

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. 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»

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,

достаточно полно описывающая процессы массопереноса.

Ключевые слова: карботермическое восстановление, карбид кремния, печь Ачесона, крновая печь, механизм массопереноса.

PHYSICO-CHEMICAL BASES OF CARBOTHERMAL SILICON OXIDE RECOVERY IN RESISTANCE FURNACE

Polyah O.A.¹, Nozdrin I.V.¹, Strokina I.V.¹, Yakushevich N.F.¹,
Khoroshchenko A.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 of physicochemical interactions during the carbothermal reduction of silicon oxide to carbide has been carried out. On the basis of thermodynamic analysis and the results of kinetic studies, a scheme of the mechanism of silicon carbide formation in the Acheson furnace is proposed, which quite fully describes the processes of mass transfer.*

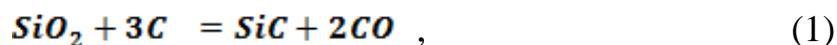
Keywords: *carbothermal reduction, silicon carbide, Acheson furnace, core furnace, mass transfer mechanism.*

Карбид кремния – материал, обладающий большим набором уникальных свойств: тугоплавкостью, химической стойкостью по отношению к газам и кислотам, высокой твердостью, электропроводностью и др., благодаря которым он широко используется в различных отраслях промышленности (металлургии, химии, электротехнике) в качестве восстановителей, науглероживателей, абразивных материалов, огнеупорных материалов, высокотемпературных и химически стойких конструкций, электронагревателей, полупроводниковых элементов.

В зависимости от назначения применяются различные способы высокотемпературного синтеза, обеспечивающие получение продукта с необходимыми заданными свойствами.

Условия образования карбида кремния в наиболее распространенном варианте синтеза в крновых печах Ачесона требуют тщательного теоретического анализа.

Несмотря на то, что процесс образования карбида кремния хорошо описывается суммарной реакцией:



химизм процесса, как показывает термодинамический анализ процесса восстановления кремнезема углеродом [1-2] и кинетические исследования взаимодействий типа $\text{SiO}_2 + \text{C}$, $\text{SiO}_2 + \text{SiC}$, $\text{SiO} + \text{C}$ [3-7], оказывается достаточно сложным и предполагает участие в процессе промежуточных продук-

тов – монооксида кремния, кремнекислородного расплава SiO_{2-x} , а при высоких температурах (более 2500 К) также паров кремния и его карбидов.

Предлагаемая схема физико-химических взаимодействий, построенная на основе термодинамического анализа и результатов кинетических исследований, достаточно полно описывающая процессы массопереноса в печи Ачесона, представлена на рисунке.

При использовании достаточно мелких хорошо перемешанных материалов первичным взаимодействием является твердофазное контактное взаимодействие оксида кремния с углеродом $SiO_{2(TE)} + C_{(TE)}$ (1), в результате которого уже при температуре ≈ 1500 К образуются газообразные монооксиды кремния и углерода, а при температурах выше 1800 К – карбид кремния и дефицитный по кислороду кремнекислородный расплав.

Карбид кремния может образовываться и за счет взаимодействия газообразного монооксида кремния с твердым углеродом (2). Это взаимодействие также является ведущим в восстановительном процессе и от степени его развития зависит полнота извлечения кремния в карбид.

Образование дефицита кислорода в оксиде кремния приводит к образованию в зоне контакта кварцевых зерен с углеродом пленок кремнекислородного расплава, при этом увеличивается поверхность контакта оксида кремния с углеродом и процесс восстановления интенсифицируется. При небольшом дефиците кислорода в оксиде кремния образование кремнекислородного расплава происходит при температурах, близких к температуре плавления кремнеземсодержащего материала, однако по мере увеличения дефицита кислорода и особенно в присутствии примесей температура начала образования жидкой фазы может быть снижена до ≈ 1700 К, то есть ниже температуры начала образования карбида кремния.

Таким образом, восстановление кремния углеродом до карбида в значительной степени осуществляется через образование расплава (4), который при высоких скоростях химических реакций и достаточно длительных выдержках успевает перерабатываться без значительного накопления за исключением случаев, когда в зоне локальных перегревов происходит плавление кварца (5). Повышение дефицита кислорода в кремнекислородном расплаве приводит к интенсификации процесса испарения монооксида кремния (6), что так же положительно влияет на скорость целевой суммарной реакции. Образовавшийся карбид кремния при дальнейшем повышении температуры взаимодействует с кремнеземом (3), что в значительной степени интенсифицирует процесс газификации кремнекислородного расплава, как за счет непосредственного протекания реакции в зоне контакта с карбидом, так и за счет повышения дефицита кислорода и, как следствие, интенсификации процесса испарения монооксида кремния. Этот процесс имеет важное значение еще и потому, что карбид кремния, как правило, вводится непосредственно в шихту в качестве возвратных продуктов, в виде недовосстановленного материала – аморфа, содержащего до 70 % SiC.

