

ИЗВЕСТИЯ

ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ ЧЕРНАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ

Том 64 Номер 12 2021

• МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

**Разработка новой порошковой проволоки на основе пыли
газоочистки силикомарганца**

• МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

**Поверхностное упрочнение твердосплавного инструмента
на основе карбида вольфрама концентрированными потоками
энергии**

**Физическая природа упрочнения поверхности рельсов
при длительной эксплуатации**

• ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

**Исследование особенностей дожигания отходящих газов
в конвертерах при использовании двухрусных кислородных фурм**



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

ИЗВЕСТИЯ

ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

ЧЕРНАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ

Том 64, Номер 12, 2021

Научно-технический журнал
Издается с января 1958 г. ежемесячно

IZVESTIYA

FERROUS METALLURGY

Volume 64, Number 12, 2021

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:



Национальный исследовательский
технологический университет «МИСиС» (НИТУ МИСиС)



Сибирский государственный индустриальный университет

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, 119991, Москва, Ленинский пр-т, д. 4
Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»,
Тел.: +7 (495) 638-44-11
E-mail: fermet.misis@mail.ru, ferrous@misis.ru

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

Редакционная коллегия:

Алешин Н.П., академик РАН, д.т.н., профессор, МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва

Астахов М.В., д.т.н., профессор, НИТУ «МИСиС», г. Москва

Ашихмин Г.В., д.т.н., профессор, ОАО «Ин-т Цветметобработка», г. Москва

Байсанов С.О., д.т.н., профессор, ХМИ им. Ж.Абишева, г. Караганда, Республика Казахстан

Белов В.Д., д.т.н., профессор, НИТУ «МИСиС», г. Москва

Бродов А.А., к.экон.н., ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина», г. Москва

Волынкина Е.П., д.т.н., профессор, СибГИУ, г. Новокузнецк

Глезер А.М., д.ф.-м.н., профессор, НИТУ «МИСиС», г. Москва

Горбатов С.М., д.т.н., профессор, НИТУ «МИСиС», г. Москва

Григоревич К.В., академик РАН, д.т.н., ИМЕТ им. А.А. Байкова РАН, г. Москва

Громов В.Е., д.ф.-м.н., профессор, СибГИУ, г. Новокузнецк

Дмитриев А.Н., д.т.н., академик, профессор, ИМЕТ УрО РАН, г. Екатеринбург

Дуб А.В., д.т.н., профессор, ЗАО «Наука и инновации», г. Москва

Жучков В.И., д.т.н., профессор, ИМЕТ УрО РАН, г. Екатеринбург

Зингер Р.Ф., д.т.н., профессор, Институт Фридриха-Александра, Германия

Зиниград М., д.т.н., профессор, Институт Ариэля, Израиль

Золотухин В.И., д.т.н., профессор, ТулГУ, г. Тула

Колмаков А.Г., д.т.н., чл.-корр. РАН, ИМЕТ им. А.А. Байкова РАН, г. Москва

Колокольцев В.М., д.т.н., профессор, МГТУ им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск

Костина М.В., д.т.н., ИМЕТ им. А.А. Байкова РАН, г. Москва

Косырев К.Л., д.т.н., профессор, АО «НПО «ЦНИИТМаш», г. Москва

Курганова Ю.А., д.т.н., профессор, МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва

Курносов В.В., к.ф.-м.н., доцент, НИТУ «МИСиС», г. Москва

Линн Х., ООО «Линн Хай Терм», Германия

Лысак В.И., академик РАН, д.т.н., профессор, ВолгГТУ, г. Волгоград

Мешалкин В.П., академик РАН, д.т.н., профессор, РХТУ им. Д.И. Менделеева, г. Москва

Мулюков Р.Р., д.ф.-м.-н., профессор, чл.-корр. ФГБУН ИПСМ РАН, г. Уфа

Мышляев Л.П., д.т.н., профессор, СибГИУ, г. Новокузнецк

Никулин С.А., д.т.н., профессор, чл.-корр. РАЕН, НИТУ «МИСиС», г. Москва

Нурумгалиев А.Х., д.т.н., профессор, КГИУ, г. Караганда, Республика Казахстан

Островский О.И., д.т.н., профессор, Университет Нового Южного Уэльса, Сидней, Австралия

Пиетрелли Лорис, д.т.н., Итальянское национальное агентство по новым технологиям, энергетике и устойчивому экономическому развитию, Рим, Италия

Подгородецкий Г.С., к.т.н., доцент, НИТУ «МИСиС», г. Москва

Пышминцев И.Ю., д.т.н., РосНИТИ, г. Челябинск

Рудской А.И., академик РАН, д.т.н., профессор, СПбПУ Петра Великого, г. Санкт-Петербург

Сивак Б.А., к.т.н., профессор, АО АХК «ВНИИМЕТМАШ», г. Москва

Симомян Л.М., д.т.н., профессор, НИТУ «МИСиС», г. Москва

Смирнов Л.А., академик РАН, д.т.н., профессор, ОАО «Уральский институт металлов», г. Екатеринбург

Солодов С.В., к.т.н., НИТУ «МИСиС», г. Москва

Спирин Н.А., д.т.н., профессор, УрФУ, г. Екатеринбург

Танг Гуоц, Институт перспективных материалов университета Циньхуа, г. Шеньжень, Китай

Темлянец М.В., д.т.н., профессор, СибГИУ, г. Новокузнецк

Филонов М.Р., д.т.н., профессор, НИТУ «МИСиС», г. Москва

Чуманов И.В., д.т.н., профессор, ЮУрГУ, г. Челябинск

Шеушков О.Ю., д.т.н., профессор, УрФУ, г. Екатеринбург

Шпайдель М.О., д.ест.н., профессор, Швейцарская академия материаловедения, Швейцария

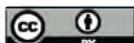
Юрьев А.Б., д.т.н., доцент, СибГИУ, г. Новокузнецк

Юсупов В.С., д.т.н., профессор, ИМЕТ им. А.А. Байкова РАН, г. Москва

По решению ВАК журнал «Известия вузов. Черная металлургия» 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».

