

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ ЧЕРНАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ

IZVESTIYA. FERROUS METALLURGY

fermet.misis.ru

2023 Том 66 № 2
Vol. No.

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Многослойные аморфно-кристаллические высокоэнтропийные
металлические пленки

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Раскислительная способность алюминия в железо-марганцевых
углеродсодержащих расплавах

ИННОВАЦИИ В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ ПРОМЫШЛЕННОМ И ЛАБОРАТОРНОМ ОБОРУДОВАНИИ, ТЕХНОЛОГИЯХ И МАТЕРИАЛАХ

Анализ природы происхождения характерных дефектов мелющих шаров
из отбраковки непрерывнолитых заготовок рельсовой стали

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ ЧЕРНАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ

Научно-технический журнал

Издается с января 1958 г. ежемесячно

2023 Том 66 № 3
Vol. No.

IZVESTIYA FERROUS METALLURGY

Scientific and Technical Journal

Published since January 1958. Issued monthly

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ ЧЕРНАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ

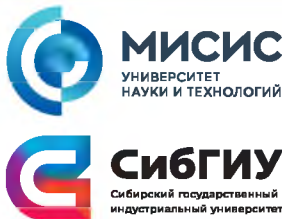
www.fermet.misis.ru

ISSN 0368-0797 (Print) ISSN 2410-2091 (Online)

Варианты названия:

Известия вузов. Черная металлургия
Izvestiya. Ferrous Metallurgy

Учредители:



Редакционная коллегия:

Г. В. Ашихмин, д.т.н., профессор, ОАО «Ин-т Цветметобработка», г. Москва
С. О. Байсанов, д.т.н., профессор, ХМИ им. Ж.Абишева, г. Караганда, Республика Казахстан
В. Д. Белов, д.т.н., профессор, НИТУ МИСИС, г. Москва
А. А. Бродов, к.экон.н., ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина», г. Москва
Е. П. Волынкина, д.т.н., советник, ОЮЛ «Кузбасская Ассоциация переработчиков отходов», г. Новокузнецк
С. М. Горбатюк, д.т.н., профессор, НИТУ МИСИС, г. Москва
К. В. Григорович, академик РАН, д.т.н., ИМЕТ им. А.А. Байкова РАН, г. Москва
В. Е. Грозов, д.ф.-м.н., профессор, СибГИУ, г. Новокузнецк
А. Н. Дмитриев, д.т.н., профессор, академик РАЕН, академик АИН РФ, г. Екатеринбург
А. В. Дуб, д.т.н., профессор, ЗАО «Наука и инновации», г. Москва
В. И. Жучков, д.т.н., профессор, ИМЕТ УрО РАН, г. Екатеринбург
Р. Ф. Зингер, д.т.н., профессор, Институт Фридриха-Александра, Германия
М. Зиниград, д.т.н., профессор, Институт Ариэля, Израиль
В. И. Золотухин, д.т.н., профессор, ТулГУ, г. Тула
А. Г. Колмаков, д.т.н., чл.-корр. РАН, ИМЕТ им. А.А. Байкова РАН, г. Москва
В. М. Колокольцев, д.т.н., профессор, МГТУ им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск
М. В. Костина, д.т.н., ИМЕТ им. А.А. Байкова РАН, г. Москва
К. Л. Косырев, д.т.н., профессор, АО «НПО «ЦНИИТМаш», г. Москва
Ю. А. Курганова, д.т.н., профессор, МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва
Х. Линн, ООО «Линн Хай Терм», Германия
В. И. Лысак, академик РАН, д.т.н., профессор, ВолгГТУ, г. Волгоград

В соответствии п. 5 Правил формирования перечня ВАК журнал «Известия вузов. Черная металлургия» входит в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, публикация в которых учитывается при защитах кандидатских и докторских диссертаций как индексируемый в МБД.

Главный редактор:

Леопольд Игоревич Леонтьев, академик РАН, советник, Президиум РАН; д.т.н., профессор, Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»; главный научный сотрудник, Институт металлургии УрО РАН, г. Москва

Заместитель главного редактора:

Евгений Валентинович Протопопов, д.т.н., профессор, Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк

Адреса редакций:

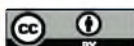
Россия, 119049, Москва, Ленинский просп., д. 4, стр. 1
Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»,
Тел.: +7 (495) 638-44-11
E-mail: fermet.misis@mail.ru, ferrous@mis.ru

Россия, 654007, Новокузнецк,
Кемеровская обл. – Кузбасс, ул. Кирова, зд. 42
Сибирский государственный индустриальный университет,
Тел.: +7 (3843) 74-86-28
E-mail: redjizv@sibsiu.ru

