

**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 2***

**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 2 / под общ. ред. А.Б. Юрьева, Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2022. – 410 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»**

## Библиографический список

1. О порядке обучения по охране труда и проверки знания требований охраны труда // Пост. Пр-ва РФ №2464 от 24.12.21 г. [Электронный ресурс] URL: <https://base.garant.ru/403324424/> (Дата обращения: 08.08.2022).
2. Чернов К.В. Кодовая рефлексия и сциентирование опасности // Материалы конференции «Состояние и перспективы развития электротехнологии (XVI Бенардосовские чтения)». – Иваново: ИГЭУ, 2011. – С. 294-297.
3. Classes.ru. Иностранные языки для всех. // Словари онлайн. [Электронный ресурс] URL: <http://www.classes.ru/all-latin/dictionary-latin-russian1-term-20239.htm> (Дата обращения: 08.08.2022).
4. Моисеев Н.Н. Универсум. Информация. Общество. – М: Устойчивый мир, 2001. – 200 с.
5. ГОСТ 12.4.026-2015. Цвета сигнальные, знаки безопасности и разметка сигнальная. Назначение и правила применения. Общие технические требования и характеристики. Методы испытаний // Государственный стандарт [Электронный ресурс] URL: <https://base.garant.ru/71544076/> (Дата обращения: 08.08.2022).

УДК 669.162

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПРИРОСТА МАССЫ ШИХТОВЫХ АГРЕГАТОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ БРИКЕТОВ

Павловец В.М., Домнин К.И.

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, Россия, [rawlowets.victor@yandex.ru](mailto:rawlowets.victor@yandex.ru)*

***Аннотация.** Проведена оценка функционального назначения технологических добавок брикетуемой массы на различных этапах производственного маршрута окускования железосодержащего сырья. Представлена техника экспериментов и методика обработки экспериментальных данных. Обоснована необходимость формирования коагуляционных агрегатов в структуре самовосстанавливающихся брикетов. Приведены результаты исследования динамики прироста массы компонентов брикетуемой шихты в структуре коагуляционных агрегатов в технологии избирательного смешивания. Проанализированы зависимости прироста массы компонентов шихты от температуры жидкого восстановителя и технологической схемы смешивания компонентов брикетуемой массы. Проведена оценка развития макро- и микроструктуры коагуляционных агрегатов и показана их роль в прогнозировании скорости восстановления железосодержащего сырья.*

***Ключевые слова:** коагуляционные агрегаты, прирост массы, компоненты шихты, восстановитель, порообразующие добавки, железосодержащие брикеты, технология избирательного смешивания*

# INVESTIGATION OF THE DYNAMICS OF WEIGHT GAIN OF CHARGE AGGREGATES USED FOR THE PRODUCTION OF IRON-CONTAINING BRIQUETTES

Pavlovets V.M., Domnin K.I.

*Siberian state industrial University,  
Novokuznetsk, Russia, pawlowets.victor@yandex.ru*

**Abstract.** *An assessment of the functional purpose of technological additives of the briquetted mass at various stages of the production route of agglomeration of iron-containing raw materials was carried out. The technique of experiments and the method of processing experimental data are presented. The necessity of formation of coagulation aggregates in the structure of self-healing briquettes is substantiated. The results of a study of the dynamics of weight gain of the components of the briquetted charge in the structure of coagulation aggregates in the technology of selective mixing are presented. The dependences of the weight gain of the charge components on the temperature of the liquid reducing agent and the technological scheme of mixing the components of the briquetted mass are analyzed. The development of the macro- and microstructure of coagulation aggregates was assessed and their role in predicting the rate of reduction of iron-containing raw materials was shown.*

**Keywords:** *coagulation aggregates, weight gain, charge components, reducing agent, pore-forming additives, iron-containing briquettes, selective mixing technology.*

В железосодержащую шихту для производства металлургических брикетов вводят некоторое количество технологических добавок, каждая из которых выполняет определенные задачи [1-2]. Обязательным атрибутом брикетируемой массы являются связующие добавки. Основной связующей добавкой, обеспечивающей необходимую транспортную и металлургическую прочность брикетов, является жидкое стекло, являющееся наиболее распространенным и доступным упрочняющим материалом, выпускаемым промышленностью в больших объемах [2-3]. Жидкое стекло после смешивания с железосодержащими частицами и другими добавками склеивает их между собой и создает стандартную прочность брикетируемой массы, необходимую для выдерживания динамических и статических нагрузок при транспортировке и восстановлении. Для получения самовосстанавливающихся металлизированных брикетов и протекания первичного периода восстановления в шихту брикетов вводят восстановители – углеводородные добавки, которые при слабоокислительном или восстановительном обжиге железосодержащего сырья генерируют восстановительные газы [3-4]. Частицы восстановителя должны плотно контактировать с железосодержащими частицами, обеспечивая максимальную скорость восстановления оксидов железа. К этому можно добавить, что в настоящее время широко ведутся исследования по использованию нетрадиционных восстановителей техноген-

ного происхождения в сфере подготовки сырья к металлургическому переделу

[1,5]. К числу нетрадиционных восстановителей относится отработанное минеральное масло (ОММ), являющееся перспективным техногенным отходом и обладающее рядом технологических преимуществ в производстве окускованного железосодержащего сырья [6-9].

Для подачи к поверхности железосодержащих частиц технологических газов на всех этапах производственного маршрута в структуре брикета необходимо создать разветвленную сеть поровых каналов между поверхностью и центром прессовки. Общие принципы создания поровой структуры окускованных материалов включают формирование крупных и малоизвилистых пор, проницаемых для технологических газов. Эта достаточно сложная задача актуальна в настоящее время. Принудительное формирование указанной структуры в определенной степени способны создавать порообразующие добавки (ПД), которые одновременно могут выполнять функцию нетрадиционных восстановителей. В качестве ПД в последнее время предложено использовать измельченные отходы растительного происхождения на основе стеблей обмолоченных сельскохозяйственных структур (пшеницы, ржи, ячменя и др.). Объемы этих отходов неограниченны, а модифицированная структура ПД позволяет формировать регламентированную пористость и дает возможность прогнозировать повышение скорости восстановления окускованных продуктов [10-11].

