

ИЗВЕСТИЯ

ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

ЧЕРНАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ

Том 60 Номер 4 2017



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

ИЗВЕСТИЯ

ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

ЧЕРНАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ

№ 4, 2017

Издается с января 1958 г. ежемесячно

Том 60

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)

Ответственный секретарь: ПОЛУЛЯХ Л.А.
(Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва)

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)
БЕЛОВ В.Д. (Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва)
БРОДОВ 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.Е. (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 Ариэля, Израиль)
ЗОЛОТУХИН В.И. (Тульский государственный университет, г. Тула)

КОЛМАКОВ А.Г. (Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, г. Москва)
КОЛОКОЛЬЦЕВ В.М. (Магнитогорский государственный технический университет, г. Магнитогорск)
КОСТИНА М.В. (Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, г. Москва)
КОСЫРЬЕВ К.Л. (АО «НПО «ЦНИИТМаш», г. Москва)
КУРГАНОВА Ю.А. (МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва)
КУРНОСОВ В.В. (Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва)
ЛАЗУТКИН С.С. (ГК «МетПром», г. Москва)
ЛИНН Х. (ООО «Линн Хай Терм», Германия)
ЛЫСАК В.И. (Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград)
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)
ПОДГОРОДЕЦКИЙ 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)

РАШЕВ Ц.В., редактор раздела «Стали особого назначения» (Академия наук Болгарии, Болгария)
РУДСКОЙ А.И. (Санкт-Петербургский Политехнический Университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург)
СИВАК Б.А. (АО АХК «ВНИИМЕТМАШ», г. Москва)
СИМОНЯН 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 ГУОИ (Институт перспективных материалов университета Циньхуа, г. Шеньжень, Китай)
ТЕМЛЯНЦЕВ М.В. (Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк)
ФИЛОНОВ М.Р., редактор раздела «Материаловедение» (Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва)
ЧУМАНОВ И.В. (Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск)
ШЕШУКОВ О.Ю. (Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург)
ШПАЙДЕЛЬ 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:

119049, Москва, Ленинский пр-т, д. 4
Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»,
Тел./факс: (495) 638-44-11, (499) 236-14-27
E-mail: fermet.misis@mail.ru, ferrous@sisis.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: redjivz@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»

IZVESTIYA

VUZOV. CHERNAYA METALLURGIYA

IZVESTIYA. FERROUS METALLURGY

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

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

Executive secretary: POLULYAKH L.A.
(National Research Technological University "MISIS", Moscow)

Deputy Executive secretary: BASHCHENKO L.P.
(Siberian State Industrial University, Novokuznetsk)

Editorial Board:

N.P. ALESHIN (Russian Academy of Sciences, Moscow)
G.V. ASHIKHMIN (JSC "Institute
Tsvetmetobrabotka", 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
efficiency 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. GORBATYUK (National Research Technological
University "MISIS", Moscow)

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

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

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

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

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

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

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

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

S.S. LAZUTKIN (Group of Companies "MetProm",
Moscow)

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

V.I. LYSAK (Volgograd State Technical University,
Volgograd)

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,
Sydney, Australia)

G.S. PODGORODETSKIL, 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. RUDSKOI (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)

B.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 GUOI (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.B. YUR'EV (OJSC "ZSMK", Novokuznetsk)

V.S. YUSUPOV (Baikov 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:

119049, Moscow, Leninskii prosp., 4
National Research Technological University "MISIS".
Tel./fax: +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.

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

МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

- Лехов О.С., Михалев А.В., Билалов Д.Х., Шевелев М.М. Установка циклической деформации для обжата непрерывнолитых слэбов 257
- Домбровский Ю.М., Степанов М.С. Формирование покрытия карбидного типа при микродуговом ванадировании стали 262

ЭКОЛОГИЯ И РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

- Кузнецов С.Н., Школлер М.Б., Протопопов Е.В., Темлянец М.В., Фейлер С.В. Технологические основы адсорбционного обезвоживания и термохимического окускования конвертерных шламов 268
- Мулявко В.И., Олейник Т.А., Ляшенко В.И. Повышение эффективности работы вертикальных осадительных камер для утилизации пыли металлургического производства 276
- Шинкин В.Н. Расчет параметров листогибочных несимметричных трехвалковых вальцов при производстве стальных труб ... 285

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

- Баранникова С.А., Шляхова Г.В., Зернин Е.А., Кузнецов М.А. Методика определения оптимальной концентрации наноструктурированных порошков в защитном газе 292
- Поletaев Г.М., Новоселова Д.В., Зоря И.В., Старостенков М.Д. Молекулярно-динамическое исследование деформации нанокристаллического никеля 298
- Кормышев В.Е., Иванов Ю.Ф., Громов В.Е., Коновалов С.В., Тересов А.Д. Нанотвердость поверхности износостойкой наплавки, облученной электронным пучком 304

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

- Тягунов А.Г., Барышев Е.Е., Тягунов Г.В., Мушников В.С., Цепелев В.С. Систематизация политерм физических свойств металлических расплавов 310

