

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное**  
**учреждение высшего образования**  
**«Сибирский государственный индустриальный университет»**

**НАУКА И МОЛОДЕЖЬ:  
ПРОБЛЕМЫ, ПОИСКИ, РЕШЕНИЯ**

**ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

**ВЫПУСК 26**

*Труды Всероссийской научной конференции  
студентов, аспирантов и молодых ученых  
17 – 18 мая 2022 г.*

**ЧАСТЬ I**

Под общей редакцией профессора С.В. Коновалова

**Новокузнецк  
2022**

ББК 74.48.288

Н 340

Редакционная коллегия:

д-р техн. наук, профессор Коновалов С.В.,  
д-р физ.-мат. наук, профессор Громов В.Е.,  
д-р техн. наук, профессор Фрянов В.Н.,  
канд. техн. наук, доцент Чаплыгин В.В.,  
д-р техн. наук, профессор Козырев Н.А.,  
д-р техн. наук, доцент Фастыковский А.Р.,  
канд. техн. наук, доцент Риб С.В.

Н 340

Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 17–18 мая 2022 г. Выпуск 26. Часть I. Естественные и технические науки / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Сибирский государственный индустриальный университет ; под общ. ред. С.В. Коновалова – Новокузнецк; Издательский центр СибГИУ, 2022. – 427 с. : ил.

ISSN 2500-3364

Представлены труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых по результатам научно-исследовательских работ. Первая часть сборника посвящена актуальным вопросам в области естественных наук, перспективных технологий разработки месторождений полезных ископаемых; metallургических процессов, технологий, материалов и оборудования.

Материалы сборника представляют интерес для научных и научно-технических работников, преподавателей, аспирантов и студентов вузов.

ISSN 2500-3364

© Сибирский государственный  
индустриальный университет, 2022

### **III МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ТЕХНОЛОГИИ, МАТЕРИАЛЫ И ОБОРУДОВАНИЕ**

УДК 669.15-198

#### **БРИКЕТИРОВАННАЯ ШИХТА ДЛЯ ВЫПЛАВКИ КРЕМНИСТЫХ СПЛАВОВ**

**Мосин Р.А. Лазаревская М.Н. Лазаревский П.П.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Уманский А.А.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: lazura@ya.ru*

Новым направлением в технологии карбида кремния, позволяющим достичь нужных характеристик продукта и отвечающим требованиям ресурсо-сбережения, является использование в качестве сырья тонкодисперсных кремнеземсодержащих материалов техногенного и природного происхождения, не представляющих ценности и имеющих большие объемы накоплений. Целью проведения исследований по определению параметров брикетирования микрокремнезема с углеродистым восстановителем является определение возможности получения карбида кремния из брикетированной моношихты.

**Ключевые слова:** микрокремнезем, карбид кремния, брикетирование, углеродистый восстановитель.

В лабораторных условиях проведена исследовательская работа по определению технологических параметров брикетирования микрокремнезема с углеродистым восстановителем. На лабораторном брикет-прессе изготовлены брикеты с различными видами связующих материалов. Для изготовления брикетов были использованы следующие сырьевые материалы:

- микрокремнезем;
- полукокс;
- жидкое стекло натриевое плотностью 1320 кг/м<sup>3</sup>;
- бентонитовый порошок;
- шлак доменный гранулированный молотый;
- борная кислота сухая;
- опилки древесные<sup>4</sup>
- молотый пеносиликат фр.0 – 0,14 мм;
- кислота серная плотностью 1800 кг/м<sup>3</sup>;

Химический состав микрокремнезема представлен в таблице 1.

Результаты исследований минерального состава микрокремнезема помощью рентгеноструктурного анализа (рисунок 1) показали, что основным компонентом материала является аморфный диоксид кремния и не содержит других модификаций.

