



ISSN 0135-5910 (Print)
ISSN 2619-0753 (Online)

ЧЕРНАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ

Бюллетень научно-технической и экономической информации

ИНСТИТУТУ ГОРНОГО ДЕЛА УрО РАН – 60 лет



ИГД УрО РАН - ВЕДУЩИЙ НИИ В ОБЛАСТИ ГОРНОГО ДЕЛА РОССИИ

Ferrous Metallurgy

Bulletin of Scientific, Technical and Economic Information

Том 78 №3

2022



ISSN 0135-5910 (Print)
ISSN 2619-0753 (Online)

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет (научно-исследовательский университет)»

ЧЕРНАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ

БЮЛЛЕТЕНЬ научно-технической и экономической информации

Журнал включен в перечень научных изданий, рекомендованных ВАК РФ для публикации основных результатов диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору
в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций
Регистрационный номер ПИ № 77-82438

Издается с 1944 года, ежемесячно

Том 78, № 3

2022

Челябинск,
ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)»

ISSN 0135-5910 (Print)
ISSN 2619-0753 (Online)

ЧЕРНАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ

БЮЛЛЕТЕНЬ научно-технической и экономической информации

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор - СМЕРНОВ Л.А., академик РАН (Российская академия наук, ОАО "Уральский институт металлов", Институт металлургии УрО РАН, г. Екатеринбург)

Зам. главного редактора - ВИННИК Д.А., д-р. хим. наук (ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)», г. Челябинск)

Зам. главного редактора - БЕССОНОВ А.В., канд. экон. наук (ОАО "Черметинформация", г. Москва)

Зам. главного редактора - ГАМОВ П.А., канд. техн. наук (ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)», г. Челябинск)

АКСЕЛЬБРОД Л.М., канд. техн. наук (НИТУ «МИСиС», г. Москва)

АНДРЕЕВ К.П., канд. техн. наук (Уханьский Университет Науки и Технологии (WUST), Ухань, Китай)

БАБЕНКО А.А., д-р техн. наук (Институт металлургии УрО РАН (ИМет УрО РАН), Екатеринбург)

БАБИЧ А.И., д-р техн. наук (университет Ахена, Германия)

БЕЛОВ В.К., канд. физ.-мат. наук (Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск)

БРОДОВ А.А., канд. экон. наук (ФГУП "ЦНИИчермет им. И.П. Бардина", г. Москва)

БЫХОВСКИЙ Л.З., д-р техн. наук (ФГБУ ВИМС, г. Москва)

ВЕДЕНЕЕВ А.В., канд. техн. наук (ОАО "Белорусский металлургический завод – управляющая компания холдинга "Белорусская металлургическая компания", г. Жлобин, Республика Беларусь)

ГОРДОН Я.М., д-р техн. наук (фирма Хатч, г. Торонто, Канада)

ДЕНИСОВ С.В., д-р техн. наук (ОАО ММК, г. Магнитогорск)

ДМИТРИЕВ А.Н., д-р техн. наук (Институт металлургии УрО РАН, г. Екатеринбург)

ЗОЛОТУХИН Ю.А., канд. техн. наук (АО ВУХИН, г. Екатеринбург)

ЖЕРЕБЦОВ Д.А., д-р. хим. наук (ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)», г. Челябинск)

ИБРАЕВ И.К., д-р техн. наук (Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, г. Астана, Республика Казахстан)

КОВАЛЕК АННА, канд. техн. наук (Ченстоховский технологический университет, г. Ченстохова, Польша)

КОЖЕВНИКОВА И.А., д-р техн. наук (Череповецкий государственный университет, г. Череповец)

КОЗЫРЕВ Н.А., д-р техн. наук (Сибирский государственный университет, г. Новокузнецк)

КОСМАЦКИЙ Я.И., д-р. техн. наук (АО "Русский научно-исследовательский институт трубной промышленности", г. Челябинск)

КУЛАКОВ Б.А., д-р. техн. наук (ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)», г. Челябинск)

ЛЯШЕНКО В.И., канд. техн. наук (ГП "УкрНИПИИпромтехнологии", Украина)

МИХАЙЛОВ Г.Г., д-р. техн. наук (ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)», г. Челябинск)

ОРЛОВ Г.А., д-р техн. наук (Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург)

ПРОТАСОВ А.В., канд. техн. наук (АО АХК ВНИИМЕТМАШ г. Москва)

РОЩИН В.Е., д-р. техн. наук (ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)», г. Челябинск)

СИДОРОВА Е.Ю., д-р экон. наук (НИТУ «МИСиС», г. Москва)

СМЕРНОВ А.Н., д-р техн. наук (Физико-технологический институт металлов и сплавов НАНУ, г. Киев, Украина)

СТОЛЯРОВ А.М., д-р техн. наук (Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск)

СТРАХОВ В.М., канд. техн. наук (АО ВУХИН, г. Екатеринбург)

ТАНДОН ПУНИТ, д-р философии (технические науки) (Индийский институт информационных технологий, проектирования и производства, Индия, г. Джабалпур)

ФИЛИППОВ Г.А., д-р техн. наук (ФГУП "ЦНИИчермет им. И.П. Бардина", г. Москва)

ФИЛОСОФОВА Т.Г., д-р экон. наук (Исследовательский университет "Высшая школа экономики" НИУ ВШЭ), г. Москва)

ФРОЛОВ Ю.А., д-р техн. наук (ООО НПФ "Уралэлектра", г. Екатеринбург)

ХАРИТОНОВ В.А., канд. техн. наук (Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск)

ЧИЖИКОВА В.М., д-р техн. наук (ООО "Управляющая компания "Румелко", г. Москва)

ШЕШУКОВ О.Ю., д-р техн. наук (Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург)

Ю ХАЙЛЯНГ, д-р философии (технические науки) (Колледж механики и электротехники Центрального Южного университета, г. Чанша, Китай)

Учредитель: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)"

Адрес редакции:

454080, Челябинская обл., г. Челябинск, пр-т Ленина, д. 76

Тел./факс: +7 (351) 267-91-61

e-mail: gamovpa@susu.ru, bessonov@bk.ru

<https://chermetinfo.elpub.ru/jour>

FERROUS METALLURGY

BULLETIN of Scientific, Technical and Economic Information

EDITORIAL BOARD

Editor-in-Chief - SMIRNOV L.A., *Academician of RAS (Russian Academy of Sciences, OJSC "Ural'sky Institute of Metals", Institute of Metallurgy Ural Branch of RAS, Ekaterinburg)*

