученных данных позволил выявить особенности энергопотребления при освоении технологии прокатки-разделения на действующем производстве. Показано, что использование технологии прокатки-разделения приводит к дополнительной нагрузке клетей чистовых групп. Количественно оценена экономия электроэнергии при внедрении технологии прокатки-разделения. Установлено, что с уменьшением номера арматуры эффективность увеличивается. Уменьшение энергозатрат при освоении технологии прокатки-разделения на действующем производстве связано с уменьшением машинного времени.

Ключевые слова: технология прокатки-разделение, действующее производство, энергозатраты, машинное время, эффективность.

DOI: 10.17073/0368-0797-2020-5-313-317

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы у нас в стране и за рубежом наблюдается устойчивая тенденция на увеличение объемов строительных работ. Разрабатываются новые строительные технологии [1 – 5], в основе которых – использование большого объема железобетонных и металлических конструкций. Такое положение дел вызывает необходимость увеличения объемов выпуска прокатной продукции строительного назначения. Согласно результатам исследований, проведенных в работе [6], производство и потребление на мировом рынке профилей строительного назначения имеет устойчивый рост (8 % в год). Из всего многообразия профилей строительного назначения основная (64,6 %) доля приходится на арматурные профили, прокатываемые

на мелкосортных и мелкосортно-проволочных станах. Одним из перспективных путей повышения производительности мелкосортных станов является освоение технологии прокатки-разделения, которая в последнее время активно внедряется на действующих прокатных станах [7 – 16]. Однако при кажущейся простоте этот процесс растягивается на большой период, что связано с недостаточной его изученностью и малым объемом информации об опыте внедрения рассматриваемой технологии на действующем производстве в технической литературе.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Изучение особенностей использования технологии прокатки-разделения проводили на действующем

непрерывном мелкосортном стане 250-1 АО «ЕВРАЗ ЗСМК». Описание технологического процесса на этом стане, результаты изучения перспектив внедрения технологии прокатки-разделения, разработанные калибровки и данные предварительных исследований приведены в работах [17 – 20]. Целью исследований было изучение особенностей изменения энергопотребления при переводе действующего производства на технологию прокатки-разделения. Измерение токовых нагрузок и противо-ЭДС главных двигателей при прокатке арматуры классическим способом и с использованием технологии прокатки-разделения проводили на имеющемся в цехе оборудовании для мониторинга процесса прокатки. В качестве объектов исследования выбраны арматурные профили № 10, № 14 из стали марок 3ПС и 35ГС.

АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Обработанные результаты замеров токовой нагрузки приведены на рис. 1. Из полученных данных следует, что переход от классической технологии к технологии

прокатки-разделения не привел к существенному увеличению токовой нагрузки черновых и промежуточных клетей несмотря на сокращение количества используемых клетей при прокатке арматуры № 14. Загрузка чистовых клетей, участвующих в разделении (клеть 15) и последующей прокатке в две нитки (клетки 16, 17), увеличилась по сравнению с классической схемой прокатки, однако не превысила допустимый токовый порог. Согласно результатам замеров с увеличением номера арматуры нагрузка некоторых клетей увеличивается, приближаясь к максимально допустимым значениям. Так, при прокатке арматуры № 14 по технологии прокатки-разделения в клетях 6 и 17 токовые нагрузки близки к предельным значениям.

На рис. 1 представлены данные по замеру токовой нагрузки при прокатке арматуры из стали марок 35ГС и 3ПС. Нагрузка при прокатке стали 3ПС ожидаемо меньше, чем при прокатке стали 35ГС. Распределения токовой нагрузки по клетям при прокатке этих сталей практически одинаковы.

Так как токовая нагрузка в черновых и промежуточных клетях изменилась незначительно при реализации

