

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Администрация Правительства Кузбасса

Научно-образовательный центр мирового уровня «Кузбасс»

Сибирский государственный индустриальный университет

*Посвящается 100-летию
со дня рождения ректора СМИ,
доктора технических наук,
профессора Н.В.Толстогузова*

**МЕТАЛЛУРГИЯ:
ТЕХНОЛОГИИ, ИННОВАЦИИ, КАЧЕСТВО
«Металлургия – 2021»**

***Труды
XXII Международной научно-практической конференции***

10 – 11 ноября 2021 г.

Часть 2

**Новокузнецк
2021**

Редакционная коллегия

д.т.н., академик РАН Л.А. Смирнов, д.т.н., доцент А.Б. Юрьев,
д.т.н., профессор Н.А. Козырев, д.т.н., профессор Е.В. Протопопов,
д.т.н., профессор А.Р. Фастыковский, к.т.н. Е.Н. Темлянцева,
д.т.н., доцент В.В. Зимин, д.т.н., профессор А.Г. Никитин,
к.э.н., доцент Ю.С. Климашина

М 540 Металлургия: технологии, инновации, качество : труды XXII Международной научно-практической конференции: в 2-х ч. Ч. 2 / под ред. А.Б. Юрьева, Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2021. – 342 с. : ил.

ISSN 2542-1670

Труды конференции включают доклады по актуальным вопросам теории и технологии процессов сварки, порошковой металлургии, получения композиционных материалов и покрытий, тепло- и массопереноса в металлургических процессах и агрегатах, ресурсо- и энергосбережения, экологии и утилизации отходов, охраны труда, автоматизации и моделирования металлургических процессов, инновационных металлургических технологий в машиностроении, экономико-управленческих проблем металлургических регионов.

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»
Журнал «MATEC Web of Conferences »
Научно-образовательный центр мирового уровня «Кузбасс»
АО «Кузбасский технопарк»
Западно – Сибирское отделение Российской Академии естественных наук
Совет молодых ученых Кузбасса

ISSN 2542-1670

© Сибирский государственный
индустриальный университет, 2021

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ СВОЙСТВ ОКУСКОВАННЫХ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Павловец В.М.

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

Аннотация. Проведен обзор литературных источников по проблеме повышения металлургических свойств окучкованного металлургического сырья. Проанализированы методы формирования структурных свойств сформованных материалов. Приведены результаты исследования технологии принудительного зародышеобразования, направленной на регламентированное структурообразование и формирование структурных свойств железорудных окатышей.

Ключевые слова: структурные свойства, окучкованное металлургическое сырье, железорудные окатыши, технология принудительного зародышеобразования.

FORMATION OF STRUCTURAL PROPERTIES OF PITCHED IRON ORE MATERIALS

Pavlovets V.M.

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

Abstract: A review of literary sources on the problem of improving the metallurgical properties of agglomerated metallurgical raw materials is carried out. Methods for the formation of structural properties of molded materials are analyzed. The results of studies of the forced nucleation technology aimed at the regulated structure formation and the formation of the structural properties of iron ore pellets are presented.

Key words: structural properties, agglomerated metallurgical raw materials, iron ore pellets, forced nucleation technology.

Железорудная часть шихты современной доменной плавки почти на 98–100 % состоит из окучкованного железорудного сырья [1–3]. Окучкование железорудных материалов необходимо для получения прочного кускового продукта, способного выдержать механические и термические нагрузки в процессе экстракции первичного металла (чугуна) в доменных печах или в ходе металлизации сырья в шахтных агрегатах. Существуют три основных способа окучкования пылевидной рудной мелочи и тонкоизмельченных железорудных концентратов: агломерация, производство окатышей и брикетирование [1]. Соотношение основных видов кусковых материалов в шихте доменных печей существенно отличается в разных странах. В США, Канаде и скандинавских странах в шихте преобладают железорудные окатыши (до 100 %). В европейских и в некоторых других странах соотношение агломерата и окатышей составляет 50 / 50 %. В Японии, Китае и РФ содержание агломерата в шихте доменных печей достигает 70–75 %. Каждый из этих видов сырья имеет свои достоинства и недостатки, но в общем балансе окучкованного сырья они дополняют друг друга. Преобладание одного из них в какой-то степени является традиционным для большинства стран. Основными достоинствами окатышей являются их высокие транспортные свойства, высокое содержание железа, повышенная восстановимость, равномерный гранулометрический и минеральный составы, высокая культура производства, более низкая экологическая нагрузка на окружающую среду при их производстве, возможность широкого регулирования структурных и потребительских свойств и некоторые другие показатели [1]. Основными структурными свойствами сформо-

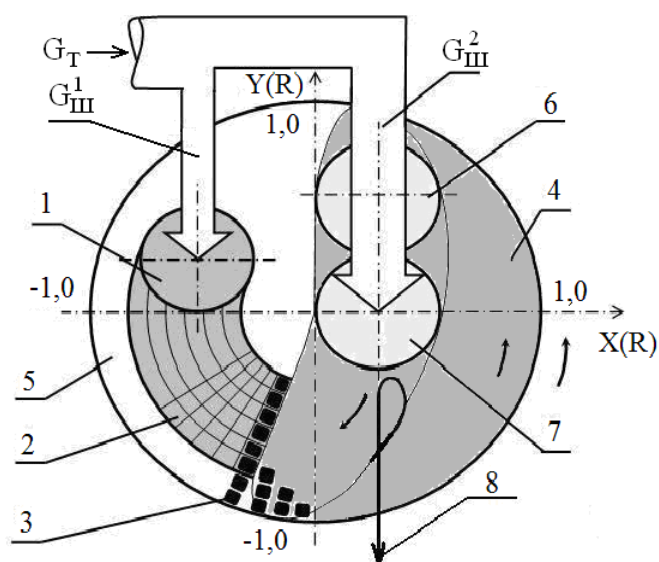
ванных материалов являются: характер пористости (общая, открытая, закрытая), размер, форма, извилистость пор, газопроницаемость, фильтрационная способность и некоторые другие. В частности, для железорудных окатышей большинство физических свойств являются структурночувствительными.

Для формирования структурных свойств сформованных продуктов в различных отраслях техники (металлургия, строительное, огнеупорное производство и др.) применяют различные технические средства и методы. Основные из них приведены в таблице 1.

Одним из способов формирования структурных свойств у окучкованного железорудного сырья, в частности, окатышей является получение окатышей по технологии принудительного зародышеобразования (ЗНД), в которой зародышевая часть и ее поровая структура формируются теплосиловым напылением влажной шихты на донный гарнисаж окомкователя [2, 3]. Схема производства окатышей по технологии ЗНД показана на рисунке 1.

