



**ИРКУТСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

приоритет2030⁺
лидерами становятся

**ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ
ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ
УГЛЕВОДОРОДНЫХ И МИНЕРАЛЬНЫХ
РЕСУРСОВ**

Материалы
XIII Всероссийской научно-практической конференции
с международным участием

(г. Иркутск, 19–20 апреля 2023 г.)

Сборник материалов



ИЗДАТЕЛЬСТВО
Иркутского национального исследовательского
технического университета
2023



СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ №1. Прогрессивные технологии и физико-химические основы повышения эффективности металлургических производств

Г.М. Михайловский. Моделирование процесса аддитивного выращивания деталей с использованием программного комплекса SimufactWelding.....	9
И.А. Сысоев, С.В. Лутчиков. Разработка мероприятий, направленных на повышение срока службы футеровки индукционных печей, на примере Богучанского алюминиевого завода.....	12
Е.Е. Занин, В.А. Лях, А.А. Зайцева. Челябинский цинковый завод – единственный производитель металлического цинка в России.....	15
И.Д. Матвиенко, Д.Д. Щеблякова, А.Н. Баранов. Технология повышения сорбции углей путем изменения емкости двойного электрического слоя.....	18
А.П. Кондратенко, М.Ю. Кузьмина. Печи, применяемые на участке литья цветных металлов литейного цеха металлургического производства авиастроительного предприятия.....	21
М.И. Васильев, А.А. Тютрин, К.С. Бушуев. Проблема образования коксовой пыли при производстве алюминия и оценка возможности ее брикетирования.....	24
Н.В. Немчинова, А.В. Плакущий, В.С. Коршунов. Современные тенденции применения углеродных материалов в производстве металлургического кремния.....	28
В.В. Грудинина, М.П. Кузьмин. Перспективы утилизации мелкодисперсных отходов алюминиевого производства.....	32
М.П. Кузьмин, Ю.А. Хаблак. Получение силуминов методом индукционной плавки кремнийсодержащей шихты под слоем криолита.....	35
Н.В. Немчинова, О.Н. Логинов, И.С. Леонов. Требования к анодам электролизеров при производстве алюминия.....	38
В.В.Грудинина, М.П. Кузьмин. Перспективные направления утилизации катодной футеровки алюминиевых электролизёров.....	41
Э.А.Самаев, Т.С. Минеева. Сорбция золота и серебра из цианистых растворов и пуль. Зарубежный опыт.....	44
Д.А. Бегунов, А.А. Бегунов.Воздействие металлургического производства на объекты среды.....	46

С.А. Демидов, А.В. Аксенов. Перспективные направления переработки золотосодержащих руд, обладающих сорбционной активностью.....	50
В.С.Лепихов, Ю.В. Ильина, А.А. Марденова, И.В.Ноздрин. Исследование возможности переработки оксида вольфрама в плазменном реакторе.....	54
Е.А. Мартусевич, Д.А. Гавриленко, В.О. Митягин, И.В. Ноздрин. Оптимизация технологии получения алюминиевых сплавов на основе информационно-обучающей системы «Алюминщик».....	57
Г.А. Ломтиков, Т.А. Пескова, Т.С. Минеева. Интенсивное цианирование гравиоконцентратов на модуле «АВГУСТ».....	61
Л.М. Данилин, Т.Н. Луговицкая, Д.А. Рогожников. Поверхностное натяжение растворов ПАВ в азотнокислой среде и перспективы их использования при выщелачивании сырья цветных металлов.....	64
О.А. Полях, И.В. Ноздрин, Н.Ф. Якушевич, Е.Н. Чернева, А.А. Хорощенко. Особенности восстановительных процессов при производстве ферросилиция.....	67
О.А. Полях, И.В. Ноздрин, Н.Ф. Якушевич, С.А. Сюльдина, М.А. Ядыкина. Особенности механизма синтеза карбида кремния в печах сопротивления.....	70
О.А. Полях, И.В. Ноздрин, И.В. Строкина, Е.С. Безрукова, Е.Н.Чернева. Термодинамические условия интенсификации восстановления железорудного сырья.....	73
А.А. Бабинцев, Д.И. Головкин, Д.А. Рогожников. Исследование влияния скорости подачи хлора на процесс хлорирования бадделеитового концентрата.....	76
И.М. Чикичев, Н.В. Немчинова. Современное состояние алюминиевой промышленности.....	79
О.Ю. Маковская, Л.В. Соколов, О.В. Чемезов, А.В. Лукинских. Извлечение скандия из трудновскрываемых титано-магнетитовых руд.....	82
Д.И. Блудова, С.В. Мамяченков, А.Д. Михайловских, Б.К. Мочалов, А.С.Ханжина. Извлечение металлов при переработке пыли медеплавильного производства.....	85
Э.О. Воронич. Обзор технологии печати гибридным металлполимерным филаментом.....	89