В. П. Мешалкин, академик РАН, д.т.н., профессор, РХТУ им. Д.И. Менделеева, г. Москва
Р. Р. Мулюков, д.ф.-м.н., профессор, чл.-корр. ФГБУН ИПСМ РАН, г. Уфа
С. А. Никулин, д.т.н., профессор, чл.-корр. РАЕН, НИТУ МИСИС, г. Москва
А. Х. Нурулгалеев, д.т.н., профессор, КГИУ, г. Караганда, Республика Казахстан
О. И. Островский, д.т.н., профессор, Университет Нового Южного Уэльса, Сидней, Австралия
Л. Пиетрелли, д.т.н., Итальянское национальное агентство по новым технологиям, энергетике и устойчивому экономическому развитию, Рим, Италия
И. Ю. Пышминцев, д.т.н., РосНИТИ, г. Челябинск
А. И. Рудской, академик РАН, д.т.н., профессор, СПбПУ Петра Великого, г. Санкт-Петербург
Б. А. Сивак, к.т.н., профессор, АО АХК «ВНИИМЕТМАШ», г. Москва
Л. М. Симонян, д.т.н., профессор, НИТУ МИСИС, г. Москва
Л. А. Смирнов, академик РАН, д.т.н., профессор, ОАО «Уральский институт металлов», г. Екатеринбург
С. В. Солодов, к.т.н., НИТУ МИСИС, г. Москва
Н. А. Спирин, д.т.н., профессор, УрФУ, г. Екатеринбург
Г. Танг, Институт перспективных материалов университета Циньхуа, г. Шеньжень, Китай
М. В. Темляничев, д.т.н., профессор, СибГИУ, г. Новокузнецк
М. Р. Филонов, д.т.н., профессор, НИТУ МИСИС, г. Москва
И. В. Чуманов, д.т.н., профессор, ЮУрГУ, г. Челябинск
О. Ю. Шешуков, д.т.н., профессор, УрФУ, г. Екатеринбург
М. О. Шпайдель, д.ест.н., профессор, Швейцарская академия материаловедения, Швейцария
А. Б. Юрьев, д.т.н., ректор, СибГИУ, г. Новокузнецк
В. С. Юсупов, д.т.н., профессор, ИМЕТ им. А.А. Байкова РАН, г. Москва

Индексирование: Scopus, Russian Science Citation Index (RSCI), Research Bible, Chemical Abstracts, OCLC и Google Scholar

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи и массовых коммуникаций ПИ № ФС77-35456.



Статьи доступны под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

IZVESTIYA FERROUS METALLURGY

www.fermet.misis.ru

ISSN 0368-0797 (Print) ISSN 2410-2091 (Online)

Alternative title:

Izvestiya vuzov. Chernaya metallurgiya

Founders:



Editor-in-Chief:

Leopol'd I. Leont'ev, Academician, Adviser of the Russian Academy of Sciences; Dr. Sci. (Eng.), Prof., National University of Science and Technology "MISIS"; Chief Researcher, Institute of Metallurgy UB RAS, Moscow

Deputy Editor-in-Chief:

Evgenii V. Protopopov, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Siberian State Industrial University, Novokuznetsk

Editorial Addresses:

4 Leninskii Ave., Moscow 119049, Russian Federation
National University of Science and Technology "MISIS"
Tel.: +7 (495) 638-44-11

E-mail: fermet.misis@mail.ru, ferrous@sisis.ru

42 Kirova Str., Novokuznetsk, Kemerovo Region – Kuzbass
654007, Russian Federation
Siberian State Industrial University
Tel.: +7 (3843) 74-86-28
E-mail: redjizvz@sibsiu.ru

Editorial Board:

German V. Ashikhmin, Dr. Sci. (Eng.), Prof., JSC "Institute Tsvetmetobrabotka", Moscow

Sailaubai O. Baisanov, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Abishev Chemical-Metallurgical Institute, Karaganda, Republic of Kazakhstan

Vladimir D. Belov, Dr. Sci. (Eng.), Prof., NUST MISIS, Moscow

Anatolii A. Brodov, Cand. Sci. (Econ.), Bardin Central Research Institute for Ferrous Metallurgy, Moscow

Il'ya V. Chumanov, Dr. Sci. (Eng.), Prof., South Ural State Research University, Chelyabinsk

Andrei N. Dmitriev, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Academician, RANS, A.M. Prokhorov Academy of Engineering Sciences, Institute of Metallurgy, Ural Branch of RAS, Ural Federal University, Yekaterinburg

Aleksei V. Dub, Dr. Sci. (Eng.), Prof., JSC "Science and Innovations", Moscow

Mikhail R. Filonov, Dr. Sci. (Eng.), Prof., NUST MISIS, Moscow

Sergei M. Gorbatyuk, Dr. Sci. (Eng.), Prof., NUST MISIS, Moscow

Konstantin V. Grigorovich, Academician of RAS, Dr. Sci. (Eng.), Baikov Institute of Metallurgy and Materials Science of RAS, Moscow

Victor E. Gromov, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Siberian State Industrial University, Novokuznetsk

Aleksei G. Kolmakov, Dr. Sci. (Eng.), Corresponding Member of RAS, Baikov Institute of Metallurgy and Materials Science of RAS, Moscow

Valerii M. Kolokol'tsev, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk

Mariya V. Kostina, Dr. Sci. (Eng.), Baikov Institute of Metallurgy and Materials Science of RAS, Moscow

Konstantin L. Kosyrev, Dr. Sci. (Eng.), Prof., JSC "NPO "TSNIITMash", Moscow

Yuliya A. Kurganova, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Bauman Moscow State Technical University, Moscow

Linn Horst, Linn High Therm GmbH, Hirschbach, Germany

Vladimir I. Lysak, Academician of RAS, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Rector, Volgograd State Technical University, Volgograd

Valerii P. Meshalkin, Dr. Sci. (Eng.), Academician of RAS, Prof., D.I. Mendeleyev Russian Chemical-Technological University, Moscow