Таблица 1 – Химический состав микрокремнезема

Содержание компонентов, масс %											
C	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	P	S	CaO	FeO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Zn	Pb
1,47	0,65	87,1	0,09	0,23	0,35	1,26	2,11	1,08	2,07	0,16	1,48

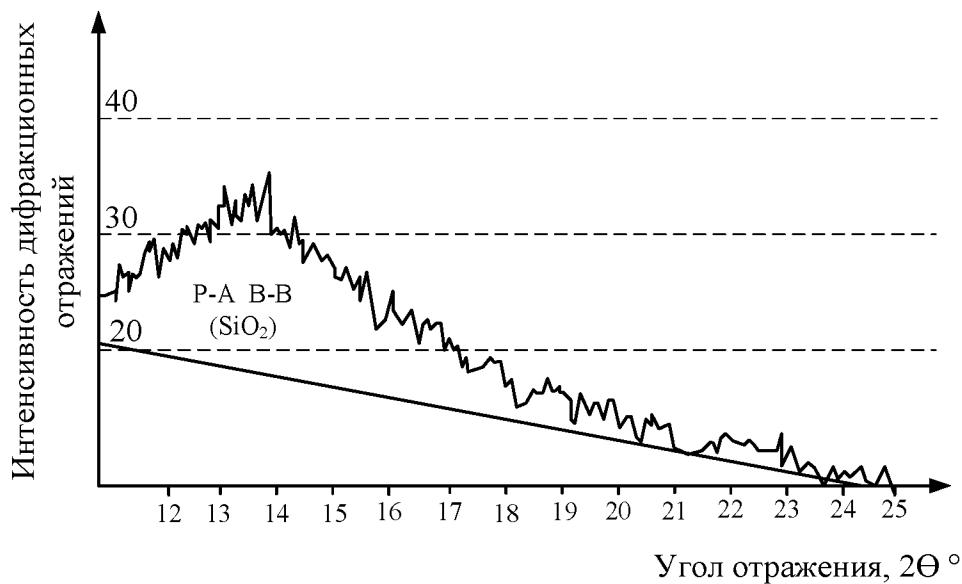


Рисунок 1 – Рентгенофазовая дифрактограмма микрокремнезема

Количество микрокремнезема и углеродистого восстановителя стехиометрически рассчитывали по реакции получения карбида кремния.

Количественный состав шихты для брикетирования, условия изготовления и качественные характеристики брикетов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Количественный состав шихты и характеристики брикетов

№ со-става	Состав	Количе-ство, % по массе	Усилие прессова-ния, МПа	Плотность брикетов, кг/м <sup>3</sup>	Проч-ность/осыпаемо-сть, %
1	Микрокремнезем Полукокс Бентонитовый по-рошок (влажность 10%) Вода	46,34 33,33 4,07 16,26	29	1370	86,03/13,97 (1 сутки)
2	Микрокремнезем Полукокс Бенто-нитовый порошок (влажность 10%) Вода	47,11 33,88 2,48 16,53	29	1393	98,55/1,45 (2 суток)
3	Микрокремнезем Полукокс Бенто-нитовый порошок (влажность 10%) Вода	47,64 34,27 1,38 16,71	29	1379	91,08/8,92 (1 сутки)

Продолжение таблицы 2

№ состава	Состав	Количество, % по массе	Усилие прессования, МПа	Плотность брикетов, кг/м <sup>3</sup>	Проч- ность/осыпаемо- сть, %
4	Микрокремнезем Полукокс Борная кислота Вода	47,50 34,17 1,67 16,66	29	1463	94,47/5,53 (1 сутки)
5	Микрокремнезем Полукокс Молотый гран- шлак Древесные опилки Жидкое стекло натриевое Вода	44,53 32,03 1,17 3,91 1,17 17,19	29	1318	86,51/13,49 (1 сутки)
6	Микрокремнезем Полукокс Молотый пеноси- ликат Жидкое стекло натриевое Вода	45,97 33,06 2,02 1,21 17,74	29	1326	98,18/1,82 (1 сутки)
7	Микрокремнезем Полукокс Молотый пеноси- ликат Серная кислота Вода	46,15 33,20 2,02 0,81 17,82	29	1366	94,47/5,53 (1 сутки)

Брикеты сушились в естественных условиях, при температуре 15°C. Определение прочности брикетов определялось методом 4-х кратного сбрасывания с высоты 1,5 м.

Экспериментальные образцы (составы №№ 2,4,5,6,7) исследовались на предмет получения карбида кремния в виде брикета с достаточной транспортной прочностью.

Изотермическую выдержку брикетов проводили в печи сопротивления (Таммана) с трубчатым угольным нагревателем при температуре 1600 °C. Графитовый тигель с брикетом, состоящим из микрокремнезема и полукоксом, помещали в предварительно разогретую печь и выдерживали в течение 40 мин. Фотографии брикетов до и после термической обработки представлены на рисунках 2–6.