Deputy Editor-in-Chief - VINNIK, D.A., *HD (Chem) (FSAEIHE SUSU (NRU), Chelyabinsk)*

Deputy Editor-in-Chief - BESSONOV A.V., *PhD (Econ) (OJSC "Chermetinformatsia", Moscow)*

Deputy Editor-in-Chief - GAMOV P.A., *PhD (Tech) (FSAEIHE SUSU (NRU), Chelyabinsk)*

AKSELROD L.M., *PhD (Tech) (National Research technological University "MISiS", Moscow)*

ANDREEV K.P., *PhD (Tech.) (Wuhan University of Science and Technology (WUST), Wuhan, China)*

BABENKO A.A., *HD (Tech) (Institute of metallurgy Uro RAN (IMet Uro RAN), Ekaterinburg)*

BABICH A.I., *HD (Tech) (Aachen University, Germany)*

BELOV V.K., *PhD (Phys and Mathematic) (Magnitogorsk State technical University after G.I. Nosov, Magnitogorsk)*

BRODOV A.A., *PhD (Econ) (FGUP "CNIIchermet after I.P. Bardin", Moscow)*

BYKHOVSKY L.Z., *HD (Geo and Mineral) (FGBU VIMS, Moscow)*

VEDENEV A.V., *PhD (Tech) (OJSC "Balarus' steelworks – Managing company of Holding "Belarus' metallurgical company", Zhlobin, Balarus')*

GORDON Ya.M., *HD (Tech) (Hutch, Toronto, Canada)*

DENISOV S.V., *HD (Tech) (OJSC MMK, Magnitogorsk)*

DMITRIEV A.N., *HD (Tech) (Institute of Metallurgy Ural branch of RAS, Ekaterinburg)*

ZOLOTUKHIN Yu.A., *PhD (Tech) (JSC VUKHIN, Ekaterinburg)*

ZHEREBTSOV D.A., *HD (Chem) (FSAEIHE SUSU (NRU), Chelyabinsk)*

IBRAEV I.K., *HD (Tech) (Eurasia National University after L.N. Gumilev, Astana, Republic of Kazakhstan)*

KAWALEK ANNA, *PhD (Tech.) (Czestochowa University of Technology, Czestochowa, Poland)*

KOZHEVNIKOVA I.A., *HD (Tech) (Cherepovets State University, Cherepovets)*

KOZYREV N.A., *HD (Tech) (Siberian State University, Novokuznetsk)*

KOSMATSKY Ya.I., *HD (Tech) (JSC "Russia Research and development Institute of Pipe Industry", Chelyabinsk)*

KULAKOV B.A., *HD (Tech) (FSAEIHE SUSU (NRU), Chelyabinsk)*

LYASHENKO V.I., *PhD (Tech) (GP "UkrNIPHPromtehnologii", Ukraine)*

MIKHAILOV G.G., *HD (Tech) (FSAEIHE SUSU (NRU), Chelyabinsk)*

ORLOV G.A., *HD (Tech) (Ural Federal University after the First President of Russia B.N. El'tsin, Ekaterinburg)*

PROTASOV A.V., *PhD (Tech) (JSC AKhK BNIIMET-MASH, Moscow)*

ROSHCHIN V.E., *HD (Tech) (FSAEIHE SUSU (NRU), Chelyabinsk)*

SIDOROVA E.Y., *HD (Econ.) (National Research Technological University "MISiS", Moscow)*

SMIRNOV A.N., *HD (Tech) (Physico-Technology Institute of Metals and Alloys of NANU, Kiev, Ukraine)*

STOLYAROV A.M., *HD (Tech) (Magnitogorsk State technical University after G.I. Nosov, Magnitogorsk)*

STRAKHOV Yu.A., *PhD (Tech) (JSC VUKHIN, Ekaterinburg)*

PUNEET TANDON, *PhD (Indian Institute of Information Technology, Design and Manufacturing, Jabalpur, India)*

FILIPPOV G.A., *HD (Tech) (FGUP "CNIIchermet after I.P. Bardin", Moscow)*

FILOSOFOVA T.G., *HD (Econ.), (Research University "The Highest School of Economics" – NIU VShE, Moscow)*

FROLOV Yu.A., *HD (Tech) (OJSC NPP "Uralelectra", Ekaterinburg)*

KHARITONOV V.A., *PhD (Tech) (Magnitogorsk State Technical University after G.I. Nosov, Magnitogorsk)*

CHIZHIKOVA V.M., *HD (Tech) (OJSC "Managing Company "Rumelco", Moscow)*

SHESHUKOV O.Yu., *HD (Tech) (Ural Federal University after the First President of Russia B.N. El'tsin, Ekaterinburg)*

STOLYAROV A.M., *HD (Tech) (Magnitogorsk State technical University after G.I. Nosov, Magnitogorsk)*

YU HAILIANG, *PhD (Tech.) (College of Mechanical and Electrical Engineering, Central South University, Changsha, China)*

Founders: Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education
"South Ural State University (national research university)"

Editorial Addresses: 76, Lenin Avenue, Chelyabinsk, Russia, 454080

Tel/fax: +7 (351) 267-91-61

e-mail: gamovpa@susu.ru, bessonov@bk.ru

<https://chermetinfo.elpub.ru/jour>

СО Д Е Р Ж А Н И Е

НА ПРЕДПРИЯТИЯХ И В ИНСТИТУТАХ

Горнорудное производство

Соколов И.В., Глебов А.В. Институту горного дела УрО РАН — 60 лет: современное состояние и перспективы развития

209

Аглодомненное производство

Исаенко Г.Е., Мещеряков Н.С., Нечкин Г.А., Чернавин Д.А., Кобелев В.А. Исследование влияния экспериментального концентрата с содержанием железа 70 % на технологические показатели и качество агломерата

218

Сталеплавильное производство

Еронько С.П., Ткачев М.Ю., Ошовская Е.В. Практика и возможности использования физического моделирования в исследованиях гидродинамики потоков при непрерывной разливке

225

Прокатное производство

Новожилов И.С., Непряхин С.О., Рубцов В.Ю. Постановка задачи к определению начальных условий при моделировании прокатки рельсов