Radik R. Mulyukov, Dr. Sci. (Phys.-Chem.), Prof., Corresponding Member of RAS, Institute of Metals Superplasticity Problems of RAS, Ufa

Sergei A. Nikulin, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Corresponding Member of RANS, NUST MISIS, Moscow

Asylbek Kh. Nurumgaliev, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Karaganda State Industrial University, Karaganda, Republic of Kazakhstan

Oleg I. Ostrovskii, Dr. Sci. (Eng.), Prof., University of New South Wales, Sydney, Australia

Loris Pietrelli, Dr., Scientist, Italian National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development, Rome, Italy

Igor' Yu. Pyshmintsev, Dr. Sci. (Eng.), Russian Research Institute of the Pipe Industry, Chelyabinsk

Andrei I. Rudskoi, Academician of RAS, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Rector, Peter the Great Saint-Petersburg Polytechnic University, Saint-Petersburg

Oleg Yu. Sheshukov, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Ural Federal University, Yekaterinburg

Laura M. Simonyan, Dr. Sci. (Eng.), Prof., NUST MISIS, Moscow

Robert F. Singer, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Friedrich-Alexander University, Germany

Boris A. Sivak, Cand. Sci. (Eng.), Prof., VNIIMETMASH Holding Company, Moscow

Leonid A. Smirnov, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Academician of RAS, OJSC "Ural Institute of Metals", Yekaterinburg

Sergei V. Solodov, Cand. Sci. (Eng.), NUST MISIS, Moscow

Speidel Marcus, Dr. Natur. Sci., Prof., Swiss Academy of Materials, Switzerland

Nikolai A. Spirin, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Ural Federal University, Yekaterinburg

Tang Guo, Institute of Advanced Materials of Tsinghua University, Shenzhen, China

Mikhail V. Temlyantsev, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Siberian State Industrial University, Novokuznetsk

Ekaterina P. Volynkina, Dr. Sci. (Eng.), Advisor, ALE "Kuzbass Association of Waste Processors", Novokuznetsk

Aleksei B. Yur'ev, Dr. Sci. (Eng.), Rector, Siberian State Industrial University, Novokuznetsk

Vladimir S. Yusupov, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Baikov Institute of Metallurgy and Materials Science of RAS, Moscow

Vladimir I. Zhuchkov, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Institute of Metallurgy, Ural Branch of RAS, Ural Federal University, Yekaterinburg

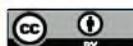
Michael Zinigrad, Dr. Sci. (Physical Chemistry), Prof., Rector, Ariel University, Israel

Vladimir I. Zolotukhin, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Tula State University, Tula

In accordance with paragraph 5 of the Rules for the formation of the Higher Attestation Commission list journal "Izvestiya. Ferrous metallurgy" is included in the list of leading peer-reviewed scientific journals, publication in which is taken into account in the defense of candidate and doctoral dissertations, as indexed in international data bases.

Indexed: Scopus, Russian Science Citation Index (RSCI), Research Bible, Chemical Abstracts, OCLC and Google Scholar

Registered in Federal Service for Supervision in the Sphere of Mass Communications **PI number FS77-35456**.



Articles are available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

- Зайдес С.А., Хо Минь Куан.** Степень упрочнения и глубина наклепа при маятниковом поверхностном пластическом деформировании углеродистой стали .. 272
- Шалаевский Д.Л.** Исследование теплового режима рабочих валков стана горячей прокатки с целью повышения точности расчета температур поверхностей их бочек 283
- Фастыковский А.Р., Глухов М.И., Вахроломеев В.А.** Резервы снижения энергопотребления при прокатке сортовых профилей на современных прокатных станах 290

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

- Аносов М.С., Шатагин Д.А., Чернигин М.А., Мордовина Ю.С., Аносова Е.С.** Структурообразование сплава Нп-30ХГСА при аддитивном электродуговым выращивании 294
- Бурков А.А., Кулик М.А.** Электродуговое осаждение металлокерамического Fe–Al/HfC покрытия на сталь 35 302
- Гордиенко А.И., Власов И.В., Почивалов Ю.И.** Влияние ускоренного охлаждения после поперечно-винтовой прокатки на формирование структуры и низкотемпературную вязкость разрушения низкоуглеродистой стали 311
- Баранникова С.А., Ли Ю.В.** Картины локализации деформации на стадии предразрушения в биметалле углеродистая сталь – нержавеющая сталь 320
- Порфирьев М.А., Громов В.Е., Крюков Р.Е.** Эволюция структурно-фазового состояния и свойств рельсов из заэвтектидной стали при длительной эксплуатации 327

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

- Большов Л.А., Корнейчук С.К., Большова Э.Л.** Вагнеровские параметры взаимодействия азота с хромом и молибденом в жидких сплавах на основе никеля ... 330

По материалам Международной научной конференции «ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ» им. академика А.М. Самарина, Выкса, 10 – 14 октября 2022 г.

