

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»

7. Страхов, В.М. Получение металлизированных 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 , $\text{SiC}_{\text{мс}}$), 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 OCCURRING 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 , $\text{SiC}_{\text{мс}}$), the ratio of components in burdening mix, properties and quality of the used materials depends on

distribution of temperature zones in a furnace bathtub.

Keywords: *ferrosilicon, silicon carbide, silicon dioxide, interaction mechanism, ore-thermal furnace.*

Технология плавки ферросилиция в руднотермических печах аналогична выплавке кремния. Основное отличие заключается во введении в шихту железной стружки, что приводит к значительным изменениям технологического режима и структуры схемы физико-химических взаимодействий в ванне печи. Наиболее важной особенностью является появление жидкого металлического расплава при низких температурах (≤ 1600 K), что изменяет последовательность протекания химических реакций, существенно увеличивает их скорость за счет увеличения межфазной реакционной поверхности, увеличения скорости доставки компонентов в реакционную зону путем диффузии через жидкий металлический расплав, растворения карбидных пленок, образующихся на поверхности и в порах углеродистого восстановителя и затрудняющих доставку монооксида кремния к атомам углерода. Появляются новые физико-химические процессы, такие как растворение углерода в металлическом расплаве, взаимодействие железоуглеродистого расплава с карбидом кремния, приводящее к его разрушению и переходу кремния и углерода в металлический расплав, с монооксидом кремния газовой фазы с восстановлением кремния и поглощением его металлическим расплавом, с диоксидом кремния в местах непосредственного контакта с кварцитом, также приводящее к переходу кремния в металлический расплав. Суммарный результат этих процессов – раннее восстановление кремния с растворением его в металлическом расплаве, в котором в момент его образования химический потенциал кремния имеет очень низкие (близкие к нулевым) значения, что и обеспечивает переход в него кремния из всех сосуществующих кремнийсодержащих фаз. Как показывают термодинамические расчеты и прямые экспериментальные исследования [1] уже при 1600 K равновесное содержание кремния в металлическом расплаве составляет ≈ 15 %.

На рисунке 1 показано распределение компонентов по температурным зонам печи при выплавке железокремниевых сплавов с исходными мольными отношениями в шихтовой смеси $Si:Fe=6; 3,71; 2,63$, соответствующими получению сплавов с содержанием кремния соответственно 75, 65 и 45 % масс. (для сравнения приведены также данные для чистого кремния [2]).

Заметное восстановление кремния (с растворением его в металлическом расплаве) начинается фактически с момента образования жидкого металлического расплава, т.е. при температуре ≈ 1600 K, возможно, в незначительной степени и при более низких температурах, например, при введении в шихту чугуновой стружки, плавящейся при температуре ≈ 1450 K). Скорость восстановления кремния тем выше, чем больше содержание железа в исходной шихте и, следовательно, больше объем и поверхность металлического расплава и его способность поглощать кремний из газовой фазы, с поверхности кварцита, а при температурах выше 1800 K и из образовавшихся на по-

верхности углеродистого восстановителя карбидных пленок. Максимальная скорость восстановления наблюдается для шихт с соотношением $Si:Fe=2,63$, рассчитанных на получение сплава ФС45, минимальная – для шихт с соотношением $Si:Fe=6$ (ФС75).

Чем больше в сплаве железа, тем полнее извлечение кремния в сплав и выход сплава (пунктирная линия), максимум извлечения, близкий к 100 % ($n_s \approx 1$), также наблюдается для шихт, рассчитанных на получение сплава ФС45. Температура, при которой достигается максимальное извлечение кремния повышается при увеличении концентрации кремния в сплаве, она соответствует температуре поверхности реакционного тигля и несколько ниже, чем для кремния (на 100–200 К). Здесь же (на стенках реакционного тигля) достигается максимальная концентрация кремния в сплаве ($x_{[Si]75}=0,80$; $x_{[Si]65}=0,79$; $x_{[Si]45}=0,62$), которая в дальнейшем остается постоянной и понижается лишь в зоне электрических дуг, когда испарение кремния из расплава протекает более интенсивно, чем испарение железа.