Технологическая схема получения металлургических брикетов, содержащих вышеуказанные добавки, включает механическую подготовку ПД, дозирование и смешивание компонентов с получением брикетируемой массы и ее брикетирование. Техника брикетирования железосодержащих материалов во многом близка технологии прессования тонкодисперсного керамического сырья в производстве огнеупоров для металлургической промышленности, где разработаны известные, относительно малочисленные, режимы для смешивания прессуемой массы [12]. Механическая подготовка ПД преимущественно направлена на измельчение растительных частиц и подробно рассмотрена в источниках [9, 11]. Наличие нескольких видов технологических добавок различного агрегатного состояния позволяет отказаться от традиционного процесса смешивания, при котором все добавки смешиваются одновременно, и организовать избирательное и последовательное смешивание компонентов с получением шихтовых коагуляционных агрегатов (КА) на основе ПД, из которых формируется прочная структура брикета.

Целью настоящей работы является исследование динамики прироста массы компонентов шихты для брикетирования железосодержащей массы в процессе избирательного смешивания с получением шихтовых коагуляционных агрегатов и подбор оптимальной дозировки компонентов и схемы подготовки шихтовой смеси для производства металлургических брикетов.

Методика экспериментов заключалась в следующем. Для брикетирования использовали железорудный концентрат (ЖК) Тейского месторождения ( $Fe_{\text{общ}}=63,4\%$ ,  $d_{\text{ч}}=0,068$  мм). В качестве упрочняющей связки применяли

50 % раствор жидкого стекла (ЖС), обеспечивающий необходимую схватываемость массы в процессе технологических операций [6, 7]. Восстановителем являлось отработанное моторное масло ДВС, которое подогревали до 25, 50 и 90 °С в лабораторной электропечи. В качестве порообразующих добавок использовали фрагментированные трубчатые стебли зерновых культур диам. 1-2 мм и длиной 8-10 мм. Масса одного фрагмента ПД составляла 0,016–0,018 г. Фрагментированные частицы ПД являлись основой для формирования шихтовых коагуляционных агрегатов. В начале экспериментов ПД взвешивали на электронных весах типа VIBRA HT (Shinko Denshi НТР-220СЕ), обеспечивающих точность до 0,0001 г. Затем их помещали в один из вышеназванных компонентов и вручную перемешивали. На поверхности ПД формировался слой нового материала и ПД с этим слоем повторно взвешивали. После взвешивания ПД с первым материалом ее помещали в следующий материал и перемешивали, формируя на ПД второй слой и снова взвешивали. В конце экспериментов были сформированы КА, в центре которых располагались порообразующие добавки, на поверхности которых было сформировано три слоя материалов, располагавшихся в определенной последовательности. Трубчатая структура ПД предполагала внутри КА запертый воздух. Структура режимов и последовательность перемешивания компонентов брикетируемой массы приведены в таблице 1. После вылеживания и затвердевания КА визуально оценивали их макроструктуру и анализировали микроструктуру КА на металлографическом микроскопе Olympus GX-51 в ЦКП «Материаловедение» СибГИУ.

Таблица 1 – Структура режимов и последовательность смешивания компонентов брикетируемой массы

№ режима	Последовательность смешивания компонентов брикетируемой массы			
	1	2	3	4
1	ПД	ОММ	ЖС	ЖК
2	ПД	ЖС	ОММ	ЖК
3	ПД	ОММ	ЖК	ЖС
4	ПД	ЖС	ЖК	ОММ
5	ПД	ЖК	ОММ	ЖС
6	ПД	ЖК	ЖС	ОММ

После взвешивания ПД и компонентов брикетируемой массы на их поверхности рассчитывали относительные массы  $\Theta_m$ , %, по выражению

$$\Theta_m = (M_i / M_o) \times 100,$$

где:  $M_o$  – исходная масса порообразующих добавок, г;

$M_i$  – масса порообразующих добавок со слоем соответствующего  $i$ -го компонента смеси после перемешивания, г.

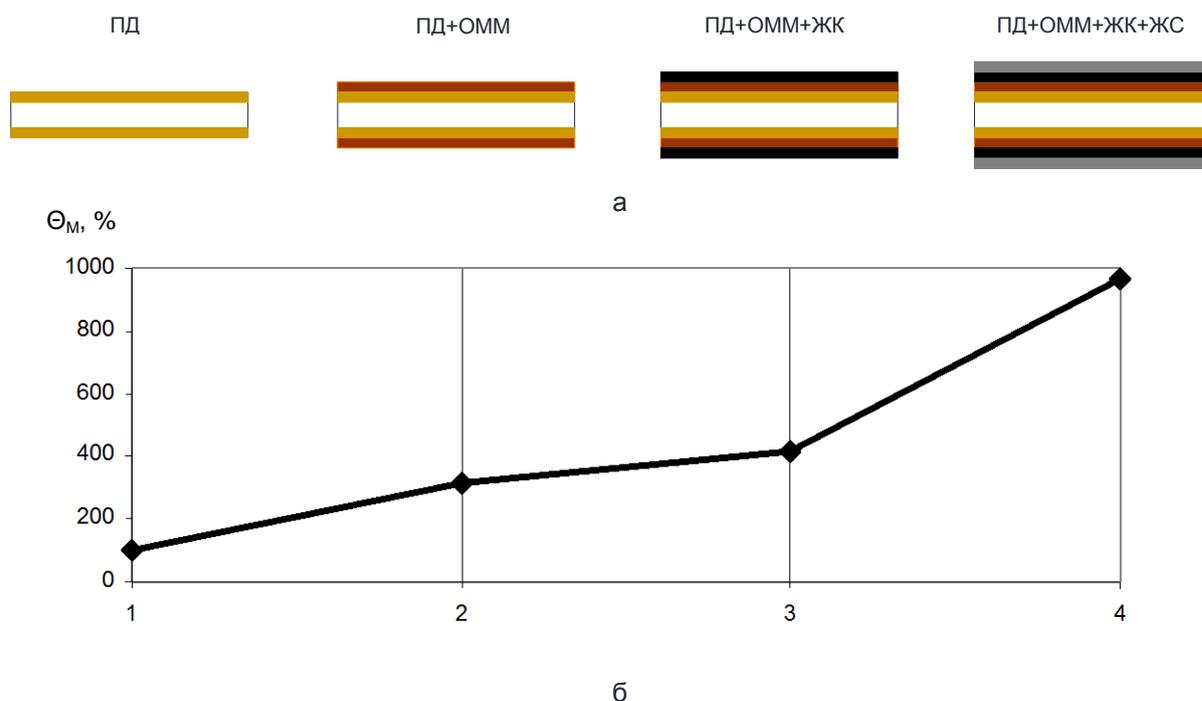
Прирост массы  $i$ -го компонента на поверхности ПД  $\Delta\Theta_m$ , %, рассчитывали по формуле:

$$\Delta\Theta_m = \Theta_{mi} - \Theta_{mi-1}$$

где  $\Theta_{M i}$  – относительная масса ПД со слоем  $i$ -го компонента на ее поверхности, %;

$\Theta_{M i-1}$  – относительная масса ПД со слоем  $i-1$ -го (предыдущего) компонента на ее поверхности, %.