242

Ширяева Е.Н., Полякова М.А. Применение теории марковских процессов для прогнозирования свойств горячекатаного стального проката

250

Трубное производство

Мамедов А.Т., Исмаилов Н.Ш., Гусейнов М.Ч., Гулиев Ф.Т., Шахов С.И., Сивак Б.А. Особенности получения труб с заданными свойствами для нефтегазовой промышленности

257

Метизное производство

Козырев Н.А., Осетковский И.В., Усольцев А.А., Полевой Е.В., Михно А.Р. Исследование состава неметаллических включений и микроструктуры электродугового покрытия, сформированного с использованием порошковой проволоки системы Fe–C–Si–Mn–Cr–Ni–Mo

264

Экология и ресурсосбережение

Озорнин В.Е. Северский трубный завод — лидер природоохранной деятельности в России – 2021

271

Модернизация оборудования и реконструкция заводов черной металлургии за рубежом

277

ЭКСПРЕСС-ИНФОРМАЦИЯ

284

Статистика

290

CO N T E N T S

AT ENTERPRISES AND IN INSTITUTES

Ore-Mining Industry

Sokolov I.V., Glebov A.V. The Institute of Mining Engineering of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences is 60 years old: state of the art and prospects for development

Sintering and Blast Furnace Processes

Isaenko G.E., Meshcheryakov N.S., Nechkin G.A., Chernavin D.A., Kobelev V.A. Study of the effect of experimental 70%-iron concentrate on technological performance indicators and sinter quality

Steelmaking

Eron'ko S.P., Tkachev M.Yu., Oshovskaya E.V. The practice and applications of physical modelling in flow dynamics research in continuous casting

Rolling Mill Practice

Novozhilov I.S., Nepryakhin S.O., Rubtsov V.Yu. Formulation of problem for determining initial conditions in rolling simulation of railway rails

Shiriaeva E.N., Polyakova M.A. Application of markov's chain theory to predict properties of hot rolled steel sheet

Production of Pipes and Tubes

Mamedov A.T., Ismailov N.Sh., Guseinov M.Ch., Guliev F.T., Shakhov S.I., Sivak B.A. Features of obtaining special oil and gas drilling pipes

Wire Products Manufacturing

Kozyrev N.A., Osetkovskii I.V., Usol'tsev A.A., Polevoi E.V., Mikhno A.R. Study of composition of nonmetallic inclusions and microstructure of electric arc coating formed using flux-cored wire of the Fe–C–Si–Mn–Cr–Ni–Mo system

Ecology and Resource-Saving

Ozornin V.E. Seversky pipe plant – the leader in the environmental activities in Russia – 2021

Modernization of Equipment and Reconstruction of the Steel works abroad

EXPRESS INFORMATION

Statistics

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ И
МИКРОСТРУКТУРЫ ЭЛЕКТРОДУГОВОГО ПОКРЫТИЯ, СФОРМИРОВАННОГО
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ СИСТЕМЫ
Fe–C–Si–Mn–Cr–Ni–Mo

Н. А. КОЗЫРЕВ¹, д-р техн. наук, профессор, проректор по научной и инновационной деятельности, kozyrev_na@mtsp.sibsiu.ru; И. В. ОСЕТКОВСКИЙ^{1,2}, аспирант кафедры материаловедения, литейного и сварочного производства, директор; А. А. УСОЛЬЦЕВ¹, канд. техн. наук, доцент кафедры материаловедения, литейного и сварочного производства; Е. В. ПОЛЕВОЙ³, канд. техн. наук, начальник научно-исследовательского отдела; А. Р. МИХНО¹, аспирант кафедры материаловедения, литейного и сварочного производства
(¹ Сибирский государственный индустриальный университет, Россия, г. Новокузнецк;
² ООО «АвтоТрансЛогистик», Россия г. Новокузнецк; ³ АО «ЕВРАЗ ЗСМК», Россия, г. Новокузнецк)

Аннотация. На рабочие поверхности технологического оборудования для продления срока эксплуатации, снижения расходов на его обслуживание и уменьшения потребности в запасных частях методом электродуговой наплавки наносят износостойкие покрытия. Для совершенствования технологии нанесения таких покрытий необходимо знать закономерности влияния различных факторов на формирование структуры и состава наплавленного слоя, в частности, содержания в нем неметаллических включений. Приведены результаты исследования неметаллических включений и микроструктуры покрытия, нанесенного методом электродуговой наплавки на пластины из стали 09Г2С. В качестве наплавочного материала использовалась порошковая проволока системы Fe–C–Si–Mn–Cr–Ni–Mo. В состав порошковой проволоки вводили пыль газоочистки алюминиевого производства. Химический состав наплавленного металла определяли на спектрометрах XRF-1800 и ДФС-71. Микроструктуру покрытий изучали с помощью оптического микроскопа Olympus GX51. Приведены данные о химическом составе неметаллических включений и результаты металлографического анализа наплавленной поверхности. Установлено, что неметаллические включения в наплавленном слое состоят из окислов алюминия, кремния, фтора с малым содержанием натрия и магния. Металлографический анализ показал, что микроструктура наплавленного слоя представляет собой грубоигольчатый мартенсит. Структура равномерная, имеет дендритное (столбчатое) строение, характерное для литого металла. Результаты исследований позволяют выработать мероприятия по снижению содержания неметаллических включений.

Ключевые слова: износостойкие покрытия, электродуговая наплавка, порошковая проволока, состав неметаллических включений, микроструктура наплавленного слоя.

Ссылка для цитирования: Козырев Н.А., Осетковский И.В., Усольцев А.А., Полевой А.В., Михно А.Р. Исследование состава неметаллических включений и микроструктуры электродугового покрытия, сформированного с использованием порошковой проволоки системы Fe–C–Si–Mn–Cr–Ni–Mo // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2022. Т. 78. № 3. С. 264-270.