Таблица 1 – Методы формирования структуры сформованных продуктов

Параметр структуры сформованного продукта	Метод воздействия	Технологические операции	Источник
Общая пористость	1. Применение выгорающих и вспенивающих добавок	1. Введение в состав шихты частиц угля, кокса, пека, древесных и растительных материалов, мылов	[4]
	2. Применение специальных режимов сушки и обжига	1. Многоступенчатая сушка и циклическое реакционное спекание	[2]
Характер пористости (открытая, закрытая, проницаемая, непроницаемая и т.д)	1. Применение специальных стабилизирующих добавок	1. Введение в состав шихты трубчатых древесных и растительных частиц, тканевых и волосяных нитей	[3, 4]
	2. Применение специальных методов формообразования	1. Формирование канальной пористости полусухим, инъекционным формованием, вибропрессованием и др. 2. Использование аэродинамических методов формообразования	[3, 4]
Форма пор (сферическая, овальная, канальная, извилистая, сложной формы) и характер извилистости	1. Подготовка специальных гранулометрических и минеральных составов шихты	1. Применение полидисперсного состава добавок. 2. Применение расширяющих компонентов с различными коэффициентами термического расширения. 3. Использование испаряющихся связующих	[3, 4]
Влажность продукта	1. Уменьшение влажности тела применением специальных методов формообразования и поглотителей влаги	1. Полусухое формование и торкретирования. 2. Способ струйной теплосиловой обработки и напыления	[1, 3]



1 – область напыления (напыленный слой); 2 – область зародышеобразования;
3 – зародыши; 4, 5 – рабочая и холостая зоны окомкователя; 6, 7 – области увлажнения
и доокомкования; 8 – годные окатыши

Рисунок 1 – Схема получения окатышей способом принудительного зародышеобразования

Формирование окатышей по упрощенной схеме ЗНД начинается с принудительного зародышеобразования напылением влажной шихты сжатым воздухом в холостой зоне тарели [2]. Для этого загружаемая шихта делится на два потока, один из которых напыляется сжатым воздухом на шихтовый гарнисаж окомкователя, где формируется напыленный слой шихты. Прочный напыленный слой шихты механически делится специальными делителями на мерные фрагменты правильной формы, выполняющие роль зародышевых центров. Зародыши поступают в рабочую зону тарели, где происходит увлажнение зародышей, после чего на их поверхность накатывается шихта второго потока, необходимая для образования оболочки окатыша и формирования гранул размером 14–16 мм [2].

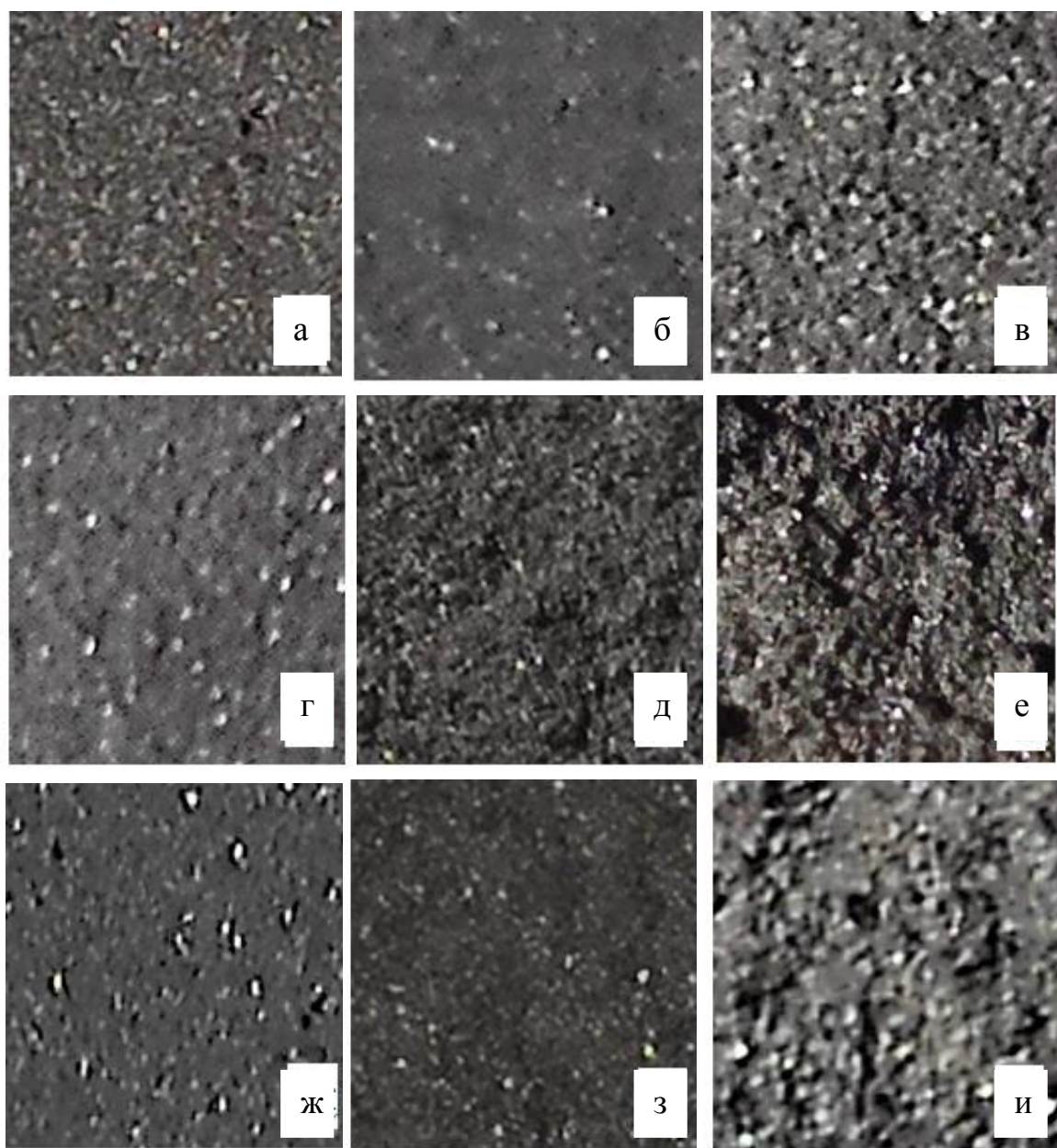
Существует схема производства окатышей, в которой напыление влажной шихты осуществляется на зародыши, полученные в режиме переката (ЗОН) [2]. Использование метода напыления воздушно-шихтовой струей (ВСШ) оказывает большое влияние на структуру зародышей и окатышей. Повышается количество открытой и общей пористости окатышей, снижается значение закрытой пористости и кажущейся плотности. Эта технология успешно отработана в лабораторных условиях и показала высокую практическую эффективность. Одним из многочисленных достоинств этой технологии является преимущественное формирование открытых и малоизвилистых пор (до 35 %), благоприятных для повышения реакционной способности окускованного сырья. Однако закономерности формирования пористости железорудных окатышей и многие другие процессы, сопутствующие новой технологии, остаются малоизученными.

