

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**

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. АНЫШАНЬ, КНР

ОАО «ЧЕРМЕТИНФОРМАЦИЯ»

ИЗДАТЕЛЬСТВО СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РАН

ЖУРНАЛ «ИЗВЕСТИЯ ВУЗОВ. ЧЕРНАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ»

ЖУРНАЛ «ВЕСТНИК СИБГИУ»

НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР МИРОВОГО УРОВНЯ «КУЗБАСС»

АО «КУЗБАССКИЙ ТЕХНОПАРК»

кузнецк: СибГГМА, 1994. - С. 15-23.

8. Полях О.А. Анализ физико-химических процессов образования и исследование свойств микрокремнезема / О.А. Полях, Г.В. Галевский, Н.Ф. Якушевич // Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии. Москва – Новокузнецк: СибГИУ. 2005. Вып. 15. – С. 49–55.

9. Полях О.А. Исследование физико-химических характеристик пылевидного микрокремнезема производства кремния и железо-кремнистых сплавов / А.Е. Аникин, Г.В. Галевский, В.В. Руднева // Вестник горно - металлургической секции РАЕН. Отделение металлургии : сб. науч. трудов. - Вып.33. – М.-Новокузнецк : СибГИУ, 2014. - С. 104-114.

10. Мизин В.Г. Углеродистые восстановители для ферросплавов / В.Г. Мизин, Г.В. Серов. – М., Металлургия, 1976. – 272 с.

УДК 669.041

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ОБРАЗОВАНИЯ ФЕРРОШПИНЕЛЕЙ

Строкина И.В.¹, Полях О.А.¹, Ноздрин И.В.¹,
Сюльдина С.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. В статье рассмотрены условия существования равновесных областей: магнетит – вюстит и гематит – магнетит. Охарактеризован количественный состав и свойства газовой фазы системы Fe-O-C-H. Для получения твердофазным синтезом тонкодисперсных и крупнокристаллических феррошпинелей рекомендованы оптимальные параметры процесса, а именно: температурный интервал, кислородный потенциал и содержание водорода в газовой фазе.

Ключевые слова: феррошпинель, гематит, магнетит, вюстит, кислородный потенциал, параметры синтеза.

THERMODYNAMIC PARAMETERS OF FERROSPINEL FORMATION

Strokina I.V.¹, Polyakov O.A.¹, Nozdrin I.V.¹, Suldina S.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 article considers the conditions for the existence of equilibrium regions: magnetite – wustite and hematite – magnetite. The quantitative composition and properties of the gas phase of the Fe-O-C-H system are characterized. Optimal process parameters, namely: temperature range, oxygen potential and hydrogen content in the gas phase, are recommended for the production of fine and coarse-crystalline ferrospinel by solid-phase synthesis.

Keywords: ferrospinel, hematite, magnetite, wustite, oxygen potential, synthesis parameters.

Шпинели – класс сложных оксидов с общей формулой AM_2O_4 , где А - Mg^{2+} , Zn^{2+} , Mn^{2+} , Fe^{2+} , Ni^{2+} , Co^{2+} ; а М - Al^{3+} , Mn^{3+} , Fe^{3+} , V^{3+} , Cr^{3+} , Ti^{4+} . Это системы твердых растворов с широким изоморфизмом катионов. В зависимости от содержания преобладающего катиона различают группы: алюмошпинели, ферришпинели, хромошпинели, титаношпинели и ванадишпинели.

Для шпинели характерны высокотемпературные условия образования; они устойчивы к выветриванию, образуют россыпи. В природе шпинели часто встречаются в виде акцессорных минералов, входят в состав горных пород в количествах менее 1 % по массе. Крупные скопления образуют только ферришпинели и хромошпинели, которые являются исходным сырьем для получения хрома, выплавки железа и попутного извлечения ванадия. Существует также благородная шпинель, используемая в ювелирной промышленности, россыпи этого драгоценного камня находят в Мьянме и Шри-Ланке [1].

Чистые шпинели в природе встречаются крайне редко и обычно содержат различные примеси. В технике пользуются синтетическими шпинелями, которые получают сплавлением или спеканием соответствующих оксидов при 1400-1920 °С. Шпинели применяют для изготовления диэлектриков, элементов запоминающих устройств ЭВМ, используют в качестве катализаторов химико-технологических процессов, в производствах керамики, огнеупоров и термостойких красок [2].