Схема формирования слоев технологических добавок на поверхности ПД и динамика прироста массы поробразующих добавок показаны на рисунке 1. Зависимость прироста массы поробразующих добавок от температуры ОММ показана на рисунке 2.



В позиции б относительная масса: 1 – ПД, 2 – ПД и ОММ, 3 – ПД, ОММ и ЖК, 4 – ПД, ОММ, ЖК и ЖС  
 Рисунок 1 – Схема формирования технологических добавок на поверхности ПД – а и динамика прироста относительной массы поробразующих добавок – б

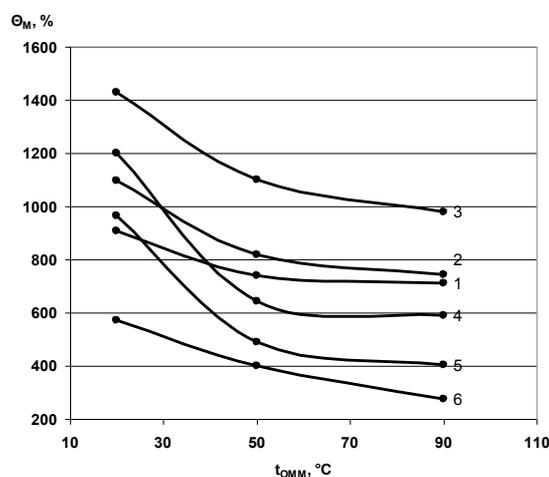


Рисунок 2 – Зависимость прироста относительной массы поробразующих добавок от температуры ОММ

В точке 1 (рисунок 1) для ПД значение  $\Theta_m$  составляло 100 %. Как видно из полученных результатов (рисунок 2) относительная масса ПД после избирательного смешивания способна возрасти от 100 до 1551 % (режим 3,  $t = 25^\circ\text{C}$ ), т.е., более чем в 15 раз. Для этого режима массовое содержание ПД в брикетируемой массе максимальное и составляет около 6,5 %. Это говорит о том, что еще до собственного брикетирования в процессе смешивания компонентов формируется первичное формообразование и упрочнение массы с образованием коагуляционных агрегатов (рисунок 3). В процессе последующего завершающего брикетирования эти агрегаты, обладающие первичной структурной прочностью, должны ее сохранить и сформировать прогнозируемую коагуляционную структуру брикета, показанную на рисунке 3.

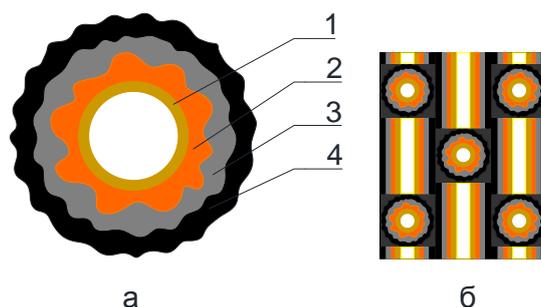


Рисунок 3 – Схема коагуляционного агрегата – а и сформированного железосодержащего брикета на его основе – б

Эти коагуляционные агрегаты, по предварительному прогнозу, в структуре брикетов должны сформировать очаги с повышенной скоростью восстановления оксидов железа. Находясь в структуре брикета, они упрочняются окружающим материалом, содержащим преимущественно концентрат и повышенное количество связующей добавки. Структура этих агрегатов и их прочность должны в максимальной степени удовлетворять всем требованиям, предъявляемым к металлургическому сырью.

Установлено, что на поверхности ПД, обладающей развитым микрорельефом, способны эффективно коагулироваться все компоненты, принимающие участие в формировании КА. Максимальной значение  $\Delta\Theta_m$  на твердой поверхности ПД формирует ЖС ( $\Delta\Theta_m = 288\%$ ), затем ОММ ( $\Delta\Theta_m = 176\%$ ) и после этого ЖК ( $\Delta\Theta_m = 122\%$ ), находящийся в другом агрегатном состоянии (рисунок 4). Когда на поверхности ПД формируется прослойка жидкости из ОММ или ЖС, то значение  $\Delta\Theta_m$  для железорудного концентрата многократно возрастает: на ЖС ( $\Delta\Theta_m = 605\%$ ), на ОММ ( $\Delta\Theta_m = 995\%$ ). Это связано с вязким поглощением твердых частиц ЖК жидкостями, обладающими низким поверхностным натяжением. У ОММ сила поверхностного натяжения существенно ниже, чем у ЖС и ее можно снизить увеличением температуры или применением поверхностно активных растворителей. При этом ПД достаточно эффективно пропитываются ОММ, что визуально подтверждается изменением цвета ПД. Взаимодействие ОММ и ЖС также неоднозначное. Процесс формирования массы ПД, содержащей на поверхности ОММ, с ЖС менее эффективный (режим 6,  $t = 25^\circ\text{C}$ ), поскольку при последующем пере-

мешивании ОММ смывается с поверхности ПД жидким стеклом. Обратная схема (ПД→ЖС→ОММ→ЖК) роста массы более эффективна, когда ЖС, содержащееся на поверхности ПД, в значительно меньшей степени смывается ОММ и способно эффективно поглощать ОММ (режим 5,  $t = 25\text{ }^\circ\text{C}$ ). По-видимому, наибольший прирост массы дает поглощение ЖК любой технологической жидкостью (ОММ, ЖС), поэтому слой сыпучего ЖК должен быть сформирован между ОММ и ЖС. Режим, при котором твердая поверхность ПД взаимодействует с ЖК, осложняется смывом частиц с поверхности ПД и характеризуется насыщением ее этими жидкостями. Поэтому получить на поверхности ПД в чистом виде массивный слой из ЖК затруднительно.

