

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

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
Космачский Я.И., канд.техн.наук
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
Тютюнник 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

EDITORIAL BOARD

Editor-in-Chief- Bessonov A.V., PhD (Econ)
Deputy Editor-in-Chief-Kurganov V.A. Higher Doctorate (Tech),
Professor
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)
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

Редактор - Смильгина В.В.
Ведущие редакторы разделов - Бухова Л.М., Зиновьева Н.Г. Корректор - Власова Н.А.
Компьютерная верстка - Яшина Н.Н., Галахова А.Г.

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 Бухова Людмила Михайловна

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 12 (1416)
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

Тигунов Л.П., Пикалова В.С., Быховский Л.З. Легирующие металлы России. Минерально-сырьевая база: состояние, использование, перспективы развития.....3	
НА ПРЕДПРИЯТИЯХ И В ИНСТИТУТАХ	
Горнорудное производство	
Кармазин В.В. Оценка потенциальной обогатимости железородного сырья на основе параметров раскрытия минералов.....11	
Аглодомное производство	
Фролов Ю.А., Капун Л.И. Состояние и перспективы развития технологии производства агломерата. Часть 9. Анализ процесса охлаждения агломерата на линейном охладителе.....18	
Дмитриев А.Н., Петухов Р.В. Подготовка к доменной плавке титаномагнетитовых концентратов с различным содержанием диоксида титана.....27	
Сибатуллин С.К., Савинов А.С., Харченко А.С., Девятченко Л.Д. Выявление источников неравномерного распределения компонентов железородной шихты, загружаемой в доменную печь30	
Тимофеева А.С., Никитченко Т.В., Федина В.В., Короткова Л.Н. Исследование температуры самовозгорания металлизированного продукта.....36	
Сталеплавильное производство	
Чернятевич А.Г., Сигарев Е.Н., Молчанов Л.С., Вакульчук В.В., Юшкевич П.О., Чубин К.И., Чубин М.К. Картина продувки конвертерной ванны с использованием двухъярусной кислородной фурмы39	
Рожихина И.Д., Нохрина О.И., Голодова М.А. Исследование возможности получения ферромарганца с пониженным содержанием углерода и фосфора из карбонатных марганцевых руд.....46	

Прокатное производство	
Тимофеева М.А., Гарбер Э.А. Улучшение плоскостности холоднокатаных стальных полос путем воздействия на нестабильные параметры технологии горячей и холодной прокатки51	
Зубов С.П., Придвин А.А., Прокопенко Л.В., Синдянов Н.И. Разработка и освоение производства листвого проката из стали повышенной огнестойкости класса прочности С355П, предназначенной для строительных конструкций55	
Трубное производство	
Науменко В.В., Багмет О.А., Баранова О.А. Влияние трубного передела на изменение микроструктуры и механических свойств рулонного проката системы микролегирования V-N.....59	
Металлургическое оборудование и литейное производство	
Еронько С.П., Ткачев М.Ю., Смирнов Е.Н., Скляр В.А. Разработка системы выгрузки извести из шахтной обжиговой печи.....66	
Колокольцев А.В., Потапов М.Г., Михайлов А.В., Потапова М.В., Макарова И.В. Разработка нового состава специального чугуна для отливок, работающих в условиях абразивного и ударно- абразивного износа70	
Сидоров В.А. Особенности стационарных систем вибрационного контроля металлургических машин.....73	
Экология и ресурсосбережение	
Просветов И.В., Коршиков В.Д., Чмырев И.Н. Влияние длины диффузионного факела на теплоперенос при обжиге сыпучих во вращающейся печи84	
Новости зарубежной периодики.....87	
ЭКСПРЕСС-ИНФОРМАЦИЯ90	
ВЫСТАВКИ, КОНФЕРЕНЦИИ, СИМПОЗИУМЫ ...98	
Аннотации к статьям102	
Статистика112	
Содержание Бюллетеня за 2017 г.125	

CONTENTS

Tigunov L.P., Pikalova V.S., Bykhovskiy L.Z. The Alloying Metals in Russia. The Mineral and Raw Materials Base in Russia: the Status, Utilization, Prospects for the Development.....	3
---	---

AT ENTERPRISES AND INSTITUTES

The Ore-Mining Industry

Karmazin V.V. The Evaluation of the Potential Washability of the Iron Ore Raw Materials on the Basis of the Mineral Breaking-down Parameters.....	11
---	----

The Sintering and Blast Furnace Processes

Frolov Yu.A., Kaplun L.I. The Status and Prospects for the Development of the Technology for Manufacturing the Sinter. The Part 9. The Analysis of the Process of Cooling the Sinter in the Linear Cooler.....	18
--	----

Dmitriev A.N., Petukhov R.V. The Preparation for the Blast Furnace Heat of the Titanomagnetite Concentrates with the Various Contents of the Titanium Dioxide.....	27
--	----

Sibagatullin S.K., Savinov A.S., Kharchenko A.S., Devyatchenko L.D. Revealing the Sources of the Non-Uniform Distribution of the Components of the Iron Ore Charged into the Blast Furnace.....	30
---	----

Timofeeva A.S., Nikitchenko T.V., Fedina V.V., Korotkova L.N. The Investigation into the Temperature of the Spontaneous Ignition of the Iron-Rich Product.....	36
--	----

Steelmaking

Chernyatevich A.G., Sigarev E.N., Molchanov L.S., Vikal'chuk V.V., Yushkevich P.O., Chubin K.I., Chubin M.K. The Picture of Blowing the Bath of the Basic Oxygen Furnace with the Use of the Double-Deck Oxygen Lance.....	39
--	----

Rozhikhina I.D., Nokhrina O.I., Golodova M.A. The Investigation into the Opportunity for Producing the Ferromanganese with the Decreased Contents of the Carbon and Phosphorus from the Carbonate Manganese Ores.....	46
---	----

Rolling Mill Practice

Timofeeva M.A., Garber E.A. The Improvement in the Flatness of the Cold-Rolled Strips by means of the Action on the Non-Stable Parameters of the Hot and Cold Rolling Technology.....	51
---	----

Zubov S.P., Pridein A.A., Prokopenko L.V., Sindyanov N.I. The Development and Mastering the Production of the Rolled Sheet Products from the Steel with the Improved Flame Resistance and with the C355P Strength Class, which is Designed for the Building Constructions.....	55
--	----

Production of Pipes and Tubes

Naumenko V.V., Bagmet O.A., Baranova O.A. The Influence of the Tubular Processing on the Variation of the Microstructure and Mechanical Properties of the Coiled Stock with the V-N Microalloying System.....	59
---	----

Metallurgical Equipment and Foundry Practice

Eron'ko S.P., Tkachev M.Yu., Smirnov E.N., Sklyar V.A. The Development of the Outloading System of the Lime from the Shaft Firing Furnace.....	66
--	----

Kolokol'tsev A.V., Potapov M.G., Mikhailov A.V., Potapova M.V., Makarova I.V. The Development of the New Composition of the Special Cast Iron for the Castings Operated under the Abrasive and Impact-Abrasive Wear Conditions.....	70
---	----

Sidorov V.A. The Special Features in the Steady-State Systems for the Vibration Monitoring of the Metallurgical Machinery.....	73
--	----

Resource Saving and Ecology

Prosvetov I.V., Korshikov V.D., Chmyrev I.N. The Influence of the Length of the Diffusion Flame on the Heat Transfer in the Process of Firing the Granular Materials in the Rotary Furnace.....	84
---	----

The News of the Foreign Periodicals.....	87
--	----

EXPRESS INFORMATION.....	90
--------------------------	----

EXHIBITIONS, CONFERENCES, SYMPOSIA.....	98
---	----

The Abstracts for the Articles.....	102
-------------------------------------	-----

Statistics.....	112
-----------------	-----

The Contents of the Bulletin in 2017.....	125
---	-----

INHALT

Tigunov L.P., Pikalova W.S., Bychowski L.S. Legierungsmetallen Russlands. Rohstoff- und Rohstoffbasis: Zustand, Nutzung, Entwicklungsperspektiven.....	3
--	---

IN BETRIEBEN UND INSTITUTEN

Erzbergbau

Karmasin W.W. Schätzung der potenziellen Anreicherungs-fähigkeit von Eisenerz auf Basis der Parameter der Offenlegung von Mineralien.....	11
---	----

Sinter- und Roheisenerzeugung

Frolov Ju.A., Kaplun L.I. Stand und Perspektiven der Entwicklung der Technologie der Sinterherstellung. Teil 9. Analyse des Abkühlprozesses des Sinters auf linearen Kühler.....	18
--	----

Dmitriev A.N., Petuchov R.W. Vorbereitung zum Hochofenschmelzen von Titanomagnetitkonzentraten mit unterschiedlichem Titandioxidgehalt.....	27
---	----

Sibagatullin S.K., Sawinow A.S., Chartschenko A.S., Dewjattschenko L.D. Identifizierung von Quellen ungleicher Verteilung von Komponenten der Eisenerzgicht, die in den Hochofen geladen werden.....	30
--	----

Timofeeva A.S., Nikitschenko T.W., Fedina W.W., Korotkova L.N. Untersuchung der Selbstentzündungstemperatur des metallisierten Produktes.....	36
---	----

Stahlerzeugung

Tschernjatevitsch A.G., Sigarev E.N., Moltschanow L.S., Wakultschuk W.W., Juschkevitsch P.O., Tschubin K.I., Tschubin M.K. Bild des Verblasen des Konverterbades unter Verwendung einer zweistufigen Sauerstofflanze.....	39
---	----

Roshikhina I.D., Nochrina O.I., Golodova M.A. Untersuchung der Möglichkeit, Ferromangan mit reduziertem Gehalt an Kohlenstoff und Phosphor aus Carbonat-Manganerzen zu gewinnen.....	46
--	----

Walzbetrieb

Timofeeva M.A., Garber E.A. Verbesserung der Ebenheit von kaltgewalzten Stahlbändern durch Beeinflussung der instabilen Parameter der Warm- und Kaltwalztechnologie.....	51
--	----

Subow S.P., Pridein A.A., Prokopenko L.W., Sindjanow N.I. Entwicklung und Beherrschung des Blechs aus Stahl mit erhöhter Feuerwiderstandsfähigkeit der Festigkeitsklasse C355P für den Bau von Gebäuden.....	55
--	----

Rohrherstellung

Naumenko W.W., Bagmet O.A., Baranova O.A. Auswirkungen der Rohrherstellung auf die Veränderung der Mikrostruktur und der mechanischen Eigenschaften von gehaspeltes Walzgut mit V-N Mikrolegierungssystemen.....	59
--	----

Hüttenausrüstungen und Gießerei

Eronko S.P., Tkatschew M.Ju., Smirnow E.N., Sklyar W.A. Entwicklung des Ausladungssystems von Kalk aus dem Schachtröstofen.....	66
---	----

Kolokol'zew A.W., Potapow M.G., Michailow A.W., Potapowa M.W., Makarowa I.W. Entwicklung der neuen Zusammensetzung von Sondergussstählen für Gussteile, die unter Abrasiv- und Schlag-Abrasivverschleiß arbeiten.....	70
---	----

Sidorow W.A. Besonderheit von stationären Systemen der Schwingungskontrolle von metallurgischen Maschinen.....	73
--	----

Ressourceneinsparung und Ökologie

Prosvetow I.W., Korschikow W.D., Tschmyrew I.N. Einfluss der Diffusionsfackellänge auf die Wärmeübertragung beim Rosten der Schüttgüter im Drehrohrofen.....	84
--	----

Nachrichten der ausländischen Zeitschriften.....	87
--	----

EXPRESS-INFORMATIONEN.....	90
----------------------------	----

AUSSTELLUNGEN, KONFERENZEN, SYMPOSIEN.....	98
--	----

Anmerkungen zu den Artikeln.....	102
----------------------------------	-----

Statistik.....	112
----------------	-----

Inhalt des Bulletins für das Jahr 2017.....	125
---	-----

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ФЕРРОМАРГАНЦА С ПОНИЖЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ УГЛЕРОДА И ФОСФОРА ИЗ КАРБОНАТНЫХ МАРГАНЦЕВЫХ РУД

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

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

(¹ ФГБОУ ВО "Сибирский государственный индустриальный университет",

² Юргинский технологический институт (филиал) Томского политехнического университета)

Черная металлургия и машиностроение являются основными потребителями марганцевых сплавов с пониженным содержанием углерода, в том числе среднеуглеродистого ферромарганца. Среднеуглеродистый ферромарганец также входит в состав обязательного компонента для покрытия сварочных электродов [1, 2].

Качество среднеуглеродистого ферромарганца оказывает значительное влияние на качество и надежность сварки. Особенно на эти показатели влияет фосфор. Фосфор является основной причиной, вызывающей сварочные трещины и понижающей свариваемость металла.

Увеличение концентрации фосфора происходит по причине его повышенного содержания в среднеуглеродистом ферромарганце, входящем в состав обмазки сварочных электродов, поэтому для производства среднеуглеродистого ферромарганца используются только высококачественные малофосфористые руды (обычно $P/Mn < 0,0031$). Сплав выплавляют силикотермическим способом. Для производства восстановителя — передельного силикомарганца используется специально выплавленный малофосфористый шлак [3–9].

В России нет марганцевых руд, пригодных для производства среднеуглеродистого ферромарганца по указанной трехстадийной схеме. Марганцевые руды подавляющего большинства отечественных месторождений отличаются невысоким качеством: низкое содержание марганца (18–24 %) и высокое удельное содержание фосфора ($P/Mn > 0,006$). При этом около 90 % балансовых запасов приходится на карбонатное сырье.

При использовании карбонатных высокофосфористых марганцевых руд следует учитывать, что традиционной технологией углеродотермического восстановления из них можно получать только высокофосфористые сплавы, в том числе углеродистый ферромарганец с содержанием фосфора до 0,50–0,77 %, причем при хранении часть сплавов рассыпается. Такие сплавы не находят применения в сталеплавильном производстве.

Одним из способов понижения концентрации фосфора в марганцевых ферросплавах является плавка из карбонатных фосфористых руд, включающая дефосфорацию марганцевых сплавов [10–13].

Технология твердофазной дефосфорации ферромарганца позволяет предложить более простую и, возможно, более эффективную схему получения ферромарганца с пониженным содержанием углерода и фосфора, пригодного для производства сварочных электродов. При этом используются продукты самопроизвольного рассыпания углеродистого ферромарганца, выплавленного из карбонатных фосфористых руд. Однако явление рассыпания углеродистого ферромарганца изучено слабо [14]. Сведения о том, как изменяется состав сплава в ходе его рассыпания, а также о влиянии состава исходного металла на рассыпаемость, отсутствуют. Между тем имеются основания полагать, что на рассыпание марганцевых сплавов оказывает влияние как концентрация кремния, так и содержание железа, углерода и фосфора [15].

Целью данного исследования явилось изучение влияния различных факторов на процесс рассыпания сплавов, что позволит оптимизировать этот процесс и получить ферромарганец с пониженным содержанием фосфора и углерода из фосфористых карбонатных марганцевых руд, пригодный для производства сварочных электродов.

Явление рассыпаемости марганцевых сплавов изучали, контролируя состояние образцов различного состава при хранении их под слоем парафина, во влажной атмосфере эксикатора и на воздухе.

В качестве исходных материалов для изготовления образцов различных сплавов использовали: электролитический марганец (99,5 % Mn), кристаллический кремний (98 % Si), гранулированный алюминий (92 % Al), мягкое железо (98,5 % Fe). Для введения в образцы фосфора и кальция использовали феррофосфор и силикокальций (28 % Ca).

В первой серии экспериментов для исследо-

вания влияния кремния и железа на рассыпаемость ферромарганца были выплавлены сплавы: Mn–C_{нас}, Mn–Si (2 %)–C_{нас}, Mn–Si (4 %)–C_{нас}, Mn–Si (2 %)–Fe (2 %)–C_{нас}, Mn–Si (2 %)–Fe (4 %)–C_{нас}, Mn–Si (2 %)–Fe (5 %)–C_{нас}, Mn–Si (2 %)–Fe (6 %)–C_{нас}.

Влияние алюминия, фосфора и кальция на процесс рассыпания исследовали во второй серии экспериментов. Для этого были выплавлены сплавы с различным содержанием этих элементов.

Образцы массой 50 г выплавляли в печи сопротивления с трубчатым угольным нагревателем в графитовых тиглях. После расплавления исходных материалов расплав подвергали изотермической выдержке в течение 30 мин. Температура выдержки составляла 1673–1973 К в зависимости от состава расплава. После выдержки тигли с расплавом охлаждали с печью (медленное охлаждение) или жидкий расплав выливали в чугунную изложницу и охлаждали ее на воздухе (быстрое охлаждение). Образцы извлекали из тигля или изложницы и каждый образец делили на три части: одну часть заливали парафином, вторую часть помещали в эксикатор, на дне которого была вода, третью часть помещали на подставку на воздухе.

В течение первого месяца состояние образцов контролировали ежедневно, далее — один раз в каждые десять суток.

Для подтверждения полученных закономерностей по рассыпанию ферромарганца дальнейшие исследования проводили со сплавом, выплавленным с использованием карбонатных марганцевых руд Усинского месторождения.

Ферромарганец выплавляли флюсовым способом из обожженной при температуре 1173 К карбонатной марганцевой руды (40–42 % Mn, 13–15 % SiO₂, 1,6–1,8 % Fe, 0,3–0,4 % P), доломитизированного известняка, кокса и железной стружки в полупромышленной печи мощностью 100 кВт. Шихта рассчитывалась на получение в сплаве 4–5 % Si. Сплав по мере накопления выпускали в ковш, после отделения от шлака разливали в плоские изложницы толщиной 100–120 мм и отправляли на химический анализ.

Слиток после остывания дробили до фракции 30–100 мм и выдерживали в течение 4–44 сут, при этом сплав рассыпался в порошок.

Для понижения содержания фосфора рассыпавшийся сплав смешивали в соотношении 1:1 со смесью NaCl + Na₂CO₃ (соотношение компонентов в смеси 1:1), брикетировали и выдерживали при температуре 1173 К в течение 120 мин в нагревательной печи.

После изотермической выдержки сплав отмывали горячей водой от соли, сушили, дробили до крупности 100–200 мкм.

Результаты первой серии экспериментов показали, что рассыпание образцов, содержащих кремний, началось через 15 сут.

Наибольшую склонность к рассыпанию проявил образец, не содержащий кремний. Сплав с содержанием 2 % Si рассыпался в порошок серого цвета с размером зерна 1–1,5 мм, сплав с 4 % Si — в порошок землисто-серого цвета.

Химический и рентгеновский анализы порошков производили по окончании рассыпания. Результаты анализа показали, что полученные порошки рентгеноаморфны. Кинетику рассыпания оценивали по увеличению массы образцов. Из кинетических зависимостей, приведенных на рис. 1, следует, что рассыпание сплава в основном завершается после 30–40 сут выдержки.

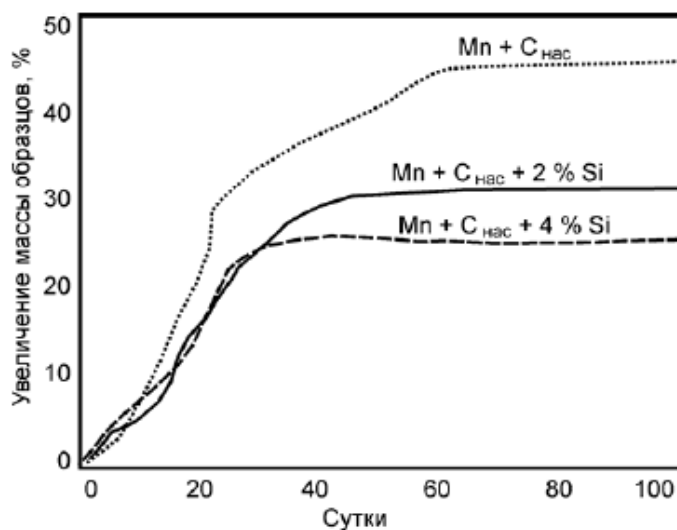


Рис. 1. Изменение массы в процессе рассыпания образцов

Помещенные во влажную атмосферу эксикатора пробы образцов полностью рассыпались через три дня.

Влияние железа на рассыпаемость сплавов изучали при содержании кремния 2 %, изменяя добавки железа — 2, 4, 5, 6 %. Сплавы указанных составов насыщались углеродом при температурах 1823 и 2023 К. Затем тигли с расплавами охлаждали на воздухе. Кристаллизация сплавов завершалась через 25–30 с. По-видимому, из-за быстрой скорости охлаждения рассыпание сплавов с 2 и 4 % Fe, выплавленных как при 1823 К, так и при 2023 К, началось и завершилось практически одновременно — через 7 сут.

Образцы с содержанием железа 5 и 6 % не рассыпались в течение 180 сут. Полученные результаты исследований хорошо согласуются с выводами авторов работы [14] о повышении стойкости ферромарганца при увеличении содержания в нем железа выше 5 %. Поведение образцов сплавов описано в таблице.

СОСТАВ И ПОВЕДЕНИЕ ИССЛЕДУЕМЫХ СПЛАВОВ

Номер сплава	Состав навески	Внешняя среда		
		парафин	эксикатор	воздух
1	$Mn_{(мет)} + 4 \% Si + C_{нас}$	Не рассыпался	Рассыпался через 3 сут	Полное рассыпание через 15 сут, порошок серого цвета
2	$Mn + 4 \% Al + C_{нас}$	Не рассыпался	Рассыпался через 75 сут, порошок бурого цвета	Частичное рассыпание через 90 сут, порошок бурого цвета
3	$Mn_{(мет)} + 2 \% Si + 2 \% Al + C_{нас}$ (остывание с печью)	Не рассыпался	Рассыпался через 3 сут	Полное рассыпание через 20 сут
4	$Mn_{(мет)} + 2 \% Al + 2 \% Si + C_{нас}$	Не рассыпался	Рассыпался через 4 сут, порошок серого цвета, а затем приобрел бурый оттенок	Полное рассыпание через 20 сут, порошок бурого цвета
5	$Mn_{(мет)} + 2 \% Fe + 2 \% Al + C_{нас}$	Не рассыпался	Рассыпался через 3 сут	Полное рассыпание через 120 сут
6	$Mn_{(мет)} + 4 \% Fe + 2 \% Al + 2 \% Si + C_{нас}$	Не рассыпался	Рассыпался через 90 сут, порошок серого цвета	Рассыпался через 120 сут в порошок крупной фракции серого цвета
7	$Mn_{(мет)} + 4 \% Si + 4 \% Al + C_{нас}$	Не рассыпался	Рассыпался через 3 сут	Полностью рассыпался через 14 сут, порошок бурого цвета
8	$Mn_{(мет)} + 5 \% Fe + 4 \% Al + C_{нас}$	Не рассыпался	Не рассыпался через 75 сут, но после открытия эксикатора сразу рассыпался	Не рассыпался даже через 180 сут, но слиток хрупкий
9	$Mn_{(мет)} + 4 \% Si + 4 \% Al + 4 \% Fe + C_{нас}$	Не рассыпался	Рассыпался через 10 сут	Полностью рассыпался через 78 сут
10	$Mn_{(мет)} + 6 \% Si + 6 \% Al + C_{нас}$	Не рассыпался	Не помещали	Осыпалась лишь поверхность слитка через 150 сут
11	$Mn_{(мет)} + 6 \% Fe + 6 \% Al + C_{нас}$	Не рассыпался	Не помещали	Не рассыпался совершенно даже через 180 сут
12	$Mn_{(мет)} + 2 \% Si + 2 \% Al + C_{нас}$	Не рассыпался	Не помещали	Полное рассыпание через 20 сут, пробы на содержание углерода отбирали по ходу рассыпания
13	$Mn_{(мет)} + 0,1 \% P + C_{нас}$	Не рассыпался	Рассыпался через 3 сут	Интенсивное рассыпание через 15 сут
14	$Mn_{(мет)} + 0,4 \% P + C_{нас}$	Не рассыпался	Рассыпался через 3 сут, порошок бурого цвета	Рассыпался через 12 сут, порошок бурого цвета
15	$Mn_{(мет)} + 0,8 \% P + C_{нас}$	Не рассыпался	Рассыпался на вторые сутки	Рассыпался через 10 сут
16	$Mn_{(мет)} + 2 \% Ca + 2 \% Si + C_{нас}$	Не рассыпался	Рассыпался на вторые сутки, порошок бурого цвета	Рассыпался через 7 сут, порошок бурого цвета
17	$Mn_{(мет)} + 4 \% Si + 4 \% Ca + C_{нас}$	Не рассыпался	Порошок светло-бурого цвета	Рассыпался через 7 сут, порошок бурого цвета
18	$Mn_{(мет)} + 6 \% Ca + 6 \% Si + C_{нас}$	Не рассыпался	Не помещали	Через 30 сут полностью рассыпался, пробы на содержание углерода отбирали по ходу рассыпания
19	$Mn_{(мет)} + 2 \% Ca + 2 \% Si + 2 \% Fe + C_{нас}$	Не рассыпался	Не помещали	Рассыпался через 25 сут, пробы на содержание углерода отбирали по ходу рассыпания

Для определения влияния концентрации углерода на рассыпание выплавляли сплав Mn–Si (2 %) с добавками 2, 4, 5 % углерода в тигле из карбонитрида бора. Температура изотермической выдержки 1823 К. Сплавы выдерживались на воздухе 120 сут, появление трещин и осыпание образцов отсутствовало. В то же время сплав Mn–Si (2 %)– $C_{нас}$ полностью рассыпается через 15 сут (см. рис. 1).

При рассыпании сплавов Mn–Si (2 %)– $C_{нас}$ и Mn–Si (4 %)– $C_{нас}$ результаты химического анализа показали снижение концентрации углерода

до 1,86 и 2,02 % соответственно.

Через каждые трое суток отбирали пробы на содержание углерода по ходу рассыпаемости сплавов на воздухе (сплавы 12, 18, 19). Содержание углерода в рассыпавшихся сплавах составляло: 1,6 % (сплав 12), 2,0 % (сплав 18) и 2,05 % (сплав 19).

Таким образом, в результате проведения второй серии экспериментов установлено, что рассыпаются сплавы марганца, насыщенные углеродом и содержащие менее 12 % (в сумме) таких примесей, как Fe + Si + Al + Ca. Наиболь-

шее влияние на скорость рассыпания оказывают добавки кремния, кальция и фосфора, причем скорость рассыпания значительно меньше для сплавов, насыщенных углеродом с 4–8 % примесей (Fe + Al + Ca), но не содержащих кремния. Совершенно не рассыпаются сплавы с содержанием более 5 % железа, а также сплавы, содержащие более 4 % алюминия (см. таблицу).

Присадки фосфора в сплав Mn–C_{нас} увеличивают скорость рассыпания (сплавы 13–15). Следует отметить, что при рассыпании сплавов содержание фосфора в них понижается в среднем на 25–30 %. В сплаве 13 содержание фосфора после рассыпания сплава составило 0,075 %, а в сплавах 14, 15 — 0,3 и 0,57 % фосфора соответственно.

Сплавы различного состава наиболее полно и быстро рассыпаются в атмосфере паров воды. Сплавы, изолированные от взаимодействия с атмосферой, залитые парафином, не рассыпаются. После нарушения герметизации они рассыпаются, но значительно медленнее, что подтверждают наблюдения. Таким образом, благодаря изоляции сплава от воздействия атмосферной влаги можно изменить скорость рассыпания сплава: подавить процесс рассыпания на некоторое время, а затем его замедлить. Для всех исследуемых сплавов определен фазовый состав после рассыпания. Рентгенофазовый анализ показал, что основной составляющей рассыпавшихся сплавов является гидроксид марганца.

В процессе кристаллизации и последующего охлаждения сплава возникают структурные изменения, увеличивающие внутренние напряжения, приводящие к появлению трещин, о чем свидетельствует характерное потрескивание остывающих лабораторных слитков.

Влага из атмосферы проникает по трещинам к границам кристаллов, где обычно располагаются примеси, в частности соединения фосфора. Фосфор, как известно, склонен к ликвации. Влага взаимодействует с фосфором с образованием летучих соединений, что приводит к нарушению сплошности слитка и его рассыпанию. Так как выделяющиеся соединения ядовиты, рассыпание сплавов следует производить в специальных камерах с последующим улавливанием и утилизацией газовой фазы.

В ходе исследования выявлено, что увеличение содержания углерода до C_{нас} способствует рассыпанию сплавов. При этом установлено, что при рассыпании сплавов содержание углерода снижается в среднем до 1,8–2,0 %, что соответствует содержанию углерода в среднеуглеродистом ферромарганце.

Для выплавки углеродистого ферромарганца шихту рассчитывали на получение в сплаве 4–5 % Si, что увеличивает склонность сплава к рассыпанию.

В результате проведенных плавов были получены сплавы ферромарганца с содержанием 82–85 % Mn, 4,0–5,2 % Si, 0,55–0,77 % P, 5,6–6,0 % C, 4–5 % Fe. Кратность шлака 1,7–1,8. Извлечение марганца 80–82 %. Слитки после охлаждения дробили до фракции 30–100 мм и выдерживали в течение 4–14 сут, при этом сплав рассыпался в порошок. Высокое содержание фосфора, пониженное содержание железа (менее 5 %), повышенное содержание кремния (~5 %), а также медленное охлаждение после разливки — факторы, способствующие рассыпанию сплава. В результате рассыпания содержание углерода в нем понижалось до 1,8–2,0 %, а фосфора — до 0,5–0,55 %.

Рассыпавшиеся сплавы были подвергнуты твердофазной дефосфорации. Решающим фактором успешного удаления фосфора из марганцевых сплавов является создание высокоактивного солевого расплава с низкой температурой плавления и высокой жидкоподвижностью.

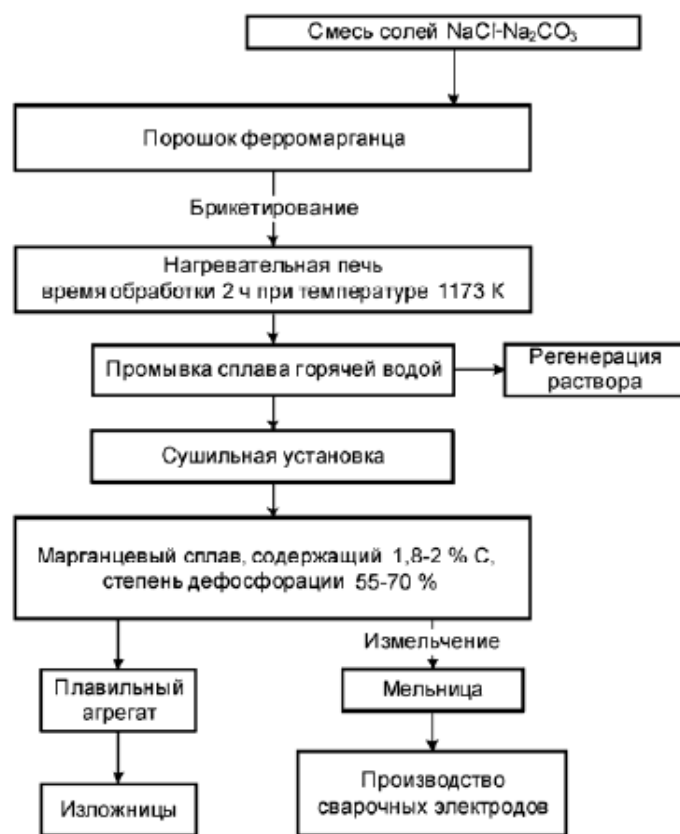


Рис. 2. Технологическая схема дефосфорации марганцевых сплавов расплавами солей NaCl–Na₂CO₃

Более высокие показатели дефосфорации получены при использовании легкоплавких солей с добавками кислородсодержащих компонентов, в частности Na₂CO₃.

Установлено, что смесь NaCl + Na₂CO₃ может успешно использоваться для дефосфорации марганцевых сплавов.

На основе полученных результатов исследований была разработана технологическая схема твердофазной дефосфорации марганцевых сплавов, применение которой позволяет снизить содержание фосфора на 50–60 % в углеродистом ферромарганце и на 50 % в силикомарганце, при этом имеет место окислительная дефосфорация, протекающая при более низких температурах и, как правило, связанная с применением сравнительно недорогих недефицитных материалов (рис. 2).

Химический анализ показал, что полученные сплавы имеют состав: 86–88 % Mn, 5 % Si, 0,18–0,20 % P, 1,8–2,0 % C, близкий к составу среднеуглеродистого ферромарганца. При испытании

сплавов в качестве компонента обмазки сварочных электродов были получены положительные результаты.

В результате выполненных исследований установлено:

– наибольшее влияние на рассыпаемость углеродистого ферромарганца оказывают внешняя среда, скорость кристаллизации и добавки кремния, фосфора, углерода;

– реализация технологической схемы твердофазной дефосфорации с одновременным снижением содержания углерода позволила получить ферромарганец с пониженным содержанием фосфора и углерода, выплавленный из фосфористых карбонатных марганцевых руд.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Vamauskas, V. A. Investigation of Alloy Elements Transfer in Arc Facing by High Carbon and Chromium Content Electrodes [Text] / V. Vamauskas, A. V. Valiulis, V. Rudzinskas // *Solid State Phenomena*. — 2008. — V. 144. — P. 257–260.
2. Sivanagaraju, S. Generation and Utilization of Electrical Energy [Text] / S. Sivanagaraju, M. Balasubba Reddy, D. Srilatha. — 2010. — 571 p.
3. Гасик, М. И. Теория и технология электрометаллургии ферросплавов [Текст] / М. И. Гасик, Н. П. Лякишев. — М.: Интермет Инжиниринг. — 2000. — 764 с.
4. Zhang, J. Process of Shaking Ladles for Producing Ferroalloy [Text] / J. Zhang, S. Q. Ni, S. J. Chu // *Applied Mechanics and Materials*. — 2013. — V. 442. — P. 238–243.
5. Pan, M. C. Study of Heat Treatment Technology on Medium-Carbon-Low-Alloy-Steel Large Hammer Formation of Gradient Performance [Text] / M. C. Pan, X. L. Liu, R. Zou [et al.] // *Advanced Materials Research*. — 2014. — V. 881–883. — P. 1288–1292.
6. Salak, A. Effect of Manganese Addition and Sintering Conditions on Mechanical Properties of Low Carbon 3Cr Prealloyed Steels [Text] / A. Salak, M. Selecka // *Materials Science Forum*. — 2011. — V. 672. — P. 55–58.
7. Hryha, E. The Sintering Behaviour of Fe–Mn–C Powder System, Correlation between Thermodynamics and Sintering Process, Mn Distribution and Microstructure [Text] / E. Hryha, E. Dudrova // *Ibid.* — 2007. — V. 534–536. — P. 761–764.
8. Olsen, Sverre E. Production of Manganese Ferroalloys [Text] / Sverre E. Olsen, Sverre Olsen, Merete Tangstad, Tor Lindstad // *Tapir academic press*. — 2007. — 251 p.
9. 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.
10. Rozhikhina, I. D. Producing manganese-bearing materials with a reduced phosphorus content [Text] / I. D. Rozhikhina // *Steel in Translation*. — 2007. — V. 37. — № 6. — С. 486–489.
11. Rozhikhina, I. D. Producing manganese alloys with reduced phosphorus and carbon content [Text] / I. D. Rozhikhina, O. I. Nokhrina // *Ibid.* — 2004. — V. 34. — № 12. — С. 72–74.
12. Пат. 2209259 Российской Федерации, МКИ С 21 С 7/064. Способ дефосфорации ферромарганца / И. Д. Рожихина, О. И. Нохрина, А. В. Латышев [и др.]. — № 2002103686/02; заявл. 08.02.02; опубл. 27.07.03. Бюл. № 21.
13. Chen, G. Thermodynamic analysis and experimental study of manganese ore alloy and dephosphorization in converter steelmaking [Text] / G. Chen, S. He // *The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. — 2014. — V. 114. — P. 391–399.
14. Танабэ, И. К вопросу о рассыпаемости высокоуглеродистого ферромарганца с низким содержанием железа [Текст] / И. Танабэ, Т. Тоэга // *J. Japan Inst Metals*. — 1960. — № 5. — С. 272–274.
15. Жучков, В. И. Структура и физико-химические характеристики ферросплавов [Текст] / В. И. Жучков, М. И. Гасик, О. Ю. Шешуков // *Электрометаллургия*. — 2006. — № 6. — С. 39–44.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ФЕРРОМАРГАНЦА С ПОНИЖЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ УГЛЕРОДА И ФОСФОРА ИЗ КАРБОНАТНЫХ МАРГАНЦЕВЫХ РУД

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

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

(¹ ФГБОУ ВО "Сибирский государственный индустриальный университет",

² Юргинский технологический институт (филиал) Томского политехнического университета)

На основе исследования процесса рассыпаемости марганцевых сплавов показана возможность получения ферромарганца с пониженным содержанием фосфора и углерода из марганцевых карбонатных руд Усинского месторождения.

Ключевые слова: среднеуглеродистый ферромарганец; рассыпаемость марганцевых сплавов; получение ферромарганца с пониженным содержанием фосфора и углерода; марганцевые карбонатные руды Усинского месторождения.

THE INVESTIGATION INTO THE OPPORTUNITY FOR PRODUCING THE FERROMANGANESE WITH THE DECREASED CONTENTS OF THE CARBON AND PHOSPHORUS FROM THE CARBONATE MANGANESE ORES

I. D. ROZHIKHINA¹, Higher Doctorate (Tech); O. I. NOKHRINA^{1,2}, Higher Doctorate (Tech);

M. A. GOLODOVA¹, PhD (Tech), golodova_ma@mail.ru

(¹ FGBOU VO "Sibirskiy Gosudarstvennyi Industrial'nyi Universitet",

² Yurga Technological Institute (branch) at Tomsk Polytechnical University)

On the basis of the investigation into the process of slaking the manganese alloys, the opportunity for producing the ferromanganese with the decreased contents of the carbon and phosphorus has been shown. The ferromanganese can be produced from the carbonate manganese ores mined at the Usinskoe deposit.

Key words: medium carbon ferromanganese, manganese alloys slaking effect, producing ferromanganese with decreased carbon and phosphorus contents, carbonate manganese ores at Usinskoe deposit.