При нагреве до температур выше 2400 К карбид кремния начинает ча-

стично диссоциировать на жидкий кремний и твердый углерод (7), при этом образующийся графит накапливается на поверхности зерна, а кремний – в блоке карбида кремния. При недостатке углерода в шихте, образовавшемся в локальных зонах при плохом перемешивании шихты или при неправильной шихтовке, могут создаться условия для интенсивного образования кремния при более низких температурах (по реакции $\text{SiO}_2 + 2\text{C} = \text{Si} + 2\text{CO}$), в этом случае получается «закремненный продукт».

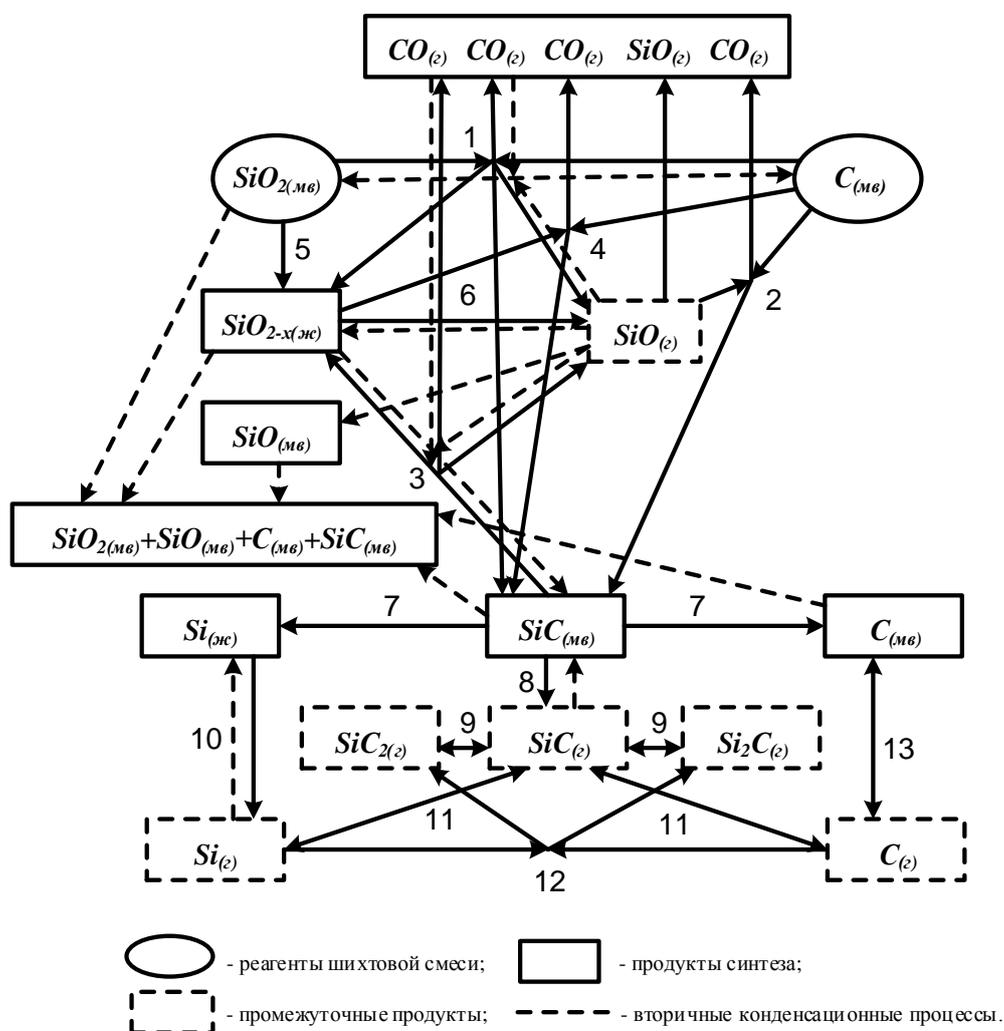
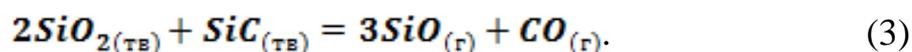
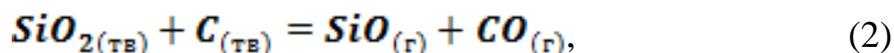


