

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Сибирский государственный индустриальный университет

*Посвящается 90-летию Сибирского
государственного индустриального университета*

**МЕТАЛЛУРГИЯ:
ТЕХНОЛОГИИ, ИННОВАЦИИ, КАЧЕСТВО
«Металлургия – 2019»**

23 – 24 октября 2019 г.

*Труды
XXI Международной научно-практической конференции
Часть 1*

**Новокузнецк
2019**

УДК 669(06)+658.012.056(06)
М 540

Редакционная коллегия
академик РАН Л.А. Смирнов, д.т.н., профессор Е.В. Протопопов,
д.т.н., профессор М.В. Темлянцев, д.т.н., профессор Г.В. Галевский,
д.т.н., профессор Н.А. Козырев, д.т.н., профессор А.Р. Фастыковский,
к.т.н., доцент С.Г. Коротков

М 540 Металлургия: технологии, инновации, качество : труды XXI Международной
научно-практической конференции: в 2-х ч. Ч. 1 / под ред. Е.В. Протопопова;
Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2019. – 404 с. : ил.

ISSN 2542-1670

Труды конференции включают доклады по актуальным вопросам теории и
технологии производства, обработки и сварки металлов, энергоресурсосбережения,
рециклинга и экологии в металлургии.

ОРГАНИЗАТОРЫ И ПАРТНЕРЫ КОНФЕРЕНЦИИ

Администрация Кемеровской области
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»
АО «ЕВРАЗ ЗСМК»
АО «Русал Новокузнецк»
АО «Кузнецкие ферросплавы»
ОАО «Черметинформация»
Издательство Сибирского отделения РАН
Журнал «Известия вузов. Черная металлургия»
Журнал «Вестник СибГИУ»
Журнал «IOP conference series: materials science and engineering»
АО «Кузбасский технопарк»
Западно – Сибирское отделение Российской Академии естественных наук
Совет молодых ученых Кузбасса

ISSN 2542-1670

© Сибирский государственный
индустриальный университет, 2019

нах, технология открытой добычи ультрабольших карстовых бокситовых отложений, технология рекультивации, технология разработки пологой тощей руды с нестабильной кровлей подземного месторождения и т.д. Кроме того, CINF имеет много патентов на пассажирские, товарные канатные дороги и экскурсионные лифты, представляющих самые передовые технологии, имеющих высокую экономическую эффективность и занимающих большую долю рынка.

2) Новейшие технологии обогащения руды: более 100 запатентованных технологий, в т.ч. CCF – новая технология контактной колонно-надувной флотации; крупная высокоэффективная рудомойка производительностью 110 тонн/час и степенью отмывки 97 %; высокоэффективный сгуститель для обезвоживания; энергосберегающий смеситель для пульпы.

3) Новейшие технологии в производстве цветных металлов: меди, никеля, цинка, свинца.

4) Комплексное использование новых источников энергии.

5) Очистка сточных вод – более 20 патентов на оборудование и технологии водоподготовки: проекты очистки сточных вод от тяжелых металлов горно-металлургических комбинатов, очистки воды для коммунального хозяйства, очистки сточных вод с высоким содержанием фтора и др.

6) Комплексное оборудование для автоматического управления – более 50 патентов, в т.ч. система и метод измерения толщины футеровки, электронные датчики температуры и уровня жидкости, разноплановое лазерное оборудование и др.

УДК 669.162.1

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ОКАТЫШЕЙ С ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫМИ СВОЙСТВАМИ

Павловец В.М.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия, kafedra-tee@yandex.ru*

Аннотация. Проанализирован вероятный механизм формирования пористости окатышей, сформированных по технологии принудительного зародышеобразования. Проведен обзор информации по проблеме повышения реакционной способности окускованного металлургического продукта. Сформулированы условия оптимизации поровой структуры окускованных дисперсных железосодержащих материалов.

Ключевые слова: структура, реакционная способность, окускованное металлургическое сырье, железорудные окатыши, дифференцированные свойства.