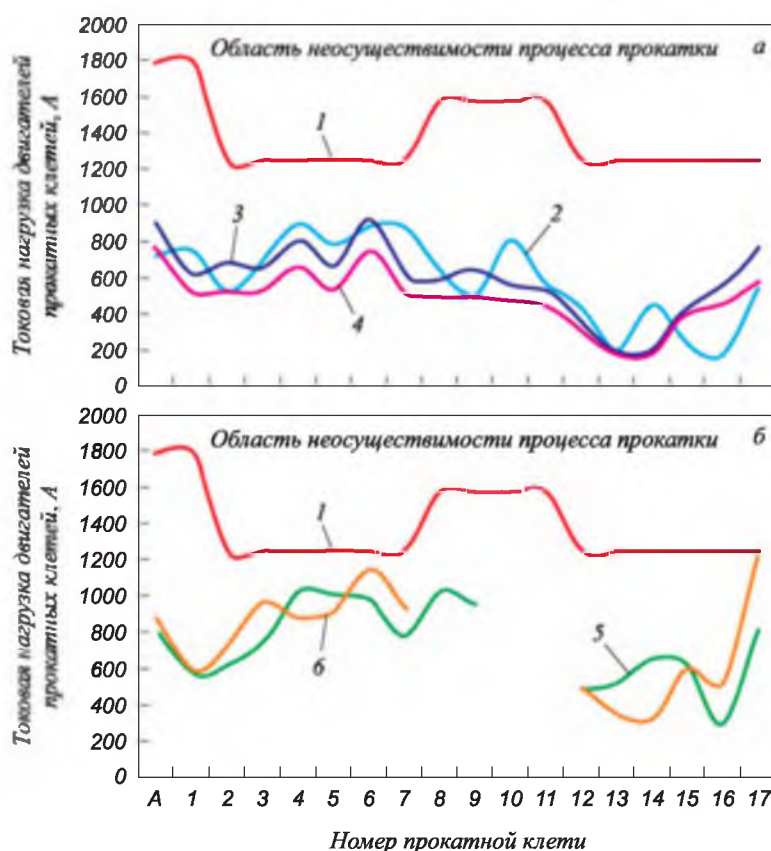


Рис. 1. Ток аварийного отключения главных двигателей (1) и токовая нагрузка главных двигателей непрерывного мелкосортного стана 250-1 АО «ЕВРАЗ ЗСМК» при прокатке арматуры № 10 (а) и № 14 (б) классическим способом, арматура № 10 (2) и № 14 (5) (35ГС) и способом прокатки-разделения, арматура № 10 (3) и № 14 (6) (35ГС), арматура № 10 (4) (3ПС)

Fig. 1. Current load of the main engines of 250-1 continuous small-grade mill of JSC “EVRAZ ZSMK” when rolling reinforcing bars No. 10 (a) and No. 14 (b) by classical and rolling-separation methods: emergency shutdown current of the main engines (1); classical method, reinforcing bars No. 10 (2) and No. 14 (5) (35GS); rolling-separation method, reinforcing bars No. 10 (3) and No. 14 (6) (35GS), reinforcing bars No. 10 (4) (3PS)

технологии прокатки-разделения за исключением чистовых клетей 15 – 17, а скоростной режим, машинное время изменились существенно, то возникла необходимость оценить особенности загрузки двигателей по мощности и удельному расходу энергии. Для этого использовали зависимости и результаты замеров токовой нагрузки $J_{\text{н}}$ якоря и противо-ЭДС $E_{\text{н}}$ главных двигателей:

$$N_{\text{дв}} = E_{\text{н}} J_{\text{н}}; \quad (1)$$

$$E_{\text{н}} = cn\Phi, \quad (2)$$

где c – постоянный коэффициент, зависящий от числа пар полюсов, проводников и числа параллельных витков обмотки якоря; n – частота вращения вала двигателя; Φ – величина магнитного потока.

Полученные результаты загрузки двигателей по мощности и удельному расходу энергии приведены на рис. 2, из которого видно, что мощность, затраченная

на формоизменение по клетям, не превышает допустимый предел. Единственное опасение вызывает клеть 6, где при получении арматуры № 14 прокаткой-разделением двигатель работает с предельной нагрузкой.

Особенность загрузки главных двигателей черновых и промежуточных клетей – нагрузка по мощности при реализации процесса прокатки-разделения на 20 – 25 % выше, чем при классической прокатке, что объясняется большей скоростью прокатки. В чистовых клетях 12 – 14 нагрузка по мощности примерно одинакова при прокатке разными способами, а в клетях 15 – 17 наблюдается увеличение нагрузки при прокатке-разделении примерно на 15 – 25 %.