Феррошпинели тонкодисперсные и крупнокристаллические достаточно востребованы в современных технологиях. Однако получение их до сих пор не имеет научно-технологического обоснования и требует конкретизации параметров (интервала температур и значений кислородного потенциала газовой фазы), чтобы предохранить эти оксиды от окисления или восстановления.

Закономерности диссоциации или образования соединений вскрывают строгую последовательность изменения термодинамических характеристик прочности различных оксидов одного и того же металла. Процесс термической диссоциации оксидов лежит в основе получения металлов. Академиком А.А. Байковым была сформулирована теория термической диссоциации химических соединений, исходя из которой, восстановление оксидов железа осуществляется последовательно: от высшего оксида к низшему и металлу, по схеме: $Fe_2O_3 - Fe_3O_4 - FeO - Fe$ [3]. Реакции восстановления оксидов же-

леза углеродом в трёхкомпонентной системе Fe-O-C, а также водородом в системе Fe-O-H аналогичны и подчиняются общему закону последовательности превращений. Особенностью диссоциации оксидов железа является то, что при температурах ниже 570 °C фаза вюстита метастабильна, а при высоких температурах, особенно в жидком состоянии, становится наиболее стабильным оксидом [4].

Протекание реакций восстановления в системе Fe-C-O-H в прямом или обратном направлениях зависит от таких термодинамических параметров как температура, давление, состав газовой фазы. Расчет фазово-химических равновесий в системе Fe-C-O-H и обоснование оптимальных параметров восстановления оксидов железа до железа металлического изложены ранее в работах [5].

Обозначим термодинамические условия для получения класса сложных оксидов - шпинелей. На рисунке 1 изображено взаимное равновесное расположение поверхности Fe_3O_4 - FeO и поверхности углеродоотложения в рамках диаграммы равновесия твердого углерода с газовой фазой состоящей из CO и CO_2 при добавлении 10, 20, 30, 40, 50 и 60 % водорода в систему. В таблице представлены координаты точек кривой пересечения поверхности Fe_3O_4 - FeO и поверхности углеродоотложения.

При добавлении H_2 в газовую фазу наблюдается увеличение отношения CO/CO_2 в равновесном состоянии системы Fe-O-C-H и уменьшение температуры начала восстановительного процесса.

Ранее в работе [6] было отмечено, что поверхность Fe_3O_4 - Fe_2O_3 не пересекается с поверхностью углеродоотложения. Прочность высшего оксида Fe_2O_3 столь низка вследствие сугубо окислительной атмосферы, что в равновесной газовой фазе содержатся незначительные количества CO. Процесс перехода Fe_2O_3 в Fe_3O_4 при нагревании необратим из-за высокого кислородного потенциала продуктов диссоциации.

Поверхность Fe_3O_4 - FeO частично пересекает поверхность газификации углерода по кривой, координаты точек которой описаны в таблице. Пересечение поверхностей происходит в интервале 0-42 % H_2 . Каждая точка кривой пересечения поверхности газификации углерода и поверхности Fe_3O_4 - FeO показывает равновесный состав газовой фазы и температуру начала восстановления Fe_3O_4 до FeO в системе Fe-O-C-H. Охарактеризовать количественно состав и окислительно-восстановительные свойства газовой фазы системы Fe-O-C-H можно при помощи величины кислородного потенциала.

На рисунке 2 представлены области существования равновесных поверхностей FeO - FeMe (2), Fe_3O_4 - FeO (3), Fe_2O_3 - Fe_3O_4 (4), и поверхности углеродоотложения (1) как функции кислородного потенциала от температуры.

Кривая пересечения S-L поверхностей 1 и 2 показывает что при 930 – 965 K и $\lg \text{PO}_2 = (-23,3) \div (-22,6)$ происходит начало твердофазного восстановления вюстита до железа металлического в системе Fe-O-C-H.