FORMATION OF THE STRUCTURE OF IRON ORIENTAL GROUND WITH DIFFERENTIATED PROPERTIES

Pavlovets V.M.

*Siberian State Industrial University,
Novokuznetsk, Russia, kafedra-tee@yandex.ru*

Abstract. The probable mechanism of formation of the porosity of pellets formed using the forced-nucleation technology has been analyzed. A review of information on the problem of increasing the reactivity of agglomerated metallurgical product. The conditions for optimizing the pore structure of agglomerated dispersed iron-containing materials are formulated.

Keywords: structure, reactivity, agglomerated metallurgical raw materials, iron ore pellets, differentiated properties.

Окускование железорудных материалов необходимо для получения прочного кускового продукта, являющегося сырьем для экстракции первичного металла (чугуна) в доменных печах или для металлизации сырья в шахтных агрегатах [1, 2]. Существуют три основных способа окускования пылевидной рудной мелочи и тонкоизмельченных железорудных концентратов: агломерация, брикетирование и производство окатышей. Выбор способа окускования сопряжен с рядом технологических и экономических ограничений. В частности, для производства железосодержащих окатышей необходима гидрофильная (смачиваемая водой) структура частиц, размер которых не должен превышать 0,074 – 0,10 мм. Для получения агломерата, напротив, фракция частиц размером менее 0,05 мм нежелательна, поскольку ухудшает газопроницаемость слоя спекаемой шихты и потому требует дополнительного окомкования с получением микроокатышей. Процесс брикетирования по этим критериям менее требователен и позволяет прессовать дисперсное вторичное и рудное сырье с низкой степенью гидрофильности в более широком диапазоне крупности частиц (0 – 5,0 мм) практически в любых пропорциях и составах.

Для формирования характера пористости окускованных продуктов в различных отраслях техники (металлургия, строительное и огнеупорное производство) применяют различные технические средства и методы. Основные из них приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Методы формирования структуры окускованных продуктов

Параметр структуры окускованного 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	[1, 2]
	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]
	2. Применение специальных методов формообразования	1. Формирование канальной пористости полусухим, инъекционным формованием, вибропрессованием и др. 2. Использование аэродинамических методов формообразования	[2, 3]
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	[2, 3]
Влажность продукта	1. Уменьшение влажности тела применением специальных методов формообразования	1. Полусухое формование и торкретирование. 2. Способ струйной теплосиловой обработки и напыления влажной шихты	[1,3]

В металлургии порообразующие добавки должны обладать высокими поверхностно-активными свойствами и обеспечивать необходимую холодную и горячую прочность при минимальном расходе связующего материала. Они должны обеспечивать быструю схватываемость и высокую пластичность комкуемой массы. Они не должны ухудшать условий плавки, быть распространёнными и обладать невысокой стоимостью, характеризоваться низкими транспортными затратами по их доставке на фабрику, вносить минимальное количество примесей, опасных для персонала и снижающих качество конечного продукта, не требовать сложных приёмов и операций по их использованию. Функциональное назначение порообразующих добавок также различное. Некоторые формируют низкую теплопроводность куска, другие исключают газопроницаемость или фильтрацию жидкой фазы, третьи дополнительно формируют источник тепловыделения. Металлургическое окускованное сырьё ориентировано на формирование проницаемых для газов восстановителей слабоизвилистых пор, на границах которых способны активно протекать термохимические реакции. На этапе сушки окускованное тело должно иметь низкое содержание влаги и возможность облегченной диффузии пара из центральной части куска на его поверхность, чтобы исключить формирование предельных структурных и термических напряжений, и связанного с ними процесса трещинообразования. Повышенная реакционная способность окускованного сырья благоприятна для режима фильтрации окислительных горновых газов через структуру окатышей во время обжига.