- Хорошилов А.Д., Сомов С.А., Католиков В.Д., Мурсев В.А., Бочериков Р.Е., Ярмухаметов М.Р.** Опыт применения кальцийсодержащей инъекционной проволоки с наполнителем из электролитического кальция на этапе внепечной обработки стали 337

METALLURGICAL TECHNOLOGIES

- Zaides S.A., Ho Minh Quan.** Degree and depth of hardening under pendulum surface plastic deformation of carbon steel 272
- Shalaevskii D.L.** Investigation of thermal mode of hot-rolling mill working rolls in order to improve the accuracy of calculating the thermal profile of their barrels' surface 283
- Fastykovskii A.R., Glukhov M.I., Vakhrolomeev V.A.** Reserves for reducing energy consumption when rolling section bars on modern rolling mills 290

MATERIAL SCIENCE

- Anosov M.S., Shatagin D.A., Chernigin M.A., Mor-dovina Yu.S., Anosova E.S.** Structure formation of Np-30KhGSA alloy in wire and arc additive manufacturing 294
- Burkov A.A., Kulik M.A.** Electrospark deposition of metal-loceramic Fe–Al/HfC coating on steel 1035 302
- Gordienko A.I., Vlasov I.V., Pochivalov Yu.I.** Effect of accelerated cooling after cross-helical rolling on formation of structure and low-temperature fracture toughness of low-carbon steel 311
- Barannikova S.A., Li Yu.V.** Patterns of localized deformation at pre-fracture stage in carbon steel – stainless steel bimetal 320
- Porfir'ev M.A., Gromov V.E., Kryukov R.E.** Evolution of structural-phase state and properties of hypereutectoid steel rails at long-term operation 327

PHYSICO-CHEMICAL BASICS
OF METALLURGICAL PROCESSES

- Bol'shov L.A., Korneichuk S.K., Bol'shova E.L.** Wagner interaction coefficients of nitrogen with chromium and molybdenum in liquid nickel-based alloys 330

Materials of the International Scientific Conference "PHYSICO-CHEMICAL FOUNDATIONS OF METALLURGICAL PROCESSES" named after Academician A.M. Samarin, Vyksa, October 10 – 14, 2022

- Khoroshilov A.D., Somov S.A., Katolikov V.D., Murysev V.A., Bocherikov R.E., Yarmukhametov M.R.** Using calcium-containing injection wire filled with electrolytic calcium in steel ladle treatment 337

СОДЕРЖАНИЕ (продолжение)

CONTENTS (Continuation)

Подусовская Н.В., Комолова О.А., Григорович К.В., Павлов А.В., Аксенова В.В., Румянцев Б.А., Железный М.В. Изучение селективного извлечения свинца и цинка из пыли ДСП при нагреве в печах сопротивления в токе аргона 344

Podusovskaya N.V., Komolova O.A., Grigorovich K.V., Pavlov A.V., Aksenova V.V., Rumyantsev B.A., Zheleznyi M.V. Lead and zinc selective extraction from EAF dust while heating in resistance furnace with flowing argon 344

СТАЛИ ОСОБОГО НАЗНАЧЕНИЯ

SUPERDUTY STEEL

Никулин С.А., Рогачев С.О., Белов В.А., Шплис Н.В., Комиссаров А.А., Турилина В.Ю., Николаев Ю.А. Структура и свойства сталей для конструкции устройства локализации расплава атомных реакторов 356

Nikulin S.A., Rogachev S.O., Belov V.A., Shplis N.V., Komissarov A.A., Turilina V.Yu., Nikolaev Yu.A. Structure and properties of steels for manufacture of core catcher vessel of nuclear reactor 356

**ИННОВАЦИИ В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ
ПРОМЫШЛЕННОМ И ЛАБОРАТОРНОМ
ОБОРУДОВАНИИ, ТЕХНОЛОГИЯХ
И МАТЕРИАЛАХ**

**INNOVATIONS IN METALLURGICAL
INDUSTRIAL AND LABORATORY
EQUIPMENT, TECHNOLOGIES
AND MATERIALS**

Мыльников В.В., Дмитриев Э.А. Метод изучения частотной стабильности материалов при испытаниях на многоцикловую усталость стали 367

Myl'nikov V.V., Dmitriev E.A. A method for studying the frequency stability of materials during tests for multi-cycle fatigue of steel 367

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
И АВТОМАТИЗАЦИЯ
В ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ**

**INFORMATION TECHNOLOGIES
AND AUTOMATIC CONTROL
IN FERROUS METALLURGY**

Троицкий Д.В., Гамин Ю.В., Галкин С.П., Будников А.С. Параметрическая модель трехвалкового узла мини-стана радиально-сдвиговой прокатки 376

Troitskii D.V., Gamin Yu.V., Galkin S.P., Budnikov A.S. Parametric model of a three-roll unit of radial-shear rolling mini-mill 376



УДК 621.771.01

DOI 10.17073/0368-0797-2023-3-290-293

Краткое сообщение
Short report

РЕЗЕРВЫ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ПРИ ПРОКАТКЕ СОРТОВЫХ ПРОФИЛЕЙ НА СОВРЕМЕННЫХ ПРОКАТНЫХ СТАНАХ

А. Р. Фастыковский[✉], М. И. Глухов, В. А. Вахроломеев

Сибирский государственный индустриальный университет (Россия, 654007, Кемеровская область – Кузбасс, Новокузнецк, ул. Кирова, 42)