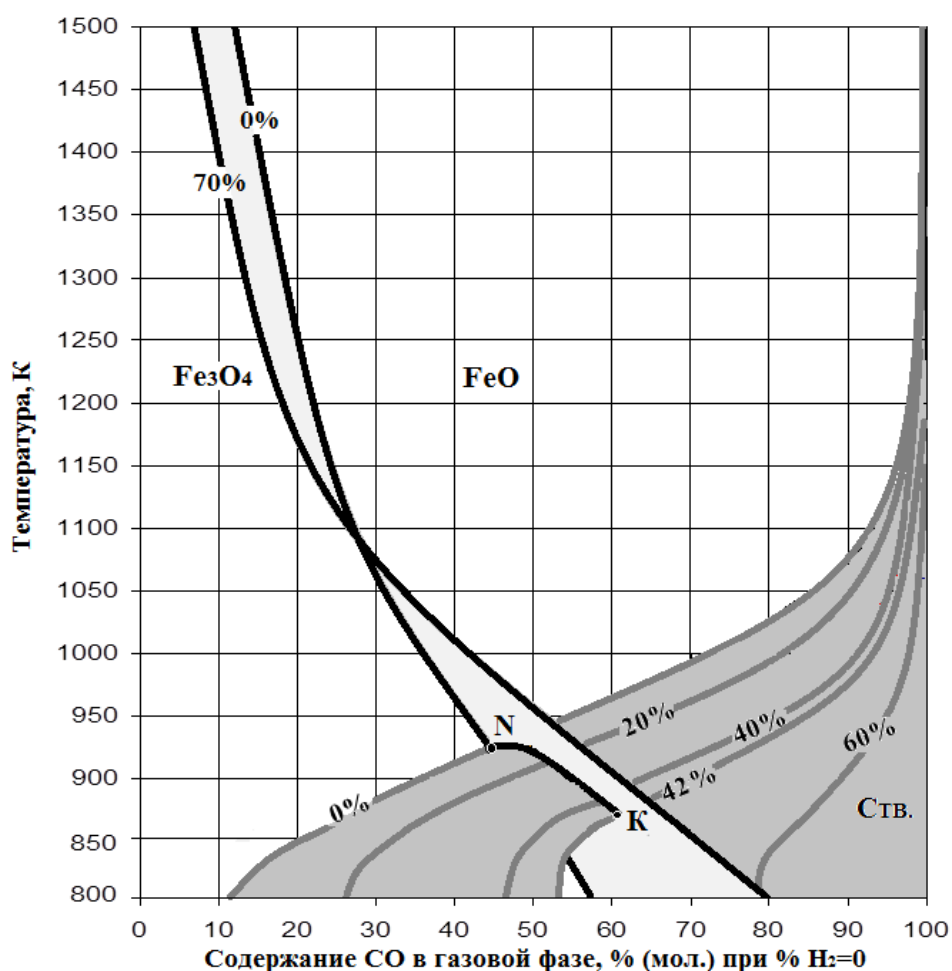
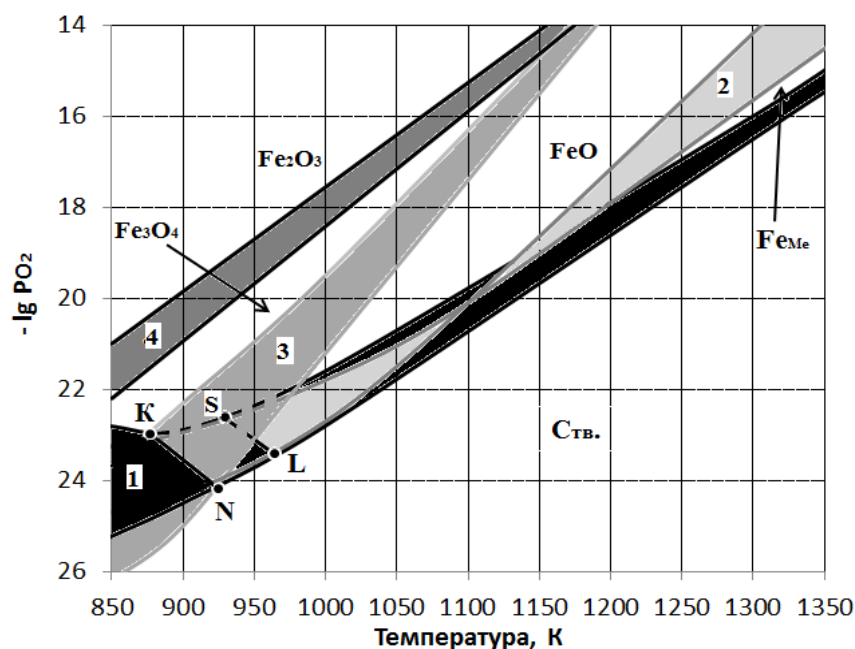


Рисунок 1 - Сопоставление поверхностей, отвечающих равновесию оксидов железа Fe_3O_4 и FeO с газовой фазой системы Fe-O-C-H и поверхности углеродоотложения, где 0 %, 20 %, 40 %, 42 %, 60 % - содержание H_2 в системе Fe-O-C-H