Рисунок 1 – Схема взаимодействий в процессе карботермического синтеза карбида кремния

При еще более высоких температурах (более 2600 К) карбид кремния начинает заметно сублимировать (8) (попутно может испаряться кремний, и в очень небольшой степени сублимировать углерод); при этом в газовой фазе протекают химические реакции с образованием газообразных молекул Si_2C , SiC_2 (9), Si_2 , Si_3 (11), C , C_2 , C_3 (13). Эти процессы обратимы и при незначительном понижении температуры (при диффузии газа в низкотемпературные горизонты) происходит конденсация паров SiC на поверхности мелких кристаллов, за счет чего реализуется их рост до более крупных размеров и осуществляется основная цель высокотемпературного синтеза. При непра-

вильно выбранной шихтовке соотношение компонентов в газовой фазе изменяется и в процессе конденсации паров может образоваться жидкий кремний либо твердый углерод, что приводит к загрязнению продукта.

При дальнейшем охлаждении газа концентрация монооксида углерода в газовой фазе может оказаться выше равновесной для реакций:



В этом случае реакции будут протекать в обратную сторону и из газовой фазы будут конденсироваться $\text{SiC}_{(\text{ТВ})}$, $\text{C}_{(\text{ТВ})}$, $\text{SiO}_{2(\text{ТВ})}$ (или $\text{SiO}_{2-x(\text{Ж})}$), в результате чего в определенных температурных зонах образуются побочные продукты – аморф, шлаковые сrostки (смесь недовосстановленной шихты с возгонами оксидов кремния, алюминия, кальция и других примесей), образующиеся при температурах 1500–1600 К, силоксикон, образующийся при температуре 1300–1500 К, состоящий на 80–90 % из возгонов монооксидов кремния (смесь SiO_2 , SiO , SiC , C) (все вторичные процессы на рисунке обозначены пунктирными линиями). Поскольку концентрация свободного монооксида углерода в высокотемпературной зоне незначительна [2], количество возгонов невелико и потери кремния с силоксиконом и шлаковыми сrostками также невелики (аморф возвращается в производство). Улет кремния с газовой фазой, имеющий место при нарушениях технологического процесса, как правило, также не превышает 5 %.

При использовании для синтеза карбида кремния в печах большой мощности (до 10 МВА) материалов крупностью 5-15 мм уменьшается роль твердофазного контактного взаимодействия (1) и возрастает роль термовосстановительной диссоциации как в процессах газификации (3), (6), так и в процессах карбидообразования (2), (4). Так как эти процессы лимитируются диффузией кислорода из внутренних объемов кусков кварцита к их поверхности, длительность технологического процесса увеличивается до 90–100 ч, а кинетические закономерности связаны с уменьшением поверхности ($d^2 > 0$) и объема ($d^3 \rightarrow 0$) исходных материалов.

Уникальные свойства карбида кремния позволяют использовать его во многих отраслях промышленности, причем во многих случаях форма и крупность кристаллов кремния не имеют значения, достаточно иметь материал, в котором кремний и углерод находились бы в химически связанном виде. В этом случае технология синтеза может быть значительно упрощена. Во-первых, температура синтеза может быть снижена на 800-900 К, а время синтеза сокращено до 20-40 минут, что позволяет осуществить непрерывный технологический процесс, организовать экологически чистое производство, снизить расход электроэнергии в 2 раза, значительно снизить себестоимость продукции и, соответственно, расширить возможности ее использования. Во-вторых, расширяется диапазон используемых для этой цели материалов, как по крупности, так и по содержанию примесей. Например, для получения

карбидных материалов, используемых для раскисления стали и легирования ее кремнием и углеродом, можно применять коксы, полукоксы, угли, шунгиты крупностью 3-10 мм. В качестве кремнеземсодержащего сырья можно использовать низкокачественные пески или пылевые отходы производства кремния и кремнистых ферросплавов, что также значительно снижает себестоимость продукции и позволяет широко использовать ее в таких крупнотоннажных отраслях, как металлургия, производство огнеупоров и др.