Индексирование: Scopus, Russian Science Citation Index на платформе Web of Science, Research Bible, 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
Izvestiya. Ferrous Metallurgy

Founders:



National University of Science
and Technology "MISIS"



Siberian State Industrial University

Editor-in-Chief:

Leopold 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 119991, Russian Federation
National University of Science and Technology "MISIS"
Tel.: +7 (495) 638-44-11

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

Nikolai P. Aleshin, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Academician of RAS, Bauman STU, Moscow
German V. Ashikhmin, Dr. Sci. (Eng.), Prof., JSC "Institute Tsvetmetobrabotka", Moscow

Mikhail V. Astakhov, Dr. Sci. (Eng.), Prof., NUST "MISIS", 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

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

Andrei N. Dmitriev, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Academician, 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

Aleksandr M. Glezer, Dr. Sci. (Phys.-math.), 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

Vladimir V. Kurnosov, Cand. Sci. (Phys.-Math.), Assist. Prof., NUST "MISIS", 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. Mendeleev 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

Leonid P. Myshlyaev, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Siberian State Industrial University, Novokuznetsk

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. Ostrovski, Dr. Sci. (Eng.), Prof., University of New South Wales, Sidney, Australia

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

Gennadii S. Podgorodetskii, Cand. Sci. (Eng.), Assist. Prof., NUST "MISIS", Moscow

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 Guoi, 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.), Assist. Prof., Siberian State Industrial University, Novokuznetsk

Aleksei B. Yur'ev, Dr. Sci. (Eng.), Assist. Prof., 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

Journal "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.

Indexed: Scopus, Russian Science Citation Index (Web of Science), Research Bible, 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

Памяти Юрия Сергеевича Карабасова 862

In memory of Yurii Sergeevich Karabasov 862

МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

METALLURGICAL TECHNOLOGIES

Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Усольцев А.А., Кибко Н.В., Башченко Л.П. Разработка новой порошковой проволоки на основе пыли газоочистки силикомаганца 863

Kozyrev N.A., Kryukov R.E., Usol'tsev A.A., Kibko N.V., Bashchenko L.P. Development of a new cored wire based on silica manganese gas-cleaning dust 863

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

MATERIAL SCIENCE

Осколкова Т.Н., Глезер А.М., Симачев А.С. Поверхностное упрочнение твердосплавного инструмента на основе карбида вольфрама концентрированными потоками энергии 870

Oskolkova T.N., Glezer A.M., Simachev A.S. Surface hardening of carbide tools based on tungsten carbide by concentrated energy flows 870

Малушин Н.Н., Романов Д.А. Физическая природа упрочнения теплоустойкого металла высокой твердости, сформированного плазмой в среде азота 877

Malushin N.N., Romanov D.A. Physical nature of hardening of heat-resistant metal of high hardness formed by plasma in nitrogen medium 877

Юрьев А.А., Кормышев В.Е., Громов В.Е., Иванов Ю.Ф., Шлярова Ю.А. Физическая природа упрочнения поверхности рельсов при длительной эксплуатации 886

Yur'ev A.A., Kormyshev V.E., Gromov V.E., Ivanov Yu.F., Shlyarova Yu.A. Physical nature of rail surface hardening during long-term operation 886

ИННОВАЦИИ В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ
ПРОМЫШЛЕННОМ И ЛАБОРАТОРНОМ
ОБОРУДОВАНИИ, ТЕХНОЛОГИЯХ
И МАТЕРИАЛАХ

INNOVATIONS IN METALLURGICAL
INDUSTRIAL AND LABORATORY
EQUIPMENT, TECHNOLOGIES
AND MATERIALS

Чиченев Н.А., Горбатьюк С.М., Горовая Т.Ю., Fortunatov А.Н. Снижение внеплановых простоев оборудования при проведении ремонтов и модернизации на основе прочностного анализа 895

Chichenev N.A., Gorbatyuk S.M., Gorovaya T.Yu., Fortunatov A.N. Reduction of equipment unplanned downtime during repairs and modernization based on strength analysis 895

Колмогоров Г.Л., Мельникова Т.Е. Гидродинамический эффект технологической смазки и формирование режимов трения при листовой прокатке 903

Kolmogorov G.L., Mel'nikova T.E. Hydrodynamic effect of technological lubrication and friction modes formation at sheet rolling 903

Никитин А.Г., Епифанцев Ю.А., Медведева К.С. Математическая модель определения количества упоров, расположенных на валке одновалковой дробильной машины 909

Nikitin A.G., Epifantsev Yu.A., Medvedeva K.S. Mathematical model for determining the number of stop blocks on the roll of a single-roll crushing machine 909

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

PHYSICO-CHEMICAL BASICS
OF METALLURGICAL PROCESSES

Протопопов Е.В., Темлянтцев М.В., Якушев Н.Ф., Солоненко В.В., Сафонов С.О. Исследование особенностей дожигания отходящих газов в конвертерах при использовании двухъярусных кислородных фурм 912

Protopopov E.V., Temlyantsev M.V., Yakushevich N.F., Solonenko V.V., Safonov S.O. Features of exhaust gases afterburning in a converter when using two-tier oxygen lances for refining 912

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
И АВТОМАТИЗАЦИЯ
В ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ**

Сайфуллаев С.Д., Албул С.В., Кобелев О.А., Левитский И.А., Радюк А.Г., Титлянов А.Е. Исследование в среде ANSYS влияния конструкционных параметров на тепловые процессы в воздушной фурме доменной печи	921
К 90-летию Владимира Николаевича Перетяtko	930
А.М. Глезер и В.Е. Громов в списке самых цитируемых ученых мира	932
Указатель статей, помещенных в 2021 г., том 64	933

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

Saifullaev S.D., Albul S.V., Kobelev O.A., Levitskii I.A., Radyuk A.G., Titlyanov A.E. Investigation of the influence of design parameters on thermal processes in a blast furnace tuyere using ANSYS software	921
To the 90th Anniversary of Vladimir Nikolaevich Peretyat'ko	930
A.M. Glezer and V.E. Gromov in the list of the most cited scientists	932
Index of articles "Izvestiya. Ferrous Metallurgy" for 2021, vol. 64	933

