Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Администрация Правительства Кузбасса

Научно-образовательный центр мирового уровня «Кузбасс»

Сибирский государственный индустриальный университет

МЕТАЛЛУРГИЯ: ТЕХНОЛОГИИ, ИННОВАЦИИ, КАЧЕСТВО

«Металлургия – 2022»

Труды

XXIII Международной научно-практической конференции

23– 25 ноября 2022 г.

Часть 1

Новокузнецк
2022

ISSN 2542-1670

УДК 669(06)+658.012.056(06)
М 540

Редакционная коллегия
д.т.н., академик РАН Л.А. Смирнов, д.т.н., доцент А.Б. Юрьев,
д.т.н., профессор С.В. Коновалов, д.т.н., профессор Е.В. Протопопов,
д.т.н., профессор А.Р. Фастыковский, д.т.н., доцент Д.А. Чинахов,
к.т.н. Р.А. Шевченко, к.т.н., доцент О.А. Полях,
к.т.н. Е.Н. Темлянцева, д.т.н., доцент В.В. Зимин

М 540 Металлургия : технологии, инновации, качество : труды XXIII Международной научно-практической конференции. В 2 частях. Часть 1 / под общ. ред. А.Б. Юрьева, Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2022. – 390 с. : ил.

Труды конференции включают доклады по актуальным вопросам теории и практики металлургических процессов, технологий обработки материалов, автоматизации, ресурсо- и энергосбережения, экологии и утилизации отходов металлургического производства.

Конференция проводится ежегодно.

ОРГАНИЗАТОРЫ И ПАРТНЕРЫ КОНФЕРЕНЦИИ

АДМИНИСТРАЦИЯ ПРАВИТЕЛЬСТВА КУЗБАССА

ФГБОУ ВО «СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

АО «ЕВРАЗ ЗСМК»

АО «РУСАЛ-НОВОКУЗНЕЦК»

АО «КУЗНЕЦКИЕ ФЕРРОСПЛАВЫ»

АО «НЗРМК им. Н.Е. КРЮКОВА»

ЛЯОНИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИИ, Г. АНЬШАНЬ, КНР

ОАО «ЧЕРМЕТИНФОРМАЦИЯ»

ИЗДАТЕЛЬСТВО СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РАН

ЖУРНАЛ «ИЗВЕСТИЯ ВУЗОВ. ЧЕРНАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ»

ЖУРНАЛ «ВЕСТНИК СИБГИУ»

НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР МИРОВОГО УРОВНЯ «КУЗБАСС»

АО «КУЗБАССКИЙ ТЕХНОПАРК»

© Сибирский государственный индустриальный университет, 2022

УДК 669.041

О ВОЗМОЖНОСТИ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА МЕТАЛЛИЗАЦИИ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО СЫРЬЯ

Якушевич Н.Ф.[1], Строкина И.В.[1], Полях О.А.[1], Ноздрин И.В.[1], Безрукова Е.С.[1], Ноздрин Е.В.[2]

[1]Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия, kafcmet@sibsiu.ru
[2]АО «Арселор Миттал Темиртау», г. Темиртау, Казахстан

Аннотация. *Выполнен расчет и построение диаграммы фазово-химических равновесий в сложной системе Fe-C-O_2-H_2. Охарактеризованы окислительно-восстановительные свойства газовой фазы системы посредством изменений значений кислородного потенциала. Определены оптимальные параметры углеродотермического восстановления оксидов железа в присутствии водорода.*

Ключевые слова: *термодинамика, восстановительный обжиг, кислородный потенциал, углеродистые восстановители, степень восстановления.*

ON THE POSSIBILITY OF INTENSIFICATION OF THE METALLIZATION PROCESS OF IRON ORE RAW MATERIALS

Yakushevich N.F.[1], Strokina I.V.[1], Polyah O.A.[1], Nozdrin I.V.[1], Bezrukova E.S.[1], Nozdrin E.V.[2]

[1] Siberian state industrial university, Novokuznetsk, Russia, kafcmet@sibsiu.ru
[2] JSC "Arcelor Mittal Temirtau", Temirtau, Kazakhstan

Abstract. *The calculation and construction of a diagram of phase-chemical equilibria in a complex Fe-C-O_2-H_2 system has been performed. The redox properties of the gas phase of the system are characterized by changes in the values of the oxygen potential. Optimal parameters of carbon-thermal reduction of iron oxides in the presence of hydrogen have been determined.*

Keywords: *thermodynamics, reduction roasting, oxygen potential, carbon reducing agents, degree of reduction.*

В современной металлургической промышленности при использовании в шихте металлизованного железорудного сырья, процесс восстановления оксидов железа в 85 % случаев осуществляется конвертированным природным газом, состоящим, в основном, из $CO+H_2$. Соответствующие установки газофазного восстановления требуют дополнительных конструктивных затрат, связанных с каталитическим конвертированием и подводом газа-восстановителя. Оптимальную восстановительную газовую среду можно со-

здать при углеродотермическом восстановлении с добавлением в газовую фазу определенного количества водорода. Твердый углерод в этом случае играет роль регенератора CO и H_2 по реакциям $CO_2+C=2CO$ и $H_2O+C=H_2+CO$. Такой режим может быть обеспечен при применении в качестве восстановителей полукоксов бурых или длиннопламенных углей, торфа или тощих и слабоспекающихся углей – наиболее дешевых и недефицитных материалов с большим содержанием летучих.