Результаты испытаний брикетов на механическую прочность показали, что независимо от вида связующего при прочих равных условиях (количественный и качественный состав брикетов, условия получения карбида кремния), полученные брикеты карбида кремния разрушаются при минимальном физическом воздействии – нажатии [1].



Рисунок 2 – Брикет состав № 2



Рисунок 3 – Брикет состав № 4



Рисунок 4 – Брикет состав № 5



Рисунок 5 – Брикет состав № 6



Рисунок 6 – Брикет состав № 7

Таким образом, в результате низкой механической прочности принято решение производить порошок карбида кремния с последующим брикетированием. Для определения технологических параметров брикетирования карбида кремния проведены работы по получению опытной пробы карбида кремния.

Для проведения опытных плавок были изготовлены брикеты с органическим связующим (клей карбоксиметилцеллюлозный КМЦ) для снижения количества вносимых в шихту со связующим примесей.

Для изготовления брикетов были использованы следующие сырьевые материалы:

1. Микрокремнезем;
2. Полукокс;
3. Клей КМЦ;
4. Вода.

Количество микрокремнезема и углеродистого восстановителя рассчитывался, исходя из содержания диоксида кремния и углерода в них, на основании реакции получения карбида кремния с 10 % избытком углерода. Для приготовления раствора клея КМЦ 21 г сухой смеси растворялись в 0,5 л теплой воды. Раствор выстаивался 2 часа для полного растворения клея. Количественный состав шихты для брикетирования, условия изготовления и качественные характеристики брикетов представлены в таблице 3.

Брикеты сушили в естественных условиях, при температуре 23°C. Прочность брикетов определяли методом 5-ного кратного сбрасывания с высоты 1,5 м. При использовании раствора мелассы в брикетировании микрокремнезема с углеродистым восстановителем возникли проблемы с извлечением брикета из формы (прилипание). Использование КМЦ в количестве 0,42 % на сухое вещество позволяет получать брикеты с высокой механической прочностью.

Таблица 3 – Количественный состав шихты и характеристики брикетов

Состав	Кол-во, % по массе	Усилие прессования, МПа	Плотность брикетов, кг/м <sup>3</sup>	Прочность/осыпаемость, %
Микрокремнезем	46,62			
Полукокс	36,72			
Клей КМЦ	8,33			
Вода	8,33			
		29	1308	94,65/5,35

Опытные плавки проводили в печи сопротивления с трубчатым угольным нагревателем. Нижняя часть печи оборудована шиберной заслонкой, которая позволяет при ее открытии обеспечить сквозное прохождение материалов через внутреннее пространство нагревателя. В предварительно разогретую печь до температуры 1600 °C загружали брикеты, таким образом, чтобы они полностью заполняли пространство нагревателя. Сверху рабочее пространство нагревателя закрывали асбестовой пробкой с отверстием в центре ( $d = 20$  мм) для выхода газов.

Продолжительность изотермической выдержки в среднем составила 60 мин. Индикатором завершения восстановительных процессов являлось пламявыделение (рисунок 8). Благодаря интенсивности пламявыделения можно судить о протекании и прекращении восстановительного процесса в результате, которого образующийся оксид углерода(II) догорает на выходе из печи.

В рабочем состоянии шиберная заслонка закрывает нижнее отверстие печи и обеспечивает задержку букетов. В результате термического воздействия в брикетах протекает процесс восстановления кремния, до карбида и

происходит их разрушение. Образовавшийся карбид кремния накапливался в нижней части печи, который посредством открытия шибера выгружали в поддон. В среднем за одну плавку выгружали 300 г карбида кремния. Химический и рентгенофазовый анализ приведен в таблице 4 и на рисунке 8 [1].