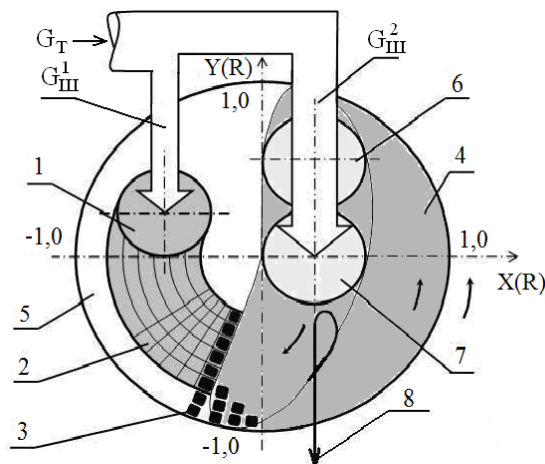
Газопроницаемость зависит от извилистости пор, которая может быть прямолинейной или извилистой. Прямолинейные поры обладают меньшим сопротивлением и легче пропускают газ восстановитель. Извилистая структура обладает более высоким сопротивлением и создает затруднения для фильтрации газа восстановителя. Чем больше диаметр пор, тем легче газ проходит к центру окатышей, но при этом уменьшается прочность гранул. Пора малого диаметра в меньшей степени разупрочняет окатыши, но создает большее сопротивление для прохода газа. Для достижения стандартной прочности окатышей рационально использовать более эффективные связки или предусматривать дополнительную упрочняющую термообработку [1]. Окатыши удовлетворительной прочности можно получить при грубом помоле концентрата до крупности, равной 0,2 мм [1, 2]. Основное условие для таких шихт при окомковании является замена воды на более эффективные связующие. Это растворы жидкого стекла, сульфит-дрожжевая бражка, известковое молоко, отходы теплоэнергетики, химической, металлургической и пищевой промышленности. Используя альтернативные связующие необходимо учитывать, что их добавки снижают содержание железа в окатышах и приводят к необходимости уменьшения температур обжига [2]. По этой причине бентонит, вводимый в количестве 1,0-1,5 %, предлагается заменять синтетическим связующим в количестве 0,1-0,2 %. В США разработали комбинированные связующие на основе кальцинированной соды, позволяющие снизить содержание связки до 0,5 кг/т. В Швеции бентонит заменяют хлоридами кальция и железным купоросом.

Использование топливных добавок в шихте окатышей (измельченный уголь, пековый кокс, шламы углеобогащения, тканевые и волосные нити, древесные опилки [2]) позволяет реализовать теплотехнические преимущества топлива, находящегося в структуре окатышей, при их обжиге [1, 2]. Снижается расход природного газа, уменьшается длительность термообработки. Появляется возможность формирования более высокой пористости и улучшенной структуры окатышей. Однако при использовании углеродсодержащих шихт снижаются комкующие свойства материала, при обжиге углеродсодержащих окатышей появляется опасность появления спеков. По этой причине содержание углеродсодержащих добавок в шихте окатышей не превышает 1-2 % [1].

Одной из структурных проблем окускованного металлургического сырья являются диффузионные затруднения в центральной части куска, обусловленные кинетическими ограничениями, возникающими при переносе газовой фазы от поверхности, например, окатышей к их центру. Они обусловлены некоторым расстоянием, которое должен пройти газ-теплоноситель от поверхности к центру, и недостаточно оптимальной поровой структурой центральной части куска. При такой структуре на этапе сушки окатышей центральная часть

окатыша содержит некоторое количество влаги, при обжиге образуется зональная структура с недообжигом и недостаточным количеством упрочняющего расплава, при восстановлении требуется большая длительность металлизации [1, 2].