Doi: 10.32339/0135-5910-2022-3-264-270

STUDY OF COMPOSITION OF NONMETALLIC INCLUSIONS AND MICROSTRUCTURE OF ELECTRIC ARC COATING FORMED USING FLUX-CORED WIRE OF THE Fe–C–Si–Mn–Cr–Ni–Mo SYSTEM

N. A. KOZYREV¹, HD (Tech.), Professor, Vice-Rector for Research and Innovation, kozyrev_na@mtsp.sibsiu.ru;
I. V. OSETKOVSKII^{1,2}, Postgraduate Student of the Department of Materials Science, Foundry and Welding Production, Director; A. A. USOL'TSEV¹, PhD (Tech.), Associate Professor, Department of Materials Science, Foundry and Welding Production; E. V. POLEVOI³, PhD (Tech.), Head of Research Department;
A. R. MIKHNO¹, Postgraduate Student, Department of Materials Science, Foundry and Welding Production
(¹ Siberian State Industrial University, Russia, Novokuznetsk;
² OOO "AutoTransLogistic", Russia, Novokuznetsk; ³ AO "EVRAZ ZSMK", Russia, Novokuznetsk)

Abstract. The creation of modern technologies for the formation of wear-resistant coatings by the electric arc method requires research on the structure and composition of the electric arc surface layer. The composition of nonmetallic inclusions and microstructure of electric arc coating using flux-cored wire of Fe–C–Si–Mn–Cr–Ni–Mo system were studied. The formation of electric arc coating was carried out with a welding tractor ASAW-1250 using fabricated flux-cored wire on plates of 09Г2С steel. In order to influence the level of contamination of the deposited metal with oxide nonmetallic inclusions, aluminum production gas cleaning dust (instead of amorphous carbon) was introduced into the composition of the cored wire. The chemical composition of the deposited metal was determined by X-ray fluorescence spectrometer XRF-1800 and atomic-emission method using spectrometer DFS-71. The microstructure of electric arc coatings was studied using an optical microscope Olympus GX51. The study of the phase and elemental composition was carried out on a scanning electron microscope MIRA 3 LMH. The non-metallic inclusions in the arc coating consist of oxides of aluminum, silicon, fluorine, with a low content of sodium and magnesium. The dark component in the inclusion consists of aluminum and magnesium oxides with a low content of manganese. Traces of sulfur are observed along its contour. The metallographic analysis of the clad surface showed that the microstructure of the clad layer is coarse-needle martensite. The structure is uniform and has a dendritic (columnar) structure characteristic of cast metal. The results of the studies allow us to develop measures to reduce the content of non-metallic inclusions containing elements of fluorine, sodium and aluminum, which in turn can adversely affect the physical and mechanical properties of the clad layer. For example, by using refining additives to reduce the contamination of the cladding layer with nonmetallic inclusions.

Keywords: cored wire, electric arc coating, composition of nonmetallic inclusions, microstructure, hardness.

For citation: Kozyrev N.A., Osetkovskii I.V., Usol'tsev A.A., Polevoi E.V., Mikhno A.R. Study of composition of nonmetallic inclusions and microstructure of electric arc coating formed using flux-cored wire of the Fe–C–Si–Mn–Cr–Ni–Mo system. *Chernaya metallurgiya. Byulleten' nauchno-tekhnicheskoi i ekonomicheskoi informatsii = Ferrous metallurgy. Bulletin of scientific, technical and economic information*, 2022, vol. 78, no. 3, pp. 264-270. (In Russ.).

Doi: 10.32339/0135-5910-2022-3-264-270

Вопросам наплавки абразивно-изнашивающихся изделий в настоящее время уделяется большое внимание. Особый интерес вызывают наплавочные проволоки систем Fe–C–Si–Mn–Cr–Ni–Mo типа А и В по классификации МИС [1–3], а также порошковые проволоки, основанные на тех же принципах легирования [4–6].

Рабочие поверхности технологического оборудования для снижения быстрого износа необходимо упрочнять. Этого можно достичь путем формирования на рабочей поверхности технологического оборудования электродугового покрытия методом наплавки, обеспечивающего продление срока службы металлических изделий [7–9].

Электродуговое покрытие увеличивает срок эксплуатации, уменьшает количество запасных

частей эксплуатируемого оборудования, расходы на обслуживание и увеличивает эффективность его эксплуатации [9–11].

Представляет интерес разработка технологических наплавочных материалов [12–14], обеспечивающих формирование в наплавленном металле структуры низкоуглеродистого мартенсита.

Перспективным направлением в создании технологий формирования износостойких покрытий и наплавок электродуговым способом является применение экономнолегированных технологических наплавочных материалов [6–14]. Развитие рассматриваемого направления сдерживает отсутствие данных о зависимостях и закономерностях влияния различных факторов на структуру и свойства покрытий. Поэтому особый интерес представляют исследования, в которых

изучаются микроструктура электродуговых покрытий и состав неметаллических включений, получаемых при наплавке [15].

Цель настоящей работы — исследование состава неметаллических включений наплавленного слоя, выполненного электродуговым способом с использованием разработанного состава порошковых проволок системы Fe–C–Si–Mn–Cr–Ni–Mo–V.

Материалы и методы исследования

Процесс наплавки на пластины из стали 09Г2С осуществляли сварочным трактором ASAW-1250 с использованием изготовленной порошковой проволоки [6, 12–14]. Изготовление порошковой проволоки проводили на лабораторной машине. Диаметр изготовленной проволоки 6 мм, оболочка выполнена из ленты Ст3. В качестве наполнителя использовали порошкообразные материалы: порошок железа ПЖВ1 по ГОСТ 9849–86, порошок ферросилиция ФС75 по ГОСТ 1415–93, порошок высокоуглеродистого феррохрома ФХ900А по ГОСТ 4757–91, порошок углеродистого ферромарганца ФМн78(А) по ГОСТ 4755–91, порошок никеля ПНК-1Л5 по ГОСТ 9722–97, порошок ферромolibдена ФМо60 по ГОСТ 4759–91, порошок феррованадия ФВд50У0,6 по ГОСТ 27130–94, порошок кобальта ПК-1у по ГОСТ 9721–79, порошок вольфрамовый ПВН по ТУ 48-19-72–92. В состав порошковой проволоки вводили пыль газоочистки алюминиевого производства (взамен аморфного углерода) со следующим химическим составом, % (мас.): 21–46 Al₂O₃; 18–27 F; 8–15 Na₂O; 0,4–6 K₂O; 0,7–2,3 CaO; 0,5–2,5 SiO₂; 2,1–3,3 Fe₂O₃; 12,5–30,2 C_{общ}; 0,07–0,9 MnO; 0,06–0,9 MgO; 0,09–0,19 S; 0,10–0,18 P [15–17].