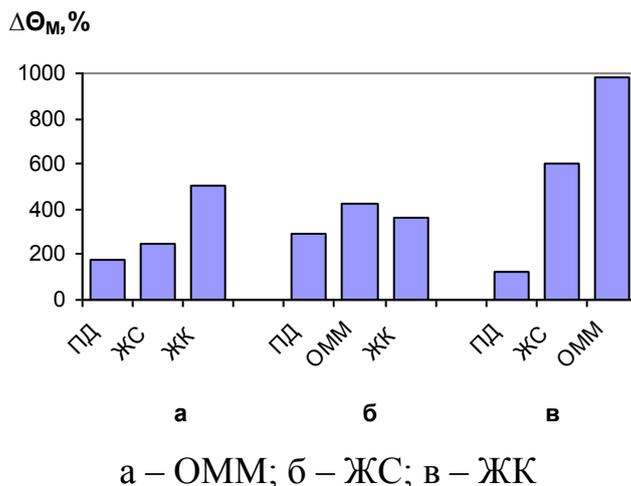


Рисунок 4 – Величина относительной массы соответствующего компонента КА (а, б, в), агрегированного поверхностью ПД или коагулированного слоя соответствующего материала (ОММ, ЖС, ЖК), расположенного на поверхности ПД

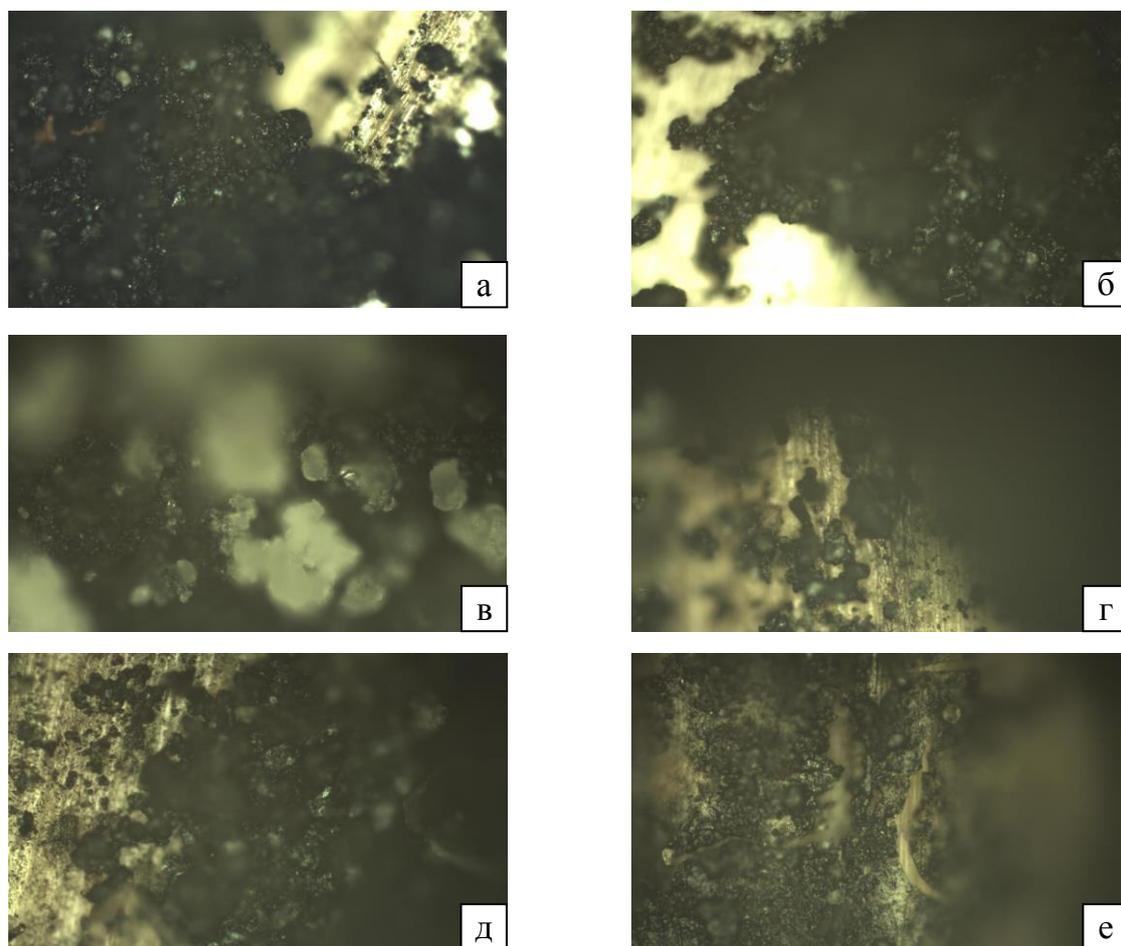
Напрашивается вывод о том, что наиболее эффективен режим, при котором на поверхности ПД можно сформировать слой жидкости, уже содержащей частицы ЖК.

Анализ макроструктуры фрагментов в процессе их вылеживания и затвердевания показывает, что часть ОММ вытекает из структуры КА, содержащего минимум сыпучего материала. Установлено, что минимальное количество ОММ вытекает в режимах 5 и 6, а максимальное количество ОММ теряется в режимах 2 и 3. По-видимому, в свободном, бездозировочном режиме смешивания КА способен поглотить повышенное количество ОММ, но в процессе вылеживания оно не успевает скоагулироваться с ЖС и ЖК и сформировать вязкую слаботекучую структуру КА. Можно предположить, что в этих режимах затруднен физический контакт ОММ со связующим. К этому можно добавить, что в более ранних публикациях [6, 7] было установлено, чтобы исключить наличие нескоагулированного жидким стеклом ОММ, требуется на 1 % ОММ подавать в формуемую смесь примерно 1,2–1,4 % ЖС и сформировать в отсутствие свободного ОММ стабильные сферокоагулянты, обеспечивающие наибольшее упрочнение брикетов.

Повышение температуры ОММ для всех режимов проявляется одно-

значно. Прирост относительной массы компонентов для всех режимов уменьшается на 10–40 % (рисунок 2). Объяснить указанную закономерность можно снижением вязкости ОММ и уменьшением толщины масляной прослойки на поверхности ПД. Можно предположить, что если в процессе смешивания компонентов ОММ не прореагирует с ЖС и ЖК с образованием вязкой суспензии, то при последующей термообработке брикетов, когда его температура будет повышаться, масляная пленка может стекать с поверхности ПД и произойти пропитка маслом окружающих материалов.

Микроструктура поверхности коагуляционных агрегатов показана на рисунке 5. Общими закономерностями микроструктуры КА является то, что в плоскость наблюдения преимущественно попадает поверхностный слой. При этом для некоторых КА выявлено незначительное количество отслоившихся частиц, которые освобождают поверхность ПД от налипшего материала и облегчают анализ микроструктуры. На свободной поверхности ПД различаются структурные впадины и возвышенности продольной формы, заполненные остатками шихты.



