

ЧЕРНАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ

2017

ВЫПУСК 6 (1410)
МОСКВА

Основан в марте 1944 г.
Выходит 1 раз в месяц

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору за соблюдением
законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия
Регистрационный номер ПИ № 77-18479

БЮЛЛЕТЕНЬ
научно-технической
и экономической
информации

СОДЕРЖАНИЕ

Золотухин В.И., Гордеев Е.И., Провоторов Д.А., Головкин А.Г., Мурат С.Г. Современный комплекс оборудования для непрерывной разливки и внепечной обработки стали: новые решения и предпочтения (к 20-летию со дня основания НПП "Вулкан-ТМ") 3
Снимшиков С.В., Харитонов В.А., Саврасов И.П. Реальность и ожидания современного рынка арматуры. К выходу нового ГОСТ 34028–2016..... 9

НА ПРЕДПРИЯТИЯХ И В ИНСТИТУТАХ

Коксохимическое производство
Еремин А.Я., Загайнов Н.В., Стахеев С.Г. Особенности использования вторичных энергоресурсов коксохимического производства при реализации технологии подсушки шихты перед коксованием 17

Аглодомненное производство
Фролов Ю.А. Состояние и перспективы развития технологии производства агломерата. Часть 3. Загрузка шихты и постели на агломерационную машину 22

Иванча Н.Г., Муравьева И.Г., Семенов Ю.С., Нестров А.С., Шумельчик Е.И. Совершенствование технологии, работы оборудования и систем управления доменной плавкой 31
Цыгулев Ю.И. Современные решения при проектировании систем охлаждения в условиях применения технологии вдувания пылеугольного топлива 41

Сталеплавильное производство
Еронько С.П., Ошовская Е.В., Стародубцев Б.И. Модельные исследования системы отсечки шлака при выпуске стали из конвертера с вращающимся корпусом 48
Белов Б.Ф., Троцан А.И., Карликова Я.П., Рябчиков И.В., Голубцов В.А. Структурно-химическое состояние оксидных и металлических фаз дуплекс-системы FeO–SiO₂–BaO:Fe–Si–Ba при ковшевой обработке стали. Сообщение 2. Дуплекс-система силикаты–силициды бария 55

Прокатное производство

Коляда Л.Г., Тарасюк Е.В., Пономарев А.П., Вафин В.Р. Анализ современных упаковочных материалов для металлопродукции 61
Самойлович Ю.А. Возможности повышения эксплуатационного ресурса крупных мелющих шаров из высокохромистой стали при использовании термоциклической обработки 73

Трубное производство

Максимов Е.А. Современная технология нанесения полиэтиленового, полипропиленового и эпоксидного покрытий на магистральные трубопроводы 80
Рахманов С.Р. Динамические особенности функционирования главного привода стана 89

Метизное производство

Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Крюков Н.Е., Ковальский И.Н., Козырева О.Е. Разработка новых сварочных флюсов и флюс-добавок для сварки и наплавки стали с использованием отходов металлургического производства. Сообщение 3. Флюс-добавки для сварочных флюсов, содержащие барий-стронциевый карбонатит 95

Харитонов В.А., Иванцов А.Б., Лаптева Т.А. Моделирование процесса калибрующего обжатия прядей канатов двойной свивки в программном комплексе DEFORM-3D 98

Металлургическое оборудование и литейное производство

Информационное сообщение о ежегодном общем собрании членов Международного союза производителей металлургического оборудования "Металлургомаш" 104

Экономика, управление и организация производства, инвестиции

Галицкая Л.В., Филиппов М.С. Анализ развития инновационной экосистемы для предприятий черной металлургии на основе ИКТ 106

Экология и ресурсосбережение

Савин А.В., Никольский В.Е. Сушка и подогрев металлолома в электросталеплавильном производстве: промышленная безопасность, экономика, экология 111

Новости зарубежной периодики 116

ЭКСПРЕСС-ИНФОРМАЦИЯ 119

Аннотации к статьям 128

Статистика 136

CONTENTS

Zolotukhin V.I., Gordeev E.I., Provotorov D.A., Golovko A.G., Murat S.G. The Modern Complex of the Equipment for the Continuous Casting and Ladle Treatment of the Steel: the New Solutions and Preferences (the the 20th Anniversary of the Foundation of the "Vulkan-TM" Scientific and Production Enterprise.....	3
Snimshchikov S.V., Kharitonov V.A., Savrasov I.P. The Reality and Expectations of the Modern Market for the Reinforcing Bars. To the Issue of the New GOST 34928–2016 Standard.....	9