Целью работы явилось исследование механизма структурообразования зародышевых центров окатышей, полученных по технологии теплосилового напыления влажной шихты на донный гарнисаж окомкователя.

Эксперименты проводили на лабораторном окомкователе диаметром 0,62 м, наклоненном под углом 45° к горизонту и вращающимся со скоростью 12 об/мин. Напыляемая шихта влажностью 8,4 % содержала железорудный концентрат Тейского месторождения и 1 % бентонита. Влажную шихту напыляли сжатым воздухом давлением 0,2 МПа и расходом 0,6 м³/мин. Прочность на сжатие и плотность исследовали с помощью образцов, вырезанных из них методом режущего кольца (ГОСТ 5180-84). В каждой зоне НС, ограниченной относительным диаметром δ , равным $0 \pm 0,2$, брали 10–15 образцов пробоотборниками (режущим кольцом) диаметром 10 мм. Прочность на сжатие влажных – $P_{вл}$ и сухих – $P_{сух}$, кПа, образцов определяли по ГОСТ 17245-79 и 26447-85. Часть проб использовали для определения

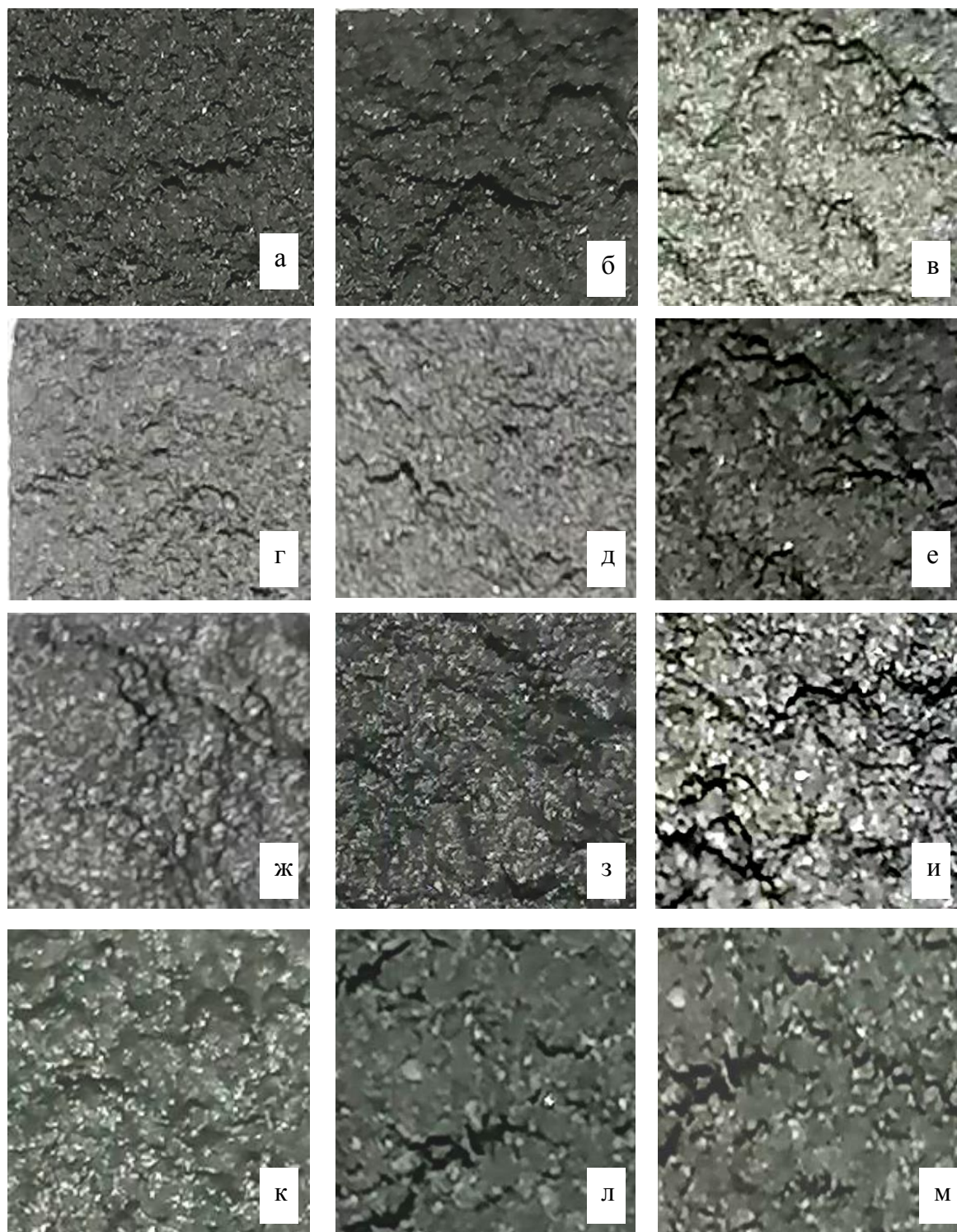
плотности $\rho_{вл}$, кг/м³, и влажности образцов W , %. Взвешивание проводили на электронных весах VIBRA серии AF – R220 CE (Япония).

Анализ макроструктуры (рисунки 2, 3) образцов показал, что в каждой из зон НС существуют заметно выраженные структурные особенности. Структурные особенности поверхности напыленного слоя шихты проявляются в наличии структурных углублений и шихтовых наплывов, которые являются видимыми проявлениями структурообразования в глубине зародышей. Эти структурные образования имеют различные геометрические размеры, форму, расположение, извилистость и могут служить косвенной характеристикой для анализа процесса порообразования в глубине зародыша [3].



В позиции а, б, в – $W=10\%$; г, д, е – $W=7,5\%$; ж, з, и – $W=5\%$; а, г, ж – центральная; б, д, з – промежуточная; в, е, и – периферийная зоны НС

Рисунок 2 – Макроструктура напыленного слоя железорудной шихты



Размер частиц концентрата, мм: 0 – 0,063 (а – в); 0,063 – 0,1 (г – е); 0,1 – 0,2 (ж – и); > 0,2 (к – м). В позиции: (а – е) $W=10\%$; (ж – м) $W=7,5\%$; а, г, ж, к – центральная; б, д, з, л – промежуточная; в, е, и, м – периферийная зоны НС. Расстояние до напыляемой основы: а – $L/d_{ca} = 2,5$; б – $L/d_{ca} = 5,0$; в – $L/d_{ca} = 10,0$; г – $L/d_{ca} = 15,0$

Рисунок 3 – Микроструктура напыленного слоя шихты. Увеличение 10^x

Структурные углубления НС шихты представляют собой концентрические слабоизвилистые каналы, сформированные шихтовыми напылами и располагающиеся по круговой траектории вокруг оси кругового НС. Эти каналы, как правило, замкнутые друг на друга. Часть из них имеет прерывистый характер. На фотографиях макроструктуры они отображаются темными линиями ориентировочной толщиной 0,1–1,5 мм. Ширина шихтовых напы-

вов имеет более существенную величину: от 1 до 3 мм. Форма напылов имеет покатую поверхность со стороны атаки ВШС и крутой наклон с противоположной (теневой) стороны. Методика отбора проб из НС для анализа макроструктуры подробно описана в работе [3].