Химический состав наплавленного металла определяли рентгенофлуоресцентным методом на спектрометре XRF-1800 и атомно-эмиссионным методом на спектрометре ДФС-71. Микроструктуру электродуговых покрытий изучали с помощью оптического микроскопа Olympus GX51 в светлом поле в диапазоне увеличений $\times(100–1000)$ после травления поверхности образцов в 4%-ном растворе азотной кислоты. Размер зерна определяли по ГОСТ 5639–82 при увеличении $\times 100$ [15–17].

Твердость наплавленного металла измеряли на микротвердометре компании Qness от поверхности наплавки на образцах размером 20×20×20 мм в глубину через 1,0 мм методом

Виккерса с нагрузкой 49 Н (HV5) с последующим переводом в единицы Роквелла.

Исследования неметаллических включений проводили с использованием стандартной методики по ГОСТ 1778–70 на нетравленных шлифах с увеличением $\times 100$ (металлографический оптический микроскоп Olympus GX51).

С целью определения химического состава неметаллических включений в наплавленном слое, а также распределения элементов по включениям выполняли исследование на сканирующем электронном микроскопе MIRA 3 LMH. Сканирующий электронный микроскоп MIRA 3 LMH позволяет проводить быстрый поиск и идентификацию по морфологии и химическому составу неметаллических включений на поверхности исследуемых металлографических шлифов; обеспечивает проведение качественного и количественного рентгеноспектрального микроанализа с помощью энергодисперсионного спектрометра; определяет химический состав микрообъемов твердого вещества; устанавливает характер распределения и состав карбидной, карбонитридной и оксикарбидной фазы.

Результаты исследования и их обсуждение

В данной работе приводится исследование состава неметаллических включений в электродуговом покрытии, сформированном с использованием порошковой проволоки системы Fe–C–Si–Mn–Cr–Ni–Mo. В работах [17–19] установлен оптимальный состав порошковой проволоки системы Fe–C–Si–Mn–Cr–Ni–Mo для получения электродуговых покрытий, обеспечивающих требуемый уровень эксплуатационных свойств.

Для изучения состава неметаллических включений в электродуговом покрытии были наплавлены многокомпонентные слои на образце № 45.

Химический состав наплавленных слоев металла, полученного с использованием изготовленной опытной проволоки, и результаты исследования твердости наплавленного металла приведены в табл. 1.

При исследовании поверхности шлифа в образце № 45 выявлены однотипные силикатные включения глобулярного вида в малом количестве. Размер выявленных включений не превышает 47 мкм. Наблюдается большое количество мелких включений сульфидов глобулярной формы диаметром до 3 мкм.

ТАБЛИЦА 1. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И ТВЕРДОСТЬ НАПЛАВЛЕННОГО СЛОЯ

TABLE 1. CHEMICAL COMPOSITION AND HARDNESS OF THE DEPOSITED LAYER

Номер образца	Содержание, %									HRC
	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	S	P	
45	0,4	0,78	1,04	1,61	0,51	0,49	0,65	0,059	0,02	32,0–50,5

Количественный анализ химического состава двух выявленных включений проводили по двум спектрам в каждом. Результаты анализа неметаллических включений, выявленных в пробах, представлены в табл. 2 и 3. Распределение элементов на выбранной площади всех включений представлено на рис. 1 и 2.

ТАБЛИЦА 2. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ (СЭМ)

TABLE 2. CHEMICAL COMPOSITION (SEM)

Номер образца	Размеры (Ø), мкм	Химический состав (СЭМ)	
		по элементам	по процентам
45	27	Основа — Al/Si/F/Na/Mg; темная фаза — Al/Mg/Mn	15,9/15,7/14,9/6,5/4,6; 39,5/12,6/4
	12	Основа — Si/Al/Mn	—

ТАБЛИЦА 3. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ВКЛЮЧЕНИЯ (Ø27 мкм) В ОБРАЗЦЕ № 45, %

TABLE 3. CHEMICAL COMPOSITION OF THE NON-METALLIC INCLUSION (Ø27 µm) IN SAMPLE № 45, %

Название спектра	Спектр 1 (основа)	Спектр 2 (темная фаза)
O	36,92	42,71
F	14,92	—
Na	6,55	—
Mg	4,61	12,63
Al	15,89	39,48
Si	15,72	—
Ca	1,66	—
Mn	2,82	4,05
Fe	0,92	1,12
Сумма	100,00	100,00

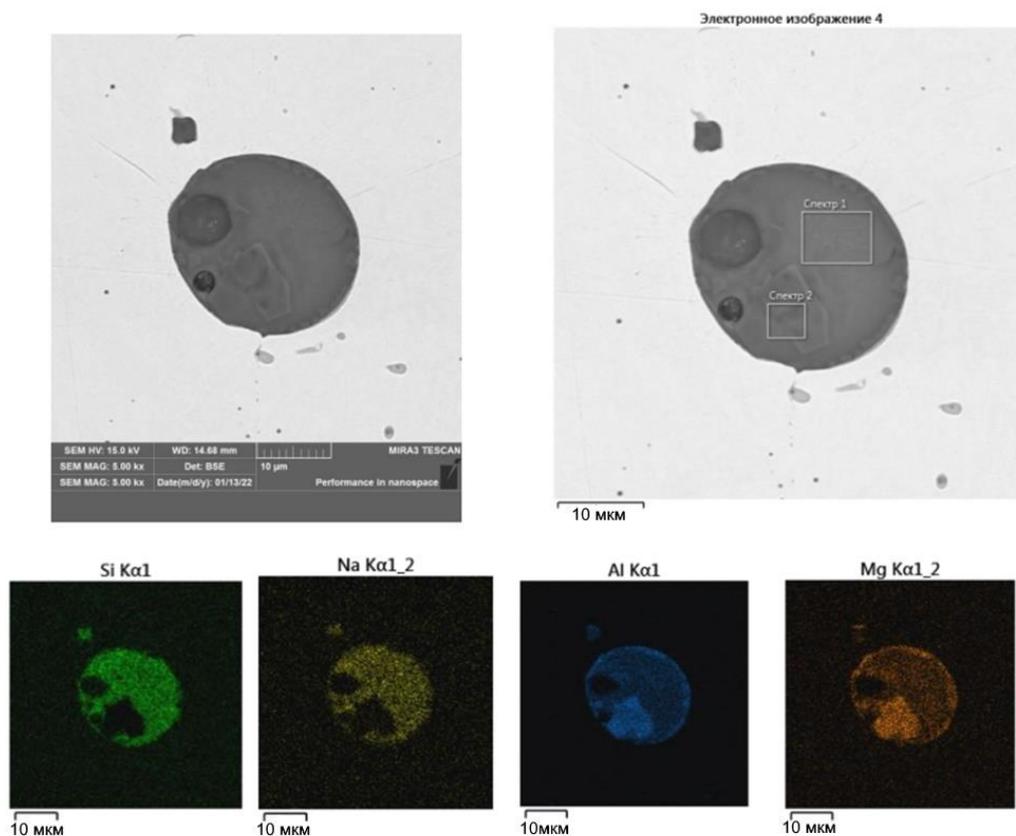


Рис. 1. Химический состав неметаллического включения (Ø27 мкм) в образце № 45

Fig. 1. Chemical composition of the non-metallic inclusion (Ø27 µm) in sample № 45