ИННОВАЦИИ В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ ПРОМЫШЛЕННОМ И ЛАБОРАТОРНОМ ОБОРУДОВАНИИ, ТЕХНОЛОГИЯХ И МАТЕРИАЛАХ

- Гусев А.И., Кибко Н.В., Попова М.В., Козырев Н.А., Осетковский И.В. Наплавка порошковыми проволоками систем C–Si–Mn–Mo–V–B и C–Si–Mn–Cr–Mo–V деталей горнорудного оборудования 318

НАУКА ПРОИЗВОДСТВУ

- Фастыковский А.Р., Федоров А.А. Повышение эффективности производства арматурных профилей на действующем непрерывном мелкосортном стане 324

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И АВТОМАТИЗАЦИЯ В ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

- Швыдкий В.С., Ярошенко Ю.Г., Спирин Н.А., Лавров В.В. Математическая модель процесса обжига рудоугольных окатышей на конвейерной машине», авторы 329

CONTENTS

METALLURGICAL TECHNOLOGIES

- O.S. Lekhov, A.V. Mikhalev, D.Kh. Bilalov, M.M. Shevelev Cyclic deformation unit for continuous slabs reduction 257
- Yu.M. Dombrovskii, M.S. Stepanov Formation of carbide type coating in the process of microarc steel vanadation 262

ECOLOGY AND RATIONAL USE OF NATURAL RESOURCES

- S.N. Kuznetsov, M.B. Shkoller, E.V. Protopopov, M.V. Temlyantsev, S.V. Feiler Technological basics of adsorption dehydration and thermochemical sintering of BOF sludge 268
- V.I. Mulyavko, T.A. Oleinik, V.I. Lyashenko Improvement of the efficiency of vertical settling chambers for recycling of metallurgical dust 276
- V.N. Shinkin Calculation of parameters of the asymmetrical three-roller sheet-bending rolls in steel pipes production 285

MATERIAL SCIENCE

- S.A. Barannikova, G.V. Shlyakhova, E.A. Zernin, M.A. Kuznetsov Method of determining the optimal concentration of nanostructured powders in shielding gas 292
- G.M. Poletaev, D.V. Novoselova, I.V. Zorya, M.D. Starostenkov Molecular-dynamic study of nanocrystalline deformation of nickel 298
- V.E. Kormyshev, Yu.F. Ivanov, V.E. Gromov, S.V. Kononov, A.D. Teresov Surface nanohardness of wear resistant surfacing irradiated by electron beam 304

PHYSICO-CHEMICAL BASICS OF METALLURGICAL PROCESSES

- A.G. Tyagunov, E.E. Baryshev, G.V. Tyagunov, V.S. Mushnikov, V.S. Tsepelev Systematization of physical properties polytherms of metallic melts 310

INNOVATIONS IN METALLURGICAL INDUSTRIAL AND LABORATORY EQUIPMENT, TECHNOLOGIES AND MATERIALS

- A.I. Gusev, N.V. Kibko, M.V. Popova, N.A. Kozyrev, I.V. Osetkovskii Surfacing of details of mining equipment by powder wires of C–Si–Mn–Mo–V–B and C–Si–Mn–Cr–Mo–V systems 318

SCIENCE APPLICATION

- A.R. Fastyskovskii, A.A. Fedorov Improvement of the production efficiency of reinforcement sections at the operating continuous small-section mill 324

INFORMATION TECHNOLOGIES AND AUTOMATIC CONTROL IN FERROUS METALLURGY

- V.S. Shvydkii, Yu.G. Yaroshenko, N.A. Spirin, V.V. Lavrov Mathematical model of burning process of coal-ore pellets on conveyor machine 329

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА АРМАТУРНЫХ ПРОФИЛЕЙ НА ДЕЙСТВУЮЩЕМ НЕПРЕРЫВНОМ МЕЛКОСОРТНОМ СТАНЕ

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

Федоров А.А., к.т.н., доцент кафедры «Обработка металлов давлением
и металловедение. ЕВРАЗ ЗСМК» (fedorov_130585@mail.ru)