СЕКЦИЯ № 2. Актуальные проблемы химии и химической технологии

Д.С. Васильченко, Е.В. Янчуковская. Повышение биодоступности лекарственных препаратов методом образования солей.....	91
А.А. Логвин, Е.В. Янчуковская. Математическая модель и алгоритм расчета поверхностных теплообменных аппаратов.....	94
Л.В. Хогоева, А.А. Яковлева. Особенности адгезионных взаимодействий на поверхности стали с антикоррозионным покрытием на основе стирол-акриловых латексов.....	96
Р.Д. Саидов, Н.Д. Губанов. Установка концентрирования водного раствора аммиака.....	99
В.А. Рыбалко, Т.В. Сауло. Химико-аналитическое исследование определения содержания йода в рассоле с устранением мешающего влияния броматов.....	102
З.А. Зомберг, В.Ю. Конюхов. Современное состояние и перспективы развития процесса каталитического крекинга нефтяного сырья.....	105
О.В. Белозерова, А.А. Турусин, А.А. Шовкомуд. Перспективы применения углеродистых остатков в качестве добавок к пластичным смазкам.....	107
О.Ю. Григорьева. Новые возможности современных мембран.....	110
А.В. Багдueva, Ю.А. Айзина. Применение твердых дисперсных систем для повышения биодоступности лекарственных веществ.....	113
Т.Н. Буханова, С.Г. Дьячкова, Е.Б. Ковалева. Исследование методов обессеривания нефтепродуктов.....	116
В.В. Мельников, В.А. Крыжников. Каталитический риформинг, химизм, основные технологические параметры.....	119
К.А. Россов. Разновидности установок испарения сжиженных углеводородных газов.....	122
Д.В. Бережная, В.В. Баяндин. Производство этил-трет-бутилового эфира на базе установки метил-трет-бутилового эфира.....	125
А.О. Монтошкинова, В.В. Баяндин. Способы осушки попутного нефтяного газа.....	128
А.Б. Чимитдоржиева, Т.А. Подгорбунская. Соответствие физико-химических свойств товарных масел значениям производителей....	131
Е.Б. Дульбеева, Т.А. Подгорбунская, А.Б. Чимитдоржиева. Катализаторы процесса каталитического крекинга.....	134