**Оригинальная статья**

УДК 621.762.04:624.567.1:669

DOI 10.17073/0368-0797-2021-12-863-869



РАЗРАБОТКА НОВОЙ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ НА ОСНОВЕ ПЫЛИ ГАЗООЧИСТКИ СИЛИКОМАРГАНЦА

Н. А. Козырев, Р. Е. Крюков, А. А. Усольцев,
Н. В. Кибко, Л. П. Бащенко

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

Аннотация. Изучена возможность применения порошковой проволоки для износостойкой наплавки, содержащей отходы (пыли газоочистки) производств силикомарганца и алюминия. Наплавку осуществляли с помощью сварочного трактора под флюсом, изготовленным из шлака силикомарганца производства Западно-Сибирского электрометаллургического завода. Скорость износа на образцах определяли на машине 2070 СМТ-1. Метод определения скорости износа основан на изменении массы образца при испытании диск – колодка. Химический состав наплавленного металла определяли рентгенофлуоресцентным методом на спектрометре XRF-1800 и атомно-эмиссионным методом на спектрометре ДФС-71. Твердость наплавленных слоев измеряли с помощью твердомера МЕТ-ДУ. Оценку количества неметаллических включений проводили по ГОСТ 1778 – 70 с помощью оптического микроскопа OLYMPUS GX-51. В работе показана возможность применения для износостойкой наплавки порошковой проволоки, содержащей техногенные отходы производства силикомарганца и алюминия. Определен коэффициент усвоения марганца при различных соотношениях компонентов. Коэффициент усвоения марганца связан с восстановлением оксида марганца из марганецсодержащего флюса (за счет содержащегося в порошковой проволоке углерода). При значительном избытке углерода в порошковой проволоке из марганецсодержащего флюса усвоение марганца превышает 100 %. Процесс усвоения марганца определяется коэффициентом заполнения порошковой проволоки, количеством углеродсодержащего материала, находящегося в составе шихты, и содержанием углерода в самом электродуговом покрытии. В наплавленном металле присутствуют силикаты недеформирующиеся и оксиды точечные. Загрязненность оксидными неметаллическими включениями наплавленного металла небольшая. Присутствие данных неметаллических включений не оказывает существенного влияния на эксплуатационные характеристики наплавленного слоя.

Ключевые слова: порошковая проволока, наплавка, образцы, неметаллические включения, микроструктура, твердость, скорость истирания

Для цитирования: Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Усольцев А.А., Кибко Н.В., Бащенко Л.П. Разработка новой порошковой проволоки на основе пыли газоочистки силикомарганца // Известия вузов. Черная металлургия. 2021. Т. 64. № 12. С. 863–869.
<https://doi.org/10.17073/0368-0797-2021-12-863-869>

Original article

DEVELOPMENT OF A NEW CORED WIRE BASED ON SILICA MANGANESE GAS-CLEANING DUST

N. A. Kozyrev, R. E. Kryukov, A. A. Usol'tsev,
N. V. Kibko, L. P. Bashchenko

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

Abstract. The paper describes the possibility of using cored wire for wear-resistant hardfacing containing waste (dust of gas-cleaners) from the production of silica manganese and aluminum. Hardfacing was carried out using a submerged welding tractor made of silica manganese slag produced by the West Siberian Electrometallurgical Plant. The wear rate on the samples was determined on 2070 CMT-1 machine. The method for it is based on change in the sample mass during the disc – pad test. Chemical composition of the deposited metal was determined by X-ray fluorescence method on XRF-1800 spectrometer and by the atomic emission method on DFS-71 spectrometer. The hardness of the deposited layers was measured using METH-DO hardness tester. Evaluation of the quantity of nonmetallic inclusions was made according to GOST 1778 – 70 using an OLYMPUS GX-51 optical microscope. The coefficient of manganese recovery was found at different ratios of components. This coefficient is associated with the reduction of manganese oxide from manganese-containing flux (due to the carbon contained in the cored wire). With a significant excess of carbon in the cored wire from manganese-containing flux, recovery of manganese exceeds 100 %. The process of manganese recovery was determined by filling coefficient of the cored wire, amount of the carbon-containing material in the charge, and carbon content in the electric-arc coating itself. The deposited metal contains non-deformable silicates and point oxides. Contamination by oxide nonmetallic inclusions of the deposited metal is small. The presence of these non-metallic inclusions does not significantly affect the operational characteristics of the deposited layer.

Keywords: cored wire, hardfacing, samples, nonmetallic inclusions, microstructure, hardness, abrasion rate

For citation: Kozyrev N.A., Kryukov R.E., Usol'tsev A.A., Kibko N.V., Bashchenko L.P. Development of a new cored wire based on silica manganese gas-cleaning dust. *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2021, vol. 64, no. 12, pp. 863–869. (In Russ.).
<https://doi.org/10.17073/0368-0797-2021-12-863-869>

ВВЕДЕНИЕ

В Российской Федерации и за рубежом большое внимание уделяется вопросам разработки новых материалов. Одним из направлений является разработка порошковых проволок для наплавки [1 – 4]. Представляют интерес [5 – 8] экономно легированные технологичные наплавочные материалы, которые обеспечивают получение в наплавленном металле структуры низкоуглеродистого мартенсита (наблюдается эффект самозакалки при охлаждении). При применении таких экономичных наплавочных материалов в наплавленном металле формируется бейнитно-аустенитная структура. Такая структура обладает более высокой износостойкостью, чем получаемая при наплавке широко применяемой порошковой проволоки ПП-Нп-18Х1Г1М, содержащей дорогостоящий молибден [9 – 12].

Проволоки на основе марганца и марганецсодержащих компонентов играют важную роль для износостойкости наплавки. Особенностью низкоуглеродистого марганцевого наплавленного металла мартенситного класса является увеличение абразивной износостойкости, несмотря на снижение твердости [13 – 16].

Одним из перспективных направлений в создании технологий формирования износостойких покрытий и наплавов электродуговым способом является применение порошковых проволок, содержащих в качестве флюсов техногенные отходы металлургических производств. Однако развитие рассматриваемого направления сдерживается из-за отсутствия данных о зависимостях и закономерностях влияния различных факторов на структуру и свойства покрытий. Именно поэтому исследования, в которых в качестве составляющих проволок используют отходы метал-

лургического производства [17 – 20], представляют особый интерес.

Целью настоящей работы являлась разработка новой порошковой проволоки на основе пыли газоочистки производства силикомарганца. Для этого изучали возможности применения для износостойкой наплавки порошковых проволок, содержащих пыль газоочисток производств силикомарганца (в качестве восстанавливаемого компонента – оксида марганца) и алюминия (в качестве восстановителя).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изготовление порошковой проволоки осуществляли на лабораторном станке, на котором производилось сворачивание ленты путем волочения через фильеру и намотка полученной порошковой проволоки на барабан. При переустановке фильер различных диаметров возможно уменьшение диаметра получаемой проволоки. От обычного волочильного барабана станок отличается измененной конструкцией захвата конца проволоки, малой скоростью волочения, наличием устройства для подачи смеси на ленту перед волокой и специальным приспособлением для смазки наружной поверхности ленты. Оболочка порошковой проволоки изготовлена из ленты мягкой малоуглеродистой стали марки Ст3 холодного проката (ширина ленты 20 мм, толщина 0,5 мм), диаметр проволоки 6 мм. Степень заполнения проволоки составляет (по объему): 68 – 70 % порошок, 30 – 32 % металлическая лента. В качестве наполнителя использовалась пыль газоочисток производства алюминия и силикомарганца. Химический состав пыли производства алюминия следующий, % (по массе): 21,00 – 46,23 Al_2O_3 ; 18 – 27 F; 8 – 15 % Na_2O ;