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

Аннотация. Рассмотрен перспективный совмещенный метод повышения эффективности производства сортовых прокатных профилей – прокатки-разделения с применением неприводного делительного инструмента, опыт использования которого в условиях действующего производства показал высокую эффективность этого направления в плане снижения себестоимости готовой продукции. Предложены зависимости, которые позволяют определить кратность разделения, а также скоростные условия при решении вопроса промышленного внедрения технологии процесса прокатки-разделения на действующем непрерывном мелкосортном стане 250. Рассмотрен существующий опыт реализации технологии процесса прокатки-разделения на типовом непрерывном мелкосортном стане 250, который позволил выявить особенности в перераспределении коэффициентов вытяжки, а также изменение скоростных условий по группам клетей. Установлено, что исходя из возможностей прокатного оборудования на стане целесообразно осуществлять продольное разделение заготовки на две полосы в чистовой группе клетей. Также определены изменения суммарных коэффициентов вытяжки и скорости прокатки по группам клетей. Приведены данные по изменению машинного времени по арматурным профилям № 10, № 12, № 14 в связи с освоением технологии процесса прокатки-разделения, что в свою очередь способствовало повышению эффективности производства действующего непрерывного мелкосортного стана. Апробированные в промышленности значения суммарных коэффициентов вытяжки и скорости прокатки по группам клетей можно определить из приведенных иллюстраций. Кроме того, при исследовании процесса была проведена опытно-промышленная прокатка арматуры номер № 8 в условиях непрерывного мелкосортного стана 250-1 сортопрокатного цеха АО «ЕВРАЗ ЗСМК». Проведены сопоставления коэффициентов вытяжки и скорости прокатки при производстве арматуры № 8 на непрерывном проволочном стане 250 и непрерывном мелкосортном стане 250 из одинаковой заготовки – квадрат 100 мм. Результаты исследований представлены на рисунке, из которого видно, что использование процесса прокатки-разделения дает возможность при производстве арматуры № 8 на мелкосортном стане использовать на четыре клетки меньше, чем на проволочном стане.

Ключевые слова: повышение эффективности, прокатка-разделение, арматурные профили, действующее производство, непрерывный мелкосортный стан, инновационные методы прокатки-разделения, перспективы развития прокатного производства.

DOI: 10.17073/0368-0797-2017-4-324-328

Необходимость повышения эффективности производства сортовых прокатных профилей стимулирует поиск новых методов обработки и развития известных приемов. Перспективным в этом плане является совмещенный метод прокатки-разделения с применением неприводного делительного инструмента. Использование предлагаемого метода в условиях действующего производства показало высокую эффективность этого направления в плане снижения себестоимости готовой продукции [1 – 6]. Это в свою очередь вызывает повышенный интерес к данному методу обработки со стороны производителей, однако внедрение технологии прокатки-разделения с использованием непрерывного делительного инструмента в условиях действующего производства сопряжено с необходимостью индивидуального подхода в решении вопроса с учетом пропускной способности и технических характеристик имеющегося оборудования [7 – 10].

На начальном этапе следует (исходя из возможностей оборудования) определить количество полос, одновременно прокатываемых в чистовой клети. Для этой цели исходя из пропускной способности оборудования определяется максимально возможное приращение производительности ($\Delta\P$). Используя величину $\Delta\P$, можно найти кратность разделения, число полос и скорость прокатки в чистовой клети, обеспечивающие желаемое приращение производительности, по формуле

$$\Delta\P = \frac{3600MKk_n}{k_p} (nV_{п-р} - V_k), \quad (1)$$

где M – масса погонного метра готового профиля; K – число групп чистовых клетей; n – число полос после продольного разделения; k_n – коэффициент использования стана; k_p – расходный коэффициент металла; $V_{п-р}$ – скорость прокатки в чистовой клети при про-

катке-разделении; V_k – скорость в чистовой клети при классической прокатке.

Скорость в чистовой клети при освоении процесса прокатки-разделения с использованием неприводного делительного инструмента в зависимости от числа полос после разделения и величины приращения производительности можно найти по формуле

$$V_{п-р} = \frac{V_k}{n} \left(1 + \frac{\Delta\P}{\Pi_k} \right), \quad (2)$$

в которой Π_k – производительность стана при классическом способе прокатки.

Прокатка в две полосы в чистовой группе существенно изменяет силовые и скоростные условия: момент и усилие прокатки после продольного разделения увеличиваются, скорость уменьшается. Такие изменения требуют при определении скорости $V_{п-р}$ соизмерять технически возможный нижний предел скорости прокатки и мощности двигателей.

При реализации процесса прокатки-разделения суммарный коэффициент вытяжки в чистовых клетях увеличивается в зависимости от числа разделяемых полос, это приводит к перераспределению коэффициентов вытяжки между группами клетей в сторону уменьшения суммарных коэффициентов вытяжки в черновых и промежуточных группах, а в некоторых случаях к возможности исключения клетей промежуточной группы.

Уменьшение длины готового профиля за счет продольного разделения на n полос, перераспределение коэффициентов вытяжки между группами клетей приводят к необходимости увеличения скорости прокатки в черновой группе клетей. Скорость в последней клети промежуточной группы в зависимости от числа разделяемых полос можно определить по формуле

$$V_{пром} = \frac{V_{п-р}}{\mu_{\Sigma_{чист}}}, \quad (3)$$

где $\mu_{\Sigma_{чист}}$ – суммарный коэффициент вытяжки в чистовой группе клетей с учетом кратности разделения.