Таблица 1 – Координаты точек кривой пересечения поверхности $\text{Fe}_3\text{O}_4 - \text{FeO}$ и поверхности углеродоотложения

Содержание CO , % (мол.) при % $\text{H}_2=0$	Температура, К	H_2 , % (мол.)	$\frac{\text{CO}}{\text{CO}_2}$	$\lg \text{PO}_2$
44,13	926	0	0,79	-24,1
45,36	926	10	0,83	-24,1
47,92	926	20	0,92	-24,0
50,00	923	30	1,00	-23,9
59,02	878	40	1,44	-22,7



1 – поверхность углеродоотложения, 2 – поверхность перехода FeO в FeMe, 3 – равновесная поверхность FeO-Fe₃O₄, 4 - поверхность Fe₃O₄-Fe₂O₃

Рисунок 2 – Диаграмма фазово-химических равновесий в системе Fe-O-C-H в зависимости от температуры

Параметры начала восстановления магнетита до вюстита отслеживаются по кривой пересечения K-N поверхностей 1 и 3: 878 – 926 К при $\lg PO_2 = (-24,1) \div (-22,7)$.

Для получения тонкодисперсной шпинели для пигментов необходимо осуществлять процесс при минимальных температурах (1000 К) в области термодинамически стабильного существования магнетита т.е. между равновесными поверхностями перехода магнетита в вюстит 3 и перехода гематита в магнетит 4. Для ограничения скорости роста образовавшихся из исходного сырья кристаллических зародышей, синтез необходимо осуществлять при значениях $\lg PO_2 = (-18) \div (-21)$, что может быть реализовано практически при любых соотношениях $CO/(CO_2+CO)$ и $H_2/(H_2O+H_2)$ при концентрации водорода в газовой фазе от 0 до 40 % мол. При этом размеры образующихся кристаллитов регулируются кинетическим режимом синтеза, а окислительно - восстановительный потенциал газовой фазы $\lg PO_2$ непрерывно контролируется.

При получении крупнокристаллической шпинели с целью обеспечения высоких скоростей роста кристаллов, твердофазный синтез необходимо осуществлять при максимально высоких температурах (1400 – 1500 К) при значениях $\lg PO_2 = (-7) \div (-12)$, достижимых практически при любых соотношениях $CO/(CO+CO_2)$ и $H_2/(H_2O+H_2)$ и любых, в том числе и нулевых, концентрациях водорода, и может обеспечиваться, например, присутствием в реакторе твердого углерода.

Выводы:

1. Охарактеризованы количественный состав и свойства газовой фазы системы Fe-O-C-H, при которых возможно равновесное существование об-

ластей: магнетит – вюстит и гематит – магнетит.

2. Для получения тонкодисперсных феррошпинелей твердофазный синтез необходимо проводить при 1000 К при значениях кислородного потенциала газовой фазы $\lg P_{O_2} = (-18) \div (-21)$ и концентрации водорода от 0 до 40 % мол.

3. При производстве крупнокристаллических феррошпинелей синтез должен осуществляться в интервале температур 1400 - 1500 К при значениях кислородного потенциала газовой фазы $\lg P_{O_2} = (-7) \div (-12)$ в присутствии твердого углерода и газообразного водорода в системе.

Библиографический список

1. Таланов В.М. Расчет распределения катионов в шпинелях / В.М. Таланов // Журнал физической химии. - 1981. - Том 55. - №7. - С. 1845-1848.
2. Меламуд С.Г. Исследование процесса восстановления гематита до магнетита / С.Г. Меламуд // Металлы, 2001. - № 1. - С. 3 – 13.
3. Филиппов С.И. Теория металлургических процессов / С.И. Филиппов - М. : Металлургия, 1967. - 280 с.
4. Куликов И.С. Физико-химические основы процессов восстановления окислов / И.С. Куликов, С.Т. Ростовцев, Э.Н. Григорьев. – М. : Наука, 1978. – 136 с.
5. Якушевич Н.Ф. Определение параметров окислительно-восстановительных процессов в системе Fe-C-O₂-H₂ / Н.Ф. Якушевич, И.В. Строкина, О.А. Полях // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия, 2011. - №8. - С. 13-18.
6. Строкина И.В. Изменения окислительно-восстановительных свойств газовой фазы системы C-O₂-H₂ / И.В. Строкина, Н.Ф. Якушевич // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2011. - №6. - С. 3-5.