Т а б л и ц а 1

Параметры порошковых проволок

Table 1. Parameters of cored wires

Образец	Количество пыли газоочистки производства силикомарганца		Количество пыли газоочистки производства алюминия		Общая масса, г	Масса оболочки, г	Масса порошка, г	Коэффициент заполнения, %	Усвоение марганца, %
	г	%	г	%					
1	100	89,89	11,25	10,11	19,759	18,333	1,426	7,217	73
2	100	81,63	22,50	18,37	17,816	16,523	1,293	7,258	82
3	100	74,77	33,75	25,23	18,975	17,735	1,240	6,535	88
4	100	68,96	45,00	31,04	19,510	18,501	1,009	5,172	126
5	100	59,70	67,50	40,30	19,089	17,983	1,106	5,794	124
6	100	50,00	100,00	50,00	19,428	18,082	1,346	6,928	124

0,4 – 6,0 % K₂O; 0,7 – 2,3 CaO; 0,50 – 2,48 Si₂O₃; 2,10 – 3,27 Fe₂O₃; 12,5 – 30,2 C_{общ}; 0,07 – 0,90 MnO; 0,06 – 0,90 MgO; 0,09 – 0,19 S; 0,10 – 0,18 P. Пыль газоочистки производства силикомарганца содержала, % (по массе): 2,43 Al₂O₃; 1,32 Na₂O; 5,56 K₂O; 6,4 CaO; 29,19 SiO₂; 0,137 BaO; 7,54 MgO; 0,23 S; 0,04 P; 1,067 Fe; 27,69 Mn; 2,687 Zn; 3,833 Pb. В табл. 1 приведены компонентные составы исследуемых проволок и полученные коэффициенты заполнения и усвоения марганца (используется погонная масса материалов, длина образца 0,25 м).

Наплавка проводилась с помощью сварочного трактора ASAW – 1250 на стальные пластины толщиной 14 – 16 мм размером 10×500 мм. Наплавку осуществляли под флюсом, изготовленным из шлака силикомарганца производства Западно-Сибирского электрометаллургического завода. Состав шлака следующий, % (по массе): 6,91 – 9,62 Al₂O₃; 22,85 – 31,70 CaO; 46,46 – 48,16 SiO₂; 0,27 – 0,81 FeO; 6,48 – 7,92 MgO; 8,01 – 8,43 MnO; 0,28 – 0,76 F; 0,26 – 0,36 Na₂O; 0,6 – 2,0 K₂O; 0,15 – 0,17 S; 0,01 P. Режим наплавки: сила тока 520 А; напряжение 28 В; скорость сварки 18 м/ч. Химический состав электродугового покрытия определяли рентгенофлуоресцентным методом на спектрометре XRF-

1800 и атомно-эмиссионным методом на спектрометре ДФС-71 (табл. 2). Твердость электродуговых покрытий измеряли с помощью твердомера МЕТ-ДУ [17, 18].

Для определения скорости износа использовался метод, основанный на изменении массы образца при испытании диск – колодка [17, 18]. Скорость износа образцов определяли на машине 2070 СМТ-1. Испытания на скорость износа проводились при нагрузке 78,4 Н и частоте 20 об/мин. Частоту вращения измеряли тахогенератором, установленным на валу двигателя. Количество оборотов вращения определяли бесконтактным способом. Образец при испытаниях взаимодействует с колодкой, которая изготовлена из стали марки Р18.

Неметаллические включения оценивались согласно ГОСТ 1778 – 70. С помощью оптического микроскопа OLYMPUS GX-51 были изучены микрошлифы без травления [17, 18].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В настоящей работе рассмотрена возможность применения для износостойкой наплавки порошковых проволок, содержащих пыль газоочисток производств алюминия (в качестве восстановителя) и силикомарган-

Т а б л и ц а 2

Химический состав слоя наплавленного металла

Table 2. Chemical composition of the deposited metal layer

Образец	Содержание, % (по массе)												
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	Ti	V	Mo	Al	Nb	S	P
1	0,08	0,38	1,31	0,03	0,08	0,11	0,001	0,003	0,02	0,001	0,006	0,079	0,017
2	0,08	0,57	1,35	0,05	0,06	0,19	–	0,004	–	0,052	0,012	0,074	0,014
3	0,08	0,40	1,19	0,04	0,07	0,01	–	–	–	0,011	0,009	0,063	0,015
4	0,09	0,49	1,25	0,03	0,08	0,09	0,001	0,003	0,01	0,011	0,006	0,076	0,017
5	0,16	0,46	1,19	0,02	0,07	0,07	0,001	0,003	0,01	0,011	0,006	0,073	0,016
6	0,22	0,50	1,19	0,03	0,07	0,07	0,001	0,003	0,01	0,006	0,006	0,083	0,014

Т а б л и ц а 3

Химический состав шлаковых корок

Table 3. Chemical composition of slag crusts

Образец	Содержание, % (по массе)													
	FeO	MnO	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	S	P	ZnO	Cr ₂ O ₂	F	TiO ₂
1	1,80	8,37	29,95	43,65	7,27	5,30	0,39	0,16	0,17	0,010	0,040	0,048	0,63	0,07
2	2,25	8,16	30,05	44,45	7,70	5,47	0,39	0,13	0,14	0,012	0,038	0,059	0,62	0,06
3	1,77	8,13	30,17	43,84	7,51	5,17	0,37	0,07	0,17	0,011	0,014	0,050	0,62	0,08
4	2,75	7,52	31,62	43,12	7,56	5,33	0,30	0,09	0,15	0,011	0,012	0,053	0,47	0,08
5	2,11	7,93	30,57	42,95	8,41	5,58	0,46	0,08	0,18	0,011	0,016	0,043	0,77	0,07
6	2,11	7,75	30,30	42,47	8,47	5,42	0,46	0,05	0,17	0,011	0,011	0,036	0,83	0,07