✉ fastikovskiy@mail.ru

Аннотация. Металлургическое производство является высокоэнергоёмким процессом, поэтому поиск решений по снижению энергозатрат остается актуальной задачей для всех переделов. В этом плане производство готовой прокатной продукции рассматривается как наиболее перспективное направление для реализации энергосберегающих технологий. Возможны два пути снижения энергозатрат при горячей прокатке сортовых профилей: экономия энергии на нагрев и улучшение использования основного оборудования для снижения промежуточных затрат энергии. Ввиду разности силовых условий в момент захвата и на установившейся стадии процесса прокатки возникает резерв втягивающих сил трения, который можно использовать для дополнительного формоизменения в неприводных устройствах и тем самым повысить эффективность основного оборудования и снизить общие энергозатраты. Для практической реализации предложенной концепции была получена зависимость, позволяющая оценить потенциал мощности, который не используется на установившейся стадии процесса прокатки. С применением полученной зависимости было установлено, что при прокатке в гладких валках потенциал сил трения используется только на 50 – 60 %, а при прокатке в калибрах – на 35 – 40 %. Экспериментально установлено, что при прокатке фасонных профилей в пропусках с коэффициентом вытяжки менее 1,10 – 1,15 более 50 % энергии затрачивается на холостой ход. Однако заменив в этих пропусках приводные клетки на неприводные кассеты (в непрерывных группах), можно повысить коэффициент полезного действия рядом стоящих клеток на 4 – 5 % и снизить энергозатраты.

Ключевые слова: энергопотребление, сортовые профили, неприводная клеть, холостой ход, коэффициент полезного действия

Для цитирования: Фастыковский А.Р., Глухов М.И., Вахроломеев В.А. Резервы снижения энергопотребления при прокатке сортовых профилей на современных прокатных станах. *Известия вузов. Черная металлургия*. 2023;66(3):290–293. <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2023-3-290-293>

RESERVES FOR REDUCING ENERGY CONSUMPTION WHEN ROLLING SECTION BARS ON MODERN ROLLING MILLS

A. R. Fastikovskii[✉], M. I. Glukhov, V. A. Vakhrolomeev

■ Siberian State Industrial University (42 Kirova Str., Novokuznetsk, Kemerovo Region – Kuzbass 654007, Russian Federation)

✉ fastikovskiy@mail.ru

Abstract. Metallurgical production is a highly energy-intensive process, and the search for solutions to reduce energy costs remains an urgent task for all stages. In this regard, the production of finished rolled products is considered as the most promising direction for the implementation of energy-saving technologies. There are two ways to reduce energy costs in hot rolling of section bars: saving energy for heating and improving the use of the main equipment to reduce intermediate energy costs. Due to the difference in silt conditions at the moment of capture and at the steady stage of the rolling process, a reserve of retracting friction forces arises, which can be used for additional shaping in non-drive devices and thereby increase the efficiency of the main equipment and reduce overall energy costs. For the practical implementation of the proposed concept, dependence was obtained that makes it possible to estimate the power potential that is not used at the steady stage of the rolling process. Using the obtained dependence, it was found that when rolling in smooth rolls, the potential of friction forces is used only by 50 – 60 %, and when rolling in calibers, by 35 – 40 %. It was experimentally established that during the rolling of shaped sections in passes with an elongation ratio of less than 1.10 – 1.15, more than 50 % of the energy is spent on idling. However, by replacing drive stands in these passes with non-drive cassettes (in continuous groups), it is possible to increase the efficiency of adjacent stands by 4 – 5 % and reduce energy costs.

Keywords: energy consumption, section bar, non-drive stand, idling, efficiency

For citation: Fastikovskii A.R., Glukhov M.I., Vakhrolomeev V.A. Reserves for reducing energy consumption when rolling section bars on modern rolling mills. *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2023;66(3):290–293. <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2023-3-290-293>

Металлургическое производство является одной из наиболее энергоемких отраслей, которая потребляет до 90 % коксующегося угля, 50 % вырабатываемой электрической энергии и 25 % природного газа. Это приводит к высоким энергозатратам на производство продукции [1]. Прокатное производство, являющееся заключительным этапом металлургического передела, требует большого количества топлива для нагрева заготовки перед прокаткой (1,30 – 1,65 ГДж/т) и в самом процессе прокатки (0,45 – 1,20 ГДж/т) [2]. Приведенные выше показатели убедительно доказывают актуальность работ, направленных на снижение энергозатрат при производстве прокатной продукции.

Основным резервом снижения энергозатрат при производстве сортовых профилей на современных непрерывных станах является более полное использование возможностей сил трения в очаге деформации прокатной клетки [3 – 5]. Это позволит повысить коэффициент полезного действия основного прокатного оборудования. Для осуществления подхода можно использовать дополнительные неприводные устройства, которые располагаются в непосредственной близости с приводными клетями для деформирования или продольного разделения полосы [6 – 9].

Как известно, процесс прокатки реализуется благодаря использованию сил трения на контакте металла с валками. Чем больше потенциала этих сил трения используется при формоизменении, тем выше коэффициент полезного действия процесса и более эффективно используется затрачиваемая энергия. Однако разные силовые условия в момент захвата металла валками и на установившейся стадии процесса прокатки создают условия к неполному использованию возможностей сил трения в очаге деформации. Для решения этой проблемы можно применять непрерывные устройства (включая валки, делительные устройства), которые обеспечивают дополнительную работу.