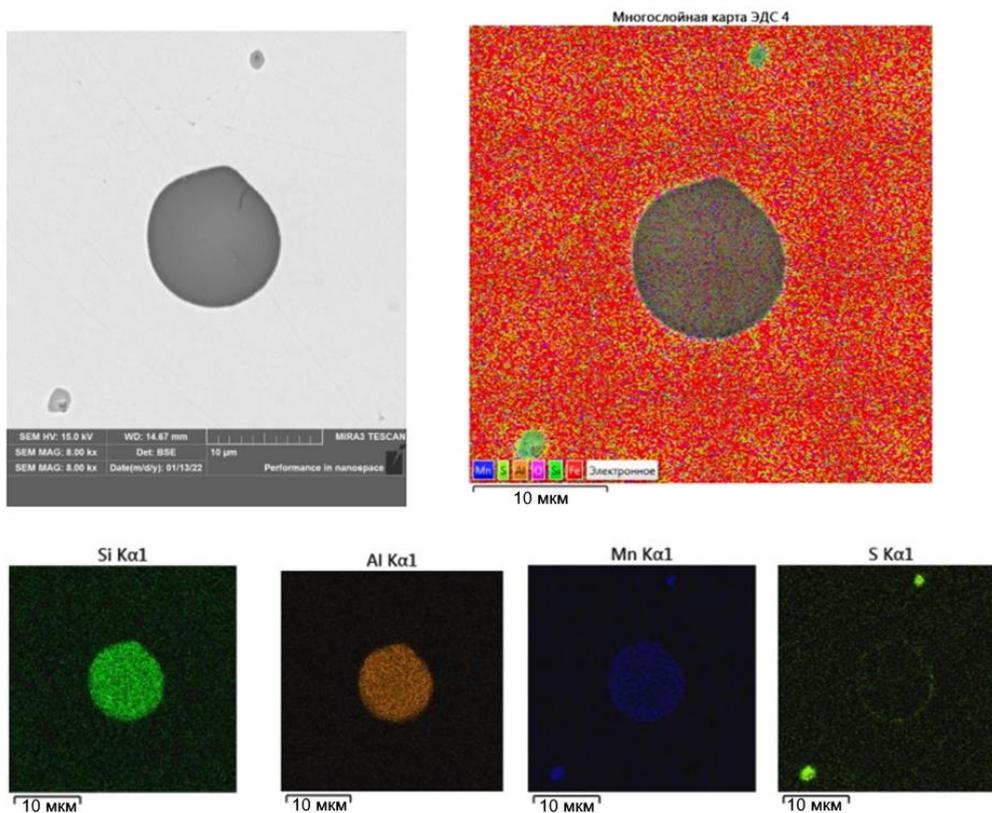


Рис. 2. Химический состав неметаллического включения ($\varnothing 12$ мкм) в образце № 45

Fig. 2. Chemical composition of the non-metallic inclusion ($\varnothing 12 \mu\text{m}$) in sample № 45

Анализ химического состава включения $\varnothing 27$ мкм в образце № 45 показал, что основными его составляющими являются окислы алюминия, кремния, фтора с малым содержанием натрия и магния. Темная составляющая во включении состоит из окислов алюминия, магния с малым содержанием марганца (см. рис. 1, табл. 3).

Включение $\varnothing 12$ мкм состоит из окислов кремния, алюминия и марганца. Следы серы наблюдаются по его контуру (см. рис. 2).

Металлографический анализ наплавленной поверхности показал, что микроструктура наплавленного слоя представляет собой грубоигольчатый мартенсит. Структура равномерная, имеет дендритное (столбчатое) строение, характерное для литого металла (рис. 3).

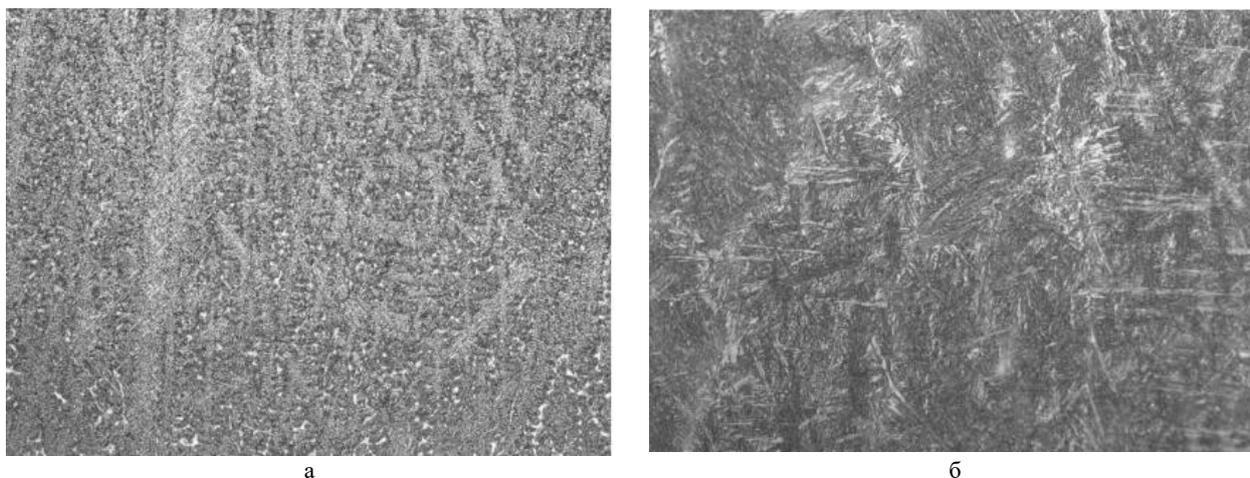


Рис. 3. Микроструктура образца № 45:
а — $\times 100$; б — $\times 500$

Fig. 3. Sample microstructure No. 45:
а — $\times 100$; б — $\times 500$

Выводы

Проведены исследования химического состава неметаллических включений наплавленного слоя. Неметаллические включения в электродуговом покрытии состоят из окислов алюминия, кремния, фтора с малым содержанием натрия и магния. Темная составляющая во включении состоит из окислов алюминия, магния с малым содержанием марганца. Следы серы наблюдаются по его контуру. Металлографический анализ наплавленной поверхности показал, что микроструктура наплавленного слоя