А.М. Адушинова, Ю.А. Айзина. Оценка возможности альтернативных методов очистки от сероводорода и меркаптанов в АО «АНХК».....	137
Л.Б. Дамбиева, В.В. Баяндин. Модернизация установки комплексной подготовки нефти.....	140
М.В.Сулицкая, Н.Б. Алимов, А.А. Чайка. Проблема загрязнения окружающей среды при производстве бутиловых спиртов.....	142
М.В.Сулицкая, Д.А. Павлова, М.Е.Мостовская, А.А. Чайка. Жидкое биотопливо из древесных отходов в России, его способ получения и преимущества.....	145
С.Д. Тишин, А.В. Селезнев. Разработка устойчивых водных дисперсий твёрдых радикальных инициаторов с целью их применения в суспензионной полимеризации винилхлорида.....	148
А.Н. Петрова, Л.А. Бегунова. Определение поллютантов в свалочном фильтрате.....	150
Н.С. Назаров, Г.В. Боженков. Каталитическая депарафинизация средних дистиллятов.....	153
В.А.Фрейнд, А.А. Яковлева. Сравнение поглотительных качеств природных и промышленных адсорбентов по отношению к эмульсиям нефтепродуктов.....	156
С.Н. Евсеева, О.В. Белозерова. Фритюрное масло как основа загустителя пластичных смазок.....	159
Т.К. Касиров, Ю.А. Айзина, Д.О. Ткачук. Оценка качества воды в источниках водоснабжения.....	163
А.И. Прокофьев, В.В. Баяндин. Борьба химическим способом с солеотложениями гипса в трубопроводах и другом оборудовании при добыче нефти.....	166
Ю.М. Коньков, В. В. Баяндин. Проблема выбора катализаторов при риформинге.....	169
В.И. Дударев, Ю.И. Коконова, Д.И. Дударев, Л.Д. Лиховид, М.А. Давыдова. Сорбционное взаимодействие ионов никеля(II) с углеродными материалами.....	172

СЕКЦИЯ № 3. Интенсификация, контроль и автоматизация технологических процессов

А.Е. Рыбин, Ю.Э. Голодков. Автоматизация процесса контроля качества продукции фармацевтических лабораторий.....	174
--	------------

Ю.В. Карасёва, Ю.Э. Голодков. О системе автоматического мониторинга микроклимата на складах фармацевтического производства.....	177
Т.В. Батурицкий, Ю.Э. Голодков. О развитии адаптивных систем управления технических объектов в условиях неопределенности.....	180
Н.А. Сизых, П.Р. Ершов. Современные средства автоматизации как способ повышения показателей качества производства.....	182
А.В. Дулов, А.О. Ващенко, С.И. Половнева, Е.А. Анциферов. Цифровая трансформация метрологического обеспечения предприятий	185
М.Д. Коробов, П.Р. Ершов. Дополнительное охлаждение газотурбинных агрегатов.....	188
П.Р. Ершов, А.И. Жданов. Теоретические аспекты управления процессом сушки ПВХ.....	190
Д.С. Фалилеев, А.Е. Овсяков. Процесс флотации как объект управления.....	193
К.Е. Пежемский, Е.А. Овсяков. Выбор российского программируемого логического контроллера.....	196
В.Н. Лузгин, Е.А. Овсяков. Применение среды Simintech при имитации систем управления технологическими процессами.....	198
К.А. Россов, О.В. Лазарева. Кожухотрубный испаритель СУГ как объект управления.....	201
К.Д. Миниханов, А.Е. Овсяков. Разработка систем диспетчеризации транспортных средств в рамках нефтегазовых месторождений.....	205
А.А. Лисицына, В.В. Ёлшин, А.П. Миронов. Алгоритм идентификации математической модели кинетики сорбции золота активированным углем в замкнутом объеме.....	208
М-О.В. Гармаев, Е.А. Гусева. Патентный обзор технологического оборудования, применяемого для производства растительных масел.....	213
З.А.Зомберг, В.Ю. Конюхов. Инновационные способы повышения экологичности подземных газгольдеров.....	216
И.А.Борисов, И.Л.Ильина. Разработка виртуального стенда по поверке расходомеров.....	220
А.А. Терентьева, Д.А. Золотухин, Е.А. Овсяков. Разработка требований к системе управления лабораторной информацией.....	223

К.В. Черниговский, В.М. Салов. Разработка новой модели управления температурой в кубе колонны стабилизации бензина на базе нечеткой логики.....	226
С.А. Сапунова, С.И. Половнева, А.А. Подкорытов, Д.А.Маклецов. К вопросу импортозамещения в области автоматизации технологических процессов.....	229
А.А. Большедворский, О.В. Лазарева. Система ПАЗ рециркуляционной колонны установки получения линейных альфа-олефинов.....	233

СЕКЦИЯ № 4. Менеджмент систем качества

П.А. Лонcich, Хэ Цзе Дун, Н.П. Лонcich, А.В. Федотова. Разработка, внедрение и сертификация систем менеджмента качества на основе требований стандарта ISO 9001:2015 на примере компании Shenyang Bona Titanium Technology Co., Ltd, Китай.....	237
А.О. Ли. Цифровизация управления качеством.....	242