AT ENTERPRISES AND INSTITUTES

The Coking and By-Product Process

Eremin A.Ya., Zagainov N.V., Stakheev S.G. The Special Features in the Utilization of the Secondary Energy Resources of the Coking and By-Product Process during Implementing the Charge Material Pre-Drying Technology before the Carbonization.....	17
---	----

The Sintering and Blast Furnace Processes

Frolov Yu.A. The Status and Prospects for the Development of the for Manufacturing the Sinter. The Part 3. The Sintering Mix and Bed Charging into the Sintering Machine.....	22
Ivanča N.G., Murav'eva I.G., Semenov Yu.S., Nesterov A.S., Shumel'chik E.I. The Improvement in the Technology, Equipment Operation, and Control Systems for the Blast Furnace Heat.....	31
Tsygulev Yu.I. The Modern Solutions during Designing the Cooling Systems under the Conditions of the Application of the Technology for Injecting the Pulverized Coal Fuel.....	41

Steelmaking

Eron'ko S.P., Oshovskaya E.V., Starodubtsev B.I. The Model Investigation into the System for the Slag Trimming during Tapping the Steel from the Basic Oxygen Furnace with the Rotating Casing.....	48
Belov B.F., Trotsan A.I., Karlikova Ya.P., Ryabchikov I.V., Golubtsov V.A. The Structural and Chemical State of the Oxide and Metallic Phases of the FeO–SiO ₂ –BaO:Fe–Si–Ba Duplex System during the Ladle Treatment of the Steel. The Report 2. The Barium Silicates-Silicides Duplex System.....	55

Rolling Mill Practice

Kolyada L.G., Tarasyuk E.V., Ponomarev A.P., Vafin V.R. The Analysis of the Modern Packaging Materials for the Metal Products.....	61
--	----

Samoilovich Yu.A. The Opportunities for Improving the Operational Lifetime of the Large Grinding Balls from the High Chromium Steel in Case of their Thermal-Cycle Treatment.....	73
---	----

Production of Pipes and Tubes

Maksimov E.A. The Modern Technology for the Application of the Polyethylene, Polypropylene, and Epoxide Coatings on the Cross-Country Pipe-Lines.....	86
Rakhmanov S.R. The Dynamic Special Features in Functioning the Main Drive Gear of the Cold Reduction Tube Mill.....	89

Wire Products Manufacturing

Kozyrev N.A., Kryukov R.E., Kryukov N.E., Koval'skiy I.N., Kozyreva O.E. The Development of the New Welding Fluxes and Flux Additives for Welding and Surfacing the Steel with the Use of the Metallurgical Production Wastes. The Report 3. The Flux Additives for the Welding Fluxes, Containing the Barium-Strontium Carbonate.....	95
Kharitonov V.A., Ivantsov A.B., Lapteva T.A. Modeling the Process of the Sizing Reduction of the Double-Lay Rope Strands in the Software Solution of the DEFORM-3D Type.....	98

Metallurgical Equipment and Foundry Practice

The Information Message on the General Meeting of the Members of the "METALLURGMASH" International Metallurgical Equipment Producer Union.....	104
--	-----

Economics, Management, and Organization of Production, Investments

Galitskaya L.V., Filippov M.S. The Analysis of the Development of the Innovative Ecological Systems for the Iron and Steel Industry Enterprises on the Basis of the Information and Communications Technology.....	106
--	-----

Resource Saving and Ecology

Savin A.V., Nikol'skiy V.E. The Pre-Heating and Dehumidification of the Metal Scrap for Steelmaking in the Electric Arc Furnaces: the Industrial Safety, Economics, Ecology.....	111
--	-----

The News of the Foreign Periodicals

EXPRESS INFORMATION.....	119
The Abstracts for the Articles.....	128
Statistics.....	136

INHALT

Solotuchin W.I., Gordeev E.I., Provotorov D.A., Golovko A.G., Murat S.G. Moderne Komplex der Anlagen für die Stranggießen und Pfannenbehandlung: neue Lösungen und Vorlieben (am 20. Jahrestag der Gründung der NPP "Vulkan-TM").....	3
Snimshchikov S.W., Charitonov W.A., Sawrasow I.P. Realität und Erwartungen der modernen Armaturen Markt. An die Veröffentlichung eines neuen GOST 34928–2016.....	9