представляет собой грубоигольчатый мартенсит. Структура равномерная, имеет дендритное (столбчатое) строение, характерное для литого металла. Результаты проведенных исследований позволяют выработать мероприятия по снижению содержания неметаллических включений, содержащих элементы фтора, натрия и алюминия, которые, в свою очередь, могут неблагоприятно сказываться на физико-механических свойствах наплавленного слоя. Например, путем использования рафинирующих добавок для снижения загрязненности наплавленного слоя неметаллическими включениями.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Li R., He D.Y., Zhou Z. etc. Wear and high temperature oxidation behavior of wire arc sprayed iron based coatings // *Surface Engineering*. 2014. V. 30. P. 784–790.
2. Metlitskii V.A. Flux-cored wires for arc welding and surfacing of cast iron // *Welding International*. 2008. V. 22. P. 796–800.
3. Kejžar R., Grum J. Hardfacing of wear-resistant deposits by MAG welding with a flux-cored wire having graphite in its filling // *Welding International*. 2005. V. 20. P. 961–976.
4. Lim S.C., Gupta M., Goh Y.S., Seow K.C. Wearresistant WC–Co composite hard coatings // *Surface Engineering*. 1997. V. 13. P. 247–250.
5. Deng X.T., Fu T.L., Wang Z.D. etc. Epsilon carbide precipitation and wear behaviour of low alloy wearresistant steels // *Materials Science and Technology*. 2016. V. 32. P. 320–327.
6. Луговая В.А., Ярошик В.В. Особенности наплавки композиционных сплавов при упрочнении рабочих поверхностей тел вращения // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура*. 2015. Вып. 40 (59). С. 166–173.
7. Zhuk Yu. Super-hard wear-resistant coating systems // *Materials Technology*. 1999. V. 14. P. 126–129.
8. Hardell J., Yousfi A., Lund M. etc. Abrasivewearbehaviour of hardened high strength boron steel // *Tribology – Materials, Surfaces & Interfaces*. 2014. V. 8. P. 90–97.
9. Ma H.R., Chen X.Y., Li J.W. etc. Fe-based amorphous coating with high corrosion and wear resistance // *Surface Engineering*. 2016. V. 46. P. 1–7.
10. Kirchgaßner M., Badisch E., Franek F. Behaviour of iron-based hardfacing alloys under abrasion and impact // *Wear Journal*. 2008. V. 265. P. 772–779.
11. Filippov M.A., Shumyakov V.I., Balin S.A. etc. Influence of tungsten on microstructure and wear resistance of iron base hard facing alloy // *Materials Science and Technology*. 2013. V. 30. P. 316–322.
12. Тепляшин М.В., Комков В.Г., Стариенко В.А. Разработка экономнолегированного сплава для восстановления бил молотковых мельниц // *Ученые заметки ТОГУ*. 2013. Т. 4. № 4. С. 1543–1549.
13. Емелюшин А.Н., Петрович Е.В., Нефедьев С.П. Исследование структуры и ударно-абразивной износостойкости покрытий системы Fe–C–Cr–Mn–Si, дополнительно легированных азотом // *Сварочное производство*. 2011. № 10. С. 18–22.
14. Еремин А.Е., Еремин Е.Н., Филиппов Ю.О., Маталасова А.Е., Кац В.С. Структура и свойства высокохромистого металла запорной арматуры наплавленного серийно выпускаемыми сварочными проволоками // *Омский научный вестник*. 2014. Вып. 1 (127). С. 55–58.
15. Гусев А.И., Романов Д.А., Козырев Н.А. и др. Структура сварного шва износостойкой наплавки порошковой проволокой системы Fe–C–Si–Mn–Cr–Ni–Mo // *Вестник Сибирского государственного индустриального университета*. 2021. № 2 (36). С. 3–11.
16. Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Гусев А.И., Осетковский И.В. Эксплуатационные показатели новых порошковых проволок Fe–C–Si–Mn–Cr–Ni–Mo для наплавки защитных пластин шнеков очистных комбайнов // *Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов*. 2019. № 5. С. 195–202.
17. Осетковский И.В., Козырев Н.А., Гусев А.И. и др. Износостойкость металла, наплавленного порошковыми проволоками систем Fe–C–Si–Mn–Ni–Mo–W–V и Fe–C–Si–Mn–Cr–Ni–Mo–V // *Вестник Сибирского государственного индустриального университета*. 2017. № 4 (22). С. 21–24.
18. Пат. 2641590 РФ, МПК В 23 К 35/36, В 23 К 35/36. Порошковая проволока / Н.А. Козырев, А.И. Гусев, Г.В. Галевский, Р.Е. Крюков, И.В. Осетковский, А.А. Усольцев, О.А. Козырева // *Заявл.* 22.06.2016; *опубл.* 18.01.2018. Бюл. № 2.
19. Гусев А.И., Козырев Н.А., Кибко Н.В. и др. Исследование свойств порошковой проволоки системы Fe–C–Si–Mn–Cr–Mo–Ni–V–Co для упрочнения узлов и деталей оборудования горнорудной и угледобывающей отраслей // *Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов*. 2017. № 3. С. 135–140.

Поступила 2 февраля 2022 г.