С учетом приведенных выше рассуждений был рассмотрен вопрос о перспективах использования технологии прокатки-разделения на действующем непрерывном мелкосортном стане 250-1 сортопрокатного цеха АО «ЕВРАЗ ЗСМК» [11 – 14]. В качестве базовой рассмотрена технология, предусматривающая разделение в неприводной делительной арматуре [15 – 18]. Установлено, что исходя из возможностей оборудования на стане целесообразно осуществлять продольное разделение заготовки на две полосы в чистовой группе клетей. Определены изменения суммарных коэффициентов вытяжки и скорости прокатки по группам клетей. Для сопоставления скорости прокатки при классическом методе получения арматурных профилей на стане и при прокатке-разделении использован коэффициент изменения скорости прокатки, который определяется по формуле

$$k_v = \frac{V_{п-р} - V_k}{V_k} 100 \%. \quad (4)$$

Апробированные в промышленных условиях значения суммарных коэффициентов вытяжки и скорости прокатки по группам клетей можно определить, используя результаты, представленные на рис. 1, 2. Согласно приведенным данным при реализации процесса прокатки-разделения суммарный коэффициент вытяжки в чистовых клетях увеличивается в 1,8 – 2,0 раза при соответствующем уменьшении в черновой и промежуточной группах. При прокатке арматуры № 12 из промежуточной группы удалось исключить две клетки

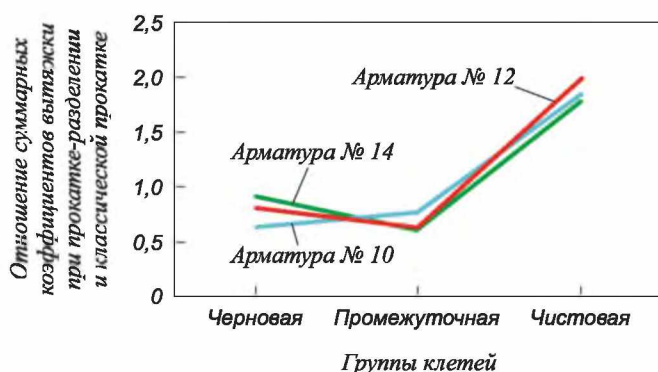


Рис. 1. Относительное изменение суммарных коэффициентов вытяжки по группам клетей при использовании прокатки-разделения и классической прокатки в условиях непрерывного мелкосортного стана сортопрокатного цеха 250-1 АО «ЕВРАЗ ЗСМК»

Fig. 1. Relative change of the total coefficients of drawing by groups of stands when using the rolling-separation and classic rolling under conditions of continuous small-section mill of rolling shop 250-1 of JSC “EVRAZ ZSMK”

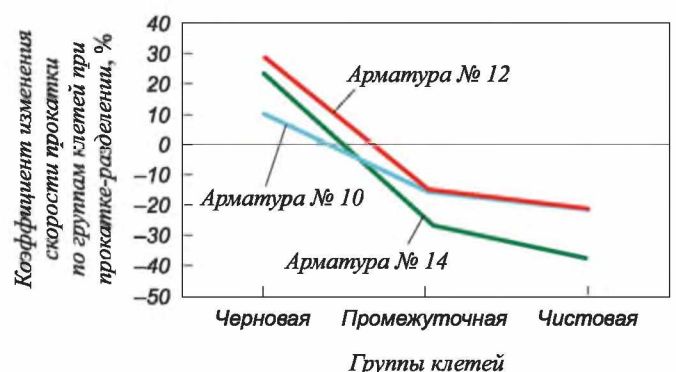


Рис. 2. Изменение скорости прокатки по группам клетей при реализации процесса прокатки-разделения в условиях непрерывного мелкосортного стана 250-1 сортопрокатного цеха АО «ЕВРАЗ ЗСМК»

Fig. 2. Change of the rolling speed by rolling groups in the implementation of the rolling process – separation in conditions of continuous small-section mill 250-1 of the rolling shop of JSC “EVRAZ ZSMK”

(клетки 10 и 11), при прокатке арматуры № 14 промежуточная группа полностью не используется. Перераспределение суммарных коэффициентов вытяжки по группам явилось причиной изменения скоростного режима: уменьшение скорости прокатки в чистовых и промежуточных группах клеток (особенно существенно для арматуры № 14), увеличение скорости прокатки в черновой группе.

В итоге при освоении процесса прокатки-разделения удалось уменьшить машинное время при производстве арматурных профилей № 10 – № 14 в условиях действующего непрерывного мелкосортного стана 250-1 сортопрокатного цеха АО «ЕВРАЗ ЗСМК» (рис. 3). Уменьшение машинного времени привело к увеличению производительности стана для арматуры № 10 на 42 %, № 12 – на 41 %, № 14 – на 27 %, что в свою очередь способствовало повышению эффективности производства действующего непрерывного мелкосортного стана.

Проведенные по формуле (1) расчеты прироста производительности при использовании процесса прокатки-разделения дали следующие результаты: для арматурного профиля № 10 абсолютный прирост производительности составил 32,5 т/ч, относительное увеличение – 47 %, для профиля № 12 эти показатели соответственно составили 47,3 т/ч и 48 %, для профиля № 14 – 29,7 т/ч и 31 %. Полученные расчетным путем показатели несколько превышают фактические значения, что связано с возможными непредвиденными простоями оборудования, имеющими место на действующем производстве, особенно во время отработки технологии.