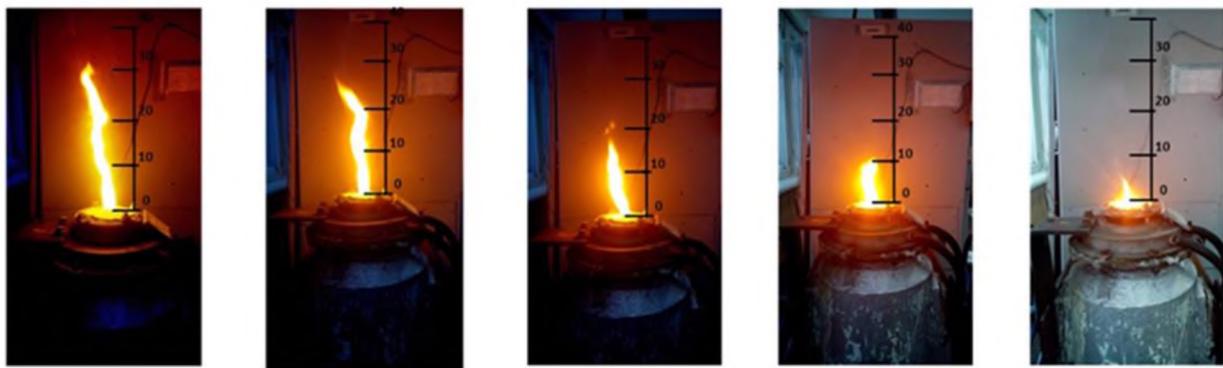


Рисунок 7 – Пламявыделение в процессе изотермической выдержки

Таблица 4 – Химический состав карбида кремния

Массовая доля компонента, %			
$\text{SiO}_2(\text{ост})$	$\text{C}(\text{ост})$	$\text{SiC}$	$\text{Fe}_3\text{C}$
7,06	3,08	80,89	3,49

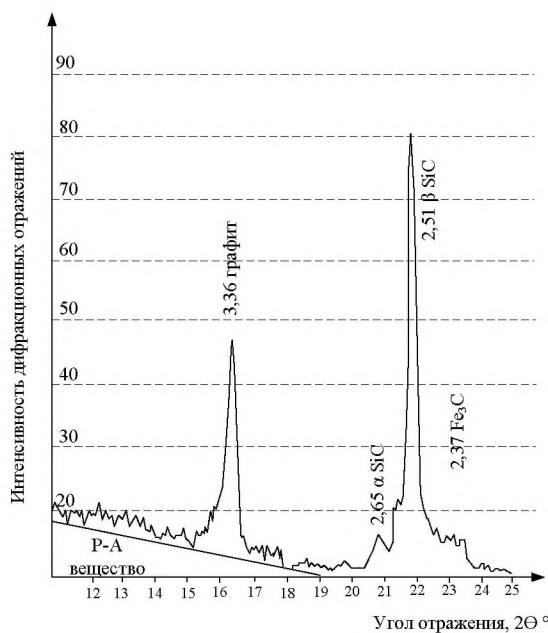


Рисунок 8 – Рентгенофазовая дифрактограмма карбида кремния

Из результатов химического и рентгенофазового анализа следует, что в продукте восстановления присутствует остаточный аморфный кремнезем и углерод в виде графита. Вероятно, это связано с тем, что в процессе выгрузки в карбид кремния попадает часть не прореагировавшей шихты из верхних горизонтов печи.

Для оценки физического и химического воздействия на нагреватель после эксперимента его демонтировали и визуально осмотрели на предмет повреждений. Фотографии нагревателя приведены на рисунке 9.