Позиции а, б, в, г, д, е соответствуют режимам смешивания 1, 2, 3, 4, 5, 6 таблицы 1. На фотографиях: светлое – поверхность ПД, серое – частицы ЖС, матовое – частицы ОММ, темное – частицы ЖК,  $\times 200$ .

Рисунок 5 – Микроструктура поверхности коагуляционных агрегатов

На некоторых обнажениях зафиксированы растительные волокна различной конфигурации. На поверхности КА, полученного по режиму 1, зафиксировали слой из частиц ЖК, через которые светлыми фрагментами просвечивают частицы ЖС (рисунок 5, а). Частицы плотно расположены друг к другу, но формируют развитую поверхность КА, изобилующую структурными конгломератами, возвышенностями и впадинами. Микроструктура поверхности КА, полученного в режиме 2, близка структуре КА, сформированного по режиму 1. На ней зафиксирован слой из частиц ЖК, в котором обнаружены фрагменты ОММ, поглотившие частицы железорудного концентрата (рисунок 5, б). Частицы шихты также плотно расположены друг к другу, но кое-где в структуре КА зафиксированы застывшие извилистые пливуны, являющиеся результатом стекания жидкости. На некоторых участках КА обнаружены более рыхлые и пористые области. На поверхности КА, полученного по режиму 3, сформировались крупные образования из жидкого стекла, содержащего частицы ЖК (рисунок 5, в). В процессе анализа микроструктуры КА ожидаемого сплошного слоя из ЖС не обнаружили, поскольку, по-видимому, после кристаллизации произошло частичное растрескивание массы. Причина заключается в том, что ЖК слабо агрегирован на поверхности ПД и способен отслоиться и разрушить слой из ЖС. Здесь также зафиксированы затвердевшие пливуны извилистой формы, проделавшие в структуре КА глубокие каналы. Возможной причиной отслоений массы на КА может быть неравномерная усадка в процессе твердения массы. В режиме 4 на поверхности КА зафиксирован сплошной массив затвердевшего ОММ, содержащего, по-видимому, частицы ЖС и повышенное количество железосодержащего концентрата (рисунок 5, г). Тем не менее, плотная и замазанная поверхность КА обнаруживает мелкие отслоения массы от поверхности ПД. На поверхности КА, полученного по режиму 5, зафиксированы мелкие и достаточно равномерно распределенные фрагменты ЖС, в которые агрегировано небольшое количество железорудного концентрата (рисунок 5, д). Не исключено что, частицы ОММ, расположенные на предыдущем, третьем слое, своим поверхностным натяжением и вязким поглощением формируют более ровный рельеф поверхности КА. На поверхности КА, сформированного по режиму 6, зафиксированы мелкие сфероподобные коагулянты на основе ОММ и ЖС, сравнительно равномерно рассредоточенные на поверхности КА (рисунок 5, е). Можно предположить, что две жидкости, расположенные в контактирующих слоях, способны сформировать более равномерную поверхность КА за счет растекания смеси. Но смесь жидкостей повышает вероятность стекания массы с поверхности ПД, поэтому здесь зафиксировано повышенное количество пливунов, которые формируют извилистые порообразующие каналы и увеличивают вероятность отслоений от поверхности ПД.

**Заключение.** В процессе экспериментов установили принципиальную возможность получения прочных коагуляционных агрегатов из сложной компонентной базы, являющейся минеральной основой для брикетирования железосодержащих материалов. Получены экспериментальные данные по изменению относительной массы коагуляционных агрегатов и массы компо-

нентов брикетируемой шихты на ПД в зависимости от режима избирательного смешивания и температуры жидкого восстановителя. Установлены закономерности формирования макро- и микроструктуры коагуляционных агрегатов в зависимости от режима избирательного смешивания. Поровая структура брикетируемой массы на основе шихтовых коагуляционных агрегатов, полученных по технологии избирательного смешивания, позволяет прогнозировать повышение скорости восстановления железосодержащего сырья.

#### Библиографический список

1. Ожогин В. В. Основы теории и технологии брикетирования измельченного металлургического сырья / В. В. Ожогин. – Мариуполь: ПГТУ, 2010. – 442 с.
2. Павловец В.М. Окатыши в технологии экстракции металлов из руд / В. М. Павловец. – Москва: Вологда : Инфра-Инженерия, 2022. – 284 с.
3. Павловец В. М. Развитие техники и технологии окомкования железорудного сырья в металлургии / В. М. Павловец. – Москва: Вологда : Инфра-Инженерия, 2022. – 336 с.
4. Павловец В.М. Расширение функциональных возможностей агрегатов для подготовки железорудного сырья к металлургической плавке / В. М. Павловец. – Москва: Вологда : Инфра-Инженерия, 2022. – 328 с.
5. Использование нетрадиционных восстановителей в производстве металлизированных брикетов /В.В. Ожогин, О.В. Жерлицина, А.П. Бочек, С.А. Коваль – Сталь. – 2007. – №1. – С. 96 – 99.
6. Павловец В.М. Использование техногенных отходов производства в технологии брикетирования железосодержащих материалов / В.М. Павловец, К.И. Домнин К.И.//Сборник трудов X X II Международной научно-практической конференции «Металлургия: технологии, инновации, качество» «Металлургия-2021», Часть 2, 347 с., Новокузнецк, СибГИУ, 2021, с. 159-183.
7. Павловец В.М. Исследование процесса брикетирования железорудных материалов, содержащих в качестве нетрадиционного восстановителя отработанное минеральное масло / В.М. Павловец, К.И. Домнин К.И. //Сборник трудов X X III Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием «Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения», Выпуск 26, часть 2, 317 с, Новокузнецк, СибГИУ, 2022, с. 225-231.
8. Патент № 2750432 Российская Федерация, МКИ<sup>8</sup> С22В 1/24. Способ получения окатышей / В.М. Павловец – № 2020133386/02, Заявл. 09.10.2020; Оpubл. 28.06.2021. Бюл. №5 //Изобретения. Полезные модели. 2021. – №19.
9. Патент № 2768073 Российская Федерация, МКИ<sup>8</sup> С22В 1/24. Способ получения окатышей / В.М. Павловец – № 2021130684/02, Заявл. 20.10.2021; Оpubл. 23.03.2022. Бюл. №9 //Изобретения. Полезные модели. 2022. – №9.
10. Патент № 2698000; Российская Федерация, МКИ<sup>8</sup> С22В 1/24. Способ получения окатышей / В.М. Павловец – № 2019117140/02, Заявл. 03.06.2019; Оpubл. 21.08.2019. Бюл. №24 //Изобретения. Полезные модели.

2019. – №24.