Хорошо изучены закономерности восстановления оксидов железа в отдельных системах Fe-C-O и Fe-O-H [1], а термодинамические показатели комплексной системы $Fe-C-O_2-H_2$ до сих пор не охарактеризованы. Важно обозначить параметры перехода оксидов железа между собой, выявить термодинамические условия для полного и неполного восстановления в системе $Fe-C-O_2-H_2$.

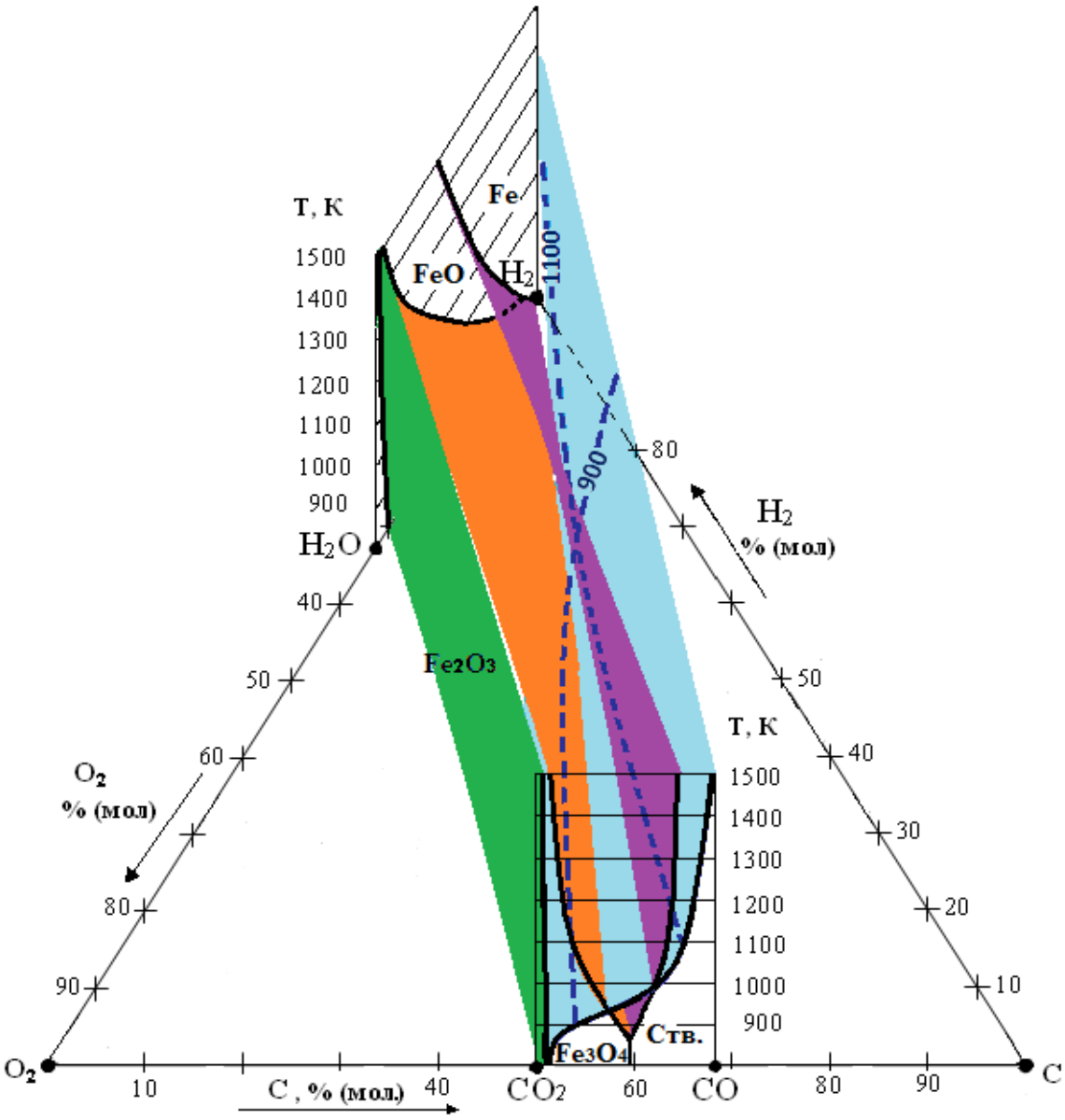
Обобщение имеющегося материала по количественным характеристикам равновесия реакций восстановления оксидов железа в отдельных системах Fe-C-O и Fe-C-H, показало, что изменения термодинамических характеристик прочности оксидов железа в сложной системе $Fe-C-O_2-H_2$ закономерны и протекание реакций окисления и восстановления зависит от таких термодинамических параметров как температура, давление, состав газовой фазы. Обозначение фазово-химических превращений в системе $Fe-O_2-C-H_2$ осуществлялось при помощи программного обеспечения MathCAD по методике термодинамического расчета равновесного состава для случая постоянства температуры и давления.

Комплекс расчетов фазово-химических равновесий в системе $F-C-O_2-H_2$, построение диаграмм отдельных равновесных поверхностей, описывающих термодинамические закономерности восстановления высшего оксида до железа металлического и равновесной поверхности углеродоотложения в системе $C-O_2-H_2$, изложены ранее в работах [2-5].