УДК 662.732

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КАРБОТЕРМИЧЕСКОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОКСИДА КРЕМНИЯ В ПЕЧИ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Полях О.А.¹, Ноздрин И.В.¹, Строкина И.В.¹, Якушевич, Н.Ф.¹,
Хорощенко А.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 физико-химических взаимодействий при карботермическом восстановлении оксида кремния до карбида. На основе термодинамического анализа и результатов кинетических исследований предложена схема механизма образования карбида кремния в печи Ачесона,

СОДЕРЖАНИЕ

КУЗНЕЦКОЙ НАУЧНОЙ ШКОЛЕ ЛИТЕЙЩИКОВ 90 ЛЕТ <i>Князев С.В., Усольцев А.А., Куценко А.И.</i>	4
СЕКЦИЯ 1: ИССЛЕДОВАНИЯ, ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ	13
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОЙ РАБОТЫ ГОЛОВКИ КИСЛОРОДНОЙ ФУРМЫ ДЛЯ ПРОДУВКИ В БОЛЬШЕГРУЗНЫХ КОНВЕРТЕРАХ <i>Протопопов Е.В., Уманский А.А., Морозов И.С., Чернышева Н.А.</i>	13
ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ МЕЛЮЩИХ ТЕЛ, ПРОИЗВЕДЕННЫХ ИЗ РЕЛЬСОВЫХ СТАЛЕЙ РАЗЛИЧНОГО ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА <i>Уманский А.А., Байдин В.В., Симачев А.С., Думова Л.В.</i>	21
АНАЛИЗ ВЗАИМОСВЯЗИ КАЧЕСТВА СТРУКТУРЫ НЕПРЕРЫВНОЛИТЫХ ЗАГОТОВОК ШАРОВЫХ СТАЛЕЙ С ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ МЕЛЮЩИХ ТЕЛ <i>Уманский А.А., Протопопов Е.В., Морозов И.С., Симачев А.С., Думова Л.В.</i>	29
АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПЕРЕРАБОТКИ ШЛАМА КОНВЕРТЕРНОГО ПРОИЗВОДСТВА В КИСЛОРОДНОМ КОНВЕРТЕРЕ <i>Сафонов С.О., Лопатина А.О.</i>	34
ВОЗМОЖНОСТЬ ПОЛУЧЕНИЯ КРЕМНИСТЫХ ФЕРРОСПЛАВОВ ИЗ ФОСФАТНОГО СЫРЬЯ <i>Шевко В.М., Утеева Р.А., Лавров Б.А., Полатова К.М., Каратаева Г.Е.</i>	38
ПЕРЕРАБОТКА БОГАТЫХ ПЫЛЕЙ ПРОИЗВОДСТВА ФЕРРОМАРГАНЦА С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ <i>Шевко В.М., Айткулов Д.К., Синельников И.П., Удалов Ю.П., Бадикова А.Д.</i>	45
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФАЗОВОГО СОСТАВА ПЯТИКОМПОНЕНТНОГО ЭКВИАТОМНОГО СПЛАВА СИСТЕМЫ Co-Cr-Fe-Mn-Ni <i>Панченко И.А., Дробышев В.К., Бессонов Д.А., Кольчурина М.А., Коновалов С.В.</i>	55
ВЫПЛАВКА ЧУГУНА ДЛЯ СМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ИЗЛОЖНИЦ В ИНДУКЦИОННЫХ ПЕЧАХ СРЕДНЕЙ И МАЛОЙ ЕМКОСТИ <i>Лубяной Д.Д., Кузнецов И.С., Кухаренко А.В., Князев С.В., Лубяной Д.А.</i>	62
ИССЛЕДОВАНИЕ МИНЕРАЛОГИЧЕСКИХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В ПРОЦЕССЕ АГЛОМЕРАЦИИ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ МАТЕРИАЛОВ <i>Бурова Ю.Е., Вязникова Е.А., Дмитриев А.Н., Витькина Г.Ю., Алекторов Р.В.</i>	70
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДОБАВОК K_2O , Na_2O , MgO , Al_2O_3 НА СВОЙСТВА ШЛАКА ПРИ СВАРКЕ ПОД ФЛЮСОМ НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ <i>Гизатулин Р.А., Дуняшин Н.С., Валуев Д.В., Худоёров С.С., Заиркулов Э.Ё.</i>	79
КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ ЛЕГИРОВАННЫХ ЧУГУНОВ В АТМОСФЕРЕ АНОДНЫХ ГАЗОВ АЛЮМИНИЕВЫХ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРОВ ЭКОСОДЕРБЕРГ <i>Пинаев Е.А., Темлянцев М.В., Большаков Д.Г., Темлянцева Е.Н., Куценко А.И.</i>	87
КИНЕТИКА ОБЕЗУГЛЕРОЖИВАНИЯ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ СМОЛОСВЯЗАННЫХ ОГНЕУПОРОВ ДЛЯ ФУТЕРОВОК СТАЛЕРАЗЛИВОЧНЫХ КОВШЕЙ <i>Якушевич Н.Ф., Запольская Е.М., Темлянцев М.В., Протопопов Е.В., Темлянцева Е.Н., Приходько М.С.</i>	92
ОПТИМИЗАЦИЯ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ВЫПЛАВКИ ФЕРРОСИЛИКОМАРГАНЦА <i>Павлов В.В., Романенко Ю.Е., Годик Л.А., Фейлер С.В., Фейлер Д.Т.</i>	98