11. Патент № 2743435 Российская Федерация, МКИ<sup>8</sup> С22В 1/24. Способ получения окатышей / В.М. Павловец – № 2020104648/02, Заявл. 31.01.2020; Оpubл. 18.02.2021. Бюл. №5 //Изобретения. Полезные модели. 2020. – №5.

12. Павловец В.М. Огнеупорные и теплоизоляционные материалы в металлургии / В.М. Павловец. – Москва: Вологда : Инфра-Инженерия, 2022. – 268 с.

УДК 669.162

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА БРИКЕТИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ И СТРУКТУРООБРАЗУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ, ПОДВЕРГНУТЫХ ИЗБИРАТЕЛЬНОМУ СМЕШИВАНИЮ**

**Павловец В.М., Домнин К.И.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, Россия, pawlowets.victor@yandex.ru*

***Аннотация:** Проведена оценка функционального назначения технологических добавок брикетуемой массы на различных этапах производственного маршрута. Представлена техника экспериментов и методика анализа экспериментальных данных. Приведены результаты исследования прочности металлургических брикетов, сформированных с помощью коагуляционных агрегатов, полученных по технологии избирательного смешивания. Обоснована необходимость формирования коагуляционных агрегатов в структуре самовосстанавливающихся брикетов. Проведен анализ изменения прочностных свойств брикетов в зависимости от режима смешивания компонентов брикетуемой массы и структуры коагуляционных агрегатов. Показано влияние размеров порообразующих добавок на прочностные свойства брикетов. Проведен анализ макро- и микроструктуры брикетов, сформированных с помощью коагуляционных агрегатов, полученных по технологии избирательного смешивания.*

***Ключевые слова:** железосодержащие брикеты, техника брикетирования, технология избирательного смешивания, коагуляционные агрегаты, компоненты шихты, жидкий восстановитель, порообразующие добавки.*

## **INVESTIGATION OF THE PROCESS OF BRIQUETTING OF IRON- CONTAINING AND STRUCTURE-FORMING MATERIALS SUBJECTED TO SELECTIVE MIXING**

**Pavlovets V.M., Domnin K.I.**

*Siberian state industrial University,  
Novokuznetsk, Russia, pawlowets.victor@yandex.ru*

***Abstract:** An assessment of the functional purpose of technological addi-*

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>СЕКЦИЯ 3: СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ</b> .....	<b>4</b>
ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ НАПЛАВЛЕННЫХ МНОГОСЛОЙНЫХ ОБРАЗЦОВ ИЗ АУСТЕНИТНОЙ СТАЛИ В РАЗНЫХ УСЛОВИЯХ ТЕПЛОТВОДА <i>Чинахов Д.А., Акимов К.О., Полегешко С.А.</i> .....	<b>4</b>
ВИХРЕВОЕ ТЕЧЕНИЕ В КАПЛЕ ПРИ ЭЛЕКТРОСВАРКЕ <i>Сарычев В.Д., Чинахов Д.А., Грановский А.Ю., Устюжанин С.В., Сарычев Д.В., Коновалов С.В.</i> .....	<b>12</b>
ВЛИЯНИЕ ВЫСОТЫ НАПЫЛЕНИЯ НА СОСТАВ И МИКРОСТРУКТУРУ СПЛАВОВ AL-5SI, ПОЛУЧЕННЫХ ПУТЕМ АДДИТИВНОЙ ПЕЧАТИ МЕТОДОМ ДУГОВОЙ СВАРКИ <i>Су Ч., Коновалов С.В., Чэнь С., Хуанг Л.</i> .....	<b>18</b>
ИССЛЕДОВАНИЯ СВАРОЧНОГО ФЛЮСА, ИЗГОТОВЛЕННОГО ИЗ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РЕМОНТНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ РАБОТ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ <i>Михно А.Р., Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Жуков А.В., Бендре Ю.В.</i> .....	<b>22</b>
ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СПЛАВОВ А5М, ВТ-1, С2 ПОДВЕРГНУТЫХ МАГНИТНОЙ ОБРАБОТКЕ <i>Шляров В.В., Серебрякова А.А., Аксенова К.В., Загуляев Д.В., Устинов А.М.</i> .....	<b>27</b>
РАЗРАБОТКА НАПЛАВОЧНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ SN-SB-CU ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ АНТИФРИКЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ <i>Михеев Р.С., Калашников И.Е., Катин И.В., Быков П.А.</i> .....	<b>35</b>
ИССЛЕДОВАНИЕ ОБШИРНОЙ ДИФфуЗИОННОЙ ЗОНЫ, СФОРМИРОВАННОЙ НА УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ В ИНДУКЦИОННОЙ ПЕЧИ <i>Шевчук Е.П., Плотников В.А., Макаров С.В.</i> .....	<b>40</b>
РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ <i>Федоров В.В., Клименов В.А., Черепанов Р.О.</i> .....	<b>49</b>
ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПОКРЫТИЯ ИЗ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНОГО СПЛАВА AL-CO-CR-Fe-MN-NI С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОВОЛОЧНО-ДУГОВОЙ АДДИТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ <i>Осинцев К.А., Коновалов С.В., Иванов Ю.Ф., Громов В.Е., Панченко И.А., Воробьев С.В., Бессонов Д.А.</i> .....	<b>56</b>
КАВИТАЦИОННОЕ РАЗРУШЕНИЕ ИНТРЕМЕТАЛЛИДНОГО ГАЗОДЕТОНАЦИОННОГО ПОКРЫТИЯ СИСТЕМЫ TI-AL <i>Яковлев В.И., Собачкин А.В., Логинова М.В., Мясников А.Ю., Барсуков Р.В.</i> .....	<b>61</b>
ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ СВАРКИ ПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ В УСЛОВИЯХ ДВУХСТРУЙНОЙ ГАЗОВОЙ ЗАЩИТЫ НА СТРУКТУРУ И МИКРОТВЕРДОСТЬ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ СТАЛИ 45 <i>Чинахов Д.А., Рзаев Э.Д.</i> .....	<b>70</b>
ОСОБЕННОСТИ СПЛАВЛЕНИЯ, СТРУКТУРО- И ФАЗООБРАЗОВАНИЯ И СВОЙСТВ ПОРОШКОВЫХ И ПРОВОЛОЧНЫХ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ, ФОРМИРУЮЩИХСЯ В УСЛОВИЯХ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ <i>Клименов В.А., Федоров В.В., Черепанов Р.О., Хань Ц., Стрелкова И.Л.</i> .....	<b>80</b>
ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ МАТРИЦЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ЛОКАЛЬНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ ПРИ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОМ АДДИТИВНОМ ПРОВОЛОЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ.....	<b>88</b>
<i>Колубаев Е.А., Рубцов В.Е., Чумаевский А.В., Панфилов А.О., Зыкова А.П., Осипович К.С., Николаева А.В., Добровольский А.Р., Утяганова В.Р., Шамарин Н.Н., Никонов С.Ю.</i> .....	<b>88</b>