СЕКЦИЯ № 5. Инноватика в технологиях и управлении

Л.Д. Лиховид, А.А. Яковлева. Инновационные технологии в «физической химии».....	246
Б.Т. Дякив, А.С. Бовкун. Инновации в области аккумуляторных технологий.....	248
П.А. Дудина, А.С. Бовкун. Инновации и прорывные технологии в энергетике.....	252
П.А. Дудина, О.А. Шишлянникова. Инновационная технология преобразования углекислого газа в топливо.....	256
Б.Т. Дякив, О.А. Шишлянникова. Инновационные технологии в энергетике.....	259
А.В. Синицин, О.М. Сафонова, Т.А. Опарина. Производственные издержки и критический объем производства в машиностроительной отрасли.....	263

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

3. 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.

УДК 662.732

ОСОБЕННОСТИ МЕХАНИЗМА СИНТЕЗА КАРБИДА КРЕМНИЯ В ПЕЧАХ СОПРОТИВЛЕНИЯ

О.А. Полях¹, И.В. Ноздрин², Н.Ф. Якушевич³, С.А. Сюльдина⁴, М.А. Ядыкина⁴

¹к.т.н., доцент кафедры МЦМиХТ ФГБОУ ВО «СибГИУ», г. Новокузнецк, e-mail: kafcmet@sibsiu.ru

²д.т.н., профессор кафедры МЦМиХТ ФГБОУ ВО «СибГИУ», г. Новокузнецк, e-mail: kafcmet@sibsiu.ru

³д.т.н., профессор кафедры МЦМиХТ ФГБОУ ВО «СибГИУ», г. Новокузнецк, e-mail: kafcmet@sibsiu.ru

⁴магистрант гр. ММХТ-22, ФГБОУ ВО «СибГИУ», г. Новокузнецк, e-mail: kafcmet@sibsiu.ru

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, абразивных и огнеупорных материалов, высокотемпературных, электронагревателей, полупроводниковых элементов.

Условия образования карбида кремния в наиболее распространенном варианте синтеза в керновых печах Ачесона требуют тщательного теоретического анализа. Основные представления о механизме образования карбида кремния систематизированы в [1-5]. Целью настоящей работы является уточнение существующей модели на основе современных экспериментальных и расчетных данных.

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



химизм процесса, как показывает термодинамический анализ процесса восстановления кремнезема углеродом [2 - 4] и кинетические исследования взаимодействий типа $\text{SiO}_2 + \text{C}$, $\text{SiO}_2 + \text{SiC}$, $\text{SiO} + \text{C}$, оказывается достаточно сложным и предполагает участие в процессе промежуточных продуктов – 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 1.