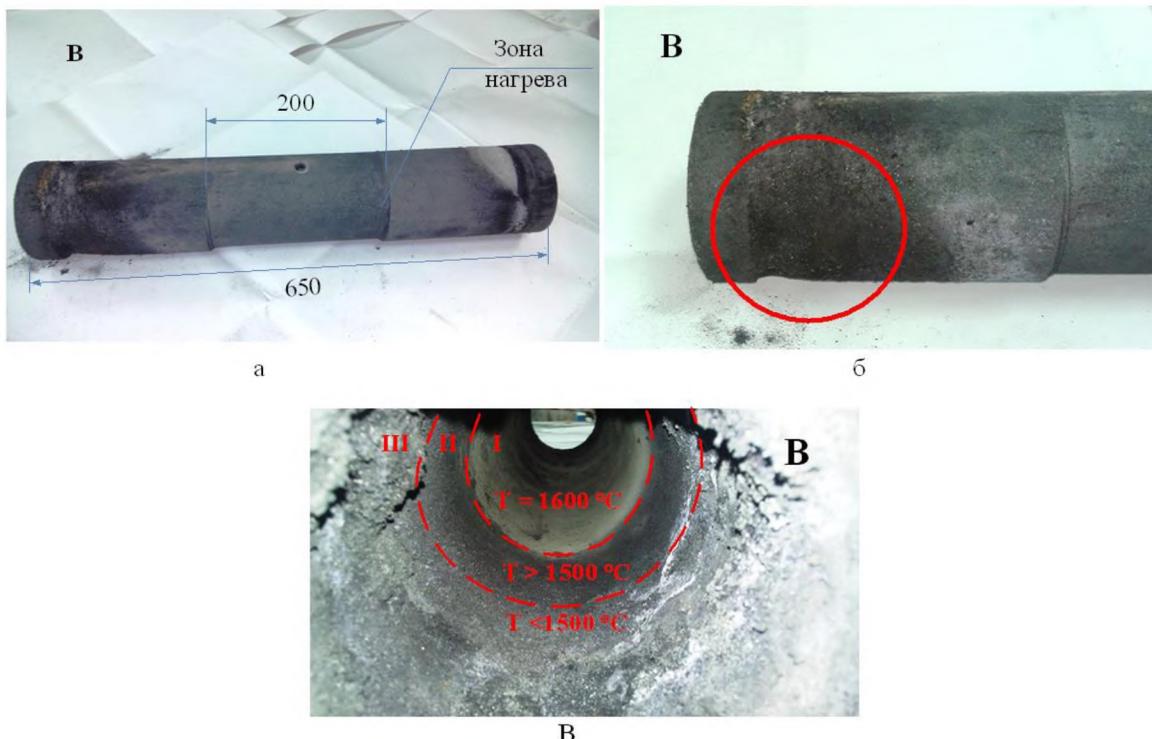


Рисунок 9 – Нагреватель трубчатый после проведения экспериментов

На рисунке 9а представлены габариты нагревателя печи сопротивления. Осмотр нагревателя позволил установить наличие повреждений с внешней стороны (рисунок 9б). Из рисунка 9б видно, что в процессе экспериментов происходило подгорание нагревателя с внешней стороны, что связано с неплотно состыкованной крышкой печи с кожухом. В результате подсоса воздуха происходило окисление нагревателя.

Визуальный осмотр внутреннего пространства нагревателя (рисунок 9в) позволил установить основные зоны процесса восстановления кремния до карбида.

Зона I – основное реакционное пространство, в котором происходит карбидообразование и восстановление кремния на монооксида.

Зона II – предположительно в данном пространстве протекает процесс диспропорционирования монооксида кремния с образованием аморфного кремнезема.

Зона III – область конденсирования аморфного кремнезема на поверхности брикетов и стенках нагревателя.

При этом зона I покрыта карбидом кремния пронизывающим всю толщину стенки нагревателя. Это факт положительно влияет на физические характеристики нагревателя. В результате карбидизации улучшается стойкость нагревателя к окислению и износу, что обеспечивает сохранение равномерного распределения токовой нагрузки и нагрева [1].

Комплекс проведенных исследований показал, что микрокремнезем производства является перспективным металлургическим сырьем и может быть использован для производства карбида кремния.

## Библиографический список

1. Лазаревский П.П. Комплексное изучение металлургических характеристик и повышение эффективности использования кварцитов Сунгайского рудопроявления: дисс. канд. техн. наук, спец. 05.16.02 / П.П. Лазаревский – Новокузнецк, 2013. – 120 с.

УДК: 669.15-198

## ПОЛУЧЕНИЕ КАРБИДА КРЕМНИЯ ИЗ ВЫСОКОЗОЛЬНЫХ УГЛЕЙ

**Мосин Р.А., Лазаревская М.Н., Лазаревский П.П.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Уманский А.А.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: lazura@ya.ru*

В рамках исследовательской работы высокотемпературная приролизация длиннопламенных высокозольных улей. В результате высокой концентрации кремнезема в золе угля при изотермической выдержке произошла реакция восстановления кремния до карбида.

Ключевые слова: углеродистый восстановитель, карбид кремния, кремнезем, пиролиз.

Традиционно одним из требований к углеродистым восстановителям при выплавке кремнистых сплавов является низкое содержание золы [1]. Однако в составе золы различных углей содержится кремнезем. При этом его концентрация изменяется в широких пределах. Целью исследований является определение возможности получения карбида кремния из высокозольных углей.