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ГЛУБИНЫ РЕЗАНИЯ И РАДИУСА РЕЖУЩЕЙ КРОМКИ ИНСТРУМЕНТА НА ОБРАЗОВАНИЕ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ И МИКРОСТРУКТУРУ ПЕРИФЕРИЙНОЙ ЗОНЫ ПОСЛЕ ОБРАБОТКИ ЗАКАЛЕННЫХ СТАЛЕЙ <i>Джигвишов В.Ф., Рзаев Э.Д.</i> .....	98
МИКРОСТРУКТУРА КЕРАМИКИ $V_4C-CrV_2$ , СИНТЕЗИРОВАННОЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАНОВОЛОКНИСТОГО УГЛЕРОДА <i>Дик Д.В., Гудыма Т.С., Филипов А.А., Крутский Ю.Л.</i> .....	107
ПОВЕРХНОСТЬ РАЗРУШЕНИЯ И СТРУКТУРНО-ФАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ МЕТАЛЛА СВАРНЫХ ШВОВ, ВЫПОЛНЕННЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ФЛЮСА НА ОСНОВЕ ШЛАКА СИЛИКОМАРГАНЦА И ФД-УФС <i>Крюков Р.Е., Михно А.Р., Жуков А.В., Бендре Ю.В.</i> .....	114
ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТИ ПОЛЗУЧЕСТИ И МИКРОТВЕРДОСТИ ТЕХНИЧЕСКИ ЧИСТОГО СВИНЦА В МАГНИТНОМ ПОЛЕ С ИНДУКЦИЕЙ 0,5 ТЛ <i>Серебрякова А.А., Загуляев Д.В., Шляров В.В.</i> .....	121
ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ МЕДИ НА ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ С ОСНОВОЙ МЕТАЛЛА ПРИ ЭЛЕКТРОВЗРЫВНОЙ ОБРАБОТКЕ <i>Будовских Е.А., Романов Д.А., Филяков А.Д., Бащенко Л.П., Ионина А.В.</i> .....	126
ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ДЕТАЛЕЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХСЯ В УСЛОВИЯХ ИНТЕНСИВНОГО ИЗНОСА ПУТЕМ ДУГОВОЙ НАПЛАВКИ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ ДОПОЛНИТЕЛЬНО СОДЕРЖАЩЕЙ ПОРОШОК ТИТАНА <i>Киселев П.В., Комаров А.А., Михно А.Р., Дробышев В.К.</i> .....	131
ОБ ИЗГОТОВЛЕНИИ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ ТУГОПЛАВКИХ БЕСКИСЛОРОДНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В СИСТЕМАХ $V_4C-MeV_2$ ( $Me = Ti, Cr, Zr$ ) <i>Гудыма Т.С., Крутский Ю.Л., Крутская Т.М., Дик Д.В., Шестаков А.А., Апарнев А.И., Логинов А.В.</i> .....	138
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ МЕТАЛЛИЗАЦИИ КЕРАМИКИ ИЗ НИТРИДА АЛЮМИНИЯ <i>Непочатов Ю.К., Плетнев П.М.<sup>2</sup>, Гудыма Т.С.</i> .....	143
ПЕРСПЕКТИВЫ УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫМ МАТЕРИАЛОМ МЕТОДОМ ЭШН <i>Быстров В.А.</i> .....	149
ИССЛЕДОВАНИЕ СПЛАВА AL7075 ПОСЛЕ ДУГОВОЙ НАПЛАВКИ <i>Дробышев В.К., Михно А.Р., Панченко И.А., Лабунский Д.Н.</i> .....	158
СТРУКТУРА ЭЛЕКТРОВЗРЫВНОГО ПОКРЫТИЯ СИСТЕМЫ Mo-Au <i>Филяков А.Д., Романов Д.А., Соснин К.В., Московский С.В.</i> .....	162
ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ПРОКАТА ИЗ ОТБРАКОВКИ ЗАГОТОВОК РЕЛЬСОВЫХ СТАЛЕЙ <i>Уманский А.А., Симачев А.С., Думова Л.В.</i> .....	168

<b>СЕКЦИЯ 4: РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ, ЭКОЛОГИЯ И УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА, ОХРАНА ТРУДА.....</b>	<b>176</b>
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩЕГО КОНЦЕНТРАТА, ВЫДЕЛЕННОГО ИЗ УГЛЕОТХОДОВ ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ <i>Шеховцов В.В., Скрипникова Н.К., Улмасов А.Б., Куниц О.А.</i> .....	176
ПРОВЕРКА ЗНАНИЯ ТРЕБОВАНИЙ ОХРАНЫ ТРУДА И КРИТЕРИИ ГОТОВНОСТИ РАБОТНИКА К БЕЗОПАСНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ <i>Чернов К.В.</i> .....	182
ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПРИРОСТА МАССЫ ШИХТОВЫХ АГРЕГАТОВ, ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ БРИКЕТОВ <i>Павловец В.М., Домнин К.И.</i> .....	193
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА БРИКЕТИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ И СТРУКТУРООБРАЗУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ, ПОДВЕРГНУТЫХ ИЗБИРАТЕЛЬНОМУ СМЕШИВАНИЮ <i>Павловец В.М., Домнин К.И.</i> .....	203
ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВОВ КОМПОЗИЦИЙ С МИКРОКРЕМНЕЗЕМОМ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРИСТОГО СТЕКЛОКОМПОЗИТА <i>Скирдин К.В., Казьмина О.В.</i> .....	211
РЕКУЛЬТИВАЦИЯ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ НА УГОЛЬНЫХ РАЗРЕЗАХ КУЗНЕЦКОГО УГОЛЬНОГО БАССЕЙНА <i>Баженова Н.Н., Водолеев А.С., Гибадуллин Р.М.</i> .....	219
КЕДР КАК ОБЪЕКТ РЕКУЛЬТИВАЦИОННЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ В УСЛОВИЯХ КУЗБАССА <i>Водолеев А.С., Захарова М.А., Толстикова А.Ф., Баженова Н.Н.</i> .....	227
АГРОТЕХНИКА ВЫРАЩИВАНИЯ КАРТОФЕЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ОТХОДОВ <i>Водолеев А.С., Захарова М.А., Постельников В.Н., Ким В.И., Бондарев М.Р.</i> .....	232
СИСТЕМА ОРГАНИЗАЦИИ ЭКОБИОМОНИТОРИНГА ПРИ КОНСЕРВАЦИИ СКЛАДИРОВАННЫХ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА <i>Захарова М.А., Водолеев А.С., Лубенцева Ю.А., Толстикова А.Ф., Баженова Н.Н.</i> .....	240
ДОСТУПНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ УТИЛИЗАЦИИ ОТРАБОТАННЫХ МОТОРНЫХ МАСЕЛ <i>Корнилов Д.А., Водолеев А.С., Грибкова Е.О., Гибадуллин Р.М., Конаков С.В.</i> .....	247
ПРИМЕНЕНИЕ ПЛАВАЮЩЕГО ВОДНОГО РАСТЕНИЯ ЭЙХОРНИИ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДООЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД, ОБРАЗОВАННЫХ В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ <i>Гашишникова А.О., Михайличенко Т.А.</i> .....	259
ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА Г. НОВОКУЗНЕЦКА И ВОЗМОЖНОСТИ СОКРАЩЕНИЯ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ <i>Коноплев Д.Д., Коротков С.Г., Домнин К.И.</i> .....	265
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДОРОДА В МЕТАЛЛУРГИИ <i>Вахтарова К.О., Михайличенко Т.А.</i> .....	274
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ АССОРТИМЕНТА И КАЧЕСТВА УГОЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ ПУТЕМ ТЕРМООБРАБОТКИ УГЛЕЙ <i>Мурко В.И., Карпенков В.И., Темлянцева Е.Н., Аникин А.Е.</i> .....	279
ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ <i>Грибкова Е.О., Водолеев А.С., Гибадуллин Р.М., Конаков С.В., Корнилов Д.А., Макшанов Д.В.</i> .....	289