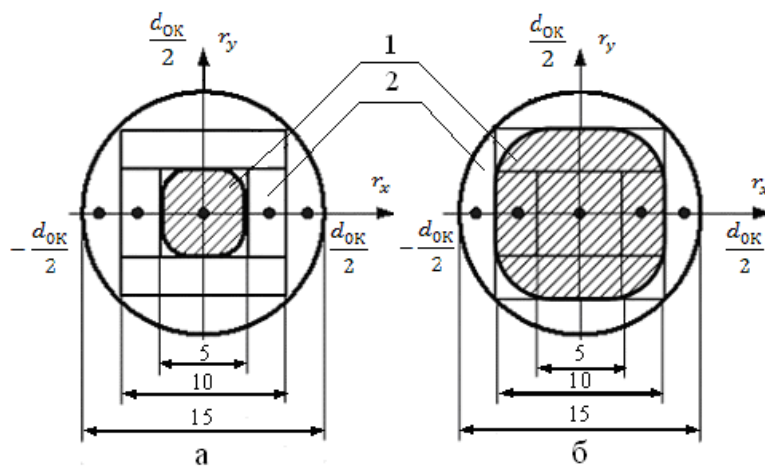
Одним из путей преодоления указанных недостатков является получение окатышей по технологии принудительного зародышеобразования (ЗНД), в которой зародышевая часть и ее поровая структура формируются теплосиловым напылением влажной шихты на донный гарнисаж окомкователя [1, 2, 4]. Схема производства окатышей по технологии ЗНД показана на рисунке 1.



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

Рисунок 1 – Схема получения окатышей способом принудительного зародышеобразования

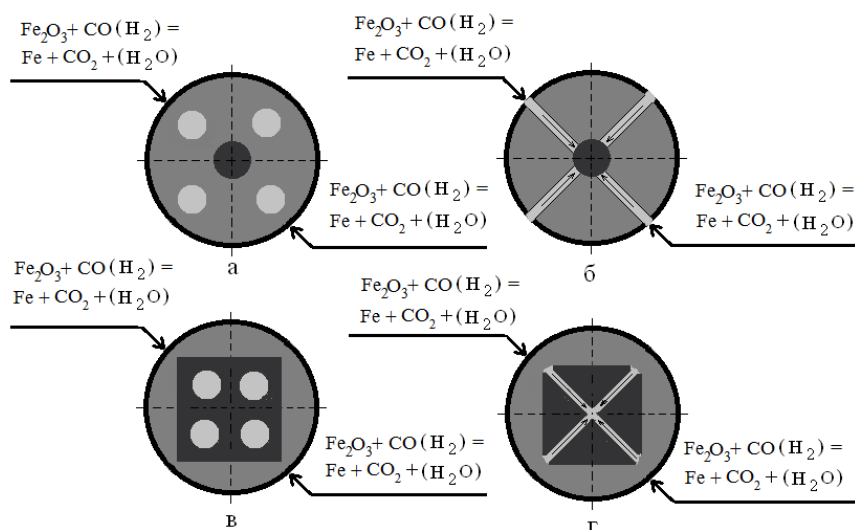
Формирование окатышей по упрощенной схеме ЗНД начинается с принудительного зародышеобразования напылением влажной шихты сжатым воздухом в холостой зоне тарелки [2]. Для этого загружаемая шихта делится на два потока, один из которых напыляется сжатым воздухом на шихтовый гарнисаж окомкователя, где формируется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



- а – схема окатыша с зародышем размером $a_{зр} = 5$ мм; б – тоже с зародышем размером $a_{зр} = 10$ мм. Заштрихованная область 1 принадлежит зародышам, незаштрихованная зона 2 – принадлежит оболочке окатышей

Рисунок 2 – Структура окатышей, сформированных по технологии ЗНД

Существует схема производства окатышей, в которой напыление влажной шихты осуществляется на зародыши, полученные в режиме переката (ЗОН) [2]. Схема взаимодействия газа-восстановителя с рудным каркасом железорудных окатышей, полученных по технологии ЗОН и ЗНД, показана на рисунке 3. Использование метода напыления ВШС оказывает большое влияние на структуру получаемых окатышей. Повышается количество открытых пор и общей пористости окатышей, снижается значение закрытой пористости и кажущейся плотности. Влажность центральной зоны окатышей снижается на 0,5-2,2 %. Дифференцированные свойства окатышей по сечению гранул усиливают протекание термохимических процессов на границах проницаемых пор.