REFERENCES

1. Li R., He D.Y., Zhou Z. etc. Wear and high temperature oxidation behavior of wire arc sprayed iron based coatings. *Surface Engineering*, 2014, vol. 30, pp. 784–790.
2. Melitskii V.A. Flux-cored wires for arc welding and surfacing of cast iron. *Welding International*, 2008, vol. 22, pp. 796–800.
3. Kejžar R., Grum J. Hardfacing of wear-resistant deposits by MAG welding with a flux-cored wire having graphite in its filling. *Welding International*, 2005, vol. 20, pp. 961–976.
4. Lim S.C., Gupta M., Goh Y.S., Seow K.C. Wearresistant WC–Co composite hard coatings. *Surface Engineering*, 1997, vol. 13, pp. 247–250.
5. Deng X.T., Fu T.L., Wang Z.D. etc. Epsilon carbide precipitation and wear behaviour of low alloy wearresistant steels. *Materials Science and Technology*, 2016, vol. 32, pp. 320–327.
6. Lugovaya V.A., Yaroshik V.V. Peculiarities of facing of composite alloys at hardening of working surface of solid of rotation. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i Arkhitektura*, 2015, iss. 40 (59), pp. 166–173. (In Russ.).
7. Zhuk Yu. Super-hard wear-resistant coating systems. *Materials Technology*, 1999, vol. 14, pp. 126–129.
8. Hardell J., Yousfi A., Lund M. etc. Abrasivewearbehaviour of hardened high strength boron steel. *Tribology – Materials, Surfaces & Interfaces*, 2014, vol. 8, pp. 90–97.
9. Ma H.R., Chen X.Y., Li J.W. etc. Fe-based amorphous coating with high corrosion and wear resistance. *Surface Engineering*, 2016, vol. 46, pp. 1–7.
10. Kirchgaßner M., Badisch E., Franek F. Behaviour of iron-based hardfacing alloys under abrasion and impact. *Wear Journal*, 2008, vol. 265, pp. 772–779.
11. Filippov M.A., Shumyakov V.I., Balin S.A. etc. Influence of tungsten on microstructure and wear resistance of iron base hard facing alloy. *Materials Science and Technology*, 2013, vol. 30, pp. 316–322.
12. Teplyashin M.V., Komkov V.G., Starienko V.A. Development of economical alloying for restoration of hammer mill blades. *Uchenye zametki TOGU*, 2013, vol. 4, no. 4, pp. 1543–1549. (In Russ.).
13. Emelyushin A.N., Petrochenko E.V., Nefed'ev S.P. Study of structure and impact abrasion resistance of Fe–C–Cr–Mn–Si system coatings additionally alloyed with nitrogen. *Svarochnoe proizvodstvo*, 2011, no. 10, pp. 18–22. (In Russ.).
14. Eremin A.E., Eremin E.N., Filippov Yu.O., Matalasova A.E., Kats V.S. Structure and properties of high-chromium metal of shut-off valves clad with commercially available welding wires. *Omskii nauchnyi vestnik*, 2014, iss. 1 (127), pp. 55–58. (In Russ.).
15. Gusev A.I., Romanov D.A., Kozyrev N.A., Gromov V.E., Ivanov Yu.F. Weld structure of wear-resistant cladding with flux-cored wire of Fe–C–Si–Mn–Cr–Ni–Mo system. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo industrial'nogo universiteta*, 2021, no. 2 (36), pp. 3–11. (In Russ.).
16. Kozyrev N.A., Kryukov R.E., Gusev A.I., Osetkovskii I.V. Performance of new Fe–C–Si–Mn–Sr–Ni–Mo flux-cored wires for surfacing the cover plates of the augers of the shearers. *Naukoemkie tekhnologii razrabotki i ispol'zovaniya mineral'nykh resursov*, 2019, no. 5, pp. 195–202. (In Russ.).
17. Osetkovskii I.V., Kozyrev N.A., Gusev A.I., Kryukov R.E., Popova M.V. Wear resistance of metal clad with Fe–C–Si–Mn–Ni–Mo–W–V and Fe–C–Si–Mn–Cr–Ni–Mo–V cored wires. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo industrial'nogo universiteta*, 2017, no. 4 (22), pp. 21–24. (In Russ.).
18. Kozyrev N.A., Gusev A.I., Galevskii G.V., Kryukov R.E., Osetkovskii I.V., Usol'tsev A.A., Kozyreva O.A. *Poroshkovaya provoloka* [Flux cored wire]. Patent RF no. 2641590. IPC B 23 K 35/36, B 23 K 35/36. *Byulleten' izobretenii*, 2018, no. 2. (In Russ.).
19. Gusev A.I., Kozyrev N.A., Kibko N.V., Popova M.V., Osetkovskii I.V. Research of properties of Fe–C–Si–Mn–Cr–Mo–Ni–V–Co system flux-cored wire for hardening of units and parts of mining and coal-mining equipment. *Naukoemkie tekhnologii razrabotki i ispol'zovaniya mineral'nykh resursov*, 2017, no. 3, pp. 135–140. (In Russ.).

Received February 2, 2022

Контакты по вопросам публикации статей:

заместитель главного редактора **Бессонов Анатолий Васильевич**

+7-903-513-56-39; E-mail: abessonov@bk.ru

заместитель главного редактора **Гамов Павел Александрович**

+7-908-061-72-08; E-mail: gamovpa@susu.ru

Контакты по вопросам сотрудничества и проектной деятельности:

заместитель главного редактора **Винник Денис Александрович**

+7-951-457-22-86; E-mail: vinnikda@susu.ru

Контакты по вопросам подписки и доставки: **Пунда Александр Юрьевич**

+7(951) 251-27-23; E-mail: pundaai@susu.ru

Издатель – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (научный исследовательский университет)»

454080, Челябинск, проспект Ленина, д. 76

Тел: +7 (351) 267-91-61

Адрес сайта: <https://chermetinfo.elpub.ru/jour>

ЧЕРНАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ

Бюллетень научно-технической
и экономической информации

Том 78, №3
2022

Редактор — Смильтина В.В.

Ведущие редакторы разделов — Зиновьева Н.Г., Овчинников А.М.

Корректор — Смильтина В.В.

Компьютерная верстка — Лопатко В.М.

Издательский центр Южно-Уральского государственного университета

Подписано в печать . . . 2022. Дата выхода в свет . . . 2022. Формат 60×84 1/8.
Печать цифровая. Усл. печ. л. . . Тираж экз. Заказ . . . Цена свободная.

Отпечатано в типографии Издательского центра ЮУрГУ.
454080, г. Челябинск, проспект Ленина, 76.

16+