Пользуясь зависимостями (2) – (4), определим другие важные показатели процесса прокатки-разделения. Для обеспечения заданной производительности определим скорости прокатки в последних клетях промежуточной ($V_{пр}$) и чистовой ($V_{ч-р}$) группах. Так, для ар-

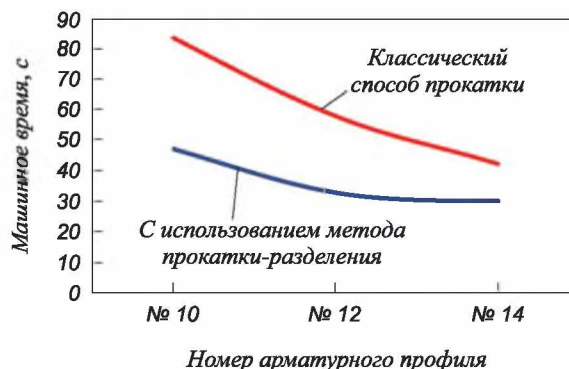


Рис. 3. Машинное время при прокатке арматуры № 10, № 12, № 14 классическим способом и методом прокатки-разделения с использованием неприводного делительного инструмента в условиях непрерывного мелкосортного стана 250-1 сортопрокатного цеха АО «ЕВРАЗ ЗСМК»

Fig. 3. Machine time during rolling of rebars no. 10, no. 12, no. 14 by the classical method and the rolling–separation method with the use of non-driving pitch of the instrument in conditions of continuous small-section mill 250-1 of the rolling shop of JSC “EVRAZ ZSMK”

матурного профиля № 10 скорость в последней клетке промежуточной группы составит 4,18 м/с, в последней клетке чистовой группы – 12,8 м/с; для профиля № 12 эти показатели соответственно составили 4,26 м/с и 13 м/с, для профиля № 14 – 3,7 м/с и 11,5 м/с.

Расчетные значения коэффициента изменения скорости прокатки –25 % характерны для арматурных профилей № 10 и № 12, –32 % для профиля № 14. Изменение числа кратности разделяемых полос до трех на действующем стане крайне затруднительно, так как возникают большие проблемы с пропускной способностью нагревательных устройств и линий отделки, а также может потребоваться замена некоторых главных двигателей черновых клеток. Поэтому, как показывает опыт освоения процесса прокатки-разделения на дейст-

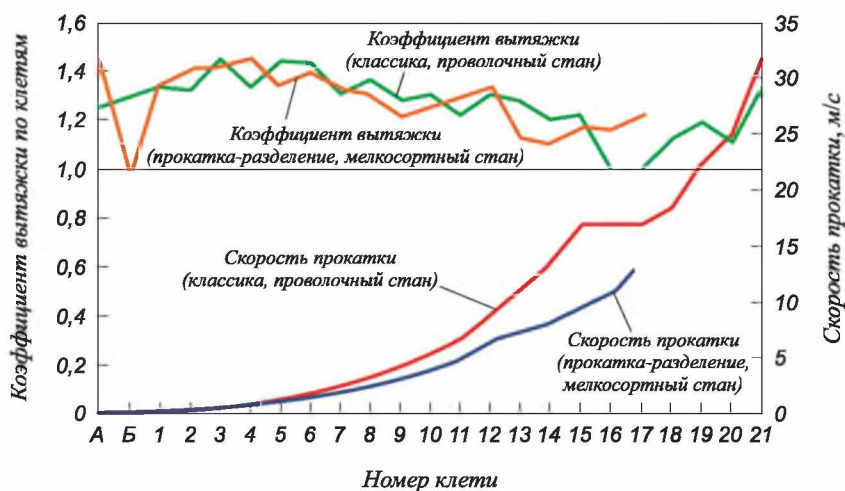


Рис. 4. Распределение коэффициентов вытяжки и скоростей по клетям при производстве арматуры № 8 классическим способом на проволочном стане и прокаткой-разделением на непрерывном мелкосортном стане 250-1 сортопрокатного цеха АО «ЕВРАЗ ЗСМК»

Fig. 4. Distribution of extraction coefficients and speeds by stands at production of rebar no. 8 by the classical method on a wire mill and by rolling–separation on the continuous small-section mill 250-1 of the rolling shop of JSC “EVRAZ ZSMK”

вующих станах [6 – 9], увеличение кратности разделяемых полос больше двух, зачастую, экономически не целесообразно, так как приводит к большим материальным затратам.

Отдельно необходимо остановиться на опыте освоения прокатки арматуры № 8 в условиях непрерывного мелкосортного стана. Обычно этот профиль прокатывается на проволочных станах и поставляется в бунтах, что не совсем удобно для большинства мелкооптовых потребителей, для которых более привлекательна продукция в прутках. Эта проблема решается при использовании процесса прокатки-разделения, что позволяет увеличить суммарный коэффициент вытяжки и без существенных материальных затрат освоить производство арматуры № 8 на непрерывном мелкосортном стане.