Удельный расход электроэнергии при прокатке-разделении значительно меньше, чем при классическом способе, что связано с меньшим машинным временем. Общие удельные затраты электроэнергии при прокатке арматур № 10, № 14, полученных разными способами, приведены на рис. 3. Абсолютное снижение затрат электроэнергии составит 27,7 кВт·ч/т для арматурно-

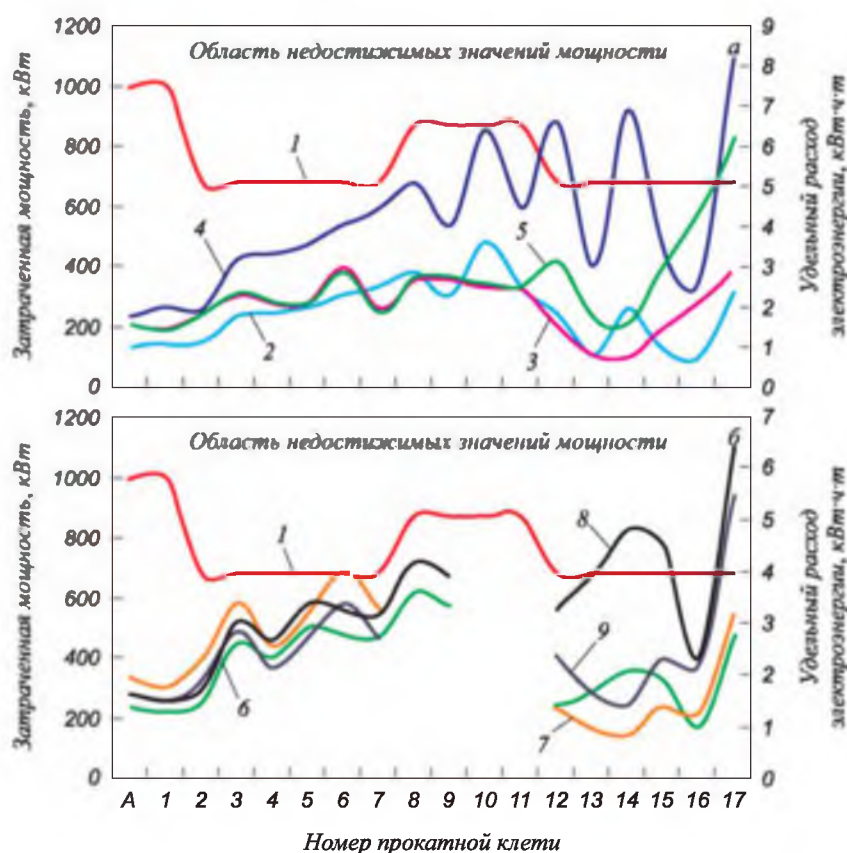


Рис. 2. Ток аварийного отключения главных двигателей (1), затраченная мощность при классическом способе (арматура № 10 (2) и № 14 (6)) и прокатке-разделении (арматура № 10 (3) и № 14 (7)), удельный расход энергии при классическом способе (арматура № 10 (4) и № 14 (8)) и прокатке-разделении (арматура № 10 (5) и № 14 (9)) на непрерывном мелкосортном стане 250-1 АО «ЕВРАЗ ЗСМК»

Fig. 2. Power consumption and specific energy consumption during rolling of reinforcing bars No. 10, No. 14 on 250-1 continuous small-grade mill of JSC "ERAZ ZSMK": emergency shutdown current of the main engines (1); expended power with classical (reinforcing bars No. 10 (2) and No. 14 (6)) and rolling-separation methods (reinforcing bars No. 10 (3) and No. 14 (7)); specific energy consumption for classical (reinforcing bars No. 10 (4) and No. 14 (8)) and rolling-separation methods (reinforcing bars No. 10 (5) and No. 14 (9))

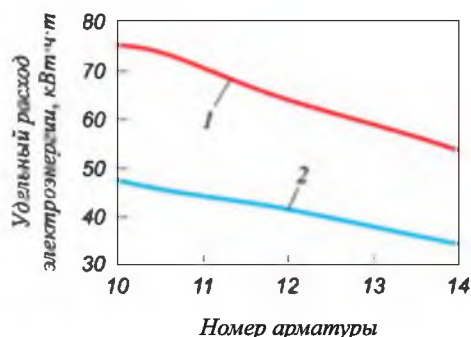


Рис. 3. Удельный расход электроэнергии при получении арматур № 10, № 14 на непрерывном мелкосортом стане 250-1 АО «ЕВРАЗ ЗСМК» классическим способом (1) и способом прокатки-разделения (2)

Fig. 3. Specific energy consumption at production of reinforcing bars No. 10, No. 14 on 250-1 continuous small-grade mill of JSC "EVRAZ ZSMK" using classical method (1) and rolling-separation method (2)

го профиля № 10 и 19,6 кВт·ч/т – для профиля № 14. Наиболее перспективными в плане экономии электроэнергии являются арматурные профили небольших размеров.