В качестве параметров макроструктуры НС использовали относительную величину структурных углублений НС θ_{ho} и относительное количество структурных углублений θ_N , количество/м² (1/ м²), на его поверхности. Относительную величину структурных углублений НС θ_{ho} на его поверхности определяли по выражению:

$$\theta_{ho} = h_o / h,$$

где h_o – среднее значение структурных углублений, мм;

h – среднее значение высоты напыленного слоя на его оси, мм.

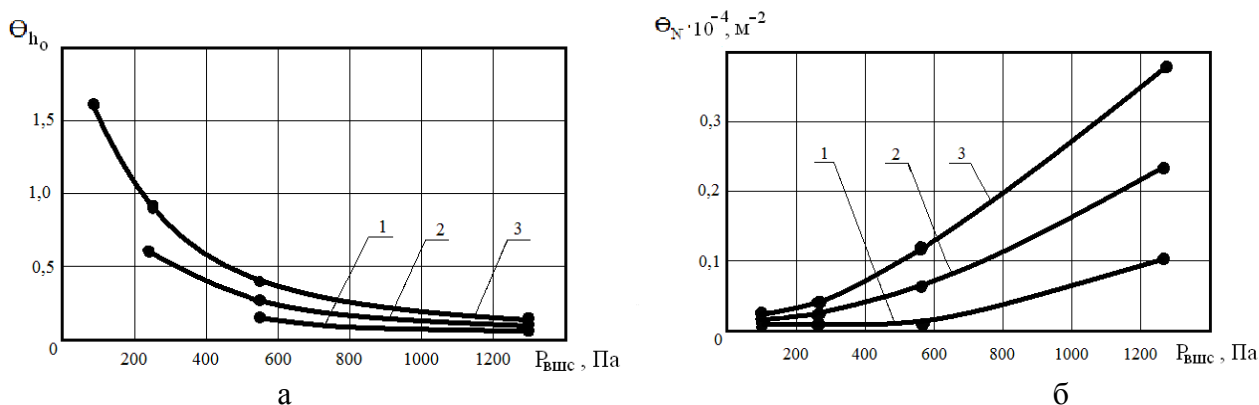
Относительное количество структурных углублений θ_N вычисляли по выражению:

$$\theta_N = N / f_{nc}.$$

где N – численное значение структурных углублений N , определяемое по количеству концентрических теневых каналов в каждой зоне НС;

f_{nc} – площадь напыленного слоя диаметром d , м².

Параметры θ_{ho} и θ_N оценивали в зависимости от давления ВШС, относительного расстояния L/d са, влажности и гранулометрического состава напыляемой шихты. Давление ВШС подбирали по номограмме в зависимости от параметров шихты и характеристик струйного аппарата (СА) [2]. Результаты экспериментов представлены на рисунке 4.



Влажность шихты: 1 – 5,0 %; 2 – 7,5 %; 3 – 10,0 %

Рисунок 4 – Зависимость относительной величины структурных углублений - а и относительного количества структурных углублений напыленного слоя шихты - б от давления ВШС

В общем случае параметр θ_{ho} резко снижается с ростом давления ВШС до 800 Па, после чего происходит замедленное снижение его величины (рисунок 4). Одновременно с ростом давления ВШС высота структурных углублений падает, но одновременно с этим растет средний размер НС. Характер зависимости показывает, что интенсивность снижения h_o существенно выше интенсивности роста h . Это объясняется структурными особенностями формирования напыленного слоя шихты, подробно рассмотренными в источнике [2]. Большую роль на параметр θ_{ho} оказывает влажность напыляемой шихты. При $W_{ш} = 5,0$ % и давлении ВШС менее 800-1000 Па на поверхности формируются невысокие напылы и мелкие структурные углубления ($h_o < 0,1-0,2$ мм), недоступные для инструментального измерения. Их можно замерить и анализировать при достаточно большом увеличении. Можно считать, что влажная шихтовая пульпа в этом режиме напыления не играет особой роли в структурообразовании. При $W_{ш} = 7,5$ и 10,0 % формируются крупные шихтовые напылы достаточной высоты и структурные углубления, доступные для визуального наблюдения и инструментального измерения. К отмеченному можно добавить, что характер полученной зависимости близок к зависимости, описывающих плазменное напыление металлических порошков. Результаты этих исследований показывают, что при острых уг-

лах атаки ($\beta < 40-45^\circ$) формируется столбчатая структура напыленного покрытия с максимальным размером структурных углублений.