в позиции: а, в – схема окатышей с закрытыми порами; б, г – схема окатышей с открытыми порами

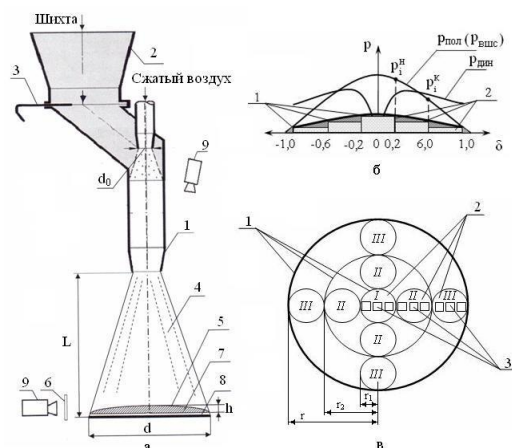
Рисунок 3 – Схема взаимодействия газа-восстановителя с рудным каркасом железорудных окатышей, полученных по технологии ЗОН – а, б и ЗНД – в, г

Эта технология успешно отработана в лабораторных условиях и показала высокую практическую эффективность. Однако закономерности формирования пористости железорудных окатышей и многие другие процессы, сопутствующие новой технологии, остаются малоизученными.

Целью работы являлось исследование механизма формирования пористости зародышей в технологии производства окатышей, основанной на технике принудительного зародышеобразования.

Схема экспериментальной установки для видеосъемки процесса напыления влажной шихты на контрастную поверхность представлена на рисунке 4.

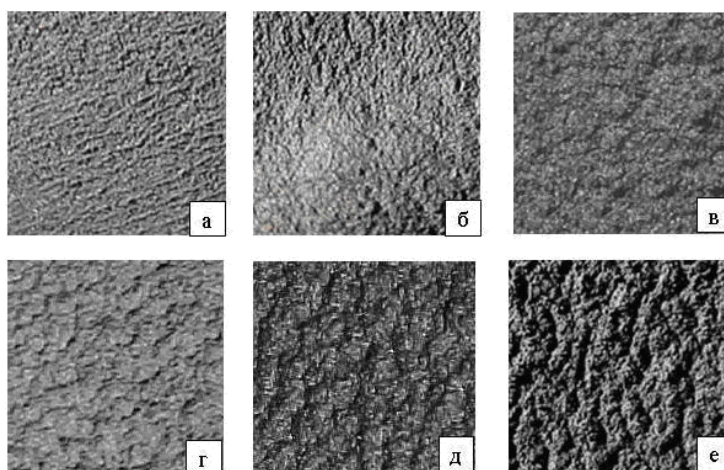
Напыляемая шихта влажностью 8,4 % содержала железорудный концентрат Тейского месторождения ($d_q = 0,068$ мм) и 1 % бентонита. Влажную шихту напыляли сжатым воздухом давлением 0,2 МПа и расходом 0,6 м³/мин. Прочность на сжатие и плотность исследовали с помощью образцов, вырезанных из них методом режущего 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 – $P_{\text{вл}}$ и сухих – $P_{\text{сух}}$, кПа, образцов определяли по ГОСТ 17245-79 и 26447-85. Часть проб использовали для определения плотности $\rho_{\text{вл}}$, кг/м³, и влажности образцов W , %. Взвешивание проводили на электронных весах VIBRA серии AF – R220 CE (Япония). В работе использовали относительное расстояние $L/d_{\text{ca}} = 1,5; 2,5; 5,0; 10,0; 15,0; 20,0$ (где L – расстояние между соплом СА и ШГ, м; d_{ca} – диаметр сопла СА, м). Угол атаки СА к гарнизажу составлял 90 град. Используя номограмму, разработанную в работе [2], и условия экспериментов, определяли давление ВШС в зависимости от параметров сжатого воздуха и характеристик струйного аппарата.