При изучении процесса прокатки-разделения рассматривали вопросы качества получаемой готовой продукции. Качество оценивали по соответствию профиля требованиям ГОСТ Р52544 – 2006 и наличию (или отсутствию) дефектов поверхности. Обмер и осмотр арматурных профилей, полученных по технологии прокатки-разделения, подтвердил соответствие профиля требованиям ГОСТ Р52544 – 2006, а использование при продольном разделении принципа резания полностью исключило наличие заусенца, тем самым снизило количество брака.

Выводы

Изучено изменение энергопотребления главных двигателей при переводе непрерывного мелкосортового стана на прокатку арматуры по технологии прокатки-разделения. Установлено, что при переводе действующего стана на технологию прокатки-разделения увеличивается нагрузка по мощности на первые клетки черновой группы и на последние клетки чистовой группы. Доказано, что освоение технологии прокатки-разделения снижает удельные энергозатраты на производство готовой продукции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Brown V.L., Bartholomew C.L. FRP reinforcing bars in reinforced concrete members – closure // *ACI Materials Journal*. 1993. Vol. 90. No. 6. P. 629 – 630.

2. Young-Jun You, Hwan Park, Hyeong-Yeol Kim, Ji-Sun Park. Hybrid effect on tensile properties of FRP rods with various material compositions // *Composite Structures*. 2007. Vol. 80. No. 1. P. 117 – 122.
3. Hughes Brothers. Glass Fiber Reinforced Polymer Rebar. – Hughes Brothers, 1997. – 15 p.
4. Liu J., Wang F., Zhou H., Wang E., Cao P. Study on shear strength of glass fiber-reinforced polymer (GFRP) rebar concrete piles with circular cross-sections // *China Civil Engineering Journal*. 2016. Vol. 49. No. 9. P. 103 – 109.
5. Yazdanbakhsh A., Bank L.C., Chen C. Use of recycled FRP reinforcing bar in concrete as coarse aggregate and its impact on the mechanical properties of concrete // *Construction and Building Materials*. 2016. Vol. 121. P. 278 – 284.
6. Тахаутдинов Р.С., Федонин О.В., Пугачев В.Г. и др. Мировой рынок проката и перспективы развития сортопрокатного производства в России // *Производство проката*. 2008. № 5. С. 22 – 27.
7. Sato R. The rolling of products using slit – rolling process // *NKK Report*. 1980. No. 3. P. 42 – 46.
8. Palmer L.W. Slit rolling technology // *World Steel & Metalworking*. 1984 – 1985. Vol. 6. P. 147 – 149.
9. Matsuo G., Suzuki M. The latest technology of multi-slit rolling // *SEAI Quarterly*. 1995. No. 3. P. 49 – 58.
10. Hewitt E.C. Developments in rolling mill technology. In: *Steel Industrial Eighties. Processes International Conference*, Amsterdam. 1979. P. 150 – 156.
11. Жучков С.М. Особенности конструкции устройства продольного разделения раската для трехниточной прокатки – разделения // *Металлург*. 2000. № 11. С. 42, 43.
12. Жучков С.М. Использование неприводных деформирующих средств в процессе двоянной прокатки с продольным разделением раската в потоке стана // *Сталь*. 1997. № 7. С. 37 – 41.
13. Жучков С.М. Особенности технологической схемы процесса трехниточной прокатки – разделения на мелкосортом стане 320/150 Белорусского металлургического завода // *Металлург*. 2001. № 1. С. 46, 47.
14. Многоручьевая прокатка – разделение / В.М. Клименко, С.П. Ефименко, В.Ф. Губайдулин, Г.М. Шульгин. – М.: Металлургия, 1982. – 167 с.
15. Следнев В.П. Спаренная прокатка сортовых профилей. – М.: Металлургия, 1988. – 167 с.
16. Жучков С.М., Филиппов В.В., Тищенко В.А., Бондаренко А.Н. Направление развития технологии прокатки – разделения на стане 320/150 // *Сталь*. 2001. № 10. С. 33 – 35.
17. Фастыковский А.Р., Уманский А.А. Теория и практика ресурсосберегающих технологий производства сортового проката на действующих непрерывных станах // *Изв. вуз. Черная металлургия*. 2015. Т. 58. № 5. С. 322 – 327.
18. Ефимов О.Ю., Чинокалов В.Я., Фастыковский А.Р., Копылов И.В. Использование технологии прокатки – разделения на стане 250-1 // *Сталь*. 2008. № 8. С. 78 – 80.
19. Фастыковский А.Р. К вопросу продольного разделения полосы неприводными устройствами в потоке прокатного стана // *Производство проката*. 2009. № 3. С. 4 – 8.
20. Фастыковский А.Р., Волков К.В., Перетяшко В.Н., Ефимов О.Ю., Чинокалов В.Я. Совершенствование технологии производства арматурных профилей на непрерывных мелкосортовых станах // *Изв. вуз. Черная металлургия*. 2011. № 10. С. 18 – 21.