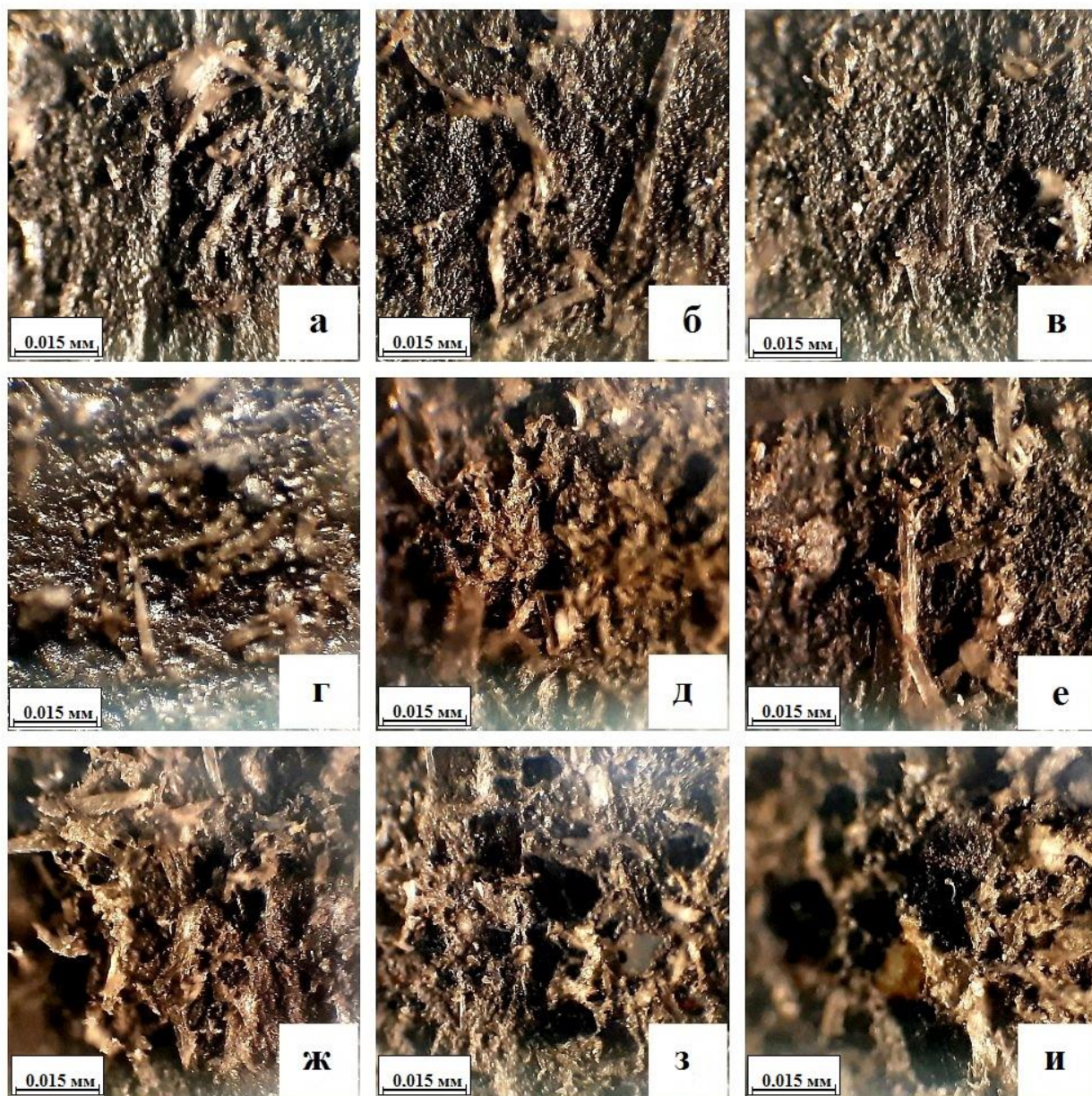
Параметр θ_N характеризует количество концентрических структурных углублений на поверхности напыленного слоя шихты в зависимости от $P_{\text{вшс}}$ (рисунок 4). До давления, равного 500-600 Па, параметр θ_N растет более медленным темпом, чем при $P_{\text{вшс}} > 600$ Па (при $W_{\text{ш}} = 7,5$ и $10,0$ %). Это объясняется тем, что с ростом $P_{\text{вшс}}$ интенсивность роста количества структурных углублений существенно превышает рост площади напыленного слоя $f_{\text{нс}}$ и его диаметра d . Причем с ростом влажности шихты с 5,0 до 10,0 % параметр θ_N возрастает почти в 4 раза при $P_{\text{вшс}} = 1280$ Па. При формировании напыленного слоя шихты, полученного при влажности шихты $W_{\text{ш}} = 5,0$ % и давлении ВШС менее 800-1000 Па, высоту структурных углублений измерить практически невозможно и ее условно приняли, равной 0,1 мм. При этом условии параметр θ_N , близок к нулю.

Механизм формирования пористости основан на надвиге шихтовых наплывов друг на друга под динамическим давлением ВШС. Воздушная полость (пора) в наибольшей степени вероятности может образоваться в основании структурного углубления, где наиболее сильное сцепление шихтового наплыва с основой. Силами, препятствующими отрыву наплыва от основы, являются силы капиллярного и межчастичного взаимодействия, силы вязкого трения [1, 2]. Гребень наплыва, находящийся под динамическим давлением ВШС, напротив, обладает более высокой подвижностью и деформацией в силу особой геометрической формы и потому может перекрыть пустоту в зоне, недоступной для давления ВШС. В силу разных причин он может обломиться и вклиниться всей массой в полость углубления. Этот механизм вероятностный, поскольку зафиксировать его в динамическом состоянии в условиях аппаратного увеличения достаточно проблематично. Если шихтовые наплывы, не обладают достаточной подвижностью, необходимой для развития первого механизма порообразования, то возможен механизм формирования пустот путем механического перекрытия структурных углублений напыляемой шихтой. Возможность такого развития событий подтверждают результаты работ [2, 3], в которых доказана возможность создания упрочняющего каркасного перекрытия для залечивания дефектов и пустот НС и напыленного покрытия методом газового напыления. Не исключен комбинированный механизм формирования пористости по обоим указанным механизмам. Поскольку механизм напыления носит слоевой характер, то в процессе уплотнения НС в глубине слоя возможно продолжение порообразования по пути уменьшения размеров пор, их удлинения, сфероидизации и др. В виду сложности этих процессов, протекающих в динамическом состоянии и в закрытой системе, все описанные механизмы имеют вероятностный характер.

Для уточнения механизма порообразования в процессе теплосилового формирования напыленного слоя шихты анализировали микроструктуру обожженных окатышей на оптическом микроскопе при увеличении $120\times$. Характерные микроструктуры в разных зонах НС, обожженного при 800°C , представлены на рисунке 5.

Анализ микроструктуры НС в разных зонах шлифа показал наличие протяженных малоизвилистых поровых каналов различной глубины и плотности как по высоте НС, так и по его диаметру. Причем каналы расположены преимущественно вертикально или с небольшим наклоном в сторону атаки струи. В зоне 1 ($\delta = 0-0,2$) плотность расположения каналов и диаметр каналов минимальные. Такой характер пористости можно объяснить наличием в объеме НС тонкого слоя подвижной шихтовой пульпы (гидросмеси). Под действием напора воздуха гидросмесь легко растекается, заполняя неровности рельефа на поверхности и в глубине НС, участвуя в формировании пористости. Поскольку весь массив НС испытывает силовые нагрузки от динамического давления потока воздуха, то появляется характерный наклон пор в сторону атаки струи. В зоне 2 ($\delta = 0,2-0,6$) ширина и глубина поровых каналов увеличиваются, длина существенно уменьшается, извилистость и плотность каналов возрастают. В этой зоне появляется небольшое количество пор закрытого типа неправильной формы. В зоне 3 ($\delta = 0,6-1,0$) пористость НС заметно выше, количество пор канального типа резко уменьшается и наблюдаются они только в начале зоны. В конце зоны располагаются

поры преимущественно закрытого типа существенно большего диаметра, у которых вертикальный размер существенно выше продольного размера. Проведенные исследования подтверждают сдвиговый механизм формирования пористости, опирающийся на динамическое воздействие воздушно-шихтовой струи на влажные шихтовые материалы.