Снижение температуры процесса позволяет осуществлять синтез в проходных печах непрерывного действия (электрокальцинаторы, трубчатые электропечи сопротивления или индукционные, щелевые керновые печи и т.п.). Кинетическими исследованиями установлено, что при использовании брикетированных материалов фракции -10 мкм степень восстановления 100 % достигается за 15 минут при температурах 1900-1950 К, причем при степени восстановления 60-70 % (через 10 минут) брикеты спекаются, в дальнейшем превращаются в тонкий порошок, что говорит о том, что при этих температурах процесс восстановления также протекает через образование расплава, который в последующем полностью перерабатывается. Качественно схема взаимодействий в таком процессе отличается от рассмотренной выше отсутствием примесных продуктов плавки (аморф, силоксикон, сростки). При непрерывном способе производства примеси равномерно распределяются в удаляющемся из печи карбидном материале, при этом существенно возрастает роль процесса карбидизации углерода монооксидом кремния (2), образующемся в зоне высоких температур (2000 К) и взаимодействующим затем с углеродом в широком температурном интервале. К моменту достижения шихтой температурной зоны, в которой термодинамически возможно образование карбида кремния по целевой суммарной реакции (1800 К), поверхность углеродистого восстановителя оказывается полностью карбидизированной и ведущим процессом, лимитирующим газификацию оксида кремния и последующую карбидизацию (силицирование) углерода, оказывается взаимодействие (3).

Восстановление оксида кремния углеродом в условиях, исключающих образование кремнекислородного расплава ($T < 1750$ К, $P < 100$ Па), даже при использовании мелкодисперсной, хорошо перемешанной и брикетированной шихты (пыль сухой газоочистки производства кремния и ферросилиция фракции -10 мкм и сажа (кокс) фракции -25 мкм) [8-9], процесс настолько сильно лимитируется диффузией кислорода в твердом кремнеземе, что оказывается возможной лишь частичная газификация оксида кремния (за 30-40 минут изменение массы реагентов, взятых в соотношении $C:SiO_2 = 3$, составляет 20-40 % [10]), карбидизация же углерода происходит в очень незначительной степени.

Таким образом, при определении оптимальных технологических параметров синтеза необходимо учитывать степень развития процессов образования оксидных расплавов, газификации кремнекислородного расплава, карбидизации углеродистого материала монооксидом кремния.

Выводы. Предложена схема физико-химических взаимодействий, по-

строенная на основе термодинамического анализа и результатов кинетических исследований, достаточно полно описывающая процессы массопереноса в печи Ачесона.

Библиографический список

1. Якушевич Н.Ф. Диаграмма фазово-химических равновесий системы Si–O–C / Н.Ф. Якушевич, В.И. Бердников // Известия вузов. Черная металлургия, 1984. № 10. – С.4–7.

2. Якушевич Н.Ф. Термодинамическая модель углетермического производства карбида кремния / Н.Ф. Якушевич, С.Ф. Павлов // Сб. науч. трудов «Кремнистые ферросплавы». – М., Металлургия, 1988. – С.100-106.

3. Толстогузов Н.В. Исследование газификации кремнезема в процессе восстановления углеродом / Н.В. Толстогузов, Н.Ф. Якушевич, Л.С. Тропина [и др] // Сб. науч. трудов «Производство ферросплавов». В.1. – Кемерово, 1975. – С. 60–76.

4. Якушевич Н.Ф. Кинетика взаимодействия карбида кремния с кремнеземом / Н.Ф. Якушевич, О.А. Коврова // Материалы конференции «Научно-технический прогресс и повышение качества производства кремния». – Иркутск, 1991. – С. 5–6.

5. Кожевников Г.Н. Низшие окислы кремния и алюминия в электрометаллургии / Г.Н. Кожевников, А.Г. Водопьянов. – М., Наука, 1977. – 144 с.

6. 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.

7. 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.

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. Лазаревский П.П. Комплексное изучение металлургических характеристик и повышение эффективности использования кварцитов Сунгайского рудопроявления : автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук / П.П. Лазаревский; СибГИУ. – Новокузнецк, 2013. – 23 с.

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., Дунышин Н.С., Валув 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., Ахмадишов 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>Акёнова 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., Громашова Д.В., Волокитина Е.И.</i>	298
ТЕРМИЧЕСКОЕ УПРОЧНЕНИЕ ПРЕССОВОК ИЗ ЗАЭВТЕКТИЧЕСКОГО СИЛУМИНА <i>Прудников А.Н., Прудников В.А., Рексиус 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>Белопищкая Е.С., Соловьев В.Н.</i>	341
УПРАВЛЕНИЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ СТРУКТУРОЙ ТРУБНЫХ МАРОК 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., Лапишов 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