Обобщенная информация о системе $Fe-C-O_2-H_2$ представлена на рисунке 1, в виде комплексной диаграммы фазово-химических равновесий, на которой в координатах температура – состав газовой фазы выделены объёмные области существования отдельных твердых фаз ($C_{тв}$, Fe_2O_3, Fe_3O_4, FeO, Fe), сосуществующих с газовой фазой, состав которой представляется на треугольнике концентраций в координатах $C_{тв}-H_2-O_2$ (%, мол). Разделяющие эти области поверхности представляют трехфазные равновесия (Fe-FeO-газ, $FeO-Fe_3O_4$-газ, $Fe_3O_4-Fe_2O_3$-газ, $Fe-C_{тв.}$-газ), а линии их пересечения – соответствующие четырехфазные равновесия ($Fe_3O_4-FeO-C_{тв}$-газ, $FeO-Fe-C_{тв}$-газ).

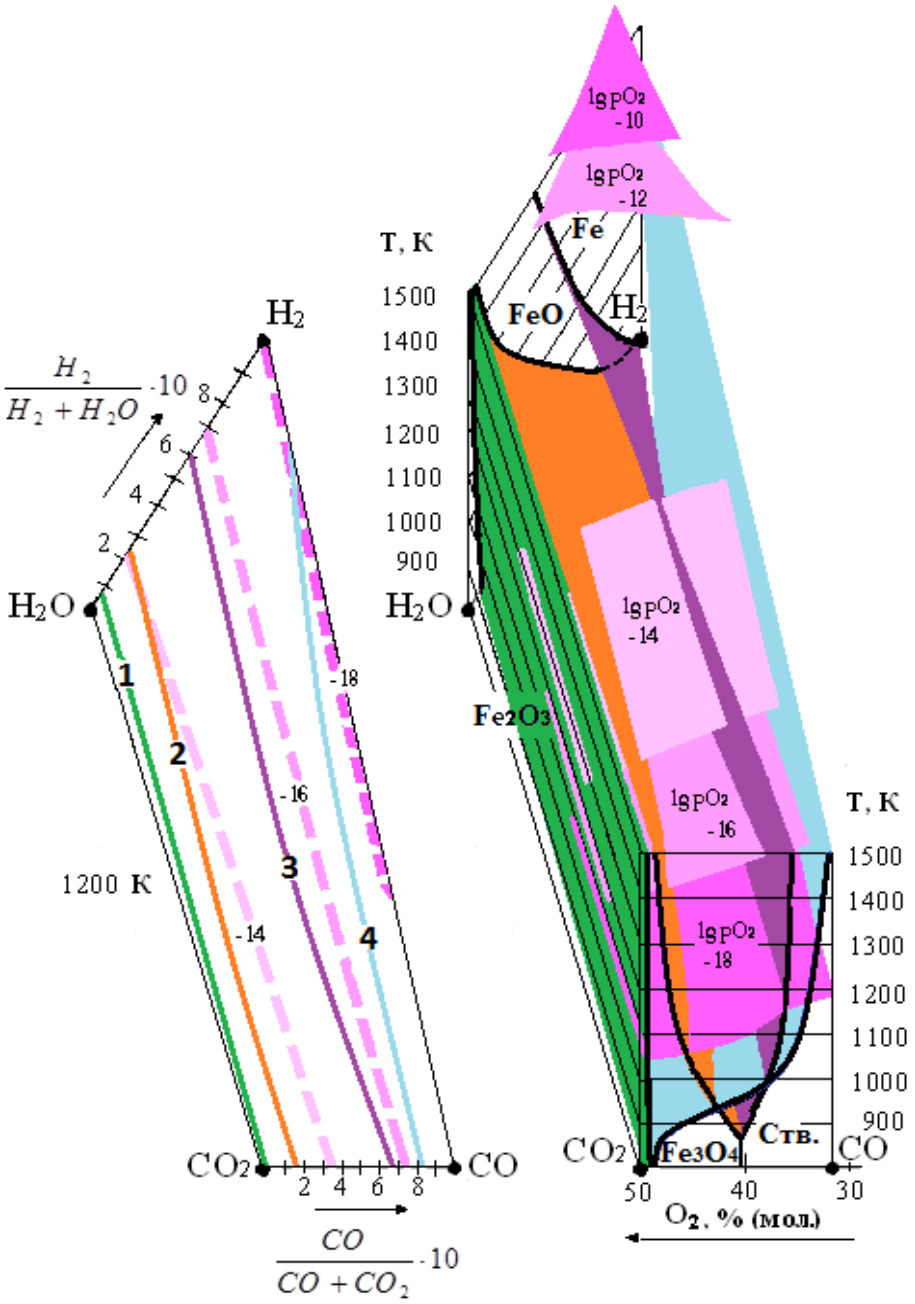
В газовой фазе, содержащей CO, CO_2, O_2, H_2 и H_2O, на довольно широком интервале изменяются состав и свойства газовых смесей от окислительной атмосферы с преимущественным содержанием CO_2 (H_2O) до восстановительной, в которой преобладает CO (H_2). Охарактеризовать состав и окислительно-восстановительные свойства газовой фазы системы $Fe-O_2-C-H_2$ возможно при помощи величины кислородного потенциала. На рисунке 2

представлены в объемном виде постоянные значения кислородных потенциалов как фрагменты поверхностей одинаковых равновесных значений lg pO_2 (-10, -12, -14, -16, -18).