Позиции: а, б, в – зона 1; г, д, е – зона 2; ж, з, и – зона 3
 Координаты : $h = 0,5, \delta = 0,15$ (а); $h = 0,7, \delta = 0,1$ (б); $h = 0,3, \delta = 0,15$ (в)
 $h = 0,3, \delta = 0,5$ (г); $h = 0,2, \delta = 0,4$ (д); $h = 0,2, \delta = 0,5$ (е)
 $h = 0,2, \delta = 0,65$ (ж); $h = 0,1, \delta = 0,7$ (з); $h = 0,2, \delta = 0,9$ (и)

Рисунок 5 – Микроструктура обожженного НС ($t=800\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\tau=20$ мин);
 $W=10\%$; Увеличение $120\times$

Возможности широкого воздействия на структуру напыленного слоя шихты и зародышевой массы в производстве окатышей демонстрирует список изобретений автора, полученный по исследуемой проблеме в последнее время (таблица 2).

Таблица 2 – Реферативное описание охранных документов, полученных по исследуемой проблеме

№	Выходные данные изобретения	Реферативное описание охранных документов
1	Патент РФ №2750432; Опубл. 28.06.21; Бюлл.№19	В качестве структурообразующего материала, предложено использовать шламы отработанного моторного масла в количестве 1–8 %, подогретого до 30–90 °С
2	Патент РФ №2743435; Опубл. 18.02.21; Бюлл.№19	В качестве структурообразующего материала, предложено использовать растительные отходы сельскохозяйственного производства в смеси с железосодержащей окалиной, нагретой до 180–360 °С
3	Патент РФ №2717749; Опубл. 25.03.20; Бюлл.№9	В качестве структурообразующего воздействия, предложено использовать профилирование напыленного слоя шихты с использованием отражателей и гибких самонапряженных эластичных фартуков
4	Патент РФ №2698000; Опубл. 21.08.19; Бюлл.№24	В качестве структурообразующего материала, предложено использовать растительные отходы сельскохозяйственного производства, на поверхности которых сформированы микро- и макродефекты путем механического смешивания порообразователя с железосодержащей окалиной
5	Патент РФ №2685822; Опубл. 23.04.19; Бюлл.№12	В качестве структурообразующего воздействия, предложено использовать профилирование напыленного слоя шихты и модифицирование поверхности зародышей путем установки подвижного шибера и сеточного накопителя зародышей с заданными геометрическими размерами

В указанных источниках представлены результаты экспериментов по формированию структурных свойств железорудных окатышей путем использования при напылении шихты порообразующих добавок растительного происхождения, формирующих поры открытого типа с заданной формой и размерами.

Заключение. В процессе работы установили, что формировать структурные свойства железорудных окатышей можно изменением параметров зародышевых центров с помощью технологии теплосилового напыления влажной шихты и подбором технологических характеристик напыляемого материала.

Библиографический список

1. Павловец В.М. Окатыши в технологии экстракции металлов из руд / В. М. Павловец. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2014. – 345 с.
2. Павловец В.М. Расширение функциональных возможностей агрегатов для подготовки железорудного сырья к металлургической плавке / В. М. Павловец. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2016. – 373 с.
3. Павловец В. М. Развитие техники и технологии окомкования железорудного сырья в металлургии. – Новокузнецк: СибГИУ, 2019. – 386 с.
4. Павловец В.М. Огнеупорные и теплоизоляционные материалы / В.М. Павловец. – Новокузнецк: СибГИУ, 2015. – 334 с.

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 3: ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ПРОЦЕССОВ СВАРКИ, ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ И ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И ПОКРЫТИЙ.....	4
КОМБИНИРОВАННАЯ НАПЛАВКА ПРОВОЛОКОЙ, СОДЕРЖАЩЕЙ НАНОПОРОШОК ВОЛЬФРАМА	
<i>Зернин Е.А., Козырев Н.А., Данилов В.И., Кузнецов М.А.....</i>	4
ИССЛЕДОВАНИЯ СВАРОЧНОГО ФЛЮСА ИЗГОТОВЛЕННОГО ИЗ ШЛАКА ПРОИЗВОДСТВА ФЕРРОСИЛИКОМАРГАНЦА	
<i>Михно А.Р., Козырев Н.А., Громов В.Е., Усольцев А.А., Крюков Р.Е.</i>	11
ФАЗОВЫЙ СОСТАВ АДДИТИВНО ИЗГОТОВЛЕННОГО AL-MG СПЛАВА, ОБРАБОТАННОГО ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ	
<i>Гэн Я., Панченко И.А., Чэнь С., Иванов Ю.Ф., Коновалов С.В.</i>	16
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН ОБРАЗОВАНИЯ ПОПЕРЕЧНЫХ ТРЕЩИН НА ПРОДОЛЬНОМ СВАРНОМ ШВЕ ТРУБЫ МАГИСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА	
<i>Жуков Д.В., Коновалов С.В., Чэнь Д.....</i>	19
СЕЛЕКТИВНОЕ ИЗВЛЕЧЕНИЕ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ ЦЕМЕНТАТА ПРОИЗВОДСТВА ЗОЛОТА	
<i>ЗеляхЯ.Д., Краюхин С.А., Шунин В.А., Воинков Р.С., Тимофеев К.Л., Королев А.А., Мастюгин С.А., Кузьменко А.А.</i>	23
КОМПЛЕКСНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ГОРНО – МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ПЛАЗМЕННОЙ НАПЛАВКИ В СРЕДЕ АЗОТА	
<i>Малушин Н.Н., Громов В.Е., Романов Д.А., Бащенко Л.П., Ковалев А.П.</i>	28
ПОВЕРХНОСТНОЕ УПРОЧНЕНИЕ СТАЛИ МАРКИ 40Х МЕТОДОМ КОМБИНИРОВАННОЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ	
<i>Кашин С.С., Осколкова Т.Н., Шевченко Р.А.</i>	34
ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ СИСТЕМЫ Fe-C-Si-Mn-Cr- W-V-Ti	
<i>Кибко Н.В., Козырев Н.А., Усольцев А.А., Михно А.Р., Сычев А.А.</i>	36
О МЕХАНИЗМЕ КАРБОТЕРМИЧЕСКОГО И КАРБИДОБОРНОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОКСИДОВ НЕКОТОРЫХ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ	
<i>Крутский Ю.Л., Крутская Т.М., Гудыма Т.С., Сковородин И.Н., Лапекин Н.И., Лазаренко Н.С., Шестаков А.А.</i>	41
ОЦЕНКА ТЕМПЕРАТУРНОГО ДИАПАЗОНА ПРОЦЕССА СИНТЕЗА ПОРОШКОВОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА B_4C-CrB_2	
<i>Шестаков В.А., Гудыма Т.С., Крутский Ю.Л., Уваров Н.Ф., Крутская Т.М.</i>	45
РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИИ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ДИБОРИДА ХРОМА НА ОСНОВЕ ПРОГРАММЫ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ	
<i>Ширяева Л.С., Ноздрин И.В.....</i>	49
ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВОВ ПАСТ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ МЕТАЛЛИЗАЦИИ КЕРАМИКИ ИЗ НИТРИДА АЛЮМИНИЯ	
<i>Непочатов Ю.К., Плетнев П.М., Кучумова И.Д.</i>	56
ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ СНИЖЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ ДУГОВОГО ПЛАЗМЕННОГО РЕАКТОРА ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ТУГОПЛАВКИХ ОКСИДОВ	
<i>Ноздрин И.В., Полях О.А., Ширяева Л.С., Строкина И.В., Шагиев Э.Р.</i>	62