IN BETRIEBEN UND INSTITUTEN

Kokereibetrieb

Eremin A.Ja., Sagainow N.W., Stacheew S.G. Merkmale des Einsatzes von Sekundärenergie Ressourcen der Koksproduktion mit Vortrocknung der Gicht vor Verkokung.....	17
---	----

Sinter- und Roheisenerzeugung

Frolow Ju.A. Stand und Perspektiven der Entwicklung der Technologie der Sinterherstellung. Teil 3. Beladung von Sintercharge und Bett auf der Sintermaschine.....	22
Iwantscha N.G., Murawjewa I.G., Semenov Ju.S., Nesterow A.S., Schumel'schik E.I. Verbesserung der Technologie, der Ausrüstungsarbeiten und Steuerungssysteme von Hochofenschmelze.....	31
Zygulew Ju.I. Aktuelle Lösungen für die Gestaltung von Kühlungssystemen mit der Technologie des Einblasens von Kohlenstaub.....	41

Stahlerzeugung

Eronko S.P., Oschowskaja E.W., Starodubzew B.I. Modellstudien von Schlackenabtrennungssystem während Abstecken aus dem Drehkonverter.....	48
Belov B.F., Trozan A.I., Karlikowa Ja.P., Rjabtschikow I.W., Golubzow W.A. Struktureller und chemischer Zustand des Oxids- und metallische Phasen Duplex-System FeO–SiO ₂ –BaO:Fe–Si–Ba während der Pfannenbehandlung. Nachricht 2. Duplex-System Silikate - Silicide Barium.....	55

Walzbetrieb

Koljada L.G., Tarasjuk E.W., Ponomarew A.P., Wafin W.R. Analyse der modernen Verpackungsmaterialien für die Metallerzeugnisse.....	61
Samoilowitsch Ju.A. Möglichkeiten für die Erhöhung der Lebensdauer der großen Muhlekugel von hochlegierten Chromstahl bei Verwenden der zyklischen Wärmebehandlung.....	73

Rohrherstellung

Maksimov E.A. Moderne Technik der Beschichtung von Polyethylen, Polypropylen und Epoxy auf Rohrleitungen.....	80
Rachmanow S.R. Dynamische Eigenschaften des Funktionierens des Hauptantriebs von Rohrkaltwalzwerk.....	89

Metallwarenerzeugung

Kozyrew N.A., Krjukow R.E., Krjukow N.E., Kowalski I.N., Kosyreva O.E. Entwicklung neuer Schweißflussmittel und Fluss-Additive für Schweißen und Auftragschweißen von Stahl mit Verwendung der Stahlproduktionsabfälle. Nachricht 3. Fluss-Additive für Schweißen mit Barium – Strontiumcarbonat.....	95
Charitonow W.A., Iwanzow A.B., Lapteva T.A. Modellierung der kalibrierten Abnahme von Doppelseilschlag in dem Software-Paket DEFORM-3D.....	98

Hüttenausrüstungen und Gießerei

Informationsmeldung über die Hauptversammlung der Mitglieder der Internationalen Union der Produzenten von metallurgischer Ausrüstung "METALLURGMASH".....	104
--	-----

Ökonomik, Leitung und Organisation der Produktion, Investitionen

Galitzkaja L.W., Filippow M.S. Analyse der Entwicklung des Innovations-Ökosystems für die Stahlindustrie auf Basis von Informations- und Kommunikationstechnologien.....	106
--	-----

Ressourceneinsparung und Ökologie

Sawin A.W., Nikolskaja W.E. Trocknen und Vorheizen von Schrott in Elektrostahlerzeugung: Arbeitssicherheit, Ökonomie, Ökologie.....	111
---	-----

Nachrichten der ausländischen Zeitschriften

EXPRESS-INFORMATIONEN.....	119
Anmerkungen zu den Artikeln.....	128
Statistik.....	136

УДК 621.791:624

РАЗРАБОТКА НОВЫХ СВАРОЧНЫХ ФЛЮСОВ И ФЛЮС-ДОБАВОК ДЛЯ СВАРКИ И НАПЛАВКИ СТАЛИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТХОДОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