- равновесная трехфазная поверхность Fe_2O_3 – Fe_3O_4 - газ;
- равновесная трехфазная поверхность Fe_3O_4 – FeO - газ;
- равновесная трехфазная поверхность FeO – Fe - газ;
- равновесная трехфазная поверхность Fe - $C_{тв.}$ - газ;
- изотермы поверхности углеродоотложения

Рисунок 1 - Диаграмма фазово-химических равновесий в системе Fe-C-O_2-H_2



■ - равновесная трехфазная поверхность Fe_2O_3 – Fe_3O_4 – газ (справа),
1 - проекция ее изотермы (слева);
■ - равновесная трехфазная поверхность Fe_3O_4 – FeO – газ (справа),
2 - проекция ее изотермы (слева);
■ - равновесная трехфазная поверхность FeO – Fe – газ (справа),
3 - проекция ее изотермы (слева);
■ - равновесная трехфазная поверхность Fe - $C_{тв.}$ - газ (справа),
4 - проекция ее изотермы (слева);
■ ■ - равновесные поверхности $\lg pO_2 = const$

Рисунок 2 - Диаграмма фазово-химических равновесий
в системе Fe-CO-CO_2-H_2-H_2O (справа) и ее изотермический
разрез при 1200 К (слева)

Пересечение поверхностей lg pO_2 с двухфазными областями системы Fe-C-O_2-H_2, с поверхностями трехфазных равновесий, а также с линиями четырехфазных равновесий, позволяет охарактеризовать основные параметры технологических процессов (температура, окислительно - восстановительные свойства газовой фазы, возможность выделения сажистого углерода). Изотермические сечения объемной диаграммы (например, выделено изотермическое сечение 1200 К) показывают необходимое соответствие параметров (Т, lg pO_2 и состав газовой фазы).

Обогащение газовой фазы системы C-O_2-H_2 водородом сопровождается смещением линий постоянных значений (-lg pO_2) к более отрицательным значениям, т.е. к увеличению восстановительной способности атмосферы. В таблице 1 количественно оценено изменение значений lg pO_2 в зависимости от концентрации водорода в системе.

При температуре ниже 1000 К и содержании водорода в системе более 50% восстановительные свойства атмосферы увеличиваются, в основном, за счет протекания реакций с участием водорода, так как изменение отношении концентрации CO к CO_2 сравнительно малы. Вблизи температуры 1100 К равновесный состав газовой фазы изменяется в сторону больших величин CO/CO_2. Для достижения термодинамически наилучших показателей восстановления, достаточная концентрация водорода в газовой фазе системы Fe-O_2-C-H_2 составляет 10-40 %. Дальнейшее увеличение содержания H_2 в газовой фазе не влияет на термодинамику восстановительного процесса.

Таблица 1 - Изменение значений lg pO_2, в %, в зависимости от количества присутствующего водорода в газовой фазе C-O_2-H_2 в определенном интервале температур

Концентрация H_2 в газовой фазе C-O_2-H_2, % моль	Температурный интервал, К	Уменьшение lg pO_2, в %
20	1300-1500	2,0
30	1200-1400	2,5
40	1100-1200	2,7
50	1000-1100	3,0
60	900-1000	6,0
70	800-900	8,0
80	700-800	10,0

В работах [2-3] установлено, что степень металлизации железа α порядка 90 % достигается при температурах ≈1100 К в системе с содержанием водорода ≈ 40 %, тогда как в системе с 10 % H_2 α = 90 % наблюдается при 1170 ^{0К}, при условии отсутствия кинетических затруднений при восстановлении.

Исследования по кинетике восстановления оксидов железа твердым углеродом в присутствии водорода, показали, что восстановление протекает

ступенчато и зонально по адсорбционно-автокаталитической теории [6-7]. Подтверждена высокая скорость диффузии молекулы H_2, большая скорость адсорбционно-химического акта, лучшая адсорбируемость по сравнению с молекулой CO, эффективность протекания процесса восстановления.

Выводы

1. Углеродотермическое восстановление оксидов железа в присутствии водорода зависит от таких термодинамических параметров как температура, давление, состав газовой фазы. Рассчитана и построена диаграмма фазово-химических равновесий в системе $Fe\text{-}O_2\text{-}C\text{-}H_2$.

2. Охарактеризованы окислительно-восстановительные свойства газовой фазы системы $Fe\text{-}O_2\text{-}C\text{-}H_2$ посредством изменений значений кислородного потенциала, выраженного через $\lg pO_2$, в зависимости от состава гомогенной газовой смеси и температуры.

3. Установлено, что добавка водорода до 40 % в газовую фазу повышает эффективность, интенсифицирует процесс углеродотермического восстановления, а также снижает необходимую температуру начала процесса восстановления оксидов железа.

Библиографический список

1. Филиппов, С.И. Теория металлургических процессов / С.И. Филиппов - М. : Металлургия, 1967. - 280 с.

2. Якушевич, Н.Ф. Определение оптимальных режимов восстановления железорудных концентратов комбинированными восстановителями ($C_{ТВ.}+H_2$) / Н.Ф. Якушевич, И.В. Строкина // Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии: Сб. научн. тр. Вып. 20: СибГИУ. – Новокузнецк, 2007. – С. 25-36.