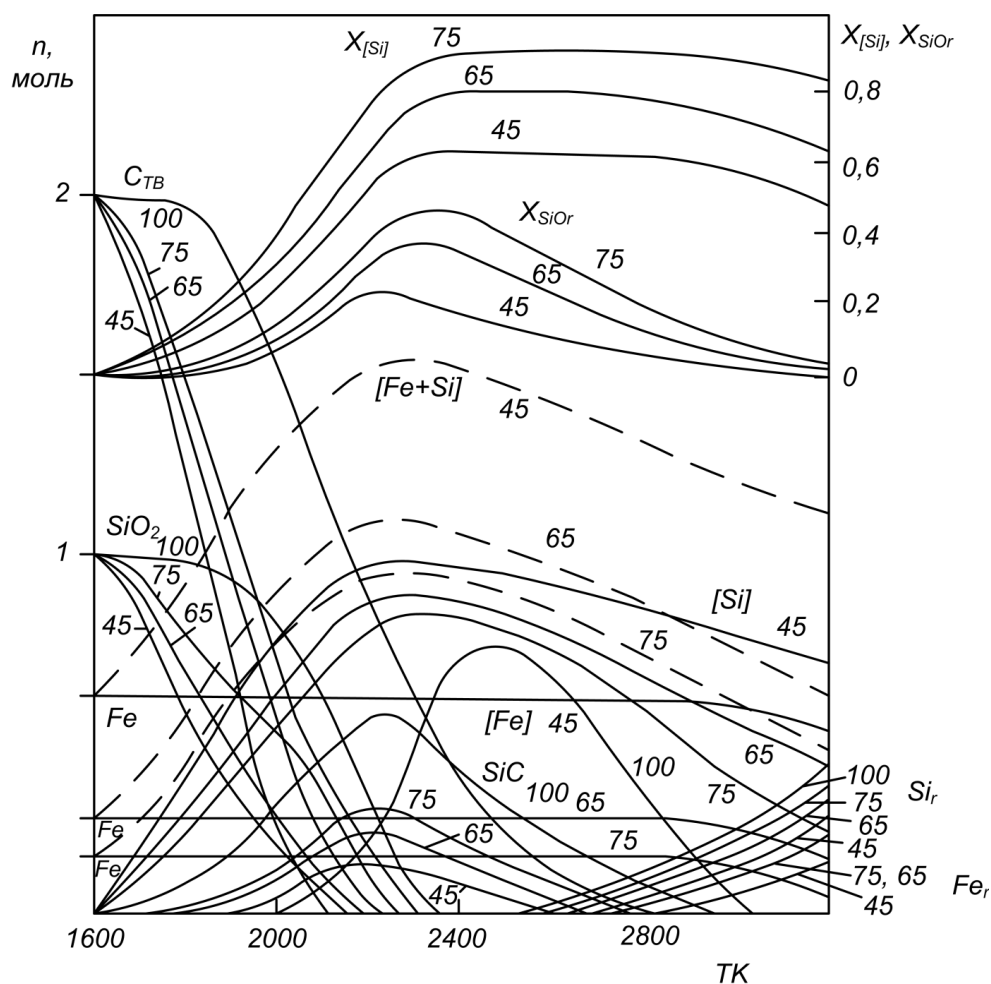


Рисунок 1 – Распределение компонентов по температурным зонам в печах для выплавки кремния и ферросилиция

Образование карбида кремния при плавке ферросилиция возможно лишь при достижении содержания кремния в сплаве более 30 % масс. [3], что достижимо в равновесных условиях при температуре ≈ 1800 К и, очевид-

но, возможно в периферийных зонах печи при медленном сходе шихты и, соответственно, медленном прогреве материалов. В неравновесных условиях, даже при более высоких температурах возможно существование кремнистого расплава с более низким содержанием кремния, который при взаимодействии с карбидом, образовавшимся на поверхности углеродистого восстановителя, растворяет в себе кремний.

Таким образом, при плавке ферросилиция образование карбида кремния в небольших количествах наблюдается при температуре выше 1800 К и протекает в значительно меньшей степени, чем при плавке кремния (тем меньшей, чем больше в шихте железа). Максимальное содержание карбида кремния в продуктах также наблюдается в температурной зоне, соответствующей поверхности реакционного тигля. Однако следует отметить, что образование карбида кремния за счет взаимодействия кокса с газовым потоком, исходящим из зоны высоких температур и содержащим сверхравновесные концентрации монооксида кремния, происходит и при более низких температурах, вплоть до температуры термодинамической стабильности монооксида кремния (≈ 1500 К).