РЕЦИКЛИНГ ПРОКАТНОЙ ОКАЛИНЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЧЕРНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ	
<i>Годик Л.А., Фейлер С.В., Фейлер Д.Т., Романенко Ю.Е.</i>	104
ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО РАСПЛАВА В УСЛОВИЯХ LD-КОНВЕРТИРОВАНИЯ В ДВУХ ПАРАЛЛЕЛЬНО РАБОТАЮЩИХ БОЛЬШЕГРУЗНЫХ КОНВЕРТЕРАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТАТИСТИЧЕСКОГО МЕТОДА	
<i>Бондар В.И., Мельник С.Г.</i>	109
ФУТЕРОВКА СТАЛЕРАЗЛИВОЧНЫХ КОВШЕЙ И ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ОГНЕУПОРНЫМ МАТЕРИАЛАМ И УСЛОВИЯМ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ	
<i>Плохих П.А., Алексеева В.А., Возжол Н.А., Плохих П.А.</i>	118
ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ОКИСЛЕННОСТЬ КОНВЕРТЕРНОГО ШЛАКА	
<i>Сущенко А.В.</i>	127
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЛИТЕЙНОГО ФЛЮСА НА ОСНОВЕ СМЕСИ КРЕМНЕФТОРИДА И ФТОРИДА НАТРИЯ	
<i>Аслонов А.А., Ахмадишоев И.Ш., Наимов Н.А., Рузиев Дж.Р., Сафиев Х.</i>	137
РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ТИТАНОТЕРМИИ	
<i>Усольцев А.А., Козырев Н.А., Шевченко Р.А., Михно А.Р., Князев С.В.</i>	142
ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ГАФНИЯ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ОТЛИВОК В СПЛАВЕ 1570	
<i>Зорин И.А., Дриц А.М., Арышенский Е.В., Коновалов С.В.</i>	149
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГАФНИЯ И ЭРБИЯ НА МИКРОСТРУКТУРУ ЛИТЕЙНОЙ ЗАГОТОВКИ В ВЫСОКОМАГНИЕВОМ АЛЮМИНИЕВОМ СПЛАВЕ ЭКОНОМНОЛЕГИРОВАННЫМ СКАНДИЕМ	
<i>Арышенский В.Ю., Арышенский Е.В., Рагазин А.А., Бахтегареев И.Д., Коновалов С.В.^{1,2}</i>	156
О ВОЗМОЖНОСТИ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА МЕТАЛЛИЗАЦИИ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО СЫРЬЯ	
<i>Якушевич Н.Ф., Строкина И.В., Полях О.А., Ноздрин И.В., Безрукова Е.С., Ноздрин Е.В.</i>	162
ОСОБЕННОСТИ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ, ПРОТЕКАЮЩИХ В ВАННЕ ЭЛЕКТРОПЕЧИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ФЕРРОСИЛИЦИЯ	
<i>Якушевич Н.Ф., Полях О.А., Ноздрин И.В., Аникин А.Е., Ядыкина М.А., Комрони М.</i>	168
ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ОБРАЗОВАНИЯ ФЕРРОШПИНЕЛЕЙ	
<i>Строкина И.В., Полях О.А., Ноздрин И.В., Сюльдина С.А., Комрони М.</i>	175
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КАРБОТЕРМИЧЕСКОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОКСИДА КРЕМНИЯ В ПЕЧИ СОПРОТИВЛЕНИЯ	
<i>Полях О.А., Ноздрин И.В., Строкина И.В., Якушевич, Н.Ф., Хорощенко А.А., Комрони М.</i>	180
ИЗМЕНЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГЛИНОЗЕМСОДЕРЖАЩЕГО ПРОДУКТА С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ	
<i>Бурдонов А.Е., Новиков Ю.В., Шонходоев З.Ч., Хвостанцева Д.С., Максименко О.А.</i>	187
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПЕРЕРАБОТКИ ОКСИДНОГО ВОЛЬФРАМОВОГО СЫРЬЯ В СТРУЙНОМ ПЛАЗМЕННОМ РЕАКТОРЕ	
<i>Ноздрин И.В., Полях О.А., Лепихов В.С., Аникин А.Е., Комрони М.</i>	196
ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА В КОНВЕРТЕРНОЙ ПЛАВКЕ	
<i>Сафонов С.О., Лопатина А.О.</i>	205