3. Якушевич, Н.Ф. Выбор оптимального режима твердофазного восстановления Бакчарских железорудных концентратов полукоксом / Н.Ф. Якушевич, И.В. Строкина, К.С. Елкин // Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии: Сб. научн. тр. Вып. 21: СибГИУ. – Новокузнецк, 2008. – С. 27-33/

4. Строкина, И.В. Изменения окислительно-восстановительных свойств газовой фазы системы $C\text{-}O_2\text{-}H_2$ / И.В. Строкина, Н.Ф. Якушевич // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2011. - №6. - С. 3-5.

5. Якушевич, Н.Ф. Определение параметров окислительно-восстановительных процессов в системе $Fe\text{-}C\text{-}O_2\text{-}H_2$ / Н.Ф. Якушевич, И.В. Строкина, О.А. Полях // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия, 2011. - №8 . - С. 13-18.

6. Якушевич, Н.Ф. Определение технологических режимов углеродотермического восстановления в водородсодержащей атмосфере железорудных концентратов Бакчарского месторождения / Н.Ф. Якушевич, И.В. Строкина, О.А. Полях // Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Энергосбережение. Экология. Новые технологии: материалы X Всерос. науч.-практ. конф. - Старый Оскол, 2013. - С. 78-82.

7. Страхов, В.М. Получение металлизованных окатышей с использованием буроугольного полукокса / В.М. Страхов, А.Е. Аникин, И.В. Строкина, Н.Ф. Якушевич, Феоктистов А.В. // Кокс и химия. 2015. - № 1. - С. 20 – 25.

УДК 669.168.782.046

ОСОБЕННОСТИ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ, ПРОТЕКАЮЩИХ В ВАННЕ ЭЛЕКТРОПЕЧИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ФЕРРОСИЛИЦИЯ

Якушевич Н.Ф.[1], Полях О.А.[1], Ноздрин И.В.[1], Аникин А.Е.[1], Ядыкина М.А.[1], Комрони М.[2]

[1] Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия, kafcmet@sibsiu.ru
[2] Министерство промышленности и новых технологий, г. Душанбе, Республика Таджикистан, km-0808@mail.ru

Аннотация. *Проведен анализ и предложена схема механизма физико-химических взаимодействий в ванне ферросилициевой печи. Установлено, что процесс карботермического восстановления диоксида кремния в условиях плавки ферросилиция достаточно сложен, многоканален, протекает с образованием промежуточных продуктов (SiO_2, $SiC_{тв.}$), зависит от распределения температурных зон в ванне печи, соотношение компонентов в шихтовой смеси, свойств и качества используемых материалов.*

Ключевые слова: *ферросилиций, карбид кремния, диоксид кремния, механизм взаимодействий, руднотермическая печь.*

FEATURES OF THE PHYSICAL AND CHEMICAL PROCESSES OCCURING IN THE BATH OF THE ELECTRIC FURNACE DURING THE PRODUCTION OF FERROSILICONE

Yakushevich N.F.[1], Polyah O.A.[1], Nozdrin I.V.[1], Anikin A.E.[1], Yadykina M.A.[1], Komroni M.[2]

[1] Siberian state industrial university, Novokuznetsk, Russia, kafcmet@sibsiu.ru
[2] Ministry of the industry and new technologies, Dushanbe, Republic of Tajikistan, km-0808@mail.ru

Abstract. *The analysis is carried out and the scheme of the mechanism of physical and chemical interactions in a bathtub of the ferrosilicium furnace is offered. It is established that process of carbon thermal restoration of dioxide of silicon in the conditions of melting of ferrosilicium is rather difficult, many channels, proceeds with formation of intermediate products (SiO_2, $SiC_{тв.}$), the ratio of components in burdening mix, properties and quality of the used materials depends on*

СОДЕРЖАНИЕ

КУЗНЕЦКОЙ НАУЧНОЙ ШКОЛЕ ЛИТЕЙЩИКОВ 90 ЛЕТ
Князев С.В., Усольцев А.А., Куценко А.И. ***4***

СЕКЦИЯ 1: ИССЛЕДОВАНИЯ, ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ***13***

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ РАБОТЫ ГОЛОВКИ КИСЛОРОДНОЙ ФУРМЫ ДЛЯ ПРОДУВКИ В БОЛЬШЕГРУЗНЫХ КОНВЕРТЕРАХ
Протопопов Е.В., Уманский А.А., Морозов И.С., Чернышева Н.А. ***13***

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ МЕЛЮЩИХ ТЕЛ, ПРОИЗВЕДЕННЫХ ИЗ РЕЛЬСОВЫХ СТАЛЕЙ РАЗЛИЧНОГО ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА
Уманский А.А., Байдин В.В., Симачев А.С., Думова Л.В. ***21***

АНАЛИЗ ВЗАИМОСВЯЗИ КАЧЕСТВА СТРУКТУРЫ НЕПРЕРЫВНОЛИТЫХ ЗАГОТОВОК ШАРОВЫХ СТАЛЕЙ С ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ МЕЛЮЩИХ ТЕЛ
Уманский А.А., Протопопов Е.В., Морозов И.С., Симачев А.С., Думова Л.В. ***29***