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОКСИДА ВОЛЬФРАМА (III) В ДУГОВОМ ПЛАЗМЕННОМ РЕАКТОРЕ <i>Ноздрин И.В., Шагиев Э.Р., Строкина И.В., Аникин А.Е.</i>	66
Трибологические характеристики упрочненных поверхностей концентрированными потоками энергии сплава ВК10КС <i>Осколкова Т.Н., Симачев А.С., Фастыковский А.Р.</i>	70
Повышение надежности и долговечности деталей металлургического оборудования работающего в условиях интенсивного износа путем наплавки <i>Усольцев А.А., Козырев Н.А., Михно А.Р., Шевченко Р.А., Сычев А.А.</i>	74
Совершенствование технологии наплавки порошковой проволоки прокатных валков. <i>Полегешко С.А., Казарян Л.А., Комаров А.А., Михно А.Р., Шевченко Р.А.</i>	80
Порошковая проволока системы Fe-C-W-Cr-Si-V-Ti для восстановительной наплавки деталей, работающих в условиях высокотемпературного интенсивного износа <i>Козырев Н.А., Михно А.Р., Усольцев А.А., Сычев А.А., Козырева О.А.</i>	83
Модифицирование 3D принтера для изготовления металлических материалов по технологии проволоочно-дугового аддитивного производства <i>Розенштейн Е.О., Гомзяков Б.В., Осинцев К.А., Коновалов С.В.</i>	87
Высокоэнтропийные сплавы CoCrFeNiMn с прямым лазерным напылением: взаимосвязь между высотой осаждения пор <i>Су Ч., Коновалов С.В., Чэнь С.</i>	90
Влияние биоинертных покрытий на распределение напряжений на границе между имплантатом и костной тканью <i>Филяков А.Д., Соснин К.В., Романов Д.А.</i>	93
Исследование влияния термоограничителей на изменение формирования структуры наплавленных многослойных образцов из стали AISI 308LSI <i>Чинахов Д.А., Акимов К.О., Дубровский А.С., Рзаев Е.Д.</i>	100
СЕКЦИЯ 4: ТЕПЛО- И МАССОПЕРЕНОС В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ И АГРЕГАТАХ. РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ, ЭКОЛОГИЯ И УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ	109
Анализ возможности снижения выбросов CO ₂ при замене углерода водородом в доменной плавке <i>Бородин А.В., Степанова А.А., Вохмякова И.С., Берсенев И.С., Гилева Л.Ю., Загайнов С.А.</i>	109
Опыт использования техногенных территорий для организации экологических исследований обучающихся СибГИУ <i>Водолеев А.С., Захарова М.А., Домнин К.И.</i>	115
Использование природных ресурсов Томской области в черной металлургии <i>Строкина И.В., Ноздрин И.В., Полях О.А., Якушевич Н.Ф.</i>	118
Исследование минералогического и фазового составов обезуглероженных слоев ковшевых алюмопериоклазоуглеродистых огнеупоров <i>Темлянцев М.В., Протопопов Е.В., Кувшинникова Н.И., Запольская Е.М., Темлянцева Е.Н., Бивол О.В.</i>	122
Переработка мазутных отходов тепловых электростанций <i>Кашеков Д.Ю., Гончаров К.В., Олюнина Т.В., Садыхов Г.Б., Смирнова В.Б.</i>	126

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА РАБОТЫ В ОБЛАСТИ ОХРАНЫ ТРУДА И ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В МЕТАЛЛУРГИИ И ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ	
<i>Нарский В.А., Смаковский В.Н., Лубяной Д.А.</i>	129
ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ СВОЙСТВ ОКУСКОВАННЫХ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ МАТЕРИАЛОВ	
<i>Павловец В.М.</i>	134
ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ КОНВЕРТОРА ЗА СЧЕТ ТЕПЛА УХОДЯЩИХ ГАЗОВ	
<i>Стерлигов В.В., Гайдаш А.В.</i>	143
СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ЭНДОГЕННЫХ ПОЖАРОВ НА ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ И ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ	
<i>Ермаков А.Ю., Сенкус Вас.В., Гизатулин Р.А., Сенкус Вал.В.</i>	147
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОГЕНЕРАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ НА ПЛОЩАДКЕ НЕФТЕПРОМЫСЛА	
<i>Соловьев А.К., Данилкин Д.О., Кошкина Г.К.</i>	151
РЕКОНСТРУКЦИЯ ТЕПЛОФИКАЦИОННЫХ ЭКОНОМАЙЗЕРОВ БЛЮМИНГА АО «ЕВРАЗ ЗСМК» Г. НОВОКУЗНЕЦКА	
<i>Соловьев А.К., Мотуз А.О., Кошкина Г.К.</i>	154
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА В ТЕХНОЛОГИИ БРИКЕТИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ	
<i>Павловец В.М., Домнин К.И.</i>	159
СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ТЕХНОЗЕМОВ И РАСТЕНИЙ ХВОСТОХРАНИЛИЩА ОАО АБАГУРСКОЙ АГЛОМЕРАЦИОННО-ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ, Г. НОВОКУЗНЕЦК	
<i>Захарова М.А., Водолеев А.С., Домнин К.И.</i>	163
ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ЭНЕРГОГЕНЕРАЦИИ ПУТЕМ ПЕРЕРАБОТКИ НИЗКОСОРТНЫХ УГЛЕЙ НА ПЛОЩАДКЕ РАЗРЕЗА	
<i>Мурко В.И., Черникова О.П., Сентюрев С.А, Амлин М.С.</i>	166
РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА С ЦЕЛЬЮ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ	
<i>Кузнецов В.А., Кузнецова Е.С.</i>	174
СЕКЦИЯ 5: АВТОМАТИЗАЦИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ	182
АДАПТИВНЫЙ АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫМ РЕЖИМОМ МЕТАЛЛА В СТАЛЕРАЗЛИВОЧНОМ КОВШЕ КИСЛОРОДНО-КОНВЕРТЕРНОГО ЦЕХА № 2 ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ЯДЕРНЫХ ОЦЕНОК	
<i>Корнет М.Е, Раскина А.В, Корнеева А.А.</i>	182
МНГОВАРИАНТНЫЕ АКТИВНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ	
<i>Киселева Т.В.</i>	189
ФРАКТАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛОВ	
<i>Мышляев Л.П., Грачев В.В., Ивушкин К.А., Венгер К.Г.</i>	194
ГРАФИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ И МОДИФИКАЦИЯ МАТРИЦЫ ДВУХФАКТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА	
<i>Стерлигов В.В.</i>	199