Поступила в редакцию 24 декабря 2019 г.
После доработки 24 января 2020 г.
Принята к публикации 31 января 2020 г.

FEATURES OF THE ROLLING-SEPARATION TECHNOLOGY DEVELOPMENT ON OPERATING CONTINUOUS SMALL-GRADE MILL

A.R. Fastyskovskii¹, A.G. Nikitin¹, S.V. Belyaev², A.V. Dobryanskii³

¹ Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Kemerovo Region, Russia

² Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

³ JSC “EVRAZ – Joint West Siberian Metallurgical Plant”, Novokuznetsk, Kemerovo Region, Russia

Abstract. At present, there is a steady tendency to increase volume of industrial and civil construction in Russia and abroad. This in turn makes it necessary to enhance production of structural sections and in particular – reinforcing bar. One of the promising ways to increase production of reinforcing bar at existing rolling mills is development of rolling-separation technology. This technology provides growth in productivity of existing small-grade mills and reduces energy costs without large capital expenditures. However, despite its apparent simplicity, introduction of rolling-separation technology at existing enterprises causes difficulties associated with insufficient coverage of this experience in literature. The article presents experience of introduction of the rolling-separation technology on operating continuous small-grade mill. The research was carried out on equipment available in the workshop and used to monitor load of the main engines. Features of energy costs distribution on stands were studied at classical rolling and with the use of technology of rolling-separation of reinforcing bar No. 10, No. 14 made of 35GS and 3PS steel. Experimental graphs of the main engines of the rolling mill load show redistribution of energy consumption in stands for roughing, intermediate and finishing groups when using rolling-separation technology. Data on application of the main engine power and distribution of the specific load on the stands in classical rolling method and using rolling-separation technology are presented in graphic form. Analysis of the received data allowed us to reveal features of energy consumption at development of rolling-separation technology during operation. It is shown that use of this technology leads to additional load on stands of finishing groups. Energy savings during introduction of rolling-separation technology were quantified, and it was found that with a decrease of the rebar number, efficiency increases. Reduction of energy consumption during development of this technology in current production is associated with a decrease in machine time.

Keywords: rolling-separation technology, operating production, energy consumption, machine time, efficiency.