Твердость НВ и износ образцов

Table 4. HB hardness and wear of the samples

Образец	Начальная масса, г	Масса после истирания, г	Количество бортов	Потеря массы образца, г	Износ, г/об.	НВ
1	82,587	82,139	3070	0,448	0,000146	126
2	92,395	91,960	3300	0,435	0,000132	136
3	89,288	88,780	4990	0,508	0,000102	132
4	84,935	84,495	3500	0,440	0,000126	133
5	113,299	112,974	3410	0,325	0,000095	143
6	115,758	115,338	3300	0,420	0,000127	167

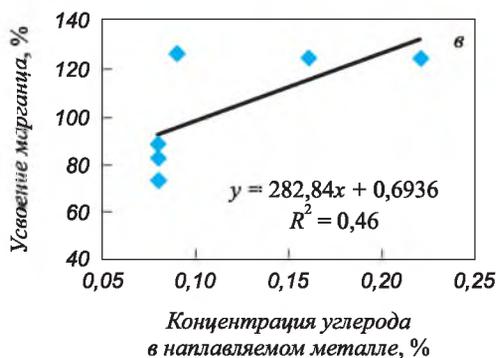
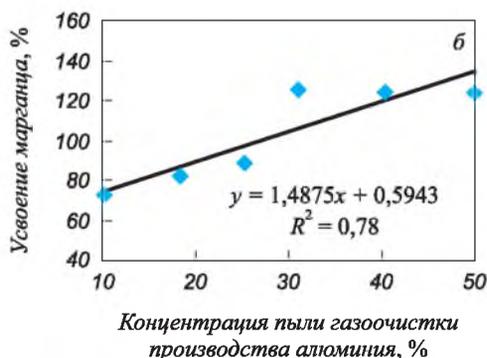
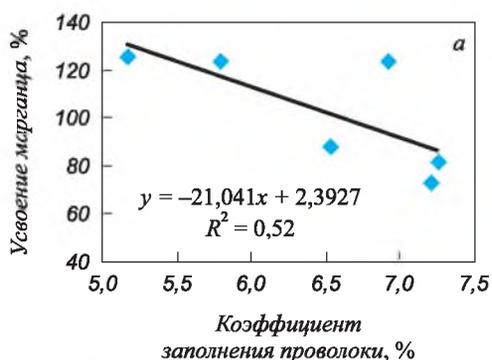


Рис. 1. Зависимость усвоения марганца от коэффициента заполнения порошковой проволоки (а), от концентрации пыли газоочистки производства алюминия (б) и от концентрации углерода в наплавляемом металле (в)

Fig. 1. Dependence of manganese recovery on the cored wire filling coefficient (a), on the concentration of dust from the gas-cleaning of aluminum production (b) and on carbon concentration in the deposited metal (c)

ца (в качестве восстанавливаемого компонента – оксида марганца).

В табл. 2, 3 приведены химический состав электродугового покрытия и состав шлаковых корок. Твердость и результаты испытания на скорость износа представлены в табл. 4.

Коэффициент усвоения марганца определяли как отношение содержания марганца в наплавленном металле к общему количеству введенного марганца. Этот коэффициент связан с восстановлением оксида марганца из марганецсодержащего флюса (за счет содержащегося в порошковой проволоке углерода). При значительном избытке углерода в порошковой проволоке из марганецсодержащего флюса усвоение марганца превышает 100 % (табл. 1). Процесс усвоения марганца определяется коэффициентом заполнения порошковой проволоки, количеством углеродсодержащего материала, находящегося в составе шихты, и содержанием углерода в самом электродуговом покрытии и содержанием марганца во флюсе (рис. 1). В качестве углеродсодержащего материала использовалась пыль газоочистки производства алюминия [17 – 20].

Оценка неметаллических включений в зоне сварных швов

Table 5. Evaluation of non-metallic inclusions in the weld area

Образец	Неметаллические включения, балл	
	Силикаты недеформирующиеся	Оксиды точечные
1	16,26	1а, 2а, 3а
2	16	1а, 2а, 3а
3	26, редко 46	1а, 2а
4	26, 16	1а
5	26, 16	1а
6	16, редко 46	1а

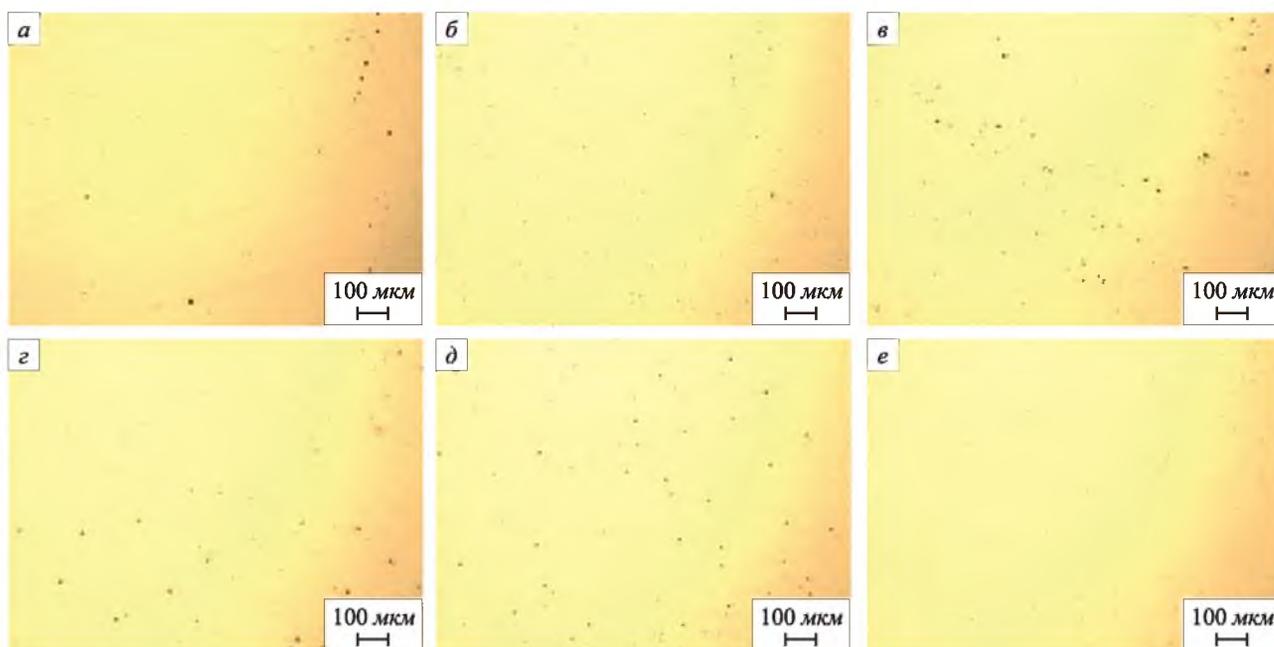


Рис. 2. Неметаллические включения в зоне наплавленных образцов 1 (а), 2 (б), 3 (в), 4 (г), 5 (д), 6 (е)

Fig. 2. Nonmetallic inclusions in the zone of deposited samples 1 (a), 2 (b), 3 (c), 4 (d), 5 (e), 6 (f)

Количество неметаллических включений в электродуговом покрытии определяли по ГОСТ 1778 – 70. Результаты оценки неметаллических включений представлены в табл. 5. На рис. 2 приведены неметаллические включения в электродуговом покрытии: присутствуют силикаты недеформирующиеся и оксиды точечные. Загрязненность оксидными неметаллическими включениями электродугового покрытия незначительная. Присутствие этих неметаллических включений не оказывает существенного влияния на эксплуатационные характеристики наплавленного слоя [16 – 20].