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПРОКАТНОГО СТАНА РЕЛЬСОВОГО ПРОИЗВОДСТВА ПО СИСТЕМЕ «ПЧ-СД» С ДВУХЗОННЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ СКОРОСТИ <i>Кузнецов В.А., Кузнецова Е.С., Зайцев Н.С.</i>	204
ПРИМЕНЕНИЕ НАТУРНО-МАТЕМАТИЧЕСКОГО ПОДХОДА ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ <i>Свинцов М.М., Мышляев Л.П., Макаров Г.В., Скударнова Н.В.</i>	213
ФОРМИРОВАНИЕ ДАННЫХ ДЛЯ ЦИФРОВЫХ ТРЕНАЖЁРОВ ОПЕРАТОРОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ <i>Ляховец М.В., Макаров Г.В., Саламатин А.С.</i>	217
СЕКЦИЯ 6: ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ	225
ВАРИАНТЫ ЗАЩИТЫ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ОТ ПОЛОМОК В УСЛОВИЯХ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ И НЕДОСТАТОЧНОГО ФИНАНСИРОВАНИЯ <i>Артюх В.Г., Корихин Н.В., Чернышева Н.В., Чигарева И.Н.</i>	225
КРАТКИЕ ИСТОРИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ШАРНИРНО-РЫЧАЖНЫХ МЕХАНИЗМОВ В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ <i>Гудимова Л.Н.</i>	232
ВНЕДРЕНИЕ САМОУСТАНОВЛИВАЮЩИХСЯ ПЛАНЕТАРНЫХ МОТОР-РЕДУКТОРОВ НА ПРИВОДАХ ВОЛОЧИЛЬНЫХ СТАНОВ СТАЛЕПРОКАТНОГО ЦЕХА АО «ЕВРАЗ ЗСМК» <i>Никитин А.Г., Герасимов С.П.</i>	240
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ДРОБИЛЬНЫХ МАШИН <i>Никитин А.Г., Шабунев М.Е., Курочкин Н.М.</i>	245
ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ УПОРНОГО ПОДШИПНИКА ЖИДКОСТНОГО ТРЕНИЯ С МАРТЕНСИТНЫМИ ВАЛИКАМИ <i>Никитин А.Г., Полищук С.В.</i>	248
РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ МНЛЗ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЕЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ <i>Савельев А.Н., Северьянов С.С., Макаров А.В.</i>	253
ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСТАЛОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СИНЕРГЕТИЧЕСКИ ОРГАНИЗОВАННОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ. <i>Савельев А.Н., Савельева Е.А.</i>	259
ИССЛЕДОВАНИЕ ШТАНГИ ДЛЯ ВРАЩАТЕЛЬНОГО БУРЕНИЯ ШПУРОВ С ПОПЕРЕЧНЫМ СЕЧЕНИЕМ В ФОРМЕ ТРЕУГОЛЬНИКА РЕЛО <i>Корнеев В.А., Корнеев П.А., Бедарев С.А., Кулебакин И.И.</i>	264
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ В МАТЕРИАЛЕ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ МЕТОДА СИНЕРГЕТИЧЕСКИ ОРГАНИЗОВАННОЙ ЭМИССИИ ВОЛН НАПРЯЖЕНИЙ <i>Савельев А.Н., Анисимов Д.О., Карташов Р.Н.</i>	266
СЕКЦИЯ 7: ЭКОНОМИКО-УПРАВЛЕНЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ РЕГИОНОВ	273
АНАЛИЗ ИНВЕСТИЦИОННОЙ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ РЕГИОНОВ <i>Шипунова В.В., Климашина Ю.С.</i>	273
СОСТОЯНИЕ ЭКОНОМИКИ И ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ РЕСУРСОДОБЫВАЮЩИХ И МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ РЕГИОНОВ НА ПРИМЕРЕ КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ <i>Буланов Ю.Н.</i>	278

НЕКОТОРЫЕ ИНСТИТУЦИОНАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ РЕГИОНАЛЬНОЙ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ <i>Ковалева Е.В., Цымбалюк М.В., Жданова Н.Г.</i>	286
НОРМИРОВАНИЕ ПРОСТОЕВ ВОЛОЧИЛЬНЫХ СТАНОВ <i>Фастыковский А.Р., Кадыков В.Н., Мусатова А.И.</i>	290
ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОРМАТИВНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ЦИКЛА В ПРОКАТНЫХ ЦЕХАХ <i>Фастыковский А.Р., Мусатова А.И., Кадыков В.Н.</i>	296
ОЦЕНКА НОРМАТИВНОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ЦЕХА <i>Гизатулин Р.А., Мусатова А.И., Лепихов В.С.</i>	302
СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И РАЗРАБОТОК СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА ТЕХНИЧЕСКОГО ВУЗА <i>Куценко А.И., Кольчурина И.Ю.</i>	308
РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА <i>Черникова О.П., Златицкая Ю.А., Нестерова Т.В.</i>	313
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РЕКЛАМНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ КОМПАНИЕЙ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ НЕИСПОЛЬЗУЕМЫХ АКТИВОВ <i>Черникова О.П., Шевченко А.А.</i>	321
АДАПТАЦИЯ И ПРИМЕНЕНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ ВСТРАИВАНИЯ КАЧЕСТВА В ПРОЦЕСС ПОВЫШЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИ РАЗРАБОТКАХ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ <i>Булакина Е., Кетова А., Моисеев В., Почуфаров Д., Недзельская О., Бикинеева А.</i>	330

Научное издание

**МЕТАЛЛУРГИЯ:
ТЕХНОЛОГИИ, ИННОВАЦИИ, КАЧЕСТВО**
«Металлургия – 2021»

Труды XXII 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 20.10.2021 г.
Формат бумаги 60×84 1/16. Бумага офисная. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 19,8 Уч.-изд. л. 22,1 Тираж 300 экз. Заказ № 235

Сибирский государственный индустриальный университет
654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42
Издательский центр СибГИУ