Для оценки неиспользуемого потенциала сил трения на установившейся стадии процесса прокатки величину неиспользованной мощности (ΔN) с учетом разности коэффициентов трения при захвате (μ_z) и на установившейся стадии процесса (μ_y) при горячей прокатке $\mu_z/\mu_y \approx 1,2 \div 1,4$ [10] можно определить по формуле

$$\Delta N = N_y - N_d,$$

где N_y – мощность, которую могут обеспечить силы трения на установившейся стадии процесса горячей прокатки; N_d – мощность, необходимая для деформирования в приводной клетке.

Максимальная мощность, обеспеченная силами трения на установившейся стадии процесса горячей прокатки (протяженность зоны опережения равна нулю), можно найти по формуле

$$N_y = 2p_{cp}\mu_y b_{cp} l_d v,$$

где p_{cp} – среднее нормальное давление; b_{cp} – средняя ширина полосы; l_d – длина дуги захвата; v – скорость прокатки.

Для определения мощности, необходимой при деформировании, воспользуемся известной формулой С. Финка [11] при замене

$$\Delta h \approx h_{cp} \ln \left(\frac{h_0}{h_1} \right),$$

где Δh – абсолютное обжатие; h_{cp} – средняя высота полосы; h_0 и h_1 – высота полосы до и после прокатки в приводной клетке.

Сделанное допущение вносит ошибку 1 – 3 % при степени деформации до 60 %. После соответствующих преобразований с учетом отношения μ_z/μ_y получим:

$$\Delta N = p_{cp} b_{cp} v (1,54 \mu_z l_d - \Delta h).$$

Полученная величина ΔN позволяет оценить неиспользованный потенциал сил трения в зоне деформации при горячей прокатке. По расчетам было выявлено, что из-за разницы силовых условий в момент захвата и на установившейся стадии процесса прокатки прямоугольной полосы в гладких валках максимально используется только 50 – 60 % потенциала сил трения при максимальных обжатиях и 35 – 40 % в калибрах. Это значительно снижает эффективность процесса прокатки и повышает его энергоемкость, поэтому целесообразно использовать неприводные устройства для деформирования и продольного разделения.

Для повышения эффективности прокатки фасонных профилей можно использовать потенциал сил трения более полно, заменив приводные клетки неприводными в тех пропусках, где коэффициент вытяжки меньше 1,10 – 1,15. На рис. 1, а приведена диаграмма записи тока главного двигателя во второй клетке среднесортного стана при пропуске при получении уголка № 9, коэффициент вытяжки составлял 1,03. Распределение мощности для этого случая представлено на рис. 1, б. Большая часть мощности используется на холостой ход (67,9 %), и только небольшая доля (32,1 %) – на формование продукта. Для улучшения положения можно использовать неприводную клетку – кассету вместо приводной для данного пропуска и перераспределить мощность для деформации продукта по расположенным рядом клетям из одной группы без остановок. Такой подход поможет снизить энергозатраты за счет уменьшения мощности холостого хода и повысить коэффициент полезного действия стоящих рядом клетей (рис. 2).

Сортамент рассматриваемого среднесортного стана на 83 % состоит из фасонных профилей (уголок, балка, швеллер), где имеют место пропуски с коэффициентом вытяжки меньше 1,10 – 1,15. Использование неприводных клетей в этих пропусках при объеме выпуска готовой продукции в 1,4 млн т ежегодно позволит эко-

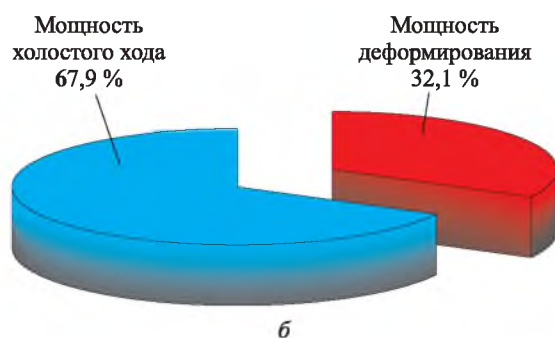
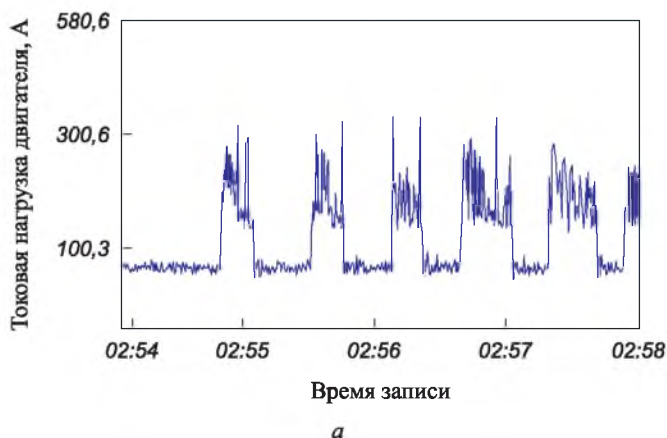


Рис. 1. Энергозатраты при прокатке во второй клетки среднесортного стана с коэффициентом вытяжки 1,03:

a – токовая диаграмма главного двигателя;
б – энергетический баланс в рассматриваемой клетке

Fig. 1. Energy costs during rolling in the second stand of the middle-grade mill with drawing coefficient 1.03:

a – current diagram of the main motor;
б – energy balance in the considered stand

номить до 0,75 кВт·ч/т и получать в денежном выражении 4,8 млн рублей в год. Металлоемкость, стоимость, амортизационные отчисления, эксплуатационные расходы при использовании неприводных клеток – кассет существенно ниже, чем у классических прокатных клеток, что дает дополнительный эффект в 15 млн рублей в год. С учетом изготовления нового оборудования срок окупаемости составит 0,8 года.