Опытные работы проводили в индукционной печи УИ-35П при температуре 1650 – 1680 °С. В качестве исходного сырья использовали уголь марки Д (фр. 0 – 40 мм). Технический анализ углей: зола  $A_d$  12,91%, летучие  $V_d$  28,78%, влаг  $W_t$  4,25, содержание  $SiO_2$  в золе 63,41%. Навеску угля помещали в графитовую трубу ( $\varnothing_{внутр} = 80$  мм.), установленную в тигель индукционной печи, и производили набор мощности. В результате воздействия электромагнитного поля происходила передача тепловой энергии нагреваемой графитовой трубы к углю. С целью предотвращения взаимодействия угля с воздухом в процессе нагрева верхний торец трубы плотно закрывали асbestosовой крышкой. Для отвода образующихся газов в крышке выполнено отверстие 10 мм в которое установлена кварцевая трубка. Контроль температуры осуществляли посредством термопары BP5/20 спай, которой размещен в центр реакционной зоны графитовой трубы. Схема лабораторной установки приведена на рисунке 1.

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НА ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ РАБОТАХ	
<i>Тайлаков А.О., Кундро К.А.</i> .....	192
ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ КОНВЕЙЕРНОГО ТРАНСПОРТА НА УГОЛЬНОЙ ШАХТЕ	
<i>Тайлаков А.О., Кундро К.А.</i> .....	197
АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ И ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ ГОРНОРУДНОЙ ОТРАСЛИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ И РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН	
<i>Никитина А.М., Риб С.В.</i> .....	201
РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА МЕР ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗВИТИЯ ГОРНОРУДНОЙ ОТРАСЛИ В РОССИИ	
<i>Никитина А.М., Риб С.В.</i> .....	204
ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕСПЕРЕБОЙНОЙ РАБОТЫ МЕЛЬНИЦ МОКРОГО САМОИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ	
<i>Гельгенберг И.О., Садов Д.В.</i> .....	209
АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОГО И ИМПОРТНОГО ПРОХОДЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ШАХТАХ КУЗБАССА	
<i>Гельгенберг И.О.</i> .....	213
III МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ТЕХНОЛОГИИ, МАТЕРИАЛЫ И ОБОРУДОВАНИЕ .....	219
БРИКЕТИРОВАННАЯ ШИХТА ДЛЯ ВЫПЛАВКИ КРЕМНИСТЫХ СПЛАВОВ	
<i>Мосин Р.А. Лазаревская М.Н. Лазаревский П.П.</i> .....	219
ПОЛУЧЕНИЕ КАРБИДА КРЕМНИЯ ИЗ ВЫСОКОЗОЛЬНЫХ УГЛЕЙ	
<i>Мосин Р.А., Лазаревская М.Н., Лазаревский П.П.</i> .....	226
ПРОМЫШЛЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ВЫПЛАВКИ ФЕРРОСИЛИЦИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГАЗООБРАЗНОГО АЗОТА	
<i>Лазаревская М.Н. Лазаревский П.П.</i> .....	229
КОМБИНИРОВАННАЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА КАК СПОСОБ ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ	
СРЕДНЕУГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ	
<i>Кашин С.С.</i> .....	233
ПОЛУЧЕНИЕ ХРОМОНИКЕЛЕВЫХ ЧУГУНОВ МЕТОДОМ ПРЯМОГО ЛЕГИРОВАНИЯ	
<i>Трошкин М.В., Лазаревский П.П.</i> .....	237
РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО МОДЕРНИЗАЦИИ И ВЫБОРУ ГОРЕЛОЧНЫХ УСТРОЙСТВ РОТОРНЫХ ПЕЧЕЙ	
<i>Трошкин М.В. Лазаревский П.П.</i> .....	243
АНАЛИЗ ГАЗОНАСЫЩЕННОСТИ ЧУГУНОВ ВЧ50 И ЧХ3	
<i>Арапов С.Л., Мурзин А.К., Давыдович Р.Е.</i> .....	247
ЦИФРОВИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРИГОТОВЛЕНИЕМ ФОРМОВОЧНЫХ СМЕСЕЙ	
<i>Кокорин В.С., Буркова А.А., Морозов М.А.</i> .....	252