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПЕРЕРАБОТКИ ШЛАМА КОНВЕРТЕРНОГО ПРОИЗВОДСТВА В КИСЛОРОДНОМ КОНВЕРТЕРЕ
Сафонов С.О., Лопатина А.О. ***34***

ВОЗМОЖНОСТЬ ПОЛУЧЕНИЯ КРЕМНИСТЫХ ФЕРРОСПЛАВОВ ИЗ ФОСФАТНОГО СЫРЬЯ
Шевко В.М., Утеева Р.А., Лавров Б.А., Полатова К.М., Каратаева Г.Е. ***38***

ПЕРЕРАБОТКА БОГАТЫХ ПЫЛЕЙ ПРОИЗВОДСТВА ФЕРРОМАРГАНЦА С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ
Шевко В.М., Айткулов Д.К., Синельников И.П., Удалов Ю.П., Бадикова А.Д. ***45***

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФАЗОВОГО СОСТАВА ПЯТИКОМПОНЕНТНОГО ЭКВИАТОМНОГО СПЛАВА СИСТЕМЫ Co-Cr-Fe-Mn-Ni
Панченко И.А., Дробышев В.К., Бессонов Д.А., Кольчурина М.А., Коновалов С.В. ***55***

ВЫПЛАВКА ЧУГУНА ДЛЯ СМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ИЗЛОЖНИЦ В ИНДУКЦИОННЫХ ПЕЧАХ СРЕДНЕЙ И МАЛОЙ ЕМКОСТИ
Лубяной Д.Д., Кузнецов И.С., Кухаренко А.В., Князев С.В., Лубяной Д.А. ***62***

ИССЛЕДОВАНИЕ МИНЕРАЛОГИЧЕСКИХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В ПРОЦЕССЕ АГЛОМЕРАЦИИ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ МАТЕРИАЛОВ
Бурова Ю.Е., Вязникова Е.А., Дмитриев А.Н., Витькина Г.Ю., Алекторов Р.В. ***70***

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДОБАВОК K_2O, NA_2O, MgO, $A1_2O_3$ НА СВОЙСТВА ШЛАКА ПРИ СВАРКЕ ПОД ФЛЮСОМ НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ
Гизатулин Р.А., Дуняшин Н.С., Валуев Д.В., Худоёров С.С., Заиркулов Э.Ё. ***79***

КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ ЛЕГИРОВАННЫХ ЧУГУНОВ В АТМОСФЕРЕ АНОДНЫХ ГАЗОВ АЛЮМИНИЕВЫХ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРОВ ЭКОСОДЕРБЕРГ
Пинаев Е.А., Темлянцев М.В., Большаков Д.Г., Темлянцева Е.Н., Куценко А.И. ***87***

КИНЕТИКА ОБЕЗУГЛЕРОЖИВАНИЯ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ СМОЛОСВЯЗАННЫХ ОГНЕУПОРОВ ДЛЯ ФУТЕРОВОК СТАЛЕРАЗЛИВОЧНЫХ КОВШЕЙ
Якушевич Н.Ф., Запольская Е.М., Темлянцев М.В., Протопопов Е.В., Темлянцева Е.Н., Приходько М.С. ***92***

ОПТИМИЗАЦИЯ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ВЫПЛАВКИ ФЕРРОСИЛИКОМАРГАНЦА
Павлов В.В., Романенко Ю.Е., Годик Л.А., Фейлер С.В., Фейлер Д.Т. ***98***

РЕЦИКЛИНГ ПРОКАТНОЙ ОКАЛИНЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЧЕРНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ
Годик Л.А., Фейлер С.В., Фейлер Д.Т., Романенко Ю.Е. ***104***

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО РАСПЛАВА В УСЛОВИЯХ LD-КОНВЕРТИРОВАНИЯ В ДВУХ ПАРАЛЛЕЛЬНО РАБОТАЮЩИХ БОЛЬШЕГРУЗНЫХ КОНВЕРТЕРАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТАТИСТИЧЕСКОГО МЕТОДА
Бондар В.И., Мельник С.Г. ***109***

ФУТЕРОВКА СТАЛЕРАЗЛИВОЧНЫХ КОВШЕЙ И ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ОГНЕУПОРНЫМ МАТЕРИАЛАМ И УСЛОВИЯМ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ
Плохих П.А., Алексеева В.А., Вожол Н.А., Плохих П.А. ***118***

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ОКИСЛЕННОСТЬ КОНВЕРТЕРНОГО ШЛАКА
Сущенко А.В. ***127***

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЛИТЕЙНОГО ФЛЮСА НА ОСНОВЕ СМЕСИ КРЕМНЕФТОРИДА И ФТОРИДА НАТРИЯ
Аслонов А.А., Ахмадшоев И.Ш., Наимов Н.А., Рузиев Дж.Р., Сафиев Х. ***137***

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ТИТАНОТЕРМИИИ
Усольцев А.А., Козырев Н.А., Шевченко Р.А., Михно А.Р., Князев С.В. ***142***

ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ГАФНИЯ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ОТЛИВОК В СПЛАВЕ 1570
Зорин И.А., Дриц А.М., Арышенский Е.В., Коновалов С.В. ***149***