DOI: 10.17073/0368-0797-2020-5-313-317

REFERENCES

1. Brown V.L., Bartholomew C.L. FRP reinforcing bars in reinforced concrete members – closure. *ACI Materials Journal*. 1993, vol. 90, no. 6, pp. 629–630.
2. Young-Jun You, Hwan Park, Hyeong-Yeol Kim, Ji-Sun Park. Hybrid effect on tensile properties of FRP rods with various material compositions. *Composite Structures*. 2007, vol. 80, no. 1, pp. 117–122.
3. Hughes Brothers. *Glass Fiber Reinforced Polymer Rebar*. Hughes Brothers, 1997, 15 p.
4. Liu J., Wang F., Zhou H., Wang E., Cao P. Study on shear strength of glass fiber-reinforced polymer (GFRP) rebar concrete piles with circular cross-sections. *China Civil Engineering Journal*. 2016, vol. 49, no. 9, pp. 103–109.
5. Yazdanbakhsh A., Bank L.C., Chen C. Use of recycled FRP reinforcing bar in concrete as coarse aggregate and its impact on the mechanical properties of concrete. *Construction and Building Materials*. 2016, vol. 121, pp. 278–284.
6. Takhautdinov R.S., Fedonin O.V., Pugachev V.G. etc. Global market of rolling products and prospects for development of rolling production in Russia. *Proizvodstvo prokata*. 2008, no. 5, pp. 22–27. (In Russ.).
7. Sato R. The rolling of products using slit – rolling process. *NKK Report*. 1980, no. 3, pp. 42–46.
8. Palmer L.W. Slit rolling technology. *World Steel & Metalworking*. 1984–1985, vol. 6, pp. 147–149.
9. Matsuo G., Suzuki M. The latest technology of multi-slit rolling. *SEISI Quarterly*. 1995, no. 3, pp. 49–58.
10. Hewitt E.C. Developments in rolling mill technology. In: *Steel Industrial Eighties. Processes International Conference, Amsterdam*. 1979, pp. 150–156.
11. Zhuchkov S.M. Particularities in design of device for slitting the workpiece in three-strand rolling-slitting process. *Metallurgist*. 2000, no. 11, pp. 42, 43. (In Russ.).
12. Zhuchkov S.M. Use of idler work rolls in two-high rolling with longitudinal stock slitting in mill line. *Steel in Translation*. 1997, vol. 27, no. 7, pp. 28–33.
13. Zhuchkov S.M. Particularities in technological scheme for process of three-strand rolling-slitting at 320/150 wire-rod mill. *Metallurgist*. 2001, no. 1, pp. 46, 47. (In Russ.).
14. Klimenko V.M., Efimenko S.P., Gubaidulin V.F., Shul'gin G.M. *Mnogoruch'evaya prokatka – razdelenie* [Multi-strand rolling – separation]. Moscow: Metallurgiya, 1982, 167 p. (In Russ.).
15. Slednev V.P. *Sparemnaya prokatka sortovykh profilei* [Mated rolling of section bars]. Moscow: Metallurgiya, 1988, 167 p. (In Russ.).
16. Zhuchkov S.M., Filippov V.V., Tishchenko V.A., Bondarenko A.N. Rolling and splitting in the 320/150 mill. *Steel in Translation*. 2001, vol. 30, no. 10, pp. 40–42.
17. Fastyskovskii A.R., Umanskii A.A. Theory and practice of resource-saving technologies of mill bar production at the operating continuous rolling mills. *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2015, vol. 58, no. 5, pp. 322–327. (In Russ.).
18. Efimov O.Yu., Chinokalov V.Ya., Fastyskovskii A.R., Kopylov I.V. Employing rolling and separation technology in the 250-1 mill. *Steel in Translation*. 2008, vol. 38, no. 8, pp. 671–673.
19. Fastyskovskii A.R. On strip longitudinal separation by non-drive devices in the flow of rolling mill. *Proizvodstvo prokata*. 2009, no. 3, pp. 4–8. (In Russ.).
20. Fastyskovskii A.R., Volkov K.V., Peretyat'ko V.N., Efimov O.Yu., Chinokalov V.Ya. Improvement of the production technique of re-bars at continuous light-section rolling mill. *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2011, no. 10, pp. 18–21. (In Russ.).

Information about the authors:

A.R. Fastyskovskii, Dr Sci. (Eng.), Assist. Professor, Head of the Chair “Metal Forming and Metal Science. JSC “EVRAZ ZSMK” (omd@sibsiu.ru)
A.G. Nikitin, Dr Sci. (Eng.), Professor of the Chair of Mechanics and Machine Engineering
S.V. Belyaev, Dr Sci. (Eng.), Professor, Head of the Chair “Foundry”
A.V. Dobryanskii, Senior Calibrator of Rail and Beam Shop

Received December 24, 2020

Revised January 24, 2020

Accepted January 31, 2020

Над номером работали:

Леонтьев Л.И., *главный редактор*

Протопопов Е.В., *заместитель главного редактора*

Ивани Е.А., *заместитель главного редактора*

Бащенко Л.П., *заместитель ответственного секретаря*

Потапова Е.Ю., *заместитель главного редактора по развитию*

Запольская Е.М., *ведущий редактор*

Киселева Н.Н., *ведущий редактор*

Расенец В.В., *верстка, иллюстрации*

Кузнецов А.А., *системный администратор*

Острогорская Г.Ю., *менеджер по работе с клиентами*

Подписано в печать 25.05.2020. Формат 60×90 ¹/₈. Бум. офсетная № 1.
Печать цифровая. Усл. печ. л. 10,0. Заказ. Цена свободная.

Отпечатано в типографии Издательского Дома МИСиС.
119049, г. Москва, Ленинский пр-т, 4.
Тел./факс: (499) 236-76-17, 236-76-35

IZVESTIYA

FERROUS METALLURGY

