

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

Основан в марте 1944 года
Выходит ежемесячно

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор - **Бессонов А.В.**, *канд.экон.наук*
Зам.главного редактора - **Курганов В.А.**, *докт.техн.наук*
профессор
Выпускающий редактор раздела зарубежной черной
металлургии - **И.Г.Очагова**

Аксельрод Л.М., *канд.техн.наук*
Белов В.К., *канд. физ.-мат.наук, доцент*
Близнюков А.С., *канд.техн.наук*
Бродов А.А., *канд.экон.наук*
Быховский Л.З., *докт.г.-м.наук*
Веденеев А.В., *канд.техн.наук*
Гарбер Э.А., *докт.техн.наук, профессор*
Дунаев В.А., *докт.г.-м.наук, профессор*
Золотухин Ю.А., *канд.техн.наук*
Касимов А.М., *докт.техн.наук, профессор*
Космацкий Я.И., *канд.техн.наук*
Курунов И.Ф., *докт.техн.наук, профессор*
Лубе И.И., *канд.техн.наук*
Ляшенко В.И., *канд.техн.наук, ст.научн.сотр.*
Муравьева И.Г., *докт.техн.наук, ст.научн.сотр.*
Протасов А.В., *канд.техн.наук*
Сенаторов П.П., *канд.техн.наук*
Сивак Б.А., *канд.техн.наук, профессор*
Смирнов А.Н., *докт.техн.наук, профессор*
Страхов В.М., *канд.техн.наук, ст.научн.сотр.*
Товаровский И.Г., *докт.техн.наук, профессор*
Тютюник С.В., *канд.техн.наук*
Филиппов Г.А., *докт.техн.наук, профессор*
Харитонов В.А., *канд.техн.наук*
Шешуков О.Ю., *докт.техн.наук, доцент*
Юзов О.В., *докт.техн.наук.*

Редактор - **Смильгина В.В.**
Ведущие редакторы разделов - **Бухова Л.М.**, **Зиновьева Н.Г.**, **Овчинников А.М.**
Корректор - **Власова Н.А.**
Компьютерная верстка - **Яшина Н.Н.**, **Галахова А.Г.**
Переводчики - **Косников А.Н.**, **Кривошеин А.Л.**
Референты - **Аксенов В.В.**, **Антонов А.В.**, **Близнюков А.С.**, **Ивлев С.А.**

Контакты по вопросам подписки, публикации статей и рекламы: **Бессонов Анатолий Васильевич** +7(495) 719-07-38; +7-903-513-56-39
bessonov@chermetinfo.com

Контакты по вопросам доставки: +7(499) 124-49-09 **Бурмистрова Галина Ивановна**

EDITORIAL BOARD

Editor-in-Chief - **Bessonov A.V.**, *PhD (Econ)*
Deputy Editor-in-Chief - **Kurganov V.A.** *Higher Doctorate (Tech), Professor*
Executive editor, foreign steel industry section - **Ochagova I.G.**

Axel'rod L.M., *PhD (Tech)*
Belov V.K., *PhD (Tech), Assistant Professor*
Bliznyukov A.S., *PhD (Tech)*
Brodov A.A., *PhD (Econ)*
Bykhovsky L.Z., *Higher Doctorate (Geology)*
Vedeneev A.V., *PhD (Tech)*
Garber E.A., *Higher Doctorate (Tech), Professor*
Dunaev V.A., *Higher Doctorate (Geology), Professor*
Zolotukhin Yu.A., *PhD (Tech)*
Kasimov A.M., *Higher Doctorate (Tech), Professor*
Kosmatsky Ya.I., *PhD (Tech)*
Kurunov I.F., *Higher Doctorate (Tech), Professor*
Lube I.I., *PhD (Tech)*
Lyashenko I.I., *PhD (Tech), Senior Researcher*
Murav'eva I.G., *Higher Doctorate (Tech), Senior Researcher*
Protasov A.V., *PhD (Tech)*
Senatorov P.P., *PhD (Tech)*
Sivak B.A., *PhD (Tech), Professor*
Smirnov A.N., *Higher Doctorate (Tech), Professor*
Strakhov V.M., *PhD (Tech), Senior Researcher*
Tovarovsky I.G., *Higher Doctorate (Tech), Professor*
Tyutyunik S.V., *PhD (Tech)*
Filippov G.A., *Higher Doctorate (Tech), Professor*
Kharitonov V.A., *PhD (Tech)*
Sheshukov O.Yu., *Higher Doctorate (Tech), Assistant Professor*
Yuzov O.V., *Higher Doctorate (Tech)*

Издатель - **ОАО «Центральный научно-исследовательский институт информации
и технико-экономических исследований черной металлургии»**

117218, Москва, ул. Кржижановского, д. 14, корп. 3, ОАО «Черметинформация»
Тел: (495) 718-07-10, 719-07-92, Факс: (499) 125-78-44 E-mail: main@chermetinfo.com Адрес сайта: www.chermetinfo.com

ЧЕРНАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ

2017

ВЫПУСК 5 (1409)
МОСКВА

Основан в марте 1944 г.
Выходит 1 раз в месяц

БЮЛЛЕТЕНЬ
научно-технической
и экономической
информации

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

СОДЕРЖАНИЕ

Снимщиков С.В., Харитонов В.А., Суриков И.Н., Саврасов И.П. Новый стандарт на арматурный прокат. Современные вызовы и стратегия дальнейшего развития	3
Серегин А.Н., Верета Р.А. Проблемы импортозамещения марганцевой продукции	9

НА ПРЕДПРИЯТИЯХ И В ИНСТИТУТАХ

Горнорудное производство Ляшенко В.И. Научно-методическое и приборное обеспечение для повышения сейсмической безопасности при производстве взрывных работ под городской застройкой	14
--	----

Аглодомное производство Нестеров А.С., Семенов Ю.С., Горупаха В.В., Кузнецов А.М., Коваленко А.Г., Зубенко А.В. Исследование процесса формирования жидких фаз при вдувании пылеугольного топлива в переменных шихтовых условиях	24
---	----

Титов В.Н., Ивлева Л.С., Пишкин А.А. Использование мелких фракций агломерата и кокса в условиях интенсивной работы доменных печей	28
Матюхин В.И., Дудко В.А., Журавлев С.Я. Особенности обжига сидеритов во вращающейся печи	33

Беликов И.П., Дунцев Д.Ю., Кобелев В.А., Нечкин Г.А. Применение марганцовистого известняка в качестве флюсующей добавки при производстве агломерата	37
---	----

Фролов Ю.А. Состояние и перспективы развития технологии производства агломерата. Часть 2. Смешивание и окомкование агломерационной шихты	40
--	----

Сталеплавильное производство Белов Б.Ф., Троцан А.И., Карликова Я.П., Рябчиков И.В., Голубцов В.А. Структурно-химическое состояние оксидных и металлических фаз дуплекс-системы $FeO-SiO_2-BaO:Fe-Si-Ba$ при ковшевой обработке стали. Сообщение 1. Дуплекс-система силикаты-силициды железа	49
--	----

Назюта Л.Ю. Раскислительная способность циркония в жидком железе (обзор литературных источников)	56
Нохрина О.И., Рожихина И.Д., Прошунин И.Е., Голодова М.А. Производство низкофосфористых	

марганцевых сплавов с использованием марганцевого концентрата химического обогащения	63
--	----

Прокатное производство Василев Я.Д., Замогильный Р.А., Самокиш Д.Н. Определение антифрикционной эффективности технологических смазок при холодной прокатке по их физико-химическим свойствам	68
--	----

Трубное производство Максимов Е.А. Антикоррозионная защита ленточными материалами трубопроводов в условиях химически агрессивных сред и сложных климатических условиях	74
--	----

Семенов П.П., Кумуржи Е.В., Великоцкий Р.Е., Кравченко А.Г., Румянцев Н.А. Оптимизация легирования трубной стали 10Г2ФБЮ/К60 с целью повышения хладостойкости	79
---	----

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 2. Сварочные флюсы на основе шлака силикомарганца	85
--	----

Производство и применение огнеупоров Кашеев И.Д., Земляной К.Г., Чевычелов А.В., Валуев А.Г., Поморцев С.А. Исследование свойств периклазоуглеродистых огнеупоров, сформированных новым способом	90
--	----

Металлургическое оборудование и литейное производство Котенок В.И., Боровик А.А., Обухов М.Е., Исаев Д.М. Разработка и внедрение трехвалковых станов холодной прокатки резб с крупным шагом	93
---	----

Экология и ресурсосбережение Аксенов В.И., Царев Н.С. Характеристика осадков водного хозяйства предприятий черной металлургии	99
---	----

Новости зарубежной периодики	105
---	-----

ЭКСПРЕСС-ИНФОРМАЦИЯ	108
----------------------------------	-----

Аннотации к статьям	116
----------------------------------	-----

Статистика	126
-------------------------	-----

CONTENTS

Snimshchikov S.V., Kharitonov V.A., Surikov I.N., Savrasov I.P. The New Standard for the Reinforcing Bars. The Modern Challenges and Further Development Strategy	3
Seregin A.N., Vereta R.A. The Problems in the Import Substitution of the Manganese Products	9

AT ENTERPRISES AND INSTITUTES

The Ore-Mining Industry

Lyashenko V.I. The Scientific-Methodological and Instrument Supports for the Improvement in the Aseismic Safety during the Performance of the Blasting under the Urban Development.....	14
---	----

The Sintering and Blast Furnace Processes

Nesterov A.S., Semenov Yu.S., Gorupakha V.V., Kuznetsov A.M., Kovalenko A.G., Zubenko A.V. The Investigation into the Process of the Liquid Phase Formation during the Injection of the Pulverized Coal Fuel under the Variable Charge Material Conditions	24
Titov V.N., Ivleva L.S., Pishikin A.A. The Utilization of the Fine Fractions of the Sinter and Coke under the Conditions of the Intensive Blast Furnace Operation.....	28
Mityukhin V.I., Dudko V.A., Zhuravlev S.Ya. The Special Features in Firing the Siderites in the Rotary	33
Belikov I.P., Duntsev D.Yu., Kobelev V.A., Nechkin G.A. The Application of the Manganese-Containing Limestone as the Fluxing Addition during Manufacturing the Sinter.....	37
Frolov Yu.A. The Status and Prospects for the Development of the Technology for Manufacturing the Sinter. The Part 2. Blending and Pelletizing the Sintering Mix	40