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГАФНИЯ И ЭРБИЯ НА МИКРОСТРУКТУРУ ЛИТЕЙНОЙ ЗАГОТОВКИ В ВЫСОКОМАГНИЕВОМ АЛЮМИНИЕВОМ СПЛАВЕ ЭКОНОМНОЛЕГИРОВАННЫМ СКАНДИЕМ
Арышенский В.Ю., Арышенский Е.В., Рагазин А.А.,
Бахтегареев И.Д., Коновалов С.В. [1,2] ***156***

О ВОЗМОЖНОСТИ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА МЕТАЛЛИЗАЦИИ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО СЫРЬЯ
Якушевич Н.Ф., Строкина И.В., Полях О.А., Ноздрин И.В.,
Безрукова Е.С., Ноздрин Е.В. ***162***

ОСОБЕННОСТИ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ, ПРОТЕКАЮЩИХ В ВАННЕ ЭЛЕКТРОПЕЧИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ФЕРРОСИЛИЦИЯ
Якушевич Н.Ф., Полях О.А., Ноздрин И.В., Аникин А.Е.,
Ядыкина М.А., Комрони М. ***168***

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ОБРАЗОВАНИЯ ФЕРРОШПИНЕЛЕЙ
Строкина И.В., Полях О.А., Ноздрин И.В., Сюльдина С.А., Комрони М. ***175***

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КАРБОТЕРМИЧЕСКОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОКСИДА КРЕМНИЯ В ПЕЧИ СОПРОТИВЛЕНИЯ
Полях О.А., Ноздрин И.В., Строкина И.В., Якушевич, Н.Ф., Хорощенко А.А., Комрони М. ***180***

ИЗМЕНЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГЛИНОЗЕМСОДЕРЖАЩЕГО ПРОДУКТА С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ
Бурдонов А.Е., Новиков Ю.В., Шонходоев З.Ч., Хвостанцева Д.С., Максименко О.А. ***187***

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПЕРЕРАБОТКИ ОКСИДНОГО ВОЛЬФРАМОВОГО СЫРЬЯ В СТРУЙНОМ ПЛАЗМЕННОМ РЕАКТОРЕ
Ноздрин И.В., Полях О.А., Лепихов В.С., Аникин А.Е., Комрони М. ***196***

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА В КОНВЕРТЕРНОЙ ПЛАВКЕ
Сафонов С.О., Лопатина А.О. ***205***

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНЦЕПЦИИ МИКРОЛЕГИРОВАНИЯ
НА НАСЛЕДСТВЕННУЮ СТРУКТУРУ В СТАЛИ 09Г2С
Солоницын А.Р. ***211***

ПЕРЕРАБОТКА БЕМИТ-КАОЛИНИТОВЫХ БОКСИТОВ БИСУЛЬФАТОМ
АММОНИЯ: ОСАЖДЕНИЕ ГИДРОКСИДА АЛЮМИНИЯ ИЗ РАСТВОРА
АЛЮМОАММОНИЙНЫХ КВАСЦОВ
Валеев Д.В. ***215***

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ФАЗОВОГО СОСТАВА ВЫСОКОЭНТРОПИЙНЫХ
СПЛАВОВ СИСТЕМЫ CoCrFeMnNi ПРИ ИЗМЕНЕНИИ СОДЕРЖАНИЯ Fe И Mn
Панченко И.А., Гостевская А.Н., Коновалов С.В., Безродная Е.А., Бессонов Д.А. ***220***

МЕТОДИКА ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
Рыбенко И.А., Конголи Ф. ***225***

**СЕКЦИЯ 2: ИССЛЕДОВАНИЯ, ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ
МАТЕРИАЛОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА**..... ***231***

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАХВАТА ПОЛОСЫ ПРИ АСИММЕТРИЧНОЙ ЛИСТОВОЙ ПРОКАТКЕ
Кожевников А.В., Смирнов А.С., Платонов Ю.В., Кожевникова И.А. ***231***

ПОВЕРХНОСТНОЕ УПРОЧНЕНИЕ ТВЕРДОГО СПЛАВА ВК10КС ПОСЛЕ
ДВУХКОМПОНЕНТНОГО ЭЛЕКТРОВЗРЫВНОГО ЛЕГИРОВАНИЯ
Осколкова Т.Н., Фастыковский А.Р. ***236***

ТРАНСФОРМАЦИЯ СТРУКТУРЫ РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ ПРИ ДЕФОРМАЦИИ СЖАТИЕМ
Аксёнова К.В., Громов В.Е., Кибко Н.В., Ващук Е.С. ***242***

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМА ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ
НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА, СТРУКТУРУ И КОРРОЗИОННУЮ
СТОЙКОСТЬ В СРЕДЕ СЕРОВОДОРОДА ПРОКАТА ИЗ СТАЛИ 20
Валюгин М.А., Мурсенков Е.С. ***248***

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ АСИММЕТРИЧНОЙ ПРОКАТКИ
Платонов Ю.В. ***255***

СПОСОБ РАСЧЕТА СКОРОСТИ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ «МЯГКОГО»
ОБЖАТИЯ ДЛЯ КОМПЕНСАЦИИ УСАДКИ НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ
С ЦЕЛЬЮ СНИЖЕНИЯ ОСЕВОЙ РЫХЛОСТИ
Кабаков З.К., Габелая Д.И., Чуев А.А. ***261***

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДРЕССИРОВКИ ШИРОКИХ ГОРЯЧЕКАТАНЫХ
ТРАВЛЕНЫХ ПОЛОС
Антонов П.В., Парфенов Н.С., Болобанова Н.Л., Тимофеева М.А. ***267***