Для обработки результатов исследований были использованы методы статистической обработки экспериментальных данных, с помощью которых были построены зависимости влияния химического состава на свойства наплавленного слоя.

Выводы

Подтверждена возможность применения для износостойкой наплавки порошковых проволок, содержа-

щих пыль газоочисток производств алюминия (в качестве восстановителя) и силикомарганца (в качестве восстанавливаемого компонента – оксида марганца). Установлены параметры и режимы износостойкой наплавки. Определено усвоение марганца при различных соотношениях компонентов. В наплавленном металле выявлены силикаты недеформирующиеся и оксиды точечные. Загрязненность оксидными неметаллическими включениями наплавленного металла небольшая. Присутствие неметаллических включений не оказывает существенного влияния на эксплуатационные характеристики наплавленного слоя. Применение предлагаемой порошковой проволоки для износостойкой наплавки под слоем флюсом из шлака силикомарганца позволяет частично утилизировать техногенные отходы металлургического производства и уменьшить стоимость сварочных и наплавочных материалов, обеспечивая при этом хорошие эксплуатационные характеристики наплавленного слоя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

1. Metlitskii V.A. Flux-cored wires for arc welding and surfacing of cast iron // *Welding International*. 2008. Vol. 22. No. 11. P. 796–800. <https://doi.org/10.1080/09507110802593646>
2. Filippov M.A., Shumyakov V.I., Balin S.A., Zhilin A.S., Lehchilo V.V., Rimer G.A. Structure and wear resistance of deposited alloys based on metastable chromium-carbon austenite // *Welding International*. 2015. Vol. 29. No. 10. P. 819–822. <https://doi.org/10.1080/09507116.2014.986891>
3. Liu D.S., Liu R.P., Wei Y.H. Influence of tungsten on microstructure and wear resistance of iron base hardfacing alloy // *Materials Science*
1. Metlitskii V.A. Flux-cored wires for arc welding and surfacing of cast iron. *Welding International*. 2008, vol. 22, no. 11, pp. 796–800. <https://doi.org/10.1080/09507110802593646>
2. Filippov M.A., Shumyakov V.I., Balin S.A., Zhilin A.S., Lehchilo V.V., Rimer G.A. Structure and wear resistance of deposited alloys based on metastable chromium-carbon austenite. *Welding International*. 2015, vol. 29, no. 10, pp. 819–822. <https://doi.org/10.1080/09507116.2014.986891>
3. Liu D.S., Liu R.P., Wei Y.H. Influence of tungsten on microstructure and wear resistance of iron base hardfacing alloy. *Materials Science*