Steelmaking

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 Duplex System during the Ladle Treatment of the Steel. The Report 1. The Iron Silicates-Silicides Duplex System	49
Nazyuta L.Yu. The Deoxidizing Capacity of the Zirconium in the Liquid Iron (the Review of the Literature Sources)	56
Nokhrina O.I., Rozhikhina I.D., Proshunin I.E., Golodova M.A. The Production of the Low Phosphorus Manganese Alloys with	

the use of the Manganese Concentrates Manufactured by the Chemical Concentration Method.....	63
--	----

Rolling Mill Practice

Vasilev Ya.D., Zamogil'nyi R.A., Samokish D.N. The Determination of the Antifriction Efficiency of the Process Lubricants during the Cold Rolling according to Their Physicochemical Properties	68
---	----

Production of Pipes and Tubes

Maksimov E.A. The Anticorrosion Protection of the Pipe-Lines with the Belt Materials under the Conditions of the Chemically Aggressive Media and Complicated Climate Conditions	74
Semenyuk P.P., Kumurzhi E.V., Velikotskiy R.E., Kravchenko A.G., Rumyantseva N.A. The Optimization of Alloying the Pipe Steel of the 10G2FBYu/K60 in order to Improve the Cold Resistance.....	79

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 2. The Welding Fluxes on the Basis of the Silicomanganese Production Slag.....	85
--	----

Production and Application of Refractories

Kashcheev I.D., Zemlyanoi K.G., Chevychev A.V., Valuev A.G., Pomortsev S.A. The Investigation into the Properties of the Periclase-Carbon Refractories Formed by the New Method.....	90
--	----

Metallurgical Equipment and Foundry Practice

Kotenok V.I., Borovik A.A., Obukhov M.E., Isaev D.M. The Development and Implementation of the Three-High Mills for the Cold Rolling of the Threads with the Large Pitch.....	93
---	----

Resource Saving and Ecology

Aksenov V.I., Tsarev N.S. The Characteristics of the Sediments of the Water Management in the Enterprises of the Iron and Steel Industry	99
--	----

The News of the Foreign Periodicals

EXPRESS INFORMATION.....	108
The Abstracts for the Articles.....	117
Statistics	126

INHALT

Snimtschikow S.W., Charitonow W.A., Surikow I.N., Sawrasow I.P. Ein neuer Standard für Bewehrungsstahl. Aktuelle Herausforderungen und zukünftige Strategien.....	3
Seregin A.N., Wereta R.A. Probleme der Importsubstitution von Manganerzeugnisse.....	9

IN BETRIEBEN UND INSTITUTEN

Erzbergbau

Ljaschenko W.I. Wissenschaftlich-methodische und Gerätesicherung der Erdbebensicherheit in die Sprengarbeiten unter Stadtnfrastruktur.....	14
--	----

Sinter- und Roheisenerzeugung

Nesterow A.S., Semenov Ju.S., Gorupakha W.W., Kesnezow A.M., Kowalenko A.G., Subenko A.W. Untersuchung der Bildung von flüssigen Phasen beim Einblasen von Kohlenstaub in variable Ladungsbedingungen	24
Titow W.N., Iwlewa L.S., Pischikin A.A. Verwendung der Feinfraktionen von Sinterfeinerz und Koks unter intensiven Arbeit Hochöfen.....	28
Matjuchin W.I., Dudko W.A., Shurawlew S.Ja. Merkmalen der Röstung des Siderits im Drehofen	33
Belikow I.P., Dunzew D.Ju., Kobelew W.A., Netschkin G.A. Anwendung des manganhaltigen Kalksteins als Flussmittel bei der Sinterherstellung	37
Frolov Ju.A. Stand und Perspektiven der Entwicklung der Technologie der Sinterherstellung. Teil 2. Mischen und Granulieren der Sintermischung	40

Stahlerzeugung

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 1. Duplex-System Silikate - Silicide Eisen	49
Nasjuta L.Ju. Desoxydationsvermögen von Zirkonium in flüssigem Eisen. Überprüfung der Literatur	56

Nochrina O.I., Roshichina I.D., Proshunin I.E., Golodowa M.A. Herstellung der Niedrig Phosphor - Mangan Legierungen mit Verwendung der Mangankonzentrat von chemische Aufbereitung.....	63
---	----

Walzbetrieb

Wasilew Ja.D., Samogilny R.A., Samokisch D.N. Bestimmung der Antifrikationswirksamkeit von Schmiermitteln im Kaltwalzen auf ihren physikalisch-chemischen Eigenschaften.....	68
--	----