В позиции а: 1 – струйный аппарат; 2 – бункер шихты; 3 – шибер; 4 – воздушношихтовая струя; 5 – напыленный слой шихты; 6 – защитный стеклянный экран; 7 – контрастная основа; 8 – опора; 9 – видеокамеры. В позиции б и в: 1 – границы зон; 2 – расположение образцов; 3 – места фотосъемки

Рисунок 4 – Схема экспериментальной установки для видеосъемки процесса напыления влажной шихты на контрастную поверхность – а, поле давлений струи на поверхности напыленного слоя – б и схема взятия образцов в зонах I - III – в

Анализ макроструктуры (рисунок 5) образцов показал, что в каждой из зон НС существуют заметно выраженные структурные особенности.



а – шихтовый гарнисаж; б – центральная зона НС $\delta=0$; $\beta=90^\circ$; в – $\delta=0,2$; $\beta=90^\circ$; г – $\delta=0,5$; $\beta=90^\circ$; д – $\delta=0,5$; $\beta=45^\circ$; е – $\delta=0,6$; $\beta=45^\circ$

Рисунок 5 – Макроструктура напыленного слоя шихты

В центральной зоне I ($\delta = 0-0,2$) макроструктура НС характеризуется наличием на его поверхности тонкого слоя подвижной шихтовой пульпы (гидросмеси) влажностью более 12 %. Под действием напора воздуха гидросмесь легко растекается, заполняя неровности рельефа на поверхности и, по-видимому, в глубине НС, участвуя в формировании пористости. Плотность НС в зоне I возрастает до 3050-3380 кг/м³, а пористость имеет минимальное значение (26,5-27,2 %). Здесь в основном формируется закрытая пористость (19,6-19,8 %). В периферийных зонах II и III глубина и извилистость поровых каналов возрастает, что увеличивает долю открытых пор. В ходе экспериментов установили, что железорудная шихта с размерами частиц 0,025-0,2 мм позволяет сформировать прочные (до 120 кПа) и плотные (до 3200 кг/м³) влажные зародыши, способные выдерживать ударные нагрузки на окомкователе и комковаться до окатышей прочностью, превышающей 10 Н/окатыш. Получение зародышей с более высокой пористостью (плотность 2200-2600 кг/м³) дает возможность формировать окатыши с повышенной пористостью в центре окатышей, что позволяет прогнозировать по-

вышение восстановимости окатышей в металлургической плавке.

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 напылов имеет более существенную величину: от 1 до 3 мм. Эту особенность напыленных покрытий отмечают авторы работы [4, 5], в которой это свойство объясняют «теневым эффектом» напыленного слоя для потока частиц, ускоренных высокотемпературной плазмой. В результате формируется столбчатая структура покрытия, состоящая из напылов и углублений.

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_{ca} и влажности напыляемой шихты (рисунок 6).