- ce and Technology. 2013. Vol. 30. No. 3. P. 316–322. <https://doi.org/10.1179/1743284713Y.0000000359>
4. Kejžar R., Grum J. Hardfacing of wear-resistant deposits by MAG welding with a flux-cored wire having graphite in its filling // *Materials and Manufacturing Processes*. 2005. Vol. 20. No. 6. P. 961–976.
 5. Li R., He D.Y., Zhou Z., Wang Z.J., Song X.Y. Wear and high temperature oxidation behavior of wire arc sprayed iron based coatings // *Surface Engineering*. 2014. Vol. 30. P. 784–790. <https://doi.org/10.1179/1743294414Y.0000000331>
 6. Ma H.R., Chen X.Y., Li J.W., Chang C.T., Wang G., Li H., Wang X.M., Li R.W. Fe-based amorphous coating with high corrosion and wear resistance // *Surface Engineering*. 2017. Vol. 33. No. 1. P. 56–62. <https://doi.org/10.1080/02670844.2016.1176718>
 7. Lim S.C., Gupta M., Goh Y.S., Seow K.C. Wear resistant WC–Co composite hard coatings // *Surface Engineering*. 1997. Vol. 13. No. 3. P. 247–250. <https://doi.org/10.1179/sur.1997.13.3.247>
 8. Zhuk Yu. Super-hard wear-resistant coating systems // *Materials Technology*. 1999. Vol. 14. No. 3. P. 126–129. <https://doi.org/10.1080/10667857.1999.11752827>
 9. Hardell J., Yousfi A., Lund M., Pelcastre L., Prakash B. Abrasive wear behaviour of hardened high strength boron steel // *Tribology – Materials, Surfaces & Interfaces*. 2014. Vol. 8. No. 2. P. 90–97. <https://doi.org/10.1179/1751584X14Y.0000000068>
 10. Deng X.T., Fu T.L., Wang Z.D., Misra R.D.K., Wang G.D. Epsilon carbide precipitation and wear behaviour of low alloy wear resistant steels // *Materials Science and Technology*. 2016. Vol. 32. No. 4. P. 320–327. <https://doi.org/10.1080/02670836.2015.1137410>
 11. Kirchgäßner M., Badisch E., Franek F. Behaviour of iron-based hardfacing alloys under abrasion and impact // *Wear*. 2008. Vol. 265. No. 5-6. P. 772–779. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2008.01.004>
 12. Пашкин В.П., Рахимов К.З. Производство порошковой проволоки. М.: Металлургия, 1979. 80 с.
 13. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением / Под ред. Б.Е. Патона. М.: Металлургия, 1974. 768 с.
 14. Геллер Ю.А. Инструментальные стали. М.: Металлургия, 1975. 584 с.
 15. Тепляшин М.В., Комков В.Г. Исследование влияния легирующих элементов на износостойкость в сплавах, предназначенных для электрошлаковой наплавки бил молотковых мельниц // *Ученые заметки ТОГУ*. 2013. Т. 4. № 4. С. 1554–1561.
 16. Тепляшин М.В., Комков В.Г., Старенко В.А. Разработка экономнолегированного сплава для восстановления бил молотковых мельниц // *Ученые заметки ТОГУ*. 2013. Т. 4. № 4. С. 1543–1549.
 17. Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Кибко Н.В., Непомнящих А.С. Разработка новой износостойкой порошковой проволоки для наплавки брони ковшей горнодобывающего оборудования // *Научно-технические технологии разработки и использования минеральных ресурсов*. 2018. № 4. С. 288–292.
 18. Козырев Н.А., Усольцев А.А., Прудников А.Н., Крюков Р.Е. Изучение свойств порошковой проволоки на основе пыли газоочистки феррохрома // *Черная металлургия. Бюллетень научнотехнической и экономической информации*. 2019. Т. 75. № 3. С. 365–373. <https://doi.org/10.32339/0135-5910-2019-3-365-372>
 19. Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Усольцев А.А., Уманский А.А., Соколов П.Д. Разработка новых порошковых проволок для наплавки. Порошковые проволоки с использованием углеродфторсодержащих материалов для ремонта прокатных валков // *Черная металлургия. Бюллетень научнотехнической и экономической информации*. 2018. № 1. С. 77–86.
 20. Osetkovsky I.V., Kozyrev N.A., Kryukov R.E., Usoltsev A.A., Gusev A.I. Development of a wear-resistant flux cored wire of Fe–C–Si–Mn–Cr–Ni–Mo–V system for deposit welding of mining equipment parts. In: *Int. Sci. and Research Conf. on Knowledge-based Technologies in Development and Utilization of Mineral Resources (KTDMUR2017)*, 6–9 June 2017, Novokuznetsk, Russian Federation. 2017. Vol. 84. Article 012017. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/84/1/012017>
 - and Technology. 2013, vol. 30, no. 30, pp. 316–322. <https://doi.org/10.1179/1743284713Y.0000000359>
 4. Kejžar R., Grum J. Hardfacing of wear-resistant deposits by MAG welding with a flux-cored wire having graphite in its filling. *Materials and Manufacturing Processes*. 2005, vol. 20, no. 6, pp. 961–976.
 5. Li R., He D.Y., Zhou Z., Wang Z.J., Song X.Y. Wear and high temperature oxidation behavior of wire arc sprayed iron based coatings. *Surface Engineering*. 2014, vol. 30, no. 11, pp. 784–790. <https://doi.org/10.1179/1743294414Y.0000000331>
 6. Ma H.R., Chen X.Y., Li J.W., Chang C.T., Wang G., Li H., Wang X.M., Li R.W. Fe-based amorphous coating with high corrosion and wear resistance. *Surface Engineering*. 2017, vol. 33, no. 1, pp. 56–62. <https://doi.org/10.1080/02670844.2016.1176718>
 7. Lim S.C., Gupta M., Goh Y.S., Seow K.C. Wear resistant WC–Co composite hard coatings. *Surface Engineering*. 1997, vol. 13, no. 3, pp. 247–250. <https://doi.org/10.1179/sur.1997.13.3.247>
 8. Zhuk Yu. Super-hard wear-resistant coating systems. *Materials Technology*. 1999, vol. 14, no. 3, pp. 126–129. <https://doi.org/10.1080/10667857.1999.11752827>
 9. Hardell J., Yousfi A., Lund M., Pelcastre L., Prakash B. Abrasive wear behaviour of hardened high strength boron steel. *Tribology – Materials, Surfaces & Interfaces*. 2014, vol. 8, no. 2, pp. 90–97. <https://doi.org/10.1179/1751584X14Y.0000000068>
 10. Deng X.T., Fu T.L., Wang Z.D., Misra R.D.K., Wang G.D. Epsilon carbide precipitation and wear behaviour of low alloy wear resistant steels. *Materials Science and Technology*. 2016, vol. 32, no. 4, pp. 320–327. <https://doi.org/10.1080/02670836.2015.1137410>
 11. Kirchgäßner M., Badisch E., Franek F. Behaviour of iron-based hardfacing alloys under abrasion and impact. *Wear*. 2008, vol. 265, no. 5-6, pp. 772–779. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2008.01.004>
 12. Patsekin V.P., Rakhimov K.Z. *Production of Cored Wire*. Moscow: Metallurgiya, 1979, 80 p. (In Russ.).
 13. *Technology of Electrical Welding of Metals and Alloys by Melting*. Paton B.E. ed. Moscow: Metallurgiya, 1974, 768 p. (In Russ.).
 14. Geller Yu.A. *Tool Steel*. Moscow: Metallurgiya, 1975, 584 p. (In Russ.).
 15. Teplyashin M.V., Komkov V.G. Effect of alloying elements on wear resistance in alloys for electric slag hardfacing of hammer mills. *Uchenye zametki TOGU*. 2013, vol. 4, no. 4, pp. 1554–1561. (In Russ.).
 16. Teplyashin M.V., Komkov V.G., Starienko V.A. Development of a sparingly doped alloy for restoration of hammer mill bits. *Uchenye zametki TOGU*. 2013, vol. 4, no. 4, pp. 1543–1549. (In Russ.).
 17. Kozyrev N.A., Kryukov R.E., Kibko N.V., Nepomnyashchikh A.S. Development of a new wear-resistant cored wire for hardfacing of armor buckets for mining equipment. *Naukoemkie tekhnologii razrabotki i ispol'zovaniya mineral'nykh resursov*. 2018, no. 4, pp. 288–292. (In Russ.).
 18. Kozyrev N.A., Usol'tsev A.A., Prudnikov A.N., Kryukov R.E. Study of properties of cored wire based on ferrochrome gas-cleaning dust. *Ferrous Metallurgy. Bulletin of Scientific, Technical and Economic Information*. 2019, vol. 75, no. 3, pp. 365–373. (In Russ.). <https://doi.org/10.32339/0135-5910-2019-3-365-372>
 19. Kozyrev N.A., Kryukov R.E., Usol'tsev A.A., Uman'skii A.A., Sokolov P.D. The development of the new cored wires for surfacing. The new cored wires with the use of the carbon and fluorine containing materials for the repair of the mill. *Ferrous Metallurgy. Bulletin of Scientific, Technical and Economic Information*. 2018, no. 1, pp. 77–86. (In Russ.).
 20. Osetkovsky I.V., Kozyrev N.A., Kryukov R.E., Usoltsev A.A., Gusev A.I. Development of a wear-resistant flux cored wire of Fe–C–Si–Mn–Cr–Ni–Mo–V system for deposit welding of mining equipment parts. In: *Int. Sci. and Research Conf. on Knowledge-based Technologies in Development and Utilization of Mineral Resources (KTDMUR2017)*, 6–9 June 2017, Novokuznetsk, Russian Federation. 2017, vol. 84, article 012017. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/84/1/012017>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Николай Анатольевич Козырев, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой материаловедения, литейного и сварочного производства, Сибирский государственный индустриальный университет