Пользуясь таким подходом, осуществили опытно-промышленную прокатку арматуры № 8 в условиях непрерывного мелкосортного стана 250-1 сортопрокатного цеха АО «ЕВРАЗ ЗСМК». Проведены сопоставления коэффициентов вытяжки и скорости прокатки при производстве арматуры № 8 на непрерывном проволочном стане 250 и непрерывном мелкосортном стане 250 из одинаковой заготовки – квадрат 100 мм. Результаты исследований показаны на рис. 4, из которого видно, что использование процесса прокатки-разделения дает возможность при производстве арматуры № 8 на мелкосортном стане использовать на четыре клетки меньше чем на проволочном стане. Опыт освоения производства данной арматуры на действующем непрерывном мелкосортном стане показал, что при сопоставимой с проволочным станом производительности (несмотря на меньшую скорость прокатки в чистовой клетке) снижаются эксплуатационные расходы на оборудование, энергозатраты, создаются условия производства экономически выгодной, конкурентоспособной продукции (рыночная стоимость арматуры № 8 в прутках на 1000 – 1500 руб/т выше, чем в бунтах).

Результаты исследований, приведенные в настоящей работе, согласуются с данными, известными из других литературных источников [19, 20].

Выводы. Предложены зависимости для определения скорости прокатки в чистовой клетке при реализации процесса прокатки-разделения в условиях действующего прокатного стана, учитывающие кратность разделения и технически возможное увеличение производительности. Оценено повышение эффективности производства за счет увеличения производительности при внедрении процесса прокатки-разделения в условиях действующего непрерывного мелкосортного стана 250-1 сортопрокатного цеха АО «ЕВРАЗ ЗСМК». Экспериментально доказана возможность расширения сортамента действующих мелкосортных станов за счет освоения мелких арматурных профилей благодаря использованию процесса прокатки-разделения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Жучков С.М. Использование неприводных деформирующих средств в процессе двоянной прокатки с продольным разделением раската в потоке стана // *Сталь*. 1997. № 7. С. 37 – 41.
2. Ефимов О.Ю., Чинокалов В.Я., Фастыковский А.Р., Копылов И.В. Использование технологии прокатки-разделения на стане 250-1 // *Сталь*. 2008. № 4. С. 78 – 80.
3. Жучков С.М. Особенности технологической схемы процесса трехниточной прокатки-разделения на мелкосортном стане 320/150 Белорусского металлургического завода // *Металлург*. 2001. № 1. С. 46, 47.
4. Жучков С.М., Бондаренко А.М., Асапов В.Н., Дышлевич В.Ф. Совершенствование технологии двоянной прокатки арматурных профилей на стане 320/150 // *Сталь*. 1994. № 2. С. 48 – 51.
5. 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.
6. Жучков С.М. Использование резерва втягивающих сил трения // *Литье и металлургия*. 2002. № 4. С. 166 – 174.
7. Хохлов С.А., Перунов Г.П., Инарович Ю.В. и др. Разработка и внедрение оптимальных технологических режимов прокатки на мелкосортно-проволочном стане 320/150 ОАО «Амурметалл» // *Производство проката*. 2009. № 11. С. 14 – 17.
8. Перунов Г.П., Хохлов С.А., Смирнов В.К. и др. Оптимизация технологических режимов прокатки-разделения на стане 320/150 ОАО «Амурметалл» // *Производство проката*. 2008. № 9. С. 20 – 24.
9. Luduga L., Kolodziej K. Kalibrowanie i technologia walcowania kształtowników paduwojnych z rozcinaniem narozaco // *Przegląd Instytutu metalurgii Żelaza*. 1977. Vol. 29. No. 1. P. 17 – 24.
10. Palmer L.W. Slit Rolling technology // *World Steel & Metalworking*. 1984. 1985. Vol. 6. P. 147 – 149.
11. Следнев В.П. Спаренная прокатка сортовых профилей. – М.: Металлургия, 1988. – 167 с.
12. Sato R. The rolling of products using slit – rolling process // *NKK report*. 1980. No. 3. P. 42 – 46.
13. Matsuo G., Suzuki M. The latest Technology of Multy – slit rolling // *SEASI Quarterly*. 1995. No. 3. P. 49 – 58.
14. Клименко В.М. Многолучевая прокатка-разделение. – М.: Металлургия, 1982. – 167 с.
15. Efimov O.Y., Fastyskovskii A.R., Chinokalov V.Y., Kopylov I.V. Introduction of a splitting operation in rolling on a continuous small-bar mill // *Steel in Translation*. 2008. Vol. 38. No. 4. P. 327, 328.
16. Ефимов О.Ю., Чинокалов В.Я., Фастыковский А.Р., Копылов И.В., Махрин А.Н. Использование технологии прокатки-разделения на стане 250 – 1 // *Сталь*. 2008. № 8. С. 78 – 80.
17. Фастыковский А.Р., Перетятко В.Н., Фастыковский Д.А. Особенности продольного разделения сортовых заготовок неприводными дисковыми ножами в потоке прокатного стана // *Металлург*. 2003. № 3. С. 51 – 53.
18. Фастыковский А.Р., Ефимов О.Ю., Чинокалов В.Я. Опыт использования технологии прокатки-разделения для повышения конкурентоспособности прокатной продукции. – В кн.: *Международная научно-практическая конференция. Стратегия антикризисного управления экономическим развитием Российской Федерации*. – Пенза: изд. ПГУ, 2009. С. 131 – 133.
19. Перунов Г.П., Лиманкин В.В., Волков К.В. Освоение технологии прокатки-разделения арматурной стали на мелкосортно-проволочном стане 320/150 ОАО «Амурметалл» // *Производство проката*. 2006. № 10. С. 16 – 19.
20. Перунов Г.П., Хохлов С.А., Волков К.В. и др. Внедрение технологии прокатки-разделения арматурных профилей на стане 320/150 // *Сталь*. 2010. № 5. С. 90 – 92.