Rohrherstellung

Maksimow E.A. Korrosionsschutz von Rohrleitungen durch Bandmaterialien in chemisch aggressiven Medium und extremen klimatischen Bedingungen.....	74
Semenjuk P.P., Kumurshi E.W., Welikozki R.E., Krawtschenko A.G., Rumjanzewa N.A. Optimierung des Legieren von Rohrstahl 10G2FBYu/K60 die Kältebeständigkeit zu verbessern.....	79

Metallwarenerzeugung

Kosyrew N.A., Krjukow R.E., Krjukow N.E., Kowalski I.N., Kosyrewa O.E. Entwicklung neuer Schweißflussmittel und Fluss-Additive für Schweißen und Auftragschweißen von Stahl mit Verwendung der Stahlproduktionsabfälle Nachricht 2. Schweißflussmittel auf Basis von silicomanganese Schlacke.....	85
--	----

Erzeugung und Anwendung von Feuerfeststoffen

Katscheew I.D., Semljanoi K.G., Tschewytschelow A.W., Waluew A.G., Pomorzew S.A. Untersuchung der Eigenschaften des Periklas - Kohlenstoffhaltiger Feuerfeststoffes durch das neue Verfahren hergestellt.....	90
---	----

Hüttenausrüstungen und Gießerei

Kotenok W.I., Borowik A.A., Obuchow M.E., Isaew D.M. Entwicklung und Einführung von Dreiwälzenkaltwalzwerken mit großer Gewindesteigung	93
---	----

Ressourceneinsparung und Ökologie

Aksenow W.I., Zarew N.S. Eigenschaften der Niederschlag von Wasserwirtschaft in Hüttenwerk.....	99
---	----

Nachrichten der ausländischen Zeitschriften

EXPRESS-INFORMATIONEN.....	108
Anmerkungen zu den Artikeln	117
Statistik.....	126

ПРОИЗВОДСТВО НИЗКОФОСФОРИСТЫХ МАРГАНЦЕВЫХ СПЛАВОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАРГАНЦЕВОГО КОНЦЕНТРАТА ХИМИЧЕСКОГО ОБОГАЩЕНИЯ

О. И. НОХРИНА^{1,2}, д-р техн. наук; И. Д. РОЖИХИНА¹, д-р техн. наук;
И. Е. ПРОШУНИН¹, канд. техн. наук; М. А. ГОЛОДОВА¹, канд. техн. наук, golodova_ma@mail.ru
(¹ ФГБОУ ВПО "Сибирский государственный индустриальный университет",
² Юргинский технологический институт (филиал) Томского политехнического университета)

Для большинства марок стали фосфор является вредной примесью, усиливая хрупкость стали (особенно при отрицательных температурах), придавая ей свойство хладноломкости, степень ликвации элементов. Необходимо отметить, что одним из источников поступления фосфора в сталь являются ферросплавы. Поэтому для снижения содержания фосфора в стали очень важным представляется уменьшение его концентрации в ферросплавах и прежде всего в марганцевых.

Снижение концентрации фосфора в марганцевых ферросплавах может быть достигнуто в результате:

- улучшения использования марганца шихты при выплавке марганцевых сплавов;
- переработки концентратов, получаемых в результате механического обогащения, в качественные низкофосфористые концентраты;
- разработки новых способов плавки.

Качество марганецсодержащего сырья в значительной мере влияет на показатели выплавки марганцевых сплавов в электропечах.

Снижение содержания марганца в марганецсодержащих материалах даже на 1 % вызывает уменьшение извлечения его на 1,6 %, производительности — на 1,8 %, увеличение удельного расхода электроэнергии на 1,9 % [1]. В настоящее время в мировой практике при выплавке низкофосфористых марганцевых сплавов при использовании бедных марганцевых руд с повышенным содержанием фосфора применяется двухстадийная схема производства:

1-я стадия — выплавка малофосфористого шлака;

2-я стадия — выплавка низкофосфористого ферромарганца [1, 2].

Малофосфористый марганцевый шлак выплавляют непрерывным процессом, он содержит: от 37 до 42 % Mn, от 29 до 33 % SiO₂, менее 0,05 % P. Шлак такого состава отличается низкой температурой плавления, высокой жидко-

движностью, что создает условия для полного разделения по плотностям шлака и частиц высокофосфористого попутного металла [1].

Плавку низкофосфористого ферромарганца осуществляют под известково-магнезиальным шлаком на шихте, состоящей из малофосфористого марганцевого шлака, известняка, доломита, железной стружки и коксика [1, 2].

Низкофосфористый ферромарганец состава: от 78 до 82 % Mn, 0,05 % P используется при выплавке некоторых марок электростали, к которым предъявляются жесткие требования по содержанию фосфора.

Значительное улучшение показателей плавки бесфосфористого ферромарганца может быть достигнуто в случае замены малофосфористого марганцевого шлака концентратом химического обогащения (КХО).

КХО является продуктом, пригодным для высокорентабельного производства марганцевых ферросплавов. Он производится в результате применения химических и гидрометаллургических методов обогащения бедных марганцевых руд, железомарганцевых конкреций, а также отходов производства марганцевых сплавов (шлаков, шламов, пыли) [3–14].