ORCID: 0000-0002-7391-6816

E-mail: kozyrev_na@mtsp.sibsiu.ru

Роман Евгеньевич Крюков, к.т.н., доцент кафедры материаловедения, литейного и сварочного производства, Сибирский государственный индустриальный университет

E-mail: rek_nzrmk@mail.ru

Александр Александрович Усольцев, к.т.н., доцент кафедры материаловедения, литейного и сварочного производства, Сибирский государственный индустриальный университет

ORCID: 0000-0001-6220-7910

E-mail: a.us@rambler.ru

Наталья Валерьевна Кибко, к.т.н., доцент кафедры материаловедения, литейного и сварочного производства, Сибирский государственный индустриальный университет

E-mail: krivicheva_nv@mail.ru

Людмила Петровна Бащенко, к.т.н., доцент кафедры теплоэнергетики и экологии, Сибирский государственный индустриальный университет

ORCID: 0000-0003-1878-909X

E-mail: luda.baschenko@gmail.com

Nikolai A. Kozyrev, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Head of the Chair "Materials, Foundry and Welding Production", Siberian State Industrial University

ORCID: 0000-0002-7391-6816

E-mail: kozyrev_na@mtsp.sibsiu.ru

Roman E. Kryukov, Cand. Sci. (Eng.), Assist. Prof. of the Chair "Materials, Foundry and Welding Production", Siberian State Industrial University

E-mail: rek_nzrmk@mail.ru

Aleksandr A. Usol'tsev, Cand. Sci. (Eng.), Assist. Prof. of the Chair "Materials, Foundry and Welding Production", Siberian State Industrial University

ORCID: 0000-0001-6220-7910

E-mail: a.us@rambler.ru

Natal'ya V. Kibko, Cand. Sci. (Eng.), Assist. Prof. of the Chair "Materials, Foundry and Welding Production", Siberian State Industrial University

E-mail: krivicheva_nv@mail.ru

Lyudmila P. Bashchenko, Cand. Sci. (Eng.), Assist. Prof. of the Chair "Thermal Power and Ecology", Siberian State Industrial University

ORCID: 0000-0003-1878-909X

E-mail: luda.baschenko@gmail.com

ВКЛАД АВТОРОВ

CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Козырев Н.А. – формирование основной идеи исследований, разработка методологии работы, анализ результатов исследований.

Крюков Р.Е. – организация испытаний образцов, сбор данных исследований, анализ результатов исследований.

Усольцев А.А. – разработка плана исследований, постановка задач, анализ результатов исследований.

Кибко Н.В. – исследование образцов на электронном микроскопе, анализ результатов исследований.

Бащенко Л.П. – выполнение металлографических исследований, анализ результатов исследований, подготовка материалов для статьи.

Kozyrev N.A. – formation of the research main idea, development of the methodology, analysis of the research results.

Kryukov R.E. – organization of the sample tests, collection of the research data, analysis of the research results.

Usol'tsev A.A. – development of the research plan, tasks statement, analysis of the research results.

Kibko N.V. – samples examination with an electron microscope, analysis of the research results.

Bashchenko L.P. – performing the metallographic studies, analysis of the research results, preparing materials for the article.

Поступила в редакцию 30.06.2020

После доработки 08.07.2020

Принята к публикации 28.08.2021

Received 30.06.2020

Revised 08.07.2020

Accepted 28.08.2021

НАУКОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЖУРНАЛА

В 2017 году международная база данных Scopus возобновила индексирование журнала «Известия ВУЗов. Черная металлургия». На инфографике отражены текущие показатели. Данные предоставлены сайтами www.scopus.com и www.scimagojr.com.



Над номером работали:

Леонтьев Л.И., *главный редактор*

Протопопов Е.В., *заместитель главного редактора*

Ивани Е.А., *заместитель главного редактора*

Башенко Л.П., *заместитель ответственного секретаря*

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

Долицкая О.А., *научный редактор*

Запольская Е.М., *ведущий редактор*

Киселева Н.Н., *ведущий редактор*

Расенец В.В., *верстка, иллюстрации*

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

Подписано в печать 11.01.2022. Формат 60×90 ¹/₈. Бум. офсетная № 1.
Печать цифровая. Усл. печ. л. 10,75. Заказ 14124. Цена свободная.

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

IZVESTIYA

FERROUS METALLURGY

IN MEMORY OF YURII SERGEEVICH KARABASOV

DEVELOPMENT OF A NEW CORED WIRE BASED ON SILICA MANGANESE GAS-CLEANING DUST

SURFACE HARDENING OF CARBIDE TOOLS BASED ON TUNGSTEN CARBIDE BY CONCENTRATED ENERGY FLOWS

PHYSICAL NATURE OF HARDENING OF HEAT-RESISTANT METAL OF HIGH HARDNESS FORMED BY PLASMA IN NITROGEN MEDIUM

PHYSICAL NATURE OF RAIL SURFACE HARDENING DURING LONG-TERM OPERATION

REDUCTION OF EQUIPMENT UNPLANNED DOWNTIME DURING REPAIRS AND MODERNIZATION BASED ON STRENGTH ANALYSIS

HYDRODYNAMIC EFFECT OF TECHNOLOGICAL LUBRICATION AND FRICTION MODES FORMATION AT SHEET ROLLING

MATHEMATICAL MODEL FOR DETERMINING THE NUMBER OF STOP BLOCKS ON THE ROLL OF A SINGLE-ROLL CRUSHING MACHINE

FEATURES OF EXHAUST GASES AFTERBURNING IN A CONVERTER WHEN USING TWO-TIER OXYGEN LANCES FOR REFINING

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF DESIGN PARAMETERS ON THERMAL PROCESSES IN A BLAST FURNACE TUYERE USING ANSYS SOFTWARE

TO THE 90TH ANNIVERSARY OF VLADIMIR NIKOLAEVICH PERETYAT'KO

A.M. GLEZER AND V.E. GROMOV IN THE LIST OF THE MOST CITED SCIENTISTS

INDEX OF ARTICLES "IZVESTIYA. FERROUS METALLURGY" FOR 2021, VOL. 64