Поступила 24 ноября 2016 г.

IMPROVEMENT OF THE PRODUCTION EFFICIENCY OF REINFORCEMENT SECTIONS AT THE OPERATING CONTINUOUS SMALL-SECTION MILL

A.R. Fastyskovskii, A.A. Fedorov

Siberian State Industrial University, Russia, Novokuznetsk

Abstract. The article considers a promising combined method for increasing the production efficiency of the section rolling profiles – rolling-division with the use of non-powered dividing tool, the experience in the use of which in the conditions of production has shown high efficiency of this direction in terms of reducing the cost of the finished product. The dependences, which allow to define the frequency separation, and high-speed conditions when deciding industrial introduction of process technology of rolling-separation on current continuous small-section mill 250. The existing experience of implementing the rolling process-separation model of continuous small-grade mill 250 has been reviewed, which allowed to reveal the peculiarities in the distribution coefficients of drawing and changing speed conditions for groups of stands. It was found that on the basis of capacity of rolling equipment on the mill, it is advisable to carry out the longitudinal separation of the workpiece into two bands in the finishing group of stands, and changes in the total coefficients of drawing and rolling speed on rolling groups were also identified. The article presents data on changes in the machine time for reinforcing the profile no. 10, no. 12, no. 14 in connection with the development of technology in the process of rolling-division, which in turn contributed to increasing effectively-STI production of existing continuous small-section mill. Proven in the industry values of the total coefficients of drawing and rolling speed on rolling groups can be determined from the shown illustrations. In addition, the study process was carried out for experimental – industrial rolling of rebar no. 8 under conditions of continuous light section mill 250-1 of the rolling shop of JSC “EVRAZ ZSMK”. The authors have compared the coefficients of drawing and rolling speed in the production of rebar no. 8 on the continuous wire mill 250 and a continuous small-section mill 250 from the same piece – square 100 mm. The results are provided in the illustration, which shows that the use of the rolling process-separation allows to use four stands less than at the rod mill at production of rebar no. 8 at a small-section mill.

Keywords: improving the efficiency, rolling-separation, reinforcement profiles, current production, continuous small-section mill, innovative methods of rolling-separation, development of rolling manufacture.