Малофосфористый шлак и КХО существенно различаются по содержанию марганца, а также других важных компонентов. В малофосфористом шлаке содержится: от 37 до 42 % Mn, 29–33 % SiO₂, менее 0,05 % P, а в КХО, полученных по различным технологиям: от 55 до 62 % Mn, от 0,5 до 5 % SiO₂, менее 0,01 % P [1, 3–14]. В частности, КХО, полученный кальций-хлоридным методом, имеет следующий химический состав: от 54 до 65 % Mn, от 0,02 до 0,05 % Fe₂O₃, от 0,5 до 1,0 % SiO₂, менее 0,01 % P, от 3 до 4 % CaO, S — следы [10].

Следует отметить, что полученные КХО имеют в своем составе очень низкое содержание диоксида кремния (не более 0,5 % SiO₂) и не пригодны для плавки марганцевых сплавов по

традиционной углеродотермической технологии. Это связано с тем, что при низком содержании диоксида кремния отсутствует шлакообразование, что приводит к повышенным потерям марганца испарением при его восстановлении при выплавке сплавов.

Использование КХО в традиционных схемах металлургического передела не сможет оправдать затраченных средств, как например, при выплавке высокоуглеродистых ферромарганца и силикомарганца с использованием гидрометаллургического марганцевого концентрата бесфлюсовым процессом. Замена действующего флюсового процесса на бесфлюсовый при выплавке ферромарганца с использованием гидрометаллургического марганцевого концентрата повышает сквозное извлечение марганца на 6,7 %. Использование концентрата для выплавки углеродистого ферромарганца повысило извлечение марганца в сплав до 55 % при бесфлюсовом методе плавки, но получаемый переделный шлак нужно плавить с использованием флюса, что приводит к безвозвратным потерям марганца [1].

Для выплавки низкофосфористого ферромарганца из КХО необходима специальная безотходная технология.

Целью данной работы являлось изучение и разработка технологии производства углеродистого ферромарганца с низким содержанием фосфора при использовании марганцевого КХО.

В связи с тем, что в литературных источниках отсутствуют данные о температуре плавления многокомпонентных шлаков производства углеродистого ферромарганца, было необходимо предварительно оценить температурный диапазон режимов плавки.

Для определения температурного режима плавки необходимо было определить температуры плавления шлака. Температуру плавления шлака определяли на лабораторной установке, представляющей собой микропечь сопротивления с платиновым нагревателем.

Изучение поведения пробы исследуемого вещества, помещенного на горячий спай термопары, при нагреве платиновой пластинки осуще-

ствляли визуально при помощи бинокулярного микроскопа с 30–50-кратным увеличением в отраженном свете.

Калибровка микропечи проводилась по стандартной термопаре и по известным точкам плавления солей (ЧДА) и оксидов Na_2CO_3 — 1124 К; K_2SO_4 — 1342 К; Fe_2O_3 — 1833 К; BaSO_4 — 1853 К.

Для определения температуры плавления дробленый шлак растирался в ступке до зерна 0,02–0,1 мм, 5–7 крупинки исследуемого вещества помещали на горячий спай термопары.

Скорость нагрева печи до температуры 1473–1573 К составляет 100–150 град/с, затем 20–30 град/с, близко к температуре плавления — 3–5 град/с. Первое определение температуры плавления каждого шлака ориентировочное, при котором устанавливаются температурные границы опыта.

Температурой начала плавления считается та, при которой сплавляются острые кромки частиц шлака. Температура конца плавления — температура полного перехода шлака в жидкое состояние, в этот момент происходит быстрое растекание капли по поверхности платинового нагревателя.

Каждый шлак исследуется не менее 3–5 раз. Температуру плавления шлака определяли, используя среднее значение термоЭДС по градуировочному графику, построенному при калибровке микропечи. Среднеквадратичную ошибку находили из выражения:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum \varepsilon_i^2}{n-1}},$$

где ε_i — отклонение результатов отдельных измерений от их среднеарифметического значения; n — число измерений.

Этот метод обеспечивает достаточно высокую точность, так как испытуемый образец непосредственно контактирует с термопарой.

Результаты экспериментов по определению температуры плавления шлака приведены в табл. 1.

**ТАБЛИЦА 1. ТЕМПЕРАТУРА ПЛАВЛЕНИЯ ШЛАКОВ ПРОИЗВОДСТВА
УГЛЕРОДИСТОГО ФЕРРОМАРГАНЦА**

Состав шлака, %					T _{пл(жид)} , К	T _{пл(кок)} , К	Максимальное отклонение от среднего, %
Mn	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO			
10,14	32,96	5,29	36,60	4,4	1670	1680	0,21
12,78	29,45	4,98	39,51	4,5	1683	1691	0,22
13,66	29,04	6,96	40,02	4,7	1680	1690	0,41
13,81	32,56	5,59	37,89	4,4	1552	1560	0,40
14,68	28,58	6,72	40,01	4,5	1668	1672	0,19
15,04	29,63	7,82	37,96	4,6	1670	1684	0,38

Как видно из полученных данных, все приведенные выше составы шлаков имеют сравнительно низкую температуру плавления. Это согласуется с данными для трехкомпонентных систем других авторов [15]. Следовательно, при содержании от 10 до 15 % Mn, от 29 до 33 % SiO₂, от 35 до 40 % CaO, от 4 до 5 % MgO, от 5 до 8 % Al₂O₃ конечная шлаковая фаза получается легкоплавкой с температурой плавления около 1670 К.

Ферромарганец выплавляли в электропечи мощностью 100 кВА по следующей технологии. В печи перед началом загрузки шихты флюсовым способом расплавляли шлак от плавки ферромарганца, содержащий от 10 до 15 % Mn, от 29 до 33 % SiO₂, от 35 до 40 % CaO, от 2 до 3 % MgO, от 5 до 8 % Al₂O₃. Шлак загружали в печь в количестве, необходимом для образования после его расплавления слоя расплава толщиной от 0,3 до 0,4 м. Температурный режим плавки контролировали погружной термопарой ВР 5/20.

После полного расплавления шлака на его поверхность задавали кокс в таком количестве, чтобы вся его поверхность была покрыта слоем кокса толщиной от 0,05 до 0,10 м. После этого загружали шихту следующего состава: концентрат КХО — от 72 до 73,5 %, железная стружка — от 6,0 до 6,5 %, кокс — от 20 до 21,5 %.

Выпуск металла при данном способе плавки производился по мере его накопления в печи через выпускное отверстие, расположенное ниже нижнего уровня шлака. Шлак выпускали из печи через шлаковую летку отдельно от металла лишь в таком количестве, которое образуется за счет внесения шлакообразующих оксидов КХО и кокса шихты (это количество зависит от химического состава концентрата, кокса и в каждом конкретном случае определяется расчетом материального баланса).

Результаты опытных плавов приведены в табл. 2.

ТАБЛИЦА 2. ПОКАЗАТЕЛИ ОПЫТНЫХ ПЛАВОК

Показатель	Вариант плавов				
	1	2	3	4	5
Толщина слоя расплава шлака производства углеродистого ферромарганца флюсовым способом, м	0,2	0,3	0,35	0,40	0,60
Толщина слоя кокса на расплаве шлака, м	0,03	0,05	0,07	0,10	0,12
Состав ферромарганца, %:					
Mn	80,2	83,3	82,7	83,0	83,4
P	0,037	0,03	0,028	0,026	0,025
C	6,5	6,8	6,1	6,3	6,7
Si	1,5	1,8	0,8	1,0	0,95
Состав шлака, %:					
Mn	18,6	13,5	12,2	11,9	13,1
SiO ₂	31,2	33,2	34,5	36,8	33,0
CaO	38,1	40,1	41,2	40,8	41,8
Извлечение марганца в металл, %	83,8	90,8	94,7	92,1	86,7
Расход электроэнергии, кВт·ч/т:					
печь 100 кВА	5610	4730	4320	5010	5706
промышленная печь	2400	2100	2000	2200	2400

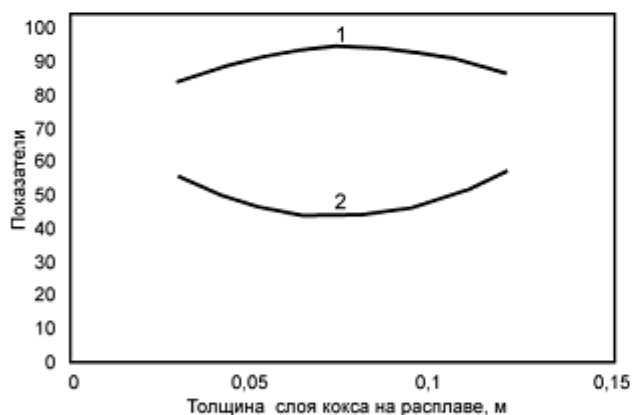
Результаты исследований показали, что шлак производства углеродистого ферромарганца флюсовым способом, содержащий от 10 до 15 % Mn, от 29 до 33 % SiO₂, от 35 до 40 % CaO, от 2 до 3 % MgO, от 5 до 8 % Al₂O₃, имеет температуру плавления 1673–1773 К (см. табл. 1), и слой шлака от 0,3 до 0,4 м указанного состава обеспечивает, в соответствии с принципом Микулинского, температурный режим процесса, определяющийся температурой плавления шлака, на уровне 1723–1823 К. Такой температурный режим является оптимальным для восстановления марганца из богатых концентратов. Слой меньшей или большей толщины не позволяет поддерживать в печи нужный температурный режим. Это увеличивает и удельные потери марганца, и

расход электроэнергии. Вместе с этим уменьшается стойкость угольной футеровки печи.

При слое шлака меньше 0,3 м увеличивается количество тепла, выделяющегося в слое металла. Это приводит к его перегреву, повышает расход электроэнергии и потери марганца испарением. Одновременно с этим в результате повышения температуры металла возрастает растворимость углерода в ферромарганце, и угольная футеровка печи быстро разрушается.

При слое шлака больше 0,4 м металл становится холодным, а доля тепла, выделяющегося в коксовой подушке, становится излишне высокой, что также увеличивает потери марганца испарением и со шлаком.

На рисунке приведена зависимость извлечения марганца в металл и удельного расхода электроэнергии от слоя кокса на поверхности шлака. Исследования показали, что толщину слоя кокса меньше 0,05 м трудно сохранить в условиях непрерывной плавки. В результате этого увеличивается глубина посадки электродов, металл на подине печи перегревается, а шлак становится холодным, потери марганца и расход электроэнергии повышаются. Слой кокса более 0,10 м приводит к уменьшению глубины посадки электродов из-за увеличения доли тока, протекающего через коксовый слой, что повышает температуру процесса и увеличивает относительную долю потери марганца.



Влияние толщины слоя кокса на извлечение марганца и расход электроэнергии:

- 1 — извлечение марганца в металл, %;
2 — расход электроэнергии, кВт·ч/т × 100

При такой загрузке концы электродов постоянно находятся в слое шлака, что полностью исключает дуговой режим плавки и потери металла испарением. Несколько большей (от 1723 до 1823 К) будет температура в слое кокса, отделяющего жидкий шлак от твердой шихты указанного состава. В результате этого восстановление

марганца углеродом из КХО происходит в основном из твердой шихты. В шлак переходит и, следовательно, восстанавливается из шлака лишь незначительная часть оксидов марганца из концентрата. Последнему способствует низкое содержание SiO_2 в шихте, а также и то, что основная часть шихты отделена от шлакового расплава слоем кокса. Поэтому концентрация оксидов марганца в шлаке постоянна и близка к равновесной для температуры от 1723 до 1823 К. Таким образом, в печи необходимо поддерживать постоянную высоту слоя шихты 0,3–0,4 м.

Расчеты материального баланса плавки низкофосфористого ферромарганца на печи 63 МВА показали, что в том случае, когда ферромарганец (около 80 % Mn, от 0,2 до 1,0 % Si) выплавляется из концентрата, содержащего от 59 до 64 % Mn и от 0,5 до 1,0 % SiO_2 , при среднем расходе кокса 420 кг/т ($A^c = 13\%$, $\text{SiO}_{2\text{золь}} = 52\%$) на 1 т сплава образуется лишь от 50 до 128 кг шлака (примерно 30 % SiO_2) (кратность шлака от 0,05 до 0,13 т/т). Поэтому с выпуском из печи от 50 до 58 т (примерно 8 м³) ферромарганца (при четырех выпусках в смену) выпускают в среднем лишь около 4,5 т (примерно 1,5 м³) шлака. Это количество шлака выпускают из печи через специальную шлаковую летку 2–3 раза в сутки. В результате печь работает с постоянным количеством шлака толщиной от 0,3 до 0,4 м.

Как видно из результатов, представленных в табл. 2, данный способ обеспечивает путем одностадийной плавки получение ферромарганца с низким содержанием фосфора (от 0,025 до 0,03 %) и достижение высокого извлечения марганца в сплав (от 91 до 95 %) против 80 % при двухстадийной технологии. Кроме того, уменьшение или увеличение толщины слоя шлака и кокса относительно оптимальных пределов ухудшает показатели плавки (см. табл. 2, варианты 1 и 5).

Применение данного способа стабилизирует тепловой режим работы печи (колебание температуры в печи составляет ± 5 град.), обеспечивает высокое извлечение марганца в сплав при одностадийной плавке, что позволяет сократить расход электроэнергии, а также за счет увеличения выхода металла при плавке на 30 % снижается содержание фосфора в сплаве, уменьшается расход электроэнергии на 400–500 кВт·ч/т и увеличивается извлечение марганца на 11–15 %.

Разработан и исследован способ выплавки низкофосфористого ферромарганца с использованием в шихте высококачественного марганце-

вого КХО, включающий дозирование, непрерывную загрузку в рудотермическую электропечь шихты, состоящей из марганцевого КХО, кокса и железной стружки, проплавление шихты и периодический выпуск металла и шлака.

Показано, что использование шлака производства углеродистого ферромарганца флюсо-

вым способом перед началом загрузки шихты, его расплавление с образованием слоя шлака высотой 0,3–0,4 м и создание на его поверхности слоя кокса 0,05–0,10 м обеспечивают стабильно высокое извлечение марганца (90–94 %) и снижение расхода электроэнергии (до 2200–2400 кВт·ч/т).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Жучков, В. И. Технология марганцевых ферросплавов. Ч. 1. Высокоуглеродистый ферромарганец [Текст] / В. И. Жучков, Л. А. Смирнов, В. П. Зайко, Ю. И. Воронов. — Екатеринбург: УрО РАН, 2007. — 412 с.
2. Yang, Zhizheng. Mn Ore Smelting Reduction Based on Double Slag Operation in BOF [Text] / Zhizheng Yang, Guangqiang Li, Chenghong Huang, Jinfa Ding // *Applied Mechanics and Materials*. — 2013. — V. 753–755. — P. 76–80.
3. Vracar, Raiko Z. Manganese leaching in the $\text{FeS}_2\text{--MnO}_2\text{--O}_2\text{--H}_2\text{O}$ system at high temperature in an autoclave [Text] / Raiko Z. Vracar, Katarina P. Cerovic // *Hydrometallurgy*. — 2000. — V. 55. — № 1. — P. 79–92.
4. Hatk, P. K. Aqueous SO_2 leaching studies on Nishikhal manganese ore through factorial experiment [Text] / P. K. Hatk, L. B. Sukla, S. C. Das // *Ibid.* — 2000. — V. 54. — № 2–3. — P. 217–228.
5. Trifoni, M. Reductive leaching of manganiferous ores by glucose and H_2SO_4 : effect of alcohols [Text] / M. Trifoni, L. Toso, F. Vegliu // *Ibid.* — 2001. — V. 59. — № 1. — P. 1–14.
6. Vegliu, F. Column leaching of a manganese dioxide ore: a study by using fractional factorial design [Text] / F. Vegliu, M. Trifoni, C. Abbruzzese, L. Torob // *Ibid.* — 2001. — V. 59. — Is. 1. — P. 31–44.
7. Ding, Peng. A review of manganese ore beneficiation situation and development [Text] / Peng Ding, Quanjun Liu, Wenhao Pang // *Applied Mechanics and Materials*. — 2013. — V. 380–384. — P. 4431–4433.
8. Kang, Tingling. Synthesis and dephosphorization of iron manganese composite oxide by acid Leaching on Iron manganese ore [Text] / Tingling Kang, Yi Liu, Yongbing Huang [et al.] // *Advanced Materials Research*. — 2012. — V. 554–556. — P. 489–493.
9. Da, Sun. A Green Enriching Process of Mn from Low Grade Ore of Manganese Carbonate [Text] / Sun Da, Li Mao-lin, Li Can-hua [et al.] // *Applied Mechanics and Materials*. — 2014. — V. 644–650. — P. 5427–5430.
10. Nokhrina, O. I. Production and Use of Concentrates from Polymetallic Manganese Ore [Text] / O. I. Nokhrina, I. D. Rozhikhina, I. E. Proshunin, I. E. Khodosov // *Steel in Translation*. — 2015. — V. 45. — № 5. — P. 295–300.
11. Nokhrina, O. I. Manganese and nickel recovering from polymetallic materials on leaching by chloride solutions [Text] / O. I. Nokhrina, I. D. Rozhikhina, O. Y. Kichigina [et al.] // *Ibid.* — 2012. — T. 42. — № 12. — P. 802–805.
12. Nokhrina, O. I. Modern Approaches to Efficient use of Mn-Containing Raw Material in Steel Production / O. I. Nokhrina, I. D. Rozhikhina, I. E. Proshunin [et al.] // *Applied Mechanics and Materials*. — 2015. — V. 770. — P. 8–13.
13. Пат. 2038396 Российской Федерации, МКИ С 22 В 47/00. Способ обогащения окисных марганцевых руд [Текст] / Н. В. Толстогузов, И. Д. Рожихина, О. И. Нохрина. — № 93018576/02; заявл. 16.04.93; опубл. 27.06.95.
14. А. с. 1640192 СССР. Способ производства бесфосфористого углеродистого ферромарганца [Текст] / Н. В. Толстогузов, В. А. Радугин, И. Е. Прошунин [и др.] // БИ. № 13. 1991.
15. Атлас шлаков [Текст]: справочное издание / Пер. с нем. — М: Металлургия, 1985. — 208 с.

**ПРОИЗВОДСТВО НИЗКОФОСФОРИСТЫХ МАРГАНЦЕВЫХ СПЛАВОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
МАРГАНЦЕВОГО КОНЦЕНТРАТА ХИМИЧЕСКОГО ОБОГАЩЕНИЯ**

О. И. НОХРИНА^{1,2}, д-р техн. наук; И. Д. РОЖИХИНА¹, д-р техн. наук;

И. Е. ПРОШУНИН¹, канд. техн. наук;

М. А. ГОЛОДОВА¹, канд. техн. наук, golodova_ma@mail.ru

(¹ ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет»,

² Юргинский технологический институт (филиал) Томского политехнического университета)

Представлена технология выплавки низкофосфористого ферромарганца. Экспериментально определены параметры технологического процесса углеродотермической плавки низкофосфористого ферромарганца. Приведены данные по температурам плавления отвальных шлаков производства высокоуглеродистого ферромарганца, которые используются в технологическом процессе, и результаты экспериментальных плавов в лабораторных условиях.

Показано, что использование шлака производства углеродистого ферромарганца по разработанной технологии обеспечивает стабильно высокое извлечение марганца и снижение расхода электроэнергии.

Ключевые слова: ферросплавное производство; углеродотермическая плавка; низкофосфористый ферромарганец; отвальный шлак производства высокоуглеродистого ферромарганца.