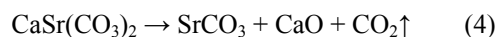
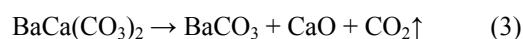
Сообщение 3. Флюс-добавки для сварочных флюсов, содержащие барий-стронциевый карбонатит*

Н. А. КОЗЫРЕВ¹, д-р техн. наук, kozyrev_na@mtsp.sibsiu.ru;
Р. Е. КРЮКОВ¹, канд. техн. наук; Н. Е. КРЮКОВ², rmk@nzmrmk.ru; И. Н. КОВАЛЬСКИЙ², О. Е. КОЗЫРЕВА²
(¹ ФГБОУ ВО “Сибирский государственный индустриальный университет”,
² АО “Новокузнецкий завод резервуарных металлоконструкций им. Н.Е. Крюкова”)

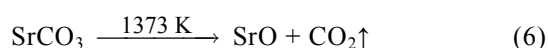
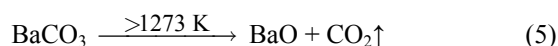
В металлургии одним из перспективных направлений является разработка технологий, позволяющих проводить модифицирование и рафинирование стали барием и стронцием из оксидных материалов, минуя стадии производства лигатур [1–3]. В качестве материала для таких технологий наиболее перспективными являются комплексные карбонатные руды, содержащие кальций, барий и стронций, месторождение которых разрабатывается на северо-востоке Иркутской области. Руды имеют следующий минеральный состав: 70–80 % стронций-кальций-бариевого карбоната, 10 % калиевого полевого шпата, 10–20 % пироксена. Выпуск барий-стронциевого модификатора БСК-2 по ТУ 1717-001-75073896–2005 освоен ООО НПК “Металлтехнопром”. Модификатор предназначен для производства стали, чугуна и цветных сплавов, а также для покрытий сварочных электродов [4, 5]. Барий-стронциевый модификатор содержит: 13,0–19,0 % ВаО; 3,5–7,5 % SrО; 17,5–25,5 % СаО; 19,8–29,8 % SiO₂; 0,7–1,1 % MgO; 2,5–3,5 % K₂O; 1,0–2,0 % Na₂O; 1,5–6,5 % Fe₂O₃; 0–0,4 % MnO; 1,9–3,9 % Al₂O₃; 0,7–1,1 % TiO₂; 16,0–20,0 % CO₂.

Результаты рентгенофазового анализа [6] показали, что основными соединениями, входящими в состав барий-стронциевого модификатора, являются баритокальцит ВаСа(СО₃)₂, кальцит СаСО₃, кальциостронцианит СаSr(СО₃)₂, доломит MgCO₃ и сидерит FeCO₃. Проведенный дифференциально-термический анализ определил, что до температуры 1223 К происходит диссоциация доломита, кальцита, баритокальцита и

кальциостронцианита. Это означает, что при температурах сварочных процессов (1873–1923 К) возможно использование данного материала с разложением карбонатных составляющих при температуре 1273 К по реакциям [1]:



с последующей диссоциацией карбонатов бария и стронция по реакциям:



В результате данных реакций образуются основные оксиды СаО, ВаО, SrО, MgO и выделяется углекислый газ СО₂. Выделение СО₂ при диссоциации карбонатов бария и стронция создает защитную атмосферу для свариваемых изделий. Расчеты [7, 8] показывают, что при разложении 1 кг СаСО₃ (н.у.) образуется 0,224 м³ СО₂, 1 кг MgCO₃ — 0,267 м³, 1 кг FeCO₃ — 0,192 м³, 1 кг MnCO₃ — 0,194 м³, 1 кг Na₂CO₃ — 0,211 м³. Соответственно, при разложении 1 кг ВаСО₃ образуется 0,114 м³ СО₂, 1 кг SrCO₃ — 0,152 м³. При нагревании до температуры сварочных процессов 1800 °С (2073 К) происходит расширение газа в 7,6 раза. По-видимому, без учета затрат

* См. Сообщение 1. Углеродсодержащие добавки для сварочных флюсов / Н. А. Козырев, Р. Е. Крюков, Н. Е. Крюков [и др.] // Черная металлургия. Бюл. ин-та “Черметинформация”. — 2017. — № 4. — С. 86–89.

Сообщение 2. Сварочные флюсы на основе шлака силикомарганца / Н. А. Козырев, Р. Е. Крюков, Н. Е. Крюков [и др.] // Там же. — 2017. — № 5. — С. 85–89.