Выводы

На установившейся стадии процесса горячей прокатки появляется резерв неиспользованных сил трения в очаге деформации, связанный с разными силовыми условиями захвата и на стадии установившегося процесса. Это может привести к нерациональному использованию энергии.

Для более эффективного использования сил трения в зоне деформации на установившейся стадии процесса прокатки предлагается использовать неприводные устройства, расположенные рядом с приводной клетью, для дополнительного деформирования и продольного разделения. Исследования показали, что при коэффици-

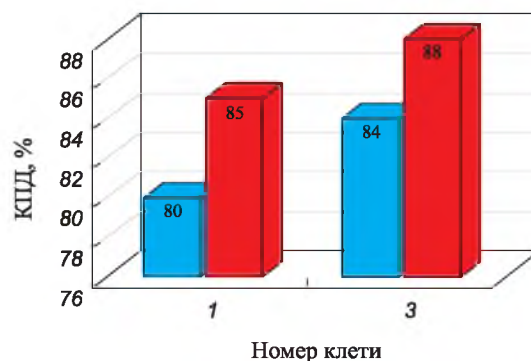


Рис. 2. Изменение коэффициента полезного действия 1 и 3 клеток при замене второй клетки неприводной клетью – кассетой

Fig. 2. Change in efficiency of 1 and 3 stands when replacing the second stand with a non-drive stand – cassette

енте вытяжки менее 1,10 – 1,15 целесообразно заменять приводные клетки на неприводные. Это позволит снизить энергозатраты и эксплуатационные расходы оборудования и повысить КПД основного оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Волкова И.А. Новые направления энергосбережения в металлургии. *Металлург.* 2005;(8):32–36.
Volkova I.A. Review of new directions for energy. *Metal-lurg.* 2005;(8):32–36. (In Russ.).
- Дубина О.В. Динамика потребления энергоресурсов в прокатных цехах. *Производство проката.* 2003;(1):29–32.
Dubina O.V. Dynamics of energy consumption in rolling shops. *Proizvodstvo prokata.* 2003;(1):29–32. (In Russ.).
- Фастыковский А.Р., Фастыковский Д.А. Оценка возможностей контактных сил трения с целью интенсификации процесса прокатки на установившейся стадии. *Производство проката.* 2013;(7):9–12.
Fastykovskii A.R., Fastykovskii D.A. Evaluation of the possibilities of contact friction forces in order to intensify the rolling process at an established stage. *Proizvodstvo prokata.* 2013;(7):9–12. (In Russ.).
- Matsuo G., Suzuki M. The latest technology of multi-slit rolling. *SEA. ISI Quarterly.* 1995;(3):49–58.
- Sidelnikov S.B., Galiev R.I., Bepalov V.M., Samchuk A.P. Determining power–energy parameters of combined rolling–extrusion process for low-plastic aluminium alloys. *Non-Ferrous Metals.* 2018;44(1):30–36.
<https://doi.org/10.17580/nfm.2018.01.06>
- Sidelnikov S., Galiev R., Lopatina E., Samchuk A. Analysis of energy–force parameters of combined processing for receiving modifying bars from Al–5Ti–1B alloy. *Non-Ferrous Metals.* 2017;42(1):30–35.
<https://doi.org/10.17580/nfm.2017.01.07>
- Fastykovskii A.R. Region for extrolling and effective deformation modes. *Russian Journal of Non-Ferrous Metals.* 2011;52(3):230–233.
<https://doi.org/10.3103/S1067821211030084>
- Grzyb R., Misiolek Z. The concept and the theoretical fundamentals of a new combined process of rolling and extrusion. *Archiwum Hutnictwa.* 1983;28(3):305–319.

9. Grzyb R., Misiolek Z. The experimental investigations on the force parameters and metal flow in the combined process of rolling and extrusion. *Archiwum Hutnictwa*. 1983;28(3): 321–340.
10. Грудев А.П. *Теория прокатки*. Москва: Интермет Инжиниринг; 2001:280.
11. Никитин Г.С. *Теория непрерывной продольной прокатки*. Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана; 2009:399.

Сведения об авторах

Information about the Authors

Андрей Ростиславович Фастыковский, д.т.н., профессор кафедры «Обработка металлов давлением и металловедение. ЕВРАЗ ЗСМК», Сибирский государственный индустриальный университет

ORCID: 0000-0001-9259-9038

E-mail: fastikovsky@mail.ru

Максим Ильич Глухов, аспирант кафедры «Обработка металлов давлением и металловедение. ЕВРАЗ ЗСМК», Сибирский государственный индустриальный университет

E-mail: Gluhovmx@yandex.ru

Владимир Анатольевич Вахроломеев, аспирант кафедры «Обработка металлов давлением и металловедение. ЕВРАЗ ЗСМК», Сибирский государственный индустриальный университет

E-mail: wladimir170581@mail.ru

Andrei R. Fastykovskii, Dr. Sci. (Eng.), Prof of the Chair "Metal Forming and Metal Science. OJSC "EVRAZ ZSMK", Siberian State Industrial University