DOI: 10.17073/0368-0797-2017-4-324-328

REFERENCES

1. 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.
2. Efimov O.Yu., Chinokalo V.Ya., Fastyskovskii A.R., Kopylov I.V. Introduction of a splitting operation in rolling on a continuous small-bar mill. *Steel in Translation*. 2008, vol. 36, no. 4, pp. 327–328.
3. 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.).
4. Zhuchkov S.M., Bondarenko A.M., Asapov V.N., Dyshlevich V.F. Improvement of split rolling of rebar at 320/150 mm mill. *Stal'*. 1994, no. 2, pp. 48–51. (In Russ.).
5. Zhuchkov S.M., Filippov V.V., Tishchenko V.A., Bondarenko A.N. Trends in development of technology for rolling-slitting. *Stal'*. 2001, no. 10, pp. 33–35. (In Russ.).
6. Zhuchkov S.M. Use of the reserve of retracting frictional forces. *Lit'e i metallurgiya*. 2002, no. 4, pp. 166–174. (In Russ.).
7. Khokhlov S.A., Perunov G.P., Inatovich Yu.V. etc. Development and introduction of optimal technological modes of rolling on the small-section wire mill 320/150 of JSC “Amurmetall”. *Proizvodstvo prokata*. 2009, no. 11, pp. 14–17. (In Russ.).
8. Perunov G.P., Khokhlov S.A., Smirnov V.K. etc. Optimization of the technological modes of rolling-separation on the mill 320/150 of JSC “Amurmetall”. *Proizvodstvo prokata*. 2008, no. 9, pp. 20–24. (In Russ.).
9. Luduga L., Kolodziej K. Kalibrowanie i technologia walcowania kształtowników paduwojnych z rozcinaniem nagoraco. *Przegląd Instytutu metallurgii Żelazo*. 1977, vol. 29, no. 1, pp. 17–24. (In Polish).
10. Palmer L.W. Slit-rolling technology. *World Steel & Metalworking*. 1984, 1985, vol. 6, pp. 147–149.
11. Slednev V.P. *Sparennaya prokatka sortovykh profilei* [Twin rolling of profiled sections]. Moscow: Metallurgiya, 1988, 167 p. (In Russ.).
12. Sato R. The rolling of products using slit – rolling process. *NKK report*. 1980, no. 3, pp. 42–46.
13. Matsuo G., Suzuki M. The latest technology of multi – slit rolling. *SEAIISI Quaterly*. 1995, no. 3, pp. 49–58.
14. Klimenko V.M. *Mnogoruch'evaya prokatka-razdelenie* [Multi-strand rolling-separation]. Moscow: Metallurgiya, 1982, 167 p. (In Russ.).
15. Efimov O.Y., Fastyskovskii A.R., Chinokalo V.Y., Kopylov I.V. Introduction of a splitting operation in rolling on a continuous small-bar mill. *Steel in Translation*. 2008, vol. 38, no. 4, pp. 327–328.
16. Efimov O.Yu., Chinokalo V.Ya., Fastyskovskii A.R., Kopylov I.V., Makhurin A.N. Employing rolling and separation technology in the 250-1 mill. *Steel in Translation*. 2008, vol. 38, no. 8, pp. 671–673.
17. Fastyskovskii A.R., Peretyat'ko V.N., Fastyskovskii D.A. Aspects of the lengthwise cutting of rolled sections by undriven rotary shears in the mill line. *Metallurgist*. 2003, vol. 47, no. 3-4, pp. 120–124.
18. Fastyskovskii A.R., Efimov O.Yu., Chinokalo V.Ya. Experience in using rolling-separation technology to improve the competitiveness of rolling products. In: *Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya. Strategiya antikrizisnogo upravleniya ekonomicheskim razvitiem rossiiskoi federatsii* [International Sci.-Practical Conf. Strategy of anti-crisis management of the economic development of the Russian Federation]. Penza: PGU, 2009, pp. 131–133. (In Russ.).
19. Perunov G.P., Limankin V.V., Volkov K.V. Mastering the technology of rolling-separating of reinforcing steel on a small-section wire mill 320/150 of JSC “Amurmetall”. *Proizvodstvo prokata*. 2006, no. 10, pp. 16–19. (In Russ.).
20. Perunov G.P., Khokhlov S.A., Volkov K.V. etc. Introduction of rolling-separation technology for reinforcing bars on the mill 320/150. *Stal'*. 2010, no. 5, pp. 90–92. (In Russ.).

Information about the authors:

A.R. Fastyskovskii, Dr Sci. (Eng.), Assist. Professor, Head of the Chair “Metal Forming and Metal Science. OJSC “EVRAZ ZSMK” (omd@sibsiu.ru)
A.A. Fedorov, Cand. Sci. (Eng.), Assist. Professor of the Chair “Metal Forming and Metal Science. OJSC “EVRAZ ZSMK” (fedorov_130585@mail.ru)

Received November 24, 2016

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*

Олендаренко Н.П., *ведущий редактор*

Неунывахина Д.Т., *ведущий редактор*

Расенец В.В., *верстка, иллюстрации*

Кузнецов А.А., *системный администратор*

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

Подписано в печать 26.04.2017. Формат 60×90 ¹/₈. Бум. офсетная № 1.
Печать цифровая. Усл. печ. л. 10,5. Заказ 5492. 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

CYCLIC DEFORMATION UNIT FOR CONTINUOUS SLABS REDUCTION

FORMATION OF CARBIDE TYPE COATING IN THE PROCESS OF MICROARC STEEL VANADATION

SURFACING OF DETAILS OF MINING EQUIPMENT BY POWDER WIRES OF C – Si – Mn – Mo – V – B AND C – Si – Mn – Cr – Mo – V SYSTEMS

TECHNOLOGICAL BASICS OF ADSORPTION DEHYDRATION AND THERMOCHEMICAL SINTERING OF BOF SLUDGE

IMPROVEMENT OF THE EFFICIENCY OF VERTICAL SETTLING CHAMBERS FOR RECYCLING OF METALLURGICAL DUST

METHOD OF DETERMINING THE OPTIMAL CONCENTRATION OF NANOSTRUCTURED POWDERS IN SHIELDING GAS

MOLECULAR-DYNAMIC STUDY OF NANOCRYSTALLINE DEFORMATION OF NICKEL

SURFACE NANOHardNESS OF WEAR RESISTANT SURFACING IRRADIATED BY ELECTRON BEAM

SYSTEMATIZATION OF PHYSICAL PROPERTIES POLYTHERMS OF METALLIC MELTS

IMPROVEMENT OF THE PRODUCTION EFFICIENCY OF REINFORCEMENT SECTIONS AT THE OPERATING CONTINUOUS SMALL-SECTION MILL

MODELING OF THERMAL PROCESSES DURING SURFACE TREATMENT OF METAL PRODUCTS WITH HIGH CONCENTRATED ENERGY FLOWS

MATHEMATICAL MODEL OF BURNING PROCESS OF COAL-ORE PELLETS ON CONVEYOR MACHINE

NUMERICAL MODELING OF THE PROCESS OF FILLING THE CCM MOLD WITH METAL