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ТАКТОВОЙ МОДЕЛИ РАБОТЫ
УНИВЕРСАЛЬНОГО РЕЛЬСОБАЛОЧНОГО СТАНА
Головатенко А.В., Фастыковский А.Р., Мусатова А.И. ***272***

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СОРТОВЫХ ПРОФИЛЕЙ ПРОКАТКОЙ
Фастыковский А.Р., Осколкова Т.Н., Вахроломеев В.А., Глухов М.И., Прудников А.Н. ***278***

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫХ СОСТОЯНИЙ И ТОНКОЙ СТРУКТУРЫ
ДЛИННОМЕРНЫХ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННО ЗАКАЛЕННЫХ РЕЛЬСОВ
ПОСЛЕ ЭКСТРЕМАЛЬНО ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ
Кузнецов Р.В., Юрьев А.А., Шлярова Ю.А., Громов В.Е., Коновалов С.В., Иванов Ю.Ф. ***284***

СИНТЕЗ КОМПЛЕКСНОЙ НОРМАТИВНОЙ МОДЕЛИ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПАРТИИ
ПРОКАТНОЙ ПРОДУКЦИИ
Мусатова А.И., Кулаков С.М., Фастыковский А.Р. ***289***

ВЛИЯНИЕ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА КОМПОЗИТА TI/TIB, ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ ИСКРОВОГО ПЛАЗМЕННОГО СПЕКАНИЯ
Озеров М.С., Поволяева Е.А., Громашова Д.В., Волокитина Е.И. ***298***

ТЕРМИЧЕСКОЕ УПРОЧНЕНИЕ ПРЕССОВОК ИЗ ЗАЭВТЕКТИЧЕСКОГО СИЛУМИНА
Прудников А.Н., Прудников В.А., Рексиус В.С. ***303***

ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО НАГРЕВА В КИСЛОРОДСОДЕРЖАЩЕЙ СРЕДЕ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ
Афанасьев В.К., Попова М.В., Жибинова И.А. ***310***

ПРИМЕНЕНИЕ ОБРАБОТКИ РАСПЛАВА И ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЗАЭВТЕКТИЧЕСКИХ СИЛУМИНОВ
Афанасьев В.К., Попова М.В., Прудников А.Н., Жибинова И.А. ***315***

ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ МАРКИ К76Ф НА УДАРНУЮ СТОЙКОСТЬ МЕЛЮЩИХ ШАРОВ
Уманский А.А., Симачев А.С., Думова Л.В., Сафонов С.О. ***323***

ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА С ДОБАВКАМИ ДИОКСИДА ТИТАНА
Хамид. Махан М., Коновалов С.В., Куценко А.А., Цветков А.В., Панченко И.А. ***327***

ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКА ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ УПРАВЛЕНИЯ СТРУКТУРОЙ И СВОЙСТВАМИ СТАЛЕЙ В ПРОЦЕССАХ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ
Васильев А.А., Колбасников Н.Г. ***332***

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОКАТКИ РЕЛЬСЫ В НЕПРЕРЫВНОЙ ГРУППЕ КЛЕТЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ QFORM
Белолипецкая Е.С., Соловьев В.Н. ***341***

УПРАВЛЕНИЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ СТРУКТУРОЙ ТРУБНЫХ МАРОК СТАЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ
Колбасников Н.Г., Жуков Н.В. ***348***

ПРИЧИНЫ И МЕХАНИЗМ ОБРАЗОВАНИЯ ДЕФЕКТОВ ТИПА «МОРЩИНА» ПРИ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКЕ СОРТОВОЙ СТАЛИ
Колбасников Н.Г., Адигамов Р.Р., ШишовИ.А., Зайцев А.М. ***356***

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МНОГОСТУПЕНЧАТОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СПЛАВЫ СЕРИИ AL-MG-SI С ИЗБЫТКОМ КРЕМНИЯ И НЕБОЛЬШИМИ ДОБАВКАМИ СКАНДИЯ И ЦИРКОНИЯ
Арышенский Е.В., Лапшов М.А., Солопаев М.В., Коновалов С.В. ***367***

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕРМИЧЕСКОГО УПРОЧНЕНИЯ РЕЛЬСОВ
Сарычев В.Д., Филяков А.Д., Чумаков И.И., Коновалов С.В. ***374***

ВЛИЯНИЕ МЕДИ НА СТРУКТУРУ И ТЕПЛОВОЕ РАСШИРЕНИЕ СПЛАВОВ AL – 40%SI
Афанасьев В. К., Попова М.В.,. Малюх М.А. ***379***

Научное издание

МЕТАЛЛУРГИЯ: ТЕХНОЛОГИИ, ИННОВАЦИИ, КАЧЕСТВО

«Металлургия – 2022»

Труды XXIII Международной научно-практической конференции

Часть 1

Под общей редакцией А.Б. Юрьева

Технический редактор Г.А. Морина
Компьютерная верстка Н.В. Ознобихина

Подписано в печать 16.11.2022 г.
Формат бумаги 60х84 1/16. Бумага офисная. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 22,8 Уч.-изд. л. 25,2 Тираж 300 экз. Заказ № 295

Сибирский государственный индустриальный университет
654007, Кемеровская область – Кузбасс, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42
Издательский центр СибГИУ