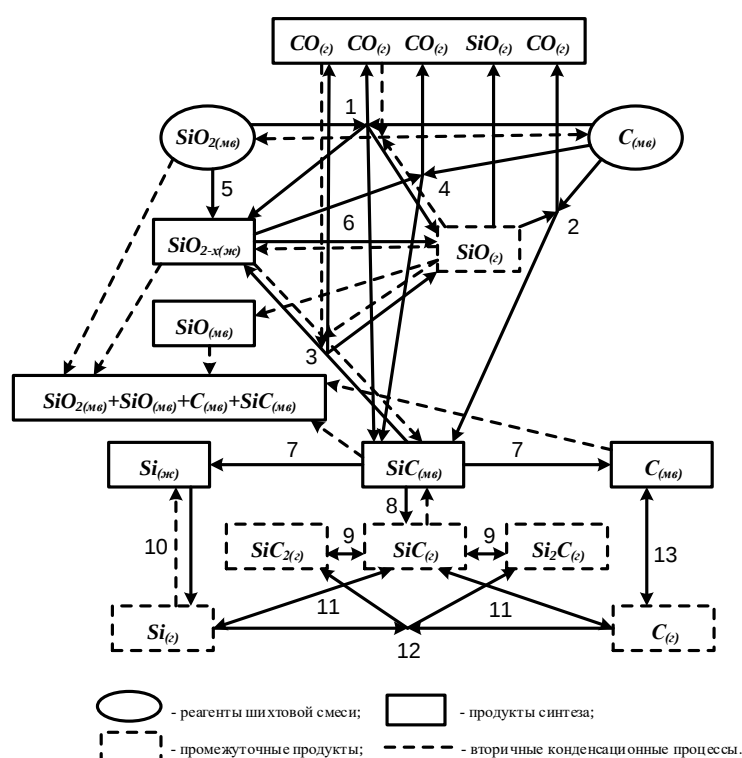


Рисунок 1 – Схема взаимодействий в процессе карботермического синтеза карбида кремния

При использовании достаточно мелких хорошо перемешанных материалов первичным взаимодействием является твердофазное контактное взаимодействие оксида кремния с углеродом $\text{SiO}_{2(\text{ТВ})} + \text{C}_{(\text{ТВ})}$ (1), в результате которого уже при температуре $\approx 1500\text{K}$ 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.

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.

При нагреве до температур выше 2400 К карбид кремния начинает частично 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 $SiO_2 + 2C = Si + 2CO$), в этом случае получается «закрепленный продукт».

При еще более высоких температурах (более 2600 К) карбид кремния начинает заметно сублимировать (8) (путно 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.

Список источников:

1. Физико-химические основы карботермического восстановления оксида кремния в печи сопротивления / Полях О.А., Ноздрин И.В., Строкина И.В. [и др.]. // Металлургия: технологии, инновации, качество «Металлургия – 2022»: сб. тр. XXIII Междунар. науч.-практ. конф. Часть 1. – СибГИУ. – Новокузнецк, 2022. – С. 180 – 186.

2. Якушевич, Н.Ф. Термодинамическая модель углеродтермического производства карбида кремния / Н.Ф. Якушевич, С.Ф. Павлов // Сб. науч. трудов «Кремнистые ферросплавы». – М., Металлургия, 1988. – С. 100-106.
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. 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 : матер. Всерос. науч.-техн. совещ. – Санкт - Петербург : С-ПтТИ, 1998. – С. 59 - 65.
5. Полях, О.А. Анализ физико-химических процессов образования и исследование свойств микрокремнезема/ О.А. Полях, Г.В. Галевский, Н.Ф. Якушевич // Вестник ГМС РАЕН. Отделение металлургии. Москва – Новокузнецк: СибГИУ. 2015. Вып. 15. – С. 49–55.

УДК 669.041

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО СЫРЬЯ

О.А. Полях¹, И.В. Ноздрин², И.В. Строкина³, Е.С. Безрукова⁴, Е.Н. Чернева⁴

¹к.т.н., доцент кафедры МЦМиХТ ФГБОУ ВО «СибГИУ», г. Новокузнецк, e-mail: kafcmetsibs@yandex.ru

²д.т.н., профессор кафедры МЦМиХТ ФГБОУ ВО «СибГИУ», г. Новокузнецк, e-mail: kafcmetsibs@yandex.ru

³к.т.н., ст. преподаватель кафедры МЦМиХТ ФГБОУ ВО «СибГИУ», г. Новокузнецк, e-mail: kafcmetsibs@yandex.ru

⁴магистрант гр. ММХТ-22, ФГБОУ ВО «СибГИУ», г. Новокузнецк, e-mail: kafcmetsibs@yandex.ru

В современной металлургической промышленности при использовании в шихте металлизированного железорудного сырья, процесс восстановления оксидов железа в 85% случаев осуществляется конвертированным природным газом, состоящим, в основном, из СО и Н₂. Соответствующие установки газофазного восстановления требуют дополнительных конструктивных затрат, связанных с каталитическим конвертированием и подводом газа-восстановителя. Оптимальную восстановительную газовую среду можно создать при углеродотермическом восстановлении с добавлением в газовую фазу определенного количества водорода. Твердый углерод в этом случае