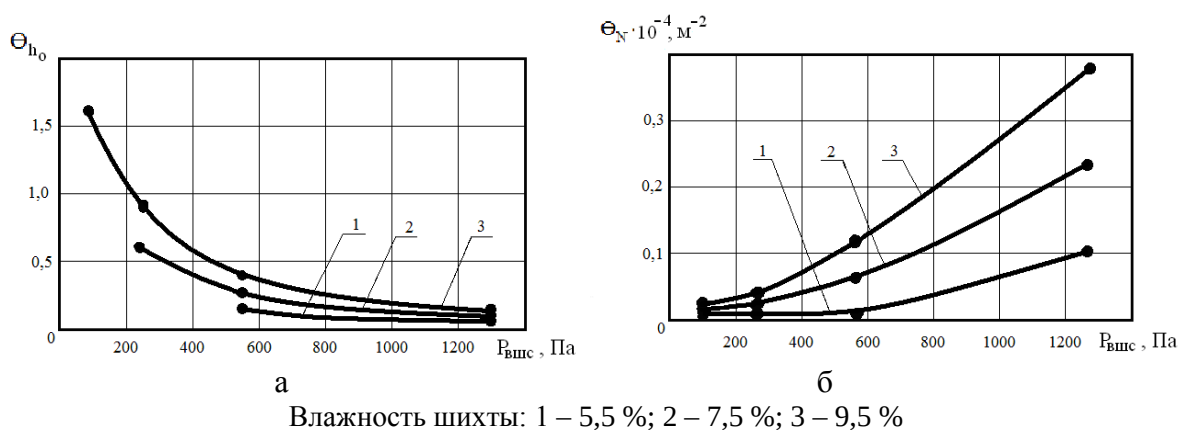
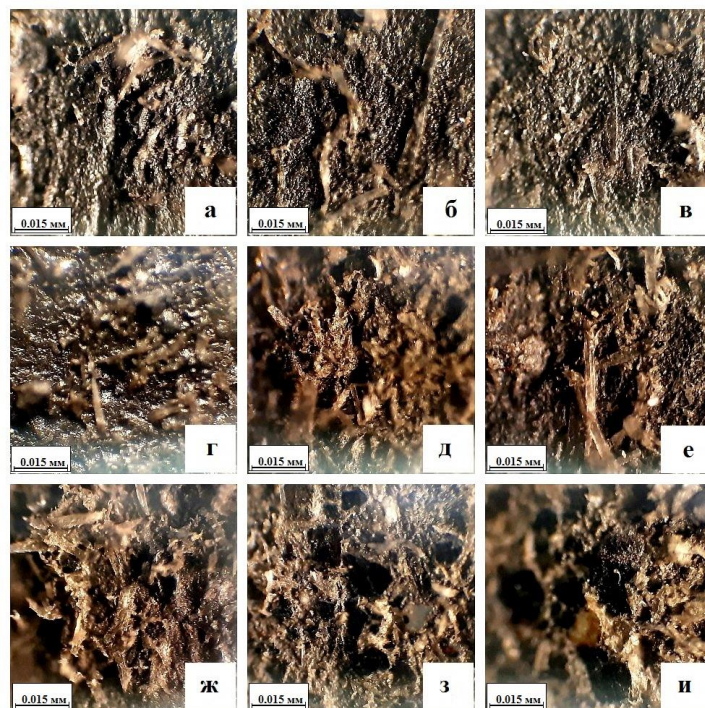


Рисунок 6 – Зависимости относительной величины структурных углублений – а и относительного количества структурных углублений НС шихты – б от давления ВШС

Установили, что в общем случае параметр θ_{ho} резко снижается с ростом давления ВШС до 800 Па, после чего происходит замедленное снижение его величины (рисунок 6). Одновременно с ростом давления ВШС высота структурных углублений падает, но одновременно с этим растет средний размер НС. Большую роль на параметр θ_{ho} оказывает влажность напыляемой шихты. При $W_{ш} = 5,5$ % 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 9,5 % формируются крупные шихтовые напылы достаточной высоты и структурные углубления, доступные для визуального наблюдения и инструментального измерения. Параметр θ_N характеризует количество концентрических структурных углублений на поверхности напыленного слоя шихты в зависимости от P_{VShC} (рисунок 6). До давления, равного 500-600 Па, параметр θ_N растет более медленным темпом, чем при $P_{VShC} > 600$ Па (при $W_{ш} = 7,5$ и 9,5 %). Это объясняется тем, что с ростом P_{VShC} интенсивность роста количества структурных углублений существенно превышает рост площади напыленного слоя f_{nc} и его диаметра d . Причем с ростом влажности шихты с 5,5 до 9,5 % параметр θ_N возрастает почти в 4

раза при $P_{\text{ВШС}}=1280$ Па. При формировании напыленного слоя шихты, полученного при влажности шихты $W_{\text{ш}}=5,5\%$ 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.

В центральной части НС давление ВШС максимальное, в зоне III давление ВШС - минимальное. Собственное давление ВШС, называемое полным, структурно состоит из динамического (скоростного) