



ВОПРОСЫ ТЕХНИЧЕСКИХ И ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАУК В СВЕТЕ СОВРЕМЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

*Сборник статей по материалам
I международной научно-практической конференции*

№ 4 (42)
Апрель 2022 г.

Издается с августа 2017 года

Новосибирск
2022

УДК 51/53+62
ББК 22+30
В74

Председатель редакционной коллегии:

Ахметов Сайранбек Махсutowич – д-р техн. наук, проф., академик Национальной инженерной академии РК и РАЕН, профессор кафедры "Механика" Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева, руководитель Казахского отделения (г. Астана) международной научной школы устойчивого развития им. ак. П.Г. Кузнецова.

Редакционная коллегия:

Антифеева Елизавета Львовна – кандидат педагогических наук, доцент, преподаватель кафедры физики Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, г. Санкт-Петербург;

Ахмеднабиев Расул Магомедович – канд. техн. наук, доц. Полтавского национального технического университета им. Ю. Кондратюка;

Бондарев Андрей Владимирович – канд. техн. наук, зав. кафедрой электроснабжения промышленных предприятий Кумертауского филиала ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», г. Кумертау;

Елисеев Дмитрий Викторович – канд. техн. наук, доцент, бизнес-консультант Академии менеджмента и рынка, ведущий консультант по стратегии и бизнес-процессам, «Консалтинговая фирма «Партнеры и Боровков»;

Каракеян Валерий Иванович – д-р техн. наук, проф. кафедры промышленной экологии Национального исследовательского университета «Московский институт электронной техники», г. Зеленоград;

Королев Владимир Степанович – канд. физ.-мат. наук;

Немирова Любовь Федоровна – канд. техн. наук, доц. кафедры конструирования и технологии изделий легкой промышленности, ГБОУ ВПО «Омский государственный технический университет», «Институт дизайна и технологий», г. Омск;

Рымкевич Павел Павлович – д-р техн. наук, канд. физ.-мат. наук, доцент, профессор кафедры физики Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского (Санкт-Петербург), член-корреспондент Международной академии наук экологии, безопасности человека и природы, член Экспертного совета по энергоэффективности зданий и сооружений Санкт-Петербурга.

В74 Вопросы технических и физико-математических наук в свете современных исследований / Сб. ст. по материалам I междунар. науч.-практ. конф. № 4 (42). Новосибирск: Изд. ООО «СибАК», 2022. 124 с.

Учредитель: ООО «СибАК»

Статьи сборника «Вопросы технических и физико-математических наук в свете современных исследований» размещаются в полнотекстовом формате на сайте научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU.

При перепечатке материалов издания ссылка на сборник статей обязательна.

Оглавление

Статьи на русском языке	7
Информационные технологии	7
Секция «Вычислительные машины, комплексы и компьютерные сети»	7
ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СЖАТИЯ ТРАФИКА ПУТЁМ ДЕЛЬТА-КОДИРОВАНИЯ В ТРАНСПОРТНЫХ ПРОТОКОЛАХ Белов Евгений Александрович	7
Секция «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»	12
ИТОГОВЫЙ ОБЗОР ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ РАСЧЕТА ОПТИМАЛЬНОГО МАРШРУТА ДЛЯ НАЗЕМНОЙ ГРУППЫ ПОИСКА ОТДЕЛЯЕМЫХ ЧАСТЕЙ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ Новиков Леонид Владимирович	12
Секция «Системный анализ, управление и обработка информации»	16
ПОСТРОЕНИЕ И ПРОГНОЗ АВТОМАТИЧЕСКИХ ДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ СИГНАЛОВ Дылевский Александр Вячеславович Хрипушин Денис Александрович	16
Технические науки	27
Секция «Аэрокосмическая техника и технологии»	27
ЭКСПЕРИМЕНТ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК САМОЛЕТА Хамза Мазин Абдулаали Хамза	27

Секция «Безопасность жизнедеятельности человека, промышленная безопасность, охрана труда и экология» **34**

К ВОПРОСУ ОБУЧЕНИЯ ЛЮДЕЙ ДЕЙСТВИЯМ 34

ПРИ ПОЖАРЕ В ЗДАНИЯХ

Толмачева Светлана Алексеевна

Степанов Олег Игоревич

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ 43

УТЕЧЕК ТОПЛИВА

Щепелев Андрей Юрьевич

Лиховидов Дмитрий Викторович

Калинин Никита сергеевич

Секция «Инжиниринговые и научно-технические системы и платформы» **48**

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ 48

РАЗНОГЛУБИННОГО ТРАЛА ДЛЯ ПРИДОННОГО

ТРАЛЕНИЯ

Недоступ Александр Алексеевич

Насенков Павел Владимирович

Аскаров Дмитрий Всеволодович

Белозер Иван Сергеевич

Максудов Дамир Вадимович

Секция «Материаловедение и металлургическое оборудование и технологии» **53**

ПРИМЕНЕНИЕ КОНЦЕНТРАТОВ ОБОГАЩЕНИЯ 53

ЖЕЛЕЗОМАРГАНЦЕВЫХ РУД КУЗБАССА

ПРИ ВЫПЛАВКЕ СТАЛИ

Нохрина Ольга Ивановна

Рожихина Ирина Дмитриевна

Голодова Марина Анатольевна

Секция «Строительство и архитектура» **69**

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ О ПЕРЕМЕЩЕНИИ 69

ВИБРИРУЮЩЕГО ШТАМПА ПО ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ

ПОВЕРХНОСТИ ГРУНТА ПОД ДЕЙСТВИЕМ

БОКОВОЙ НАГРУЗКИ

Шебуняев Александр Николаевич

Секция «Технология материалов и изделий легкой промышленности» 79

- ФИЗИЧЕСКОЕ ПОДОБИЕ ПРОЦЕССА РАЗРЫВА
РЫБОЛОВНЫХ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ 79
Недоступ Александр Алексеевич
Ражев Алексей Олегович
Насенков Павел Владимирович
Пивоварова Юлия Сергеевна

Секция «Транспорт и связь, кораблестроение» 85

- СОВРЕМЕННЫЕ ТРЕБОВАНИЕ ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ
АВТОМОБИЛЯМИ К ДОРОГЕ 85
Юсифзаде Эльчин Назим оглы
Кулиев Этибар Бахтияр оглы
Кулиев Тахир Джаваншир оглы

Физика 91

Секция «Физика конденсированного состояния» 91

- ВЛИЯНИЕ РАДИАЦИОННОГО ФОНА
НА СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
КОРНЕЙ ЛОПУХА 91
Пулотов Парвезджон Рузибоевич
Ашуров Ходжимурод Аслидинович
Рахматов Мухамади Нуридинович
Усмонов Абдурахмон

Секция «Физика магнитных явлений» 98

- ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОЙ ПРЕДЫСТОРИИ
НА МАГНИТОИМПЕДАНСНЫЙ ЭФФЕКТ
В АМОРФНЫХ МАГНИТОМЯГКИХ ПРОВОЛОКАХ 98
Мацюк Иван Михайлович
Букреев Дмитрий Александрович
Деревянко Михаил Сергеевич
Захаров Григорий Викторович

Papers in English	103
Technical sciences	103
Section «Transport and communication, shipbuilding»	103
CARRIER SELECTION WITH INTUITIVE FUZZY CLUSTERS IN DANGEROUS GOODS TRANSPORTATION Javanshir Guliyev Serhat Aydın	103

СЕКЦИЯ

«МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ»

ПРИМЕНЕНИЕ КОНЦЕНТРАТОВ ОБОГАЩЕНИЯ ЖЕЛЕЗОМАНГАНЦЕВЫХ РУД КУЗБАССА ПРИ ВЫПЛАВКЕ СТАЛИ

Нохрина Ольга Ивановна

*д-р техн. наук, проф.,
Сибирский государственный
индустриальный университет,
РФ, г. Санкт-Петербург
E-mail: nvi@list.ru*

Рожихина Ирина Дмитриевна

*д-р техн. наук, проф.,
Сибирский государственный
индустриальный университет,
РФ, г. Санкт-Петербург
E-mail: rogihina_id@mail.ru*

Голодова Марина Анатольевна

*канд. техн. наук,
доц. кафедры архитектуры,
Сибирский государственный
индустриальный университет,
РФ, г. Новокузнецк
E-mail: maq5702@mail.ru*

APPLICATION OF CONCENTRATES OF IRON MANGANESE ORES OF KUZBASS IN STEEL SMELTING

OlgaNohrina

*Doctor of Technical sciences, professor,
Siberian State Industrial University,
Russia, Saint Petersburg*

Irina Rozhikhina*Doctor of Technical sciences, professor,
Siberian State Industrial University,
Russia, Saint Petersburg***Marina Golodova***Cand. techn. sciences, Associate Professor
of Departments Architecture
Siberian State Industrial University,
Russia, Novokuznetsk**Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ
и Субъекта РФ (Кемеровская область – Кузбасс)
в рамках научного проекта № 20-48-420001/22*

АННОТАЦИЯ

Проведены теоретические и экспериментальные исследования процессов восстановления железа и марганца из оксидов высококачественных концентратов марганца и железа, полученных в результате гидрометаллургического обогащения железомарганцевых руд. Методом термодинамического моделирования с использованием программного комплекса «Терра» определены оптимальные температуры и расходы восстановителей, обеспечивающие полное восстановление марганца и железа. Установлено, что в качестве восстановителя при использовании оксидных марганецсодержащих материалов для обработки стали можно использовать любой из рассмотренных восстановителей или их комбинацию в определенных соотношениях. Термодинамическим моделированием процессов твердофазного восстановления железа из оксидов железосодержащего концентрата с использованием в качестве восстановителя углей: бурого марки 2Б и длиннопламенного марки Д, определены условия эффективной металлизации при использовании железного концентрата и углей разных технологических марок для получения губчатых металлизированных материалов. Данные расчетов подтверждены в ходе лабораторных исследований и промышленных испытаний.

На основании результатов термодинамических расчетов и экспериментальных исследований предложены технологические параметры прямого легирования стали в ковше или в агрегате «ковш-печь», а также определены оптимальные технологические параметры процесса эффективной металлизации при использовании железосодержащего концентрата.

ABSTRACT

Theoretical and experimental studies of iron and manganese reduction processes from oxides of high-quality manganese and iron concentrates obtained as a result of hydrometallurgical enrichment of iron manganese ores were carried out. The method of thermodynamic modeling using the Terra software complex determined the optimal temperatures and flow rates of reducing agents, which ensure the complete reduction of manganese and iron. It has been found that any of the reducing agents discussed above or a combination thereof in certain ratios can be used as a reducing agent when using manganese-containing oxide materials for steel treatment. Thermodynamic modeling of the processes of solid-phase reduction of iron from iron-containing concentrate oxides using coals as a reducing agent: brown grade 2B and long-flame grade D, the conditions of effective metallization were determined when using iron concentrate and coals of various technological grades to obtain spongy metallized materials. These calculations were confirmed during laboratory tests and industrial tests.

Based on the results of thermodynamic calculations and experimental studies, technological parameters of direct alloying of steel in a ladle or in a ladle-furnace unit are proposed, as well as optimal technological parameters of the process of effective metallization when using an iron-containing concentrate are determined.

Ключевые слова: высококачественный марганцевый концентрат, марокит, монофазный синтетический материал, термохимический синтез, термодинамическое восстановление, восстановители, обработка стали, железосодержащий концентрат, металлизированные материалы.

Keywords: high-quality manganese concentrate, marokite, monophasic synthetic material, thermochemical synthesis, thermodynamic reduction, reducing agents, steel treatment, iron-containing concentrate, metallised materials.

Введение

Запасы марганцевых руд месторождений Кузбасса представлены в основном бедными железомарганцевыми рудами с содержанием железа (10–12%), марганца (20–25%) кремнезема (до 42%), содержание фосфора и серы находится в пределах 0,1–0,2%. Эти руды непригодны для производства стандартных марганцевых сплавов. Использование их в аглодоменном производстве также нецелесообразно из-за высокого содержания кремнезема [1]. Значительные запасы железомарганцевых руд имеются на Селезеньском и Кайгадатском (32,7 млн. т) место-

рождениях. В настоящее время эти руды не вовлечены в металлургическое производство, так как металлургические способы обогащения для них непригодны [1-3].

В настоящее время исследованиям и разработкам новых способов обогащения бедных марганцевых руд уделяется большое внимание как в России [4-6], так и за рубежом [7-9].

На основании результатов теоретических и экспериментальных исследований авторами предложена двухстадийная схема гидрометаллургического обогащения железомарганцевых руд Кузбасса, применение которой позволит получать высококачественные концентраты марганца (58-60% Mn), железа (48-54% Fe), при этом извлекается из сырья до 97% марганца, железа 96-98% [4].

Железосодержащий концентрат может быть использован в качестве сырья при производстве металлизированных материалов методом твердофазного восстановления железа, а также гранулированного железа. В настоящее время перспективным направлением в черной металлургии является производство и применение металлизированных материалов, объемы производства которых постоянно растут. По прогнозам авторов [10], к 2030 году объемы производства металлизированных материалов достигнут 100 млн. т в год. Металлизированная шихта, содержание металлического железа в которой более 80 %, используется при выплавке сталей чистых по примесям цветных металлов в дуговых сталеплавильных печах. За рубежом в последнее время растут объемы производства металлизированных материалов с применением низкосортных углеродистых восстановителей, в основном углей [11-13].

Марганцевые концентраты могут быть использованы для обработки стали в ковше или агрегате печь – ковш [14].

Изучение процессов восстановления марганца и железа из оксидов высококачественных концентратов, выбор восстановителей, позволяющих значительно повысить извлечение элементов, и разработка эффективных технологий подготовки и применения концентратов является актуальной задачей.

Методы исследований и материалы

Фазовый и химический состав исходных материалов определялся с применением методов химического и рентгенофазового анализов.

Концентрат марганца, полученный в результате гидрометаллургического обогащения железомарганцевых руд, имеет следующий усредненный состав: $Mn_{\text{общ}}$ – 59,5 %, $Fe_{\text{общ}}$ – 0,28 %, CaO – 5,35 %, $CaCl_2$ – 4 %, SiO_2 < 1,0 %, P < 0,01 %. Марганец в этом концентрате, по данным рентгенофазового анализа, присутствует в виде оксида Mn_3O_4 . При

низком содержании кремнезема в концентрате ликвидируется шлакообразование, что приводит к повышенным потерям марганца испарением при его восстановлении. В результате исследований авторами [1] установлено, что металлотермическое восстановление оксидов марганца значительно ускоряется при использовании марокита $(\text{Ca}, \text{Mg})\text{Mn}_2\text{O}_4$ и манганитов $(\text{Ca}, \text{Mg})\text{MnO}_3$ кальция и магния, которые могут быть получены из концентрата химического обогащения.

Для получения стабильного восстановления марганца необходимо в исходном марганецсодержащем материале иметь постоянное количество марокита и манганитов кальция и магния. Марокит-манганитовый концентрат можно получать по разработанной авторами технологии [1], включающей в себя механическую и термическую обработку смеси марганцевого концентрата и обожженного доломита или извести.

При реализации термодинамического моделирования восстановления марганца из оксидов высококачественного марганцевого концентрата и марокит-манганитового концентрата использовали программный комплекс «Терра» позволяющий на основе принципа максимума энтропии находить равновесный состав многокомпонентной, гетерогенной термодинамической системы для высокотемпературных условий [15].

Промышленные испытания смесей для прямого легирования в ковше проводили при выплавке стали в дуговой сталеплавильной печи ДСП-0,5. На тарельчатом грануляторе были изготовлены окатыши. Соотношение компонентов шихты в окатышах было следующим: манганит-марокитовый концентрат – 54,3% порошок самопроизвольно рассыпавшегося сплава FC45Mn25 (25 % Mn и 45 % Si) -27%) [1], зола ТЭЦ (8,88 % Al_2O_3 , 23,98 % SiO_2 , 0,56 % TiO_2 , 45,85 % CaO , 4,98 % MgO , 6,32 % FeO , 8,18 % Fe_2O_3 , 1,82 % ппп) –13,2 %, вода – остальное. Выход окатышей размером более 20 мм составил 90 %.

С использованием технологии прямого легирования в ковше выплавляли сталь марок 35Л и 45Л. Раскисление и легирование стали в ковше проводили по следующей технологии. Перед выпуском металла на дно ковша задавали 1/3 часть брикетов (окатышей), а остальное присаживали на струю металла во время выпуска. В процессе плавки отбирались на химический анализ пробы металла и шлака перед выпуском, из ковша, и на разливке.

С целью исследования процесса восстановления железа углеродом с использованием программы «Терра» были проведены расчеты для модельной элементарной системы Fe-C-O , сформированной путем задания исходного состава смеси в виде 1 кг оксида Fe_2O_3 , количество углерода в системе варьировалось параметром n . Перечень возможных веществ определили в результате численного моделирования для диапа-

зона температур от 373 до 1773 К и различных возможных термодинамических состояний, которые в данной программе задаются путем фиксации значений переменных.

Далее были проведены теоретические исследования процесса восстановления железа из железосодержащего концентрата, полученного в результате гидрометаллургического обогащения железомарганцевых руд, двумя типами углей: длиннопламенным (Д) и бурым (2Б), а также коксовой мелочью. Химический состав концентрата приведен в таблице 1, Технический, элементный состав углей приведен в таблицах 2 и 3, химический состав золы углей в таблице 4.

Восстановительный обжиг экспериментальных смесей проводили в муфельной печи SNOL 4/900 и печи сопротивления с графитовым трубчатым нагревателем (печи Таммана).

Таблица 1.

Химический состав железосодержащего концентрата

Компонент	Fe_2O_3	SiO_2	$CaCl_2$	Al_2O_3	CaO	Mn_2O_3	S	P
Содержание, %	82,3	4,15	4,9	2,35	2,69	3,6	0,005	0,005

Таблица 2.

Технический анализ углей

Марка угля	Состав угля, %				
	Содержание углерода [$C_{тв}$]	A^d	V^{daf}	W^r	S^d
Д	55,6	5,64	43,53	15,4	0,26
2Б	49,1	7,83	46,76	35,3	0,68
Примечание: A^d – зольность (ГОСТ 11022-95); V^{daf} – выход летучих веществ (ГОСТ 6382-92); W^r – влажность; S^d – содержание серы (ГОСТ 8606-94).					

Таблица 3.

Элементный состав углей

Марка угля	Состав, %				
	C^{daf}	H^{daf}	N^{daf}	O^{daf}	S^{daf}
Д	72,02	6,12	1,74	20,12	0,34
2Б	70,41	3,88	0,98	22,58	1,15

Таблица 4.

Состав золы углей

Марка угля	Содержание оксидов в золе, %					
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	P ₂ O ₅
Д	55,3	20,1	8,5	9,7	3,7	1,8
2Б	11,4	5,2	10,3	42,7	4,8	0,02

Восстановительный обжиг экспериментальных смесей проводили в муфельной печи SNOL 4/900 и печи сопротивления с графитовым трубчатым нагревателем (печи Таммана).

Методика экспериментов в муфельной печи заключалась в следующем. Муфельную печь нагревали до температуры эксперимента, после чего в печь помещали керамическую подставку с расположенными на ней экспериментальными брикетами. Предварительно измеряли и фиксировали массу каждого брикета. Обжиг проводили при различных температурах и длительности изотермической выдержки. Экспериментальные исследования процесса металлизации в восстановительной атмосфере проводили в печи сопротивления с графитовым нагревателем. Печь была оборудована съемной графитовой крышкой с газоотводом.

Восстановительный обжиг осуществляли в печи Таммана при температурах 1173, 1273, 1373 и 1473 К и времени изотермической выдержки 30 – 80 мин.

Результаты исследований

Результаты термодинамического исследования совместного восстановления марганца из марокита углеродом и кремнием показали, что при температурах сталеплавильных процессов марганец находится в виде марганца металлического в конденсированной и газовой фазах, карбид марганца отсутствует.

Из представленной на рисунке 1 зависимости коэффициента извлечения марганца от расходов углерода и кремния следует, что при расходах восстановителей более 0,2 кг/кг марокита марганец восстанавливается полностью.

Таким образом, в качестве восстановителя при использовании оксидных марганецсодержащих материалов для обработки стали можно использовать любой из рассмотренных восстановителей или их комбинацию в определенных соотношениях.

Результаты прямого легирования стали в ковше с использованием окатышей, в состав которых входила смесь манганит-марокитового концентрата, порошок самопроизвольно рассыпавшегося сплава ФС45Mn25 и

связующего показали, что окатыши успевали полностью прореагировать за время выпуска металла. Продолжительность выпуска составляла 3 минуты. Температура стали перед выпуском равна 1848К. Снижение температуры металла во время выпуска находилось на уровне обычных плавов. Случаев "закозления" металла не наблюдалось; пироэффекты и дымообразование отсутствовали.

Технологическая характеристика опытных плавов с использованием окатышей приведена в таблице 5.

Результаты экспериментов показали, что при использовании технологии прямого легирования извлечение марганца на 16-18% превышает этот показатель при применении стандартной технологии легирования стали марганцем.

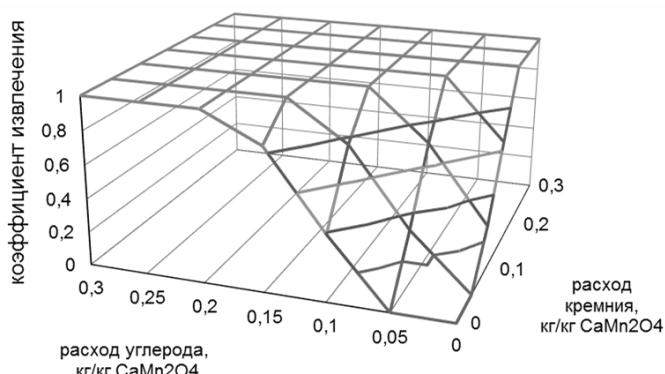


Рисунок 1. Зависимость коэффициента извлечения марганца при совместном восстановлении кремнием и углеродом

Таблица 5.

Технологическая характеристика опытных плавов

Содержание элементов в стали, %	Марка стали		
	Обычные плавки	Опытная партия	
	Ст45Л (среднее по 10 плавкам)	Ст35Л (среднее по 5 плавкам)	Ст45Л (среднее по 3 плавкам)
Перед выпуском			
C		0,38	0,44
Mn		0,29	0,40
S		0,024	0,023

Продолжение таблицы 5.

P		0,022	0,023
Si		0,20	0,30
Al		-	0,006
В готовой стали			
C	0,45	0,37	0,45
Mn	0,60	0,54	0,62
S	0,020	0,025	0,024
P	0,025	0,024	0,024
Si	0,40	0,27	0,47
Al	-	-	0,012
Расход раскислителей и легирующих, кг			
В печь			
ФС65	3,6	2,0	2,5
ФС75	2,2	0,10	0,1
ФМн70	1,5	-	-
В ковш			
Al	1,5	1,5	1,5
Окатыши	-	3,9	3,5
Вес плавки, кг	450	450	450
Извлечение Mn, %	70,0	86,0	88,12
Полезное использование кремния колебалось от 90 до 100 %.			
Металл опытных плавок по всем показателям соответствовал ГОСТ.			

Результаты экспериментов показали, что при использовании технологии прямого легирования извлечение марганца на 16-18% превышает этот показатель при применении стандартной технологии легирования стали марганцем.

Результаты расчета для модельной элементарной системы $Fe-C-O$ представлены на рисунке 2. Из рисунка видно, что при расходе углерода 0,2 кг/кг Fe_2O_3 количество восстановленного металлического железа в системе максимально и составляет 0,7 кг/кг Fe_2O_3 . Дальнейшее увеличение количества углерода приводит к снижению концентрации восстановленного металлического железа и увеличению концентрации его карбида. При расходе углерода выше 0,25 кг в системе начинает накапливаться его избыток.

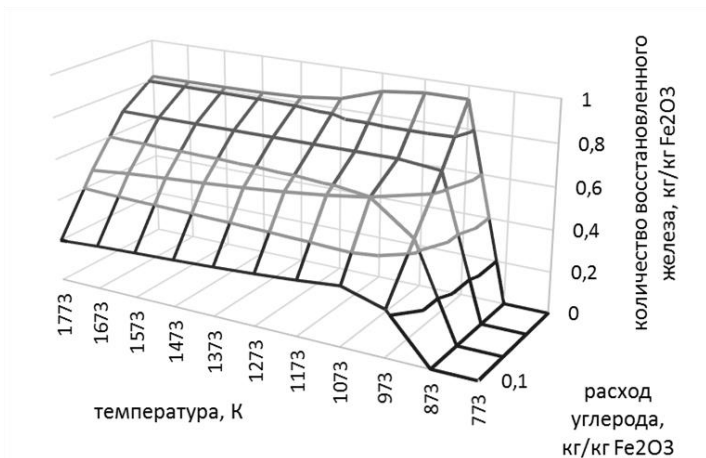
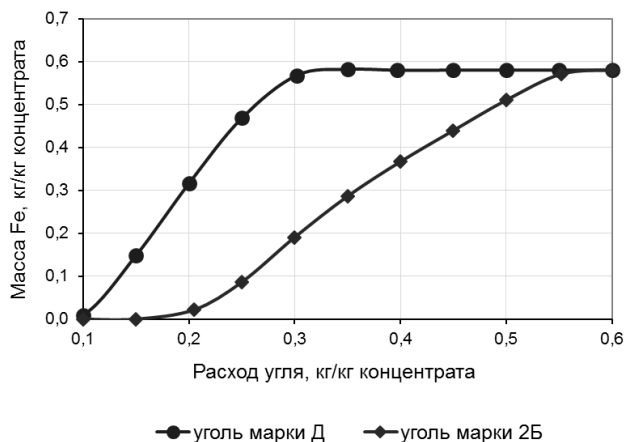


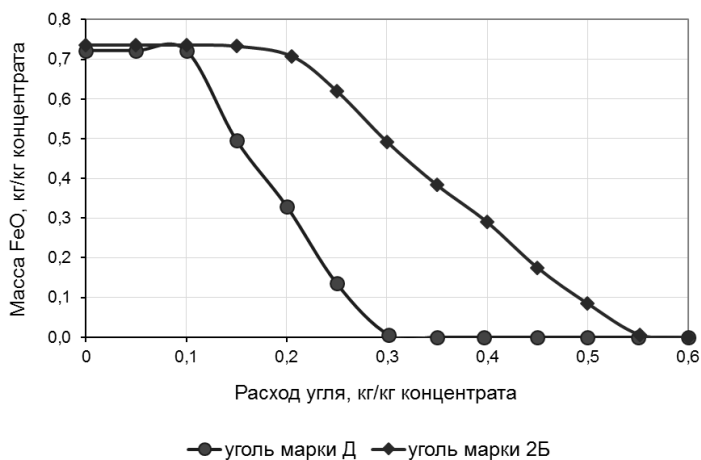
Рисунок 2. Зависимости количества восстановленного железа в системе $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-C}$ от количества углерода и температуры

При моделировании процесса восстановления железа из железосодержащего концентрата получены зависимости массы восстановленного железа и массы его оксида в конденсированной фазе от расхода длиннопламенного угля марки Д и бурого угля марки 2Б при температуре 1473 К, представленные на рисунке 3. Из рисунка следует, что оптимальный расход угля марки Д составляет 0,30 кг/ кг концентрата и угля марки 2Б – 0,55 кг/ кг концентрата. При этих значениях в системе исчезают оксиды железа. При увеличении расходов угля выше этих пороговых значений, масса железа остается постоянной и составляет 0,58 кг/кг концентрата.

В результате экспериментальных исследований твердофазного восстановления железа из оксидов железосодержащего концентрата при использовании в качестве восстановителей длиннопламенного угля марки Д, бурого угля марки 2Б и коксовой мелочи (КМ) установлено, что степень восстановления железа при использовании длиннопламенного угля составляет 90,15%, бурого угля – 70,15, коксовой мелочи – 76,5 (рисунок 4). При температуре изотермической выдержки 1473К степень восстановления бурым углем значительно снижается при продолжительности 60 минут и составляет 68%. Понижение степени восстановления железа при использовании в качестве восстановителя бурого угля можно объяснить появлением легкоплавкой жидкой фазы, которая препятствует твердофазному восстановлению железа



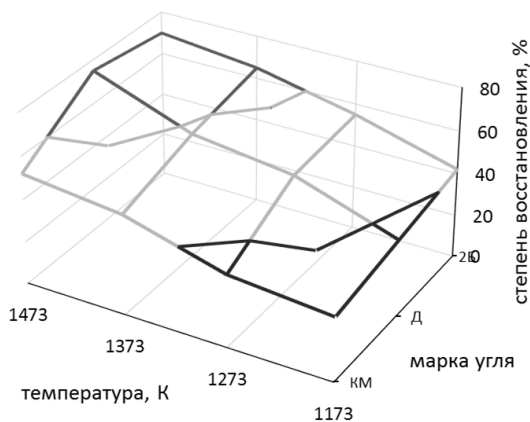
а



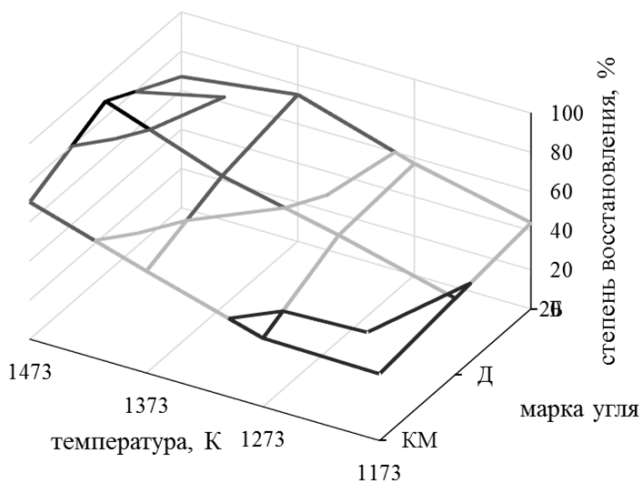
б

а – масса Fe, б – масса FeO

Рисунок 3. Зависимости параметров восстановления железа из концентрата от расхода угля при температуре 1473 К



а



б

а – выдержка 40 мин., б – выдержка 60 мин.

Рисунок 4. Изменение степени восстановления железа от температуры и марки угля при различных продолжительностях выдержки

Определены оптимальные технологические параметры процесса эффективной металлизации при использовании железосодержащего кон-

концентрата и углей марок Д и 2Б для получения губчатых металлизированных материалов с содержанием $Fe_{мет}$ более 82 %, C 2 – 2,5 %, S – 0,1%, P – 0,02 %:

- температура восстановительного обжига 1373 К;
- продолжительность восстановительного обжига 60 мин;
- соотношения компонентов в шихтовой смеси для брикетирования с применением бурого или длиннопламенного углей соответственно равны – железосодержащий концентрат: уголь : связующее – 68 : 35 : 3 и 74 : 22 : 3.

В результате термодинамического моделирования и экспериментального изучения процесса восстановления железа из железного концентрата установлено, что наилучшим восстановителем с минимальным удельным расходом является уголь длиннопламенный марки Д. Установлено, что при избытке восстановителя можно достичь практически полного извлечения железа из концентрата, на уровне 98-99%.

Результаты аттестации физико-химических свойств металлизированных материалов, полученных с использованием в качестве восстановителей углей разных технологических марок, показали, что металлизированные материалы содержат достаточное количество металлического железа более 80 % при степени металлизации более 95 % (таблица 6), что соответствует требованиям, предъявляемым к металлизированным продуктам для выплавки стали в дуговых электропечах.

Таблица 6.

Характеристики металлизированных продуктов

Восстановитель – уголь	η, %	Химический состав продукта, %								
		Fe _{общ}	Fe _{мет}	S	P	C	CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃
Марка Д	96	85,5	82,3	0,125	0,020	1,9	0,3	1,91	10,25	3,23
Марка 2Б	98	84,5	83,4	0,025	0,012	1,8	0,2	1,85	12,03	3,91

Результаты рентгенофазового анализа продуктов металлизации показали, что основной фазой полученных металлизированных материалов является α -Fe, состав второстепенной фазы представлен оливином, фаялитом и графитом, в качестве примесей присутствует SiO_2 и Fe_3C .

В результате термодинамических и экспериментальных исследований предложена технологическая схема (рисунок 7) применения высококачественных марганцевого и железосодержащего концентратов, полученных при гидрометаллургическом обогащении железомарганцевых руд Кузбасса.

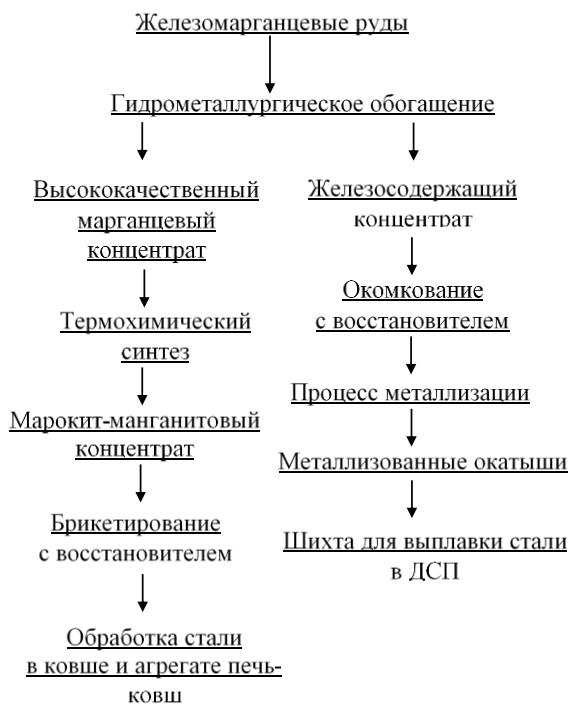


Рисунок 7. Технологическая схема применения высококачественных марганцевого и железосодержащего концентратов

Выводы

Методом термодинамического моделирования определены оптимальные температуры и расходы восстановителей – углерода и кремния, обеспечивающие восстановление марганца из оксидов марокит-манганитового концентрата, произведенного при термохимическом синтезе из смеси высококачественного марганцевого концентрата и доломита. Установлено, что в качестве восстановителя при использовании оксидных марганецсодержащих материалов для обработки стали можно использовать любой из рассмотренных восстановителей или их комбинацию в определенных соотношениях.

На основании результатов термодинамических расчетов и экспериментальных исследований предложены технологические параметры обработки стали марокит-манганитовым концентратом в ковше и агрегате «ковш-печь».

Результаты термодинамического моделирования процессов твердофазного восстановления железа из оксидов железосодержащего концентрата с использованием в качестве восстановителя углей: бурого марки 2Б и длиннопламенного марки Д позволили определить условия эффективной металлизации при использовании железного концентрата и углей разных технологических марок для получения губчатых металлизированных материалов с содержанием железа более 80%.

Список литературы:

1. Рожихина И.Д., Нохрина О.И. Производство марганецсодержащих материалов и сплавов с использованием руд месторождений Западной Сибири: монография. - Новокузнецк: – Изд. центр СибГИУ – 2007. – 172с.
2. Нохрина О.И., Рожихина И.Д., Едильбаев А.И., Едильбаев Б.А. Марганцевые руды Кемеровской области – Кузбасса и методы их обогащения // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2020. – Т. 63, № 5. – С. 344-350.
3. Тигунов Л.П., Смирнов Л.А., Р.А. Менадисиева Р.А. Марганец: геология, производство, использование – Екатеринбург: изд-во АНБ, – 2006. – 183 с.
4. Нохрина О.И., Рожихина И.Д., Рыбенко И.А., Голодова М.А., Израильский А.О. Гидрометаллургическое обогащение полиметаллических и железомарганцевых руд // Известия вузов. Черная металлургия. – 2021. – № 4. – С. 271 –279.
5. Чернобровин В.П., Мизин В.Г., Сирин Т.П., Дашевский В.Я Комплексная переработка карбонатного марганцевого сырья: химия и технология – Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, – 2009. – 294с.

6. Курков А.В., Мамошин М.Ю., Рогожин А.А. Прорывные гидрометаллургические процессы для устойчивого развития технологий переработки минерального сырья. Научное издание ФГБУ «ВИМС», М., 2019, 106 с.
7. Peng Ding, Quanjun Liu, Wenhao Pang. A review of manganese ore beneficiation situation and development // J. Applied Mechanics and Materials. 2013. Vol. 380-384. P. 4431 – 4433.
8. Sun Da, Li Mao-lin, Li Can-hua, Cul Rui, Zheng Xia-yu. A Green Enriching Process of Mn from Low Grade Ore of Manganese Carbonate // Applied Mechanics and Materials. 2014. Vol. 644-650. P. 5427 – 5430.
9. Pan M.C., Liu X.L., Zou R., Huang J., Han J.C. Study of Heat Treatment Technology on Medium-Carbon-Low-Alloy-Steel Large Hammer Formation of Gradient Performance // J. Advanced Materials Research. 2014. Vol. 881. P. 1288 – 1292.
10. ООО УК «Металлоинвест» – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.metalloinvest.com (дата обращения 01.02.2022).
11. Kirschen M., Badr K., Pfeifer H. Influence of direct reduced iron on the energy balance of the electric arc furnace in steel industry // Energy. – 2011. – Т. 36. – №. 10. – С. 6146 – 6155.
12. Zhang Y.Y. et al. Development prospect of rotary hearth furnace process in China // Advanced Materials Research. – 2013. – Т. 746. – С. 533 – 538.
13. Nobuhiko T. Nippon steel technical report // Development of iron-making Technology. – 2012. – № 101. – P. 79 – 88.
14. Нохрина О.И., Рожихина И.Д., Дмитриенко В.И. Платонов М.А. Легирование и модифицирование стали с использованием природных и техногенных материалов – Томск : Изд-во Томского политехнического университета. – 2013.-320с.
15. Трусов, Б.Г. Программная система ТЕРРА для моделирования фазовых и химических равновесий при высоких температурах / Б.Г. Трусов // III межд. симпозиум «Горение и плазмохимия». 24 – 26 августа 2005. Алматы, Казахстан. – Алматы : Казак университеті, 2005. – С. 52 – 57

Научное издание

**ВОПРОСЫ ТЕХНИЧЕСКИХ
И ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАУК
В СВЕТЕ СОВРЕМЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Сборник статей по материалам

Л международной научно-практической конференции

№ 4 (42)

Апрель 2022 г.

Подписано в печать 25.04.22. Формат бумаги 60х84/16.

Бумага офсет №1. Гарнитура Times. Печать цифровая.

Усл. печ. л. 7,75. Тираж 550 экз.

Издательство ООО «СибАК»

630049, г. Новосибирск, Красный проспект, 165, офис 4.

E-mail: mail@sibac.info

Отпечатано в полном соответствии с качеством предоставленного
оригинал-макета в типографии «Allprint»

630004, г. Новосибирск, Вокзальная магистраль, 3

16+