на разложение карбонатов наиболее оптимальным является использование $MgCO_3$, $CaCO_3$, $BaCa(CO_3)_2$ и $CaSr(CO_3)_2$ как компонентов, позволяющих получать наибольшее количество CO_2 при разложении 1 кг материала.

Диссоциация карбонатов, содержащихся в барий-стронциевом карбонатите (MgO , CaO , BaO , SrO), повышает основность шлака и, по-видимому, способствует рафинированию металла сварного шва от неметаллических включений. Считается, что помимо вышеизложенного, барий и стронций, являясь модификаторами, оказывают влияние на металлическую структуру сварного шва [6].

В данной работе приводится исследование влияния добавки барий-стронциевого карбоната при введении в сварочные флюсы на качество получаемых сварных швов. В серии опытов в лабораторных условиях изготавливали и исследовали различные составы сварочных флюсов.

Сварочный флюс № 1 (флюс-добавка) изготавливался путем смешения барий-стронциевого карбоната с жидким стеклом в соотношении 70 на 30 % соответственно. После чего осуществляли выдержку при комнатной температуре с по-

следующими сушкой в печи при температуре 300 °С, охлаждением, дроблением и просевом с выделением фракции 0,45–2,5 мм. Флюс № 2 — флюс на основе шлака производства силикомарганца фракции 0,45–2,5 мм, флюсы № 3–5 — шлаки производства силикомарганца фракции 0,45–2,5 мм в смеси с флюс-добавкой (барий-стронциевым карбонатитом с жидким стеклом в соотношении 70 на 30 %) в количествах 1; 3 и 5 % соответственно.

Сварку под флюсами производили встык без скоса кромок с двух сторон на образцах размером 500×75 мм толщиной 16 мм из листовой стали 09Г2С. Процесс проводили проволокой Св-08ГА diam. 4 мм с использованием сварочного трактора АСАW-1250 при режиме: $I_{д} = 700$ А; $U_{д} = 30$ В; $V_{св} = 35$ м/ч.

Химические составы флюсов, шлаковых корок и металла сварных швов приведены в табл. 1–3 соответственно. Как видно из табл. 1–3, происходит незначительное восстановление бария и стронция из материала, причем изменение химического состава сварного шва указывает на повышение степени десульфурации при использовании флюс-добавки.

ТАБЛИЦА 1. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ФЛЮСА, %

Номер образца	MnO	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	FeO	F	Na ₂ O	K ₂ O	BaO	SrO	S	P
1	0,87	32,52	12,15	1,02	3,54	9,96	—	2,41	2,48	14,24	4,86	0,25	0,21
2	9,58	50,26	18,51	7,98	10,55	1,54	0,38	0,41	0,61	Отс.	Отс.	0,13	0,05
3	8,11	47,64	29,79	6,19	6,97	0,31	0,21	0,27	Отс.	0,25	0,10	0,15	0,01
4	7,96	48,28	28,36	6,15	7,05	0,42	0,33	0,43	0,03	0,61	0,21	0,15	0,02
5	8,19	48,44	28,86	5,08	7,04	0,54	0,31	0,43	0,04	0,65	0,25	0,15	0,02

ТАБЛИЦА 2. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ШЛАКОВЫХ КОРОК, %

Номер образца	FeO	MnO	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	BaO	SrO	F	S	P
1	2,42	4,92	18,81	26,21	14,84	18,11	0,70	0,38	0,51	0,10	—	0,15	0,04
2	2,11	8,05	23,83	46,92	10,27	6,90	0,38	0,66	Отс.	Отс.	0,74	0,13	0,01
3	1,76	8,21	29,34	46,74	7,17	5,79	0,28	Отс.	0,25	0,10	0,23	0,15	0,01
4	2,45	8,42	27,66	46,90	6,92	6,00	0,39	0,04	0,59	0,24	0,27	0,15	0,02
5	2,70	7,93	27,36	46,94	6,87	5,94	0,47	0,12	0,90	0,32	0,32	0,15	0,02