Концентрация монооксида кремния в газовой фазе, соответствующая равновесным значениям (тем более низким, чем больше железа в сплаве), достигается лишь в зоне, прилегающей к поверхности реакционного тигля ($x_{SiO(г)75} \geq 0,4$; $x_{SiO(г)65} \geq 0,35$; $x_{SiO(г)45} \geq 0,2$), при более низких температурах она интенсивно уменьшается, так как монооксид кремния, образующийся в зоне высоких температур, не только расходуется на образование карбида кремния, но и интенсивно взаимодействует с металлическим расплавом.

Концентрация монооксида углерода, непрерывно удаляющегося из печной ванны, по мере повышения температуры понижается, так что при достижении зоны, прилегающей к поверхности реакционного тигля, отношение $x_{SiO} : x_{CO}$ в газовой фазе примерно соответствует равновесным значениям для данного сплава.

В парогазовой фазе, заключенной в объеме реакционного тигля, химические реакции протекают в условиях, близких к равновесным, и концентрации компонентов обусловлены, в основном, термодинамическими факторами (температура, активности компонентов в сосуществующем с парогазовой фазой металлическом расплаве), в связи с чем, даже если принять, что при высоких температурах $a_{SiO_2} \approx x_{SiO_2}$ и $a_{Fe} \approx x_{Fe}$ концентрация пара кремния тем ниже, чем выше концентрация железа в сплаве. Заметное испарение железа наблюдается лишь при температурах более 3000 К.

Так как при плавке ферросилиция температуры в объеме и на поверхности реакционного тигля ниже, чем при плавке кремния, и процессы испарения протекают менее интенсивно, конденсационные процессы в меньшей степени влияют на выход кремния. Тем не менее процессы испарения кремния и железа и их последующая конденсация оказывают существенное влияние на теплотеренос и являются регуляторами температурного режима плавки.

Полная схема механизма взаимодействий, имеющих место в печной

ванне при плавке ферросилиция, представлена на рисунке 2. Цифрами на схеме обозначены номера взаимодействий и процессов в соответствии с их описанием.

1 Первичным физико-химическим процессом, протекающим при наиболее низких температурах (1500–1800 К), является процесс плавления железа и науглероживания его за счет непосредственного контакта с коксом и взаимодействия с газовой фазой.

2 Взаимодействие открытой поверхности углеродистого восстановителя с монооксидом кремния, образовавшемся в зоне высоких температур, осуществляемое при температурах выше 1500 К, скорость и полнота протекания которого зависят от количества восстановителя в шихте, его крупности, пористости, реакционной способности, скорости нагрева реакционных материалов, концентрации монооксида кремния в газовой фазе и других факторов; результатом такого взаимодействия является карбидизация поверхностных слоев кокса (при этом слой карбида при температуре 1973 К за 30 минут проникает внутрь куска восстановителя на глубину 0,04–0,08 мм в плотных материалах (графит, антрацит) и до 1–1,5 мм в древесном угле [3–10]).

3 Твердофазное контактное взаимодействие, происходящее в местах непосредственного контакта кварцита с коксом, результатом которого является газификация диоксида кремния, а при температурах выше 1800 К – образование дефицитного по кислороду кремнекислородного расплава.

При использовании крупнокусковой шихты это взаимодействие имеет незначительное развитие, тем более что концентрация монооксида кремния в потоке газовой фазы, исходящем из высокотемпературных зон, как правило, выше равновесной по отношению к реакции газификации, в связи с чем в низкотемпературных зонах эта реакция идет в обратном направлении.

Контактное взаимодействие углерода, растворенного в металлическом расплаве, с кремнекислородным расплавом или твердым кварцитом, в результате которого уже при низких температурах происходит восстановление кремния с переходом его в металлический расплав.

Взаимодействие металлического расплава с монооксидом кремния газовой фазы, в результате которого кремний восстанавливается углеродом расплава и переходит в сплав.

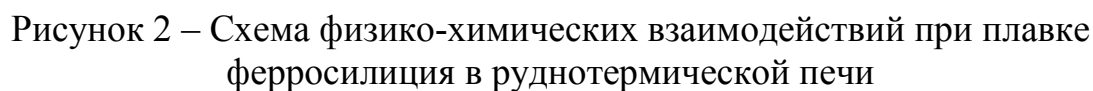
Взаимодействие восстановленного кремния с кремнекислородным расплавом с образованием газообразного монооксида.