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНЦЕПЦИИ МИКРОЛЕГИРОВАНИЯ НА НАСЛЕДСТВЕННУЮ СТРУКТУРУ В СТАЛИ 09Г2С <i>Солоницын А.Р.</i>	211
ПЕРЕРАБОТКА БЕМИТ-КАОЛИНИТОВЫХ БОКСИТОВ БИСУЛЬФАТОМ АММОНИЯ: ОСАЖДЕНИЕ ГИДРОКСИДА АЛЮМИНИЯ ИЗ РАСТВОРА АЛЮМОАММОНИЙНЫХ КВАСЦОВ <i>Валеев Д.В.</i>	215
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ФАЗОВОГО СОСТАВА ВЫСОКОЭНТРОПИЙНЫХ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ CoCrFeMnNi ПРИ ИЗМЕНЕНИИ СОДЕРЖАНИЯ Fe И Mn <i>Панченко И.А., Гостевская А.Н., Коновалов С.В., Безродная Е.А., Бессонов Д.А.</i>	220
МЕТОДИКА ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ <i>Рыбенко И.А., Конголи Ф.</i>	225
СЕКЦИЯ 2: ИССЛЕДОВАНИЯ, ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА	231
ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАХВАТА ПОЛОСЫ ПРИ АСИММЕТРИЧНОЙ ЛИСТОВОЙ ПРОКАТКЕ <i>Кожевников А.В., Смирнов А.С., Платонов Ю.В., Кожевникова И.А.</i>	231
ПОВЕРХНОСТНОЕ УПРОЧНЕНИЕ ТВЕРДОГО СПЛАВА ВК10КС ПОСЛЕ ДВУХКОМПОНЕНТНОГО ЭЛЕКТРОВЗРЫВНОГО ЛЕГИРОВАНИЯ <i>Осколкова Т.Н., Фастыковский А.Р.</i>	236
ТРАНСФОРМАЦИЯ СТРУКТУРЫ РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ ПРИ ДЕФОРМАЦИИ СЖАТИЕМ <i>Аксёнова К.В., Громов В.Е., Кибко Н.В., Ващук Е.С.</i>	242
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМА ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА, СТРУКТУРУ И КОРРОЗИОННУЮ СТОЙКОСТЬ В СРЕДЕ СЕРОВОДОРОДА ПРОКАТА ИЗ СТАЛИ 20 <i>Валюгин М.А., Мурсенков Е.С.</i>	248
АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ АСИММЕТРИЧНОЙ ПРОКАТКИ <i>Платонов Ю.В.</i>	255
СПОСОБ РАСЧЕТА СКОРОСТИ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ «МЯГКОГО» ОБЖАТИЯ ДЛЯ КОМПЕНСАЦИИ УСАДКИ НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ С ЦЕЛЬЮ СНИЖЕНИЯ ОСЕВОЙ РЫХЛОСТИ <i>Кабаков З.К., Габеляя Д.И., Чуев А.А.</i>	261
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДРЕССИРОВКИ ШИРОКИХ ГОРЯЧЕКАТАНЫХ ТРАВЛЕННЫХ ПОЛОС <i>Антонов П.В., Парфенов Н.С., Болобанова Н.Л., Тимофеева М.А.</i>	267
ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ТАКТОВОЙ МОДЕЛИ РАБОТЫ УНИВЕРСАЛЬНОГО РЕЛЬСОБАЛОЧНОГО СТАНА <i>Головатенко А.В., Фастыковский А.Р., Мусатова А.И.</i>	272
ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СОРТОВЫХ ПРОФИЛЕЙ ПРОКАТКОЙ <i>Фастыковский А.Р., Осколкова Т.Н., Вахроломеев В.А., Глухов М.И., Прудников А.Н.</i>	278
ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫХ СОСТОЯНИЙ И ТОНКОЙ СТРУКТУРЫ ДЛИННОМЕРНЫХ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННО ЗАКАЛЕННЫХ РЕЛЬСОВ ПОСЛЕ ЭКСТРЕМАЛЬНО ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ <i>Кузнецов Р.В., Юрьев А.А., Шлярова Ю.А., Громов В.Е., Коновалов С.В., Иванов Ю.Ф.</i>	284
СИНТЕЗ КОМПЛЕКСНОЙ НОРМАТИВНОЙ МОДЕЛИ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПАРТИИ ПРОКАТНОЙ ПРОДУКЦИИ <i>Мусатова А.И., Кулаков С.М., Фастыковский А.Р.</i>	289