ТАБЛИЦА 3. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ СВАРНЫХ ШВОВ, %

Номер образца	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	Nb	Al	S	P	Sr	Ba
1	0,11	0,13	0,53	0,02	0,05	0,10	0,002	—	0,030	0,021	0,0004	0,004
2	0,09	0,71	1,51	0,03	0,10	0,11	0,014	0,023	0,019	0,013	Отс.	Отс.
3	0,08	0,54	1,38	0,02	0,04	0,06	0,016	0,012	0,011	0,009	0,0004	0,0012
4	0,08	0,51	1,33	0,02	0,03	0,06	0,015	0,021	0,010	0,008	0,0004	0,0021
5	0,09	0,57	1,41	0,02	0,03	0,04	0,020	0,020	0,008	0,009	0,0004	0,0033

Визуальный контроль качества сварного шва образца № 1, выполненный с использованием только флюс-добавки, показал неудовлетворительное качество — неравномерность формы шва, при этом наблюдалась плохая отделимость шлаковой корки. Остальные образцы удовлетворительного качества. Из сваренных пластин вырезаны образцы и выполнены рентгеноспектральный анализ состава металла швов, металлографические исследования металла сварных швов.

Металлографическое исследование проводилось на микрошлифах без травления с помощью оптического микроскопа OLYMPUS GX-51 при увеличении 100. Результаты анализа на наличие неметаллических включений в зоне сварного шва, проведенного согласно ГОСТ 1778–70, приведены в табл. 4. Баллы неметаллических включений устанавливали при просмотре всей площади сварных швов нетравленных шлифов. В каждом поле зрения определяли размеры отдельно по каждому виду неметаллических включений методом сравнения с эталонными шкалами.

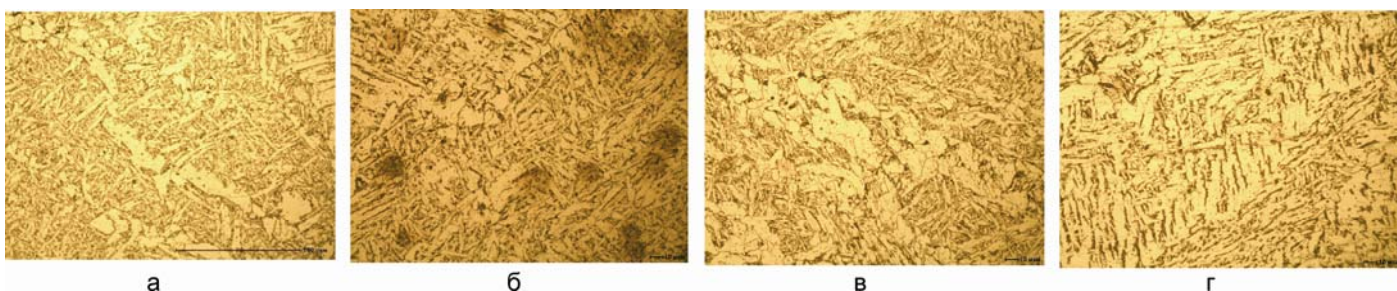
ТАБЛИЦА 4. НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ВКЛЮЧЕНИЯ В ЗОНЕ СВАРНЫХ ШВОВ

Номер образца	Неметаллические включения, балл		
	силикаты недеформирующиеся	силикаты хрупкие	оксиды точечные
3	4б; 3б; 4а	3б	1а
4	4б; 3а	Отс.	1а; 2а
5	4б; 2б; 2а	Отс.	1а; 2а
6	4б; 3а; 4а	Отс.	1а; 2а; 3а

Исследования указывают на снижение загрязненности металла сварного шва силикатами недеформирующимися и отсутствие силикатов хрупких.

Микроструктура изучалась с помощью оптического микроскопа OLYMPUS GX-51 в светлом поле в диапазоне увеличений $\times 500$ после травления поверхности образцов в 4 %-ном растворе азотной кислоты. Величину зерна определяли по ГОСТ 5639–82 при увеличении 100. Микроструктуры металла сварных швов приведены на ри-

сунке. Металл сварного шва характеризуется образованием структуры феррито-перлита видманштеттовой направленности. При этом в образцах, содержащих стронций и барий, наблюдается некоторое снижение величины зерна. Величина зерна в образце, сваренном под флюсом, не содержащим барий-стронциевый карбонатит, по шкале зернистости составляет № 4, а в образцах № 3–5, сваренных под флюсом с введением барий-стронциевого карбонатита, величина зерна составляет № 4, № 5.



Микроструктура сварных швов образцов с добавкой барий-стронциевого карбонатита, %:
а — 0; б — 1; в — 3; г — 5

Выводы

1. Показана принципиальная возможность применения барий-стронциевого карбонатита в качестве рафинирующей и газозащитной добавки для сварочных флюсов.

2. Использование барий-стронциевого карбонатита позволяет снизить загрязненность сварного шва неметаллическими включениями, а

также повысить десульфуризирующую способность сварочных флюсов.

3. Введение барий-стронциевого карбоната во флюс на основе шлака силикомарганца в количестве до 5 % обеспечивает феррито-перлит-

ную структуру металла сварного шва видманштеттовой направленности, при этом незначительно снижается величина зерна с № 4 до № 4, № 5.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дерябин, А. А. Эффективность нанотехнологий модифицирования рельсовой стали барием [Текст] / А. А. Дерябин, В. В. Павлов, В. В. Могильный [и др.] // Сталь. — 2007. — № 11. — С. 134–141.
2. Дерябин, А. А. О механизме модифицирования стали щелочноземельными металлами [Текст] / А. А. Дерябин, Е. Ю. Берестов // Электromеталлургия. — 2008. — № 6. — С. 35–38.
3. Рябчиков, И. В. Ферросплавы с редкоземельными и щелочноземельными металлами [Текст] / И. В. Рябчиков, В. Г. Мизин, Н. П. Лякишев, А. С. Дубровин. — М.: Металлургия, 1983. — 272 с.
4. Григорьев, Ю. В. Термодинамический анализ совместного восстановления кремния и бария углеродом [Текст] / Ю. В. Григорьев, И. В. Рябчиков, В. Е. Рошин // Изв. вузов: Черная металлургия. — 2005. — № 7. — С. 3–5.
5. Ивакин, В. Л. Новая технология повышения качества металлов и сплавов барий-стронциевым карбонатом [Текст] / В. Л. Ивакин, С. С. Черняк, Д. Ю. Пимнев. — Иркутск: изд-во Иркутского гос. университета, 2004. — 123 с.
6. Рожихина, И. Д. Модифицирование стали барием и стронцием [Текст] / И. Д. Рожихина, О. И. Нохрина, В. И. Дмитриенко, М. А. Платонов // Изв. вузов: Черная металлургия. — 2015. — Т. 58. — № 15. — С. 871–875.
7. Крюков, Р. Е. Окислительно-восстановительные процессы при сварке под углеродсодержащим флюсом [Текст] / Р. Е. Крюков, Ю. В. Бендре, Н. А. Козырев [и др.] // Там же. — 2014. — № 10. — С. 25–28.
8. Kryukov, R. E. Some aspects of oxidation-reduction under carbon-bearing flux welding [Text] / R. E. Kryukov, N. A. Kozyrev, G. V. Galevsky [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. — 2015. — V. 91. — P. 1–6.

УДК 621.778.5:677.721

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА КАЛИБРУЮЩЕГО ОБЖАТИЯ ПРЯДЕЙ КАНАТОВ ДВОЙНОЙ СВИВКИ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ DEFORM-3D

*В. А. ХАРИТОНОВ, канд. техн. наук; А. Б. ИВАНЦОВ, канд. техн. наук;
Т. А. ЛАПТЕВА, канд. техн. наук*

(ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»)

Качество подвижных канатов двойной свивки, определяющее их эксплуатационную стойкость, зависит в основном от качества прядей. Одним из эффективных способов повышения эксплуатационной стойкости подвижных канатов двойной свивки является калибрующее обжатие прядей [1, 2]. Однако внедрение данного способа в производственный процесс требует уточнения имеющейся теоретической базы с учетом особенностей протекания калибрующих обжатий пряди и разработки практических рекомендаций. Современным способом решения проблемы повышения адекватности расчетов при конструировании прядей-заготовок, а также анализе общей картины рабочих и остаточных напряжений

и деформаций служит конечно-элементное моделирование (МКЭ) [3–13], на котором основаны применяемые сегодня пакеты прикладных программ для математического моделирования технологических операций обработки металлов давлением: ABAQUS, MARC, DYNA, DEFORM-3D (США); FORGE (Франция); QFORM, РАПИД, SPLEN (Россия) и др. [7, 12, 13].

Особый интерес представляет анализ напряженно-деформированного состояния проволок верхнего слоя пряди, которые, активно взаимодействуя с поверхностями шкивов, блоков, барабанов, агрессивной средой, а также с проволоками внутренних слоев, фактически определяют работоспособность каната.