Взаимодействие образовавшегося на поверхности кусков кокса карбида кремния с железом расплава (8) и его парами (9), в результате которого происходит разрушение карбида, при этом кремний переходит в расплав, а углерод либо растворяется, если расплав не насыщен углеродом, либо выделяется в свободном виде и в дальнейшем принимает участие в физико-химических процессах.

Плавление оксида кремния с переходом его в кремнекислородный расплав.

Расслоение кремнекислородного расплава с выделением из него рас-

Взаимодействие кремнекислородного расплава с карбидом кремния с образованием кремния, растворяющегося в ферросплаве, и монооксидов кремния и углерода.



Диссоциация карбида кремния в зоне высоких температур (выше 2800 K) с образованием паров кремния и твердого углерода.

17-18 Испарение карбида кремния с последующим взаимодействием его паров с кремнием и другими компонентами газовой фазы с образованием молекул Si_2C , SiC_2 и др. Эти реакции обратимы и имеют тем меньшее развитие, чем больше железа в сплаве и, соответственно, чем ниже температура

в реакционном тигле и чем меньше карбида кремния на его поверхности.

Испарение кремния из металлического расплава в подэлектродном пространстве и последующая конденсация пара кремния на стенках реакционного тигля.

Испарение железа в зоне электрических дуг и конденсация его паров вблизи поверхности реакционного тигля.

Вторичные процессы конденсации монооксида кремния в зоне низких температур.

Таким образом, разработанные схемы физико-химических взаимодействий при плавке ферросилиция и кремния [3] дают возможность делать более корректные теоретические и практические выводы в плане интерпретации технологических процессов, а так же механизма образования микрокремнезема [5-7].

Выводы. Предложена схема физико-химических взаимодействий, построенная на основе термодинамического анализа и результатов кинетических исследований, достаточно полно описывающая процессы массопереноса в ванне ферросилициевой печи.

Библиографический список

1. Якушевич Н.Ф. Активность кремния в сплавах Mn-Si-C / Н.Ф. Якушевич, Н.В. Толстогузов, В.Д. Муковкин // Известия вузов. Черная металлургия, 1969. № 2. – С. 48–50.

2. Якушевич Н.Ф., Галевский Г.В. Взаимодействие углерода с оксидами кальция, кремния, алюминия – Новокузнецк: СибГИУ, 1999. – 250 с.

3. Якушевич Н.Ф. Физико-химические взаимодействия в руднотермических печах при плавке кремния / Н.Ф. Якушевич, О.А. Коврова // Изв. вузов. Черная металлургия. 1997. №8. – С. 3–8.

4. Толстогузов Н.В. Механизм восстановления кремния при плавке кремнистых сплавов / Н.В. Толстогузов, Н.Ф. Якушевич, А.М. Январев [и др.] // Сб. науч. трудов: Механизм и кинетика восстановления металлов. – М., Наука, 1970. – С. 187-191.

5. Якушевич Н.Ф. Механизм межфазных взаимодействий в ванне ферросилициевой печи / Н.Ф. Якушевич, О.А. Коврова, Г.В. Галевский, И.М. Кашлев // Компьютерные методы в управлении электротехнологическими режимами руднотермических печей: Материалы Всероссийского науч. - техн. совещания. – Санкт - Петербург : С-ПтТИ, 1998. – С. 59 – 65.

6. Полях О.А. Физико-химические процессы пылеобразования при выплавке ферросилиция // О.А. Полях, Г.В. Галевский, Н.Ф. Якушевич [и др.]. // Сб. науч. тр.: Вестник горно-металлургической секции РАЕН. Отделение металлургии / СибГИУ. - Новокузнецк, 1999. - Вып. 8.- С. 41-45.

7. Галевский Г.В. Физико-химическая аттестация пылевых выбросов производства кремния высококремнистых ферросплавов / Г.В. Галевский, В.В. Руднева, О.А. Коврова [и др.] // Сб. науч. тр.: Вестник горно-металлургической секции АЕН РФ. Отделение металлургии. Вып.1. – Ново-

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*

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., Дунашин Н.С., Валуев Д.В., Худоёргов 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 МНОГОСТУПЕНЧАТОЙ 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