РОЛЬ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В МЕТАЛЛУРГИИ <i>Волченкова О.А., Михайличенко Т.А.</i> .....	297
ТЕХНОЛОГИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ШЛАМОВ В КАЧЕСТВЕ ДОБАВКИ К АГЛОСИХТЕ <i>Урусов Д.Н., Михайличенко Т.А.</i> .....	306
РЕКОНСТРУКЦИЯ СИСТЕМЫ ГАЗООЧИСТКИ ЗА ПАРОГЕНЕРАТОРАМИ ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ ТЭЦ ФИЛИАЛА АО «ЕВРАЗ ЗСМК» ПУТЕМ ЗАМЕНЫ ГАЗООЧИСТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ <i>Големинов С.П., Михайличенко Т.А.</i> .....	314
ВОЗМОЖНОСТИ ПРИНУДИТЕЛЬНОГО ЗАРОДЫШЕОБРАЗОВАНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ОКАТЫШЕЙ В ТЕХНОЛОГИЯХ РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ <i>Павловец В.М.</i> .....	322
ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ОКОМКОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОРУДНОЙ ШИХТЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ ОКАТЫШЕЙ, СОДЕРЖАЩЕЙ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ДОБАВКИ <i>Павловец В.М.</i> .....	329
АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ В ОБЛАСТИ ОХРАНЫ ТРУДА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ <i>Романова В.А., Дробышев В.К.</i> .....	338
ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСА ВЗАИМОВОСТРЕБОВАННЫХ УСТАНОВОК С ЦЕЛЬЮ ЭКОНОМИИ ТОПЛИВА НА СТАДИИ ДОМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА ПРЕДПРИЯТИЯ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ <i>Филиппов В.А.</i> .....	344
<b>СЕКЦИЯ 5: АВТОМАТИЗАЦИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ</b> .....	352
АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ ТОКОВОЙ НАГРУЗКИ ИНДУКЦИОННОЙ ПЕЧИ, ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ПРИ МОНТАЖЕ ОБОЖЖЕННЫХ АНОДОВ <i>Немчинова Н.В., Тузов А.В., Геройменко А.В., Апончук И.И.</i> .....	352
ИДЕНТИФИКАЦИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ С ЗАВИСИМЫМИ ОТ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ СВОЙСТВАМИ <i>Свинцов М.М., Скударнова Н.В., Ивушкин К.А., Макаров Г.В., Мышляев Л.П.</i> .....	358
ЗАДАЧА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТАМИ СО СТРУКТУРНОЙ НЕСТАЦИОНАРНОСТЬЮ <i>Загидулин И.Р., Мышляев Л.П., Макаров Г.В., Свинцов М.М.</i> .....	363
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ СОЗДАНИИ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ КРУПНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ <i>Коровин Д.Е., Грачев В.В., Макаров Г.В., Кулюшин Г.А., Скударнова Н.В.</i> .....	369
МОДЕРНИЗАЦИЯ РЕЛЕЙНО-КОНТАКТОРНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА КАНТОВАНИЯ УГОЛЬНОГО ВАГОНООПРОКИДЫВАТЕЛЯ НА СИСТЕМУ УПРАВЛЕНИЯ "ПЧ-АД" <i>Клевицов С.А., Модзелевский Д.Е.</i> .....	376
СИСТЕМНЫЕ АСПЕКТЫ ЗАМЕЩЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ, ПРОГРАММНЫХ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ УПРАВЛЕНИЯ <i>Макаров Г.В., Мышляев Л.П., Чинахов Д.А., Ивушкин К.А.</i> .....	384
ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ УДАЛЕННОЙ ПУСКОНАЛАДКИ НА КРУПНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ <i>Кулюшин Г.А., Мышляев Л.П., Грачев В.В., Коровин Д.Е.</i> .....	391
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И ПРОГРАММНО-ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ СИСТЕМА «АЛЮМИНЩИК» ДЛЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ В МИКСЕРЕ ЛИТЕЙНОГО ОТДЕЛЕНИЯ <i>Мартусевич Е.А., Рыбенко И.А.</i> .....	400

Научное издание

**МЕТАЛЛУРГИЯ:  
ТЕХНОЛОГИИ, ИННОВАЦИИ, КАЧЕСТВО**  
*«Металлургия – 2022»*

Труды XXIII Международной научно-практической конференции

Часть 2

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 60×84 1/8. Бумага офисная. Печать цифровая.  
Усл. печ. л. 24,0 Уч.-изд. л. 26,4 Тираж 300 экз. Заказ № 296

Сибирский государственный индустриальный университет  
654007, Кемеровская область – Кузбасс, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42  
Издательский центр СибГИУ