ORCID: 0000-0001-9259-9038

E-mail: fastikovsky@mail.ru

Maksim I. Glukhov, Postgraduate of the Chair "Metal Forming and Metal Science. OJSC "EVRAZ ZSMK", Siberian State Industrial University

E-mail: Gluhovmx@yandex.ru

Vladimir A. Vakhrolomeev, Postgraduate of the Chair "Metal Forming and Metal Science. OJSC "EVRAZ ZSMK", Siberian State Industrial University

E-mail: wladimir170581@mail.ru

Вклад авторов

Contribution of the Authors

А. Р. Фастыковский – постановка и решение задачи по определению резерва мощности при прокатке на установившейся стадии процесса; теоретический анализ перспектив использования резерва сил трения при прокатке; обоснование коэффициентов вытяжки, при которых целесообразно приводные прокатные клетки заменять не приводными устройствами; формулирование выводов по результатам исследований.

М. И. Глухов – получение и анализ экспериментальных результатов, оценка экономического эффекта от использования резерва сил трения на действующем стане.

В. А. Вахроломеев – анализ литературных данных, оформление графической части, оценка возможности увеличения коэффициента полезного действия при использовании резерва сил трения.

A. R. Fastykovskii – formulation and solution of the problem of determining the power reserve during rolling at a steady stage of the process, theoretical analysis of the prospects for using the reserve of friction forces during rolling, justification of the extraction coefficients at which it is advisable to replace the drive rolling stands with non-drive devices, formulation of conclusions based on the results of research.

M. I. Glukhov – obtaining and analyzing experimental results, evaluating the economic effect of using the reserve of friction forces on the operating mill.

V. A. Vakhrolomeev – analysis of literary data, design of the graphic part, evaluation of the possibility of increasing the efficiency when using the reserve of friction forces.

Поступила в редакцию 23.06.2022

После доработки 01.03.2023

Принята к публикации 10.03.2023

Received 23.06.2022

Revised 01.03.2023

Accepted 10.03.2023

Над номером работали:

Л.И. Леонтьев, главный редактор

Е.В. Протопопов, заместитель главного редактора

Е.А. Ивани, заместитель главного редактора

Л.П. Бащенко, заместитель ответственного секретаря

Е.Ю. Потапова, заместитель главного редактора по развитию

О.А. Долицкая, научный редактор

Е.М. Запольская, ведущий редактор

А.О. Гашникова, ведущий редактор

В.В. Расенец, верстка, иллюстрации

Г.Ю. Острогорская, менеджер по работе с клиентами

Подписано в печать 25.06.2023. Формат 60×90 ¹/₈. Бум. офсетная № 1.
Печать цифровая. Усл. печ. л. 15,25. Заказ 17676. Цена свободная.

Отпечатано в типографии Издательского Дома МИСИС.
119049, Москва, Ленинский пр-кт, д. 4, стр. 1.
Тел./факс: (499) 236-76-17



Prospects and directions of digital transformation in foundry

Microstructure and elemental analysis of iron-based powder composite materials

Development of shear deformation in lath martensite of medium alloy steels under tension

Mechanical and acoustic properties of deformable alloys

Features of formation of austenite grains in 12 % Cr heat-resistant ferritic-martensitic steels

Structural organization and properties of surface layers of WC-Co hard alloys after pulsed laser processing

Influence of laser spot size on structure and properties of high-temperature CompoNIAL-M5-3 alloy produced by selective laser melting

Multilayer amorphous-crystalline high-entropy metal films

Electron beam additive manufacturing of composite alloy from stainless steel and aluminum bronze: Microstructure and mechanical properties

Deoxidation capacity of aluminum in ferromanganese carbon-containing melts

Hydrometallurgical refining of metallurgical silicon

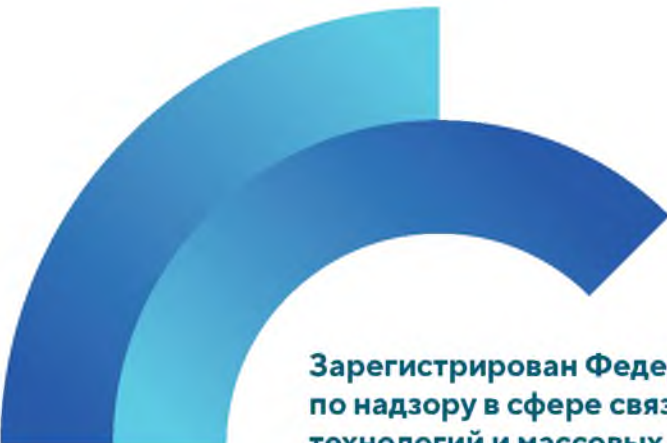
Occurrence of characteristic defects of grinding balls from rejects of continuously cast billets of rail steel

Errors of non-contact temperature measurement

Data generation for digital simulators of metallurgical process operators

Information-modeling system for prediction of the composition and properties of final slag in a blast furnace in real time

Institutionalization of ESG-principles at the international level and in the Russian Federation, their impact on ferrous metallurgy enterprises. Part 1



**Зарегистрирован Федеральной службой
по надзору в сфере связи, информационных
технологий и массовых коммуникаций.
Свидетельство о регистрации
ПИ № ФС77-35456.**

Подписной индекс 70383.