ВЛИЯНИЕ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА КОМПОЗИТА Ti/TiB, ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ ИСКРОВОГО ПЛАЗМЕННОГО СПЕКАНИЯ <i>Озеров М.С., Поволяева Е.А., Громишова Д.В., Волокитина Е.И.</i>	298
ТЕРМИЧЕСКОЕ УПРОЧНЕНИЕ ПРЕССОВОК ИЗ ЗАЭВТЕКТИЧЕСКОГО СИЛУМИНА <i>Прудников А.Н., Прудников В.А., Рексис В.С.</i>	303
ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО НАГРЕВА В КИСЛОРОДСОДЕРЖАЩЕЙ СРЕДЕ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ <i>Афанасьев В.К., Попова М.В., Жибинова И.А.</i>	310
ПРИМЕНЕНИЕ ОБРАБОТКИ РАСПЛАВА И ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЗАЭВТЕКТИЧЕСКИХ СИЛУМИНОВ <i>Афанасьев В.К., Попова М.В., Прудников А.Н., Жибинова И.А.</i>	315
ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ МАРКИ К76Ф НА УДАРНУЮ СТОЙКОСТЬ МЕЛЮЩИХ ШАРОВ <i>Уманский А.А., Симачев А.С., Думова Л.В., Сафонов С.О.</i>	323
ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА С ДОБАВКАМИ ДИОКСИДА ТИТАНА <i>Хамид. Махан М., Коновалов С.В., Куценко А.А., Цветков А.В., Панченко И.А.</i>	327
ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКА ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ УПРАВЛЕНИЯ СТРУКТУРОЙ И СВОЙСТВАМИ СТАЛЕЙ В ПРОЦЕССАХ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ <i>Васильев А.А., Колбасников Н.Г.</i>	332
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОКАТКИ РЕЛЬСЫ В НЕПРЕРЫВНОЙ ГРУППЕ КЛЕТЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ QFORM <i>Белопищевская Е.С., Соловьев В.Н.</i>	341
УПРАВЛЕНИЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ СТРУКТУРОЙ ТРУБНЫХ МАРК СТАЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ <i>Колбасников Н.Г., Жуков Н.В.</i>	348
ПРИЧИНЫ И МЕХАНИЗМ ОБРАЗОВАНИЯ ДЕФЕКТОВ ТИПА «МОРЩИНА» ПРИ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКЕ СОРТОВОЙ СТАЛИ <i>Колбасников Н.Г., Адигамов Р.Р., Шишов И.А., Зайцев А.М.</i>	356
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МНОГООУПРУГОВОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СПЛАВЫ СЕРИИ AL-MG-Si С ИЗБЫТКОМ КРЕМНИЯ И НЕБОЛЬШИМИ ДОБАВКАМИ СКАНДИЯ И ЦИРКОНИЯ <i>Арышенский Е.В., Лапинов М.А., Солопаев М.В., Коновалов С.В.</i>	367
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕРМИЧЕСКОГО УПРОЧНЕНИЯ РЕЛЬСОВ <i>Сарычев В.Д., Филяков А.Д., Чумаков И.И., Коновалов С.В.</i>	374
ВЛИЯНИЕ МЕДИ НА СТРУКТУРУ И ТЕПЛОВОЕ РАСШИРЕНИЕ СПЛАВОВ AL – 40%Si <i>Афанасьев В. К., Попова М.В., Малюх М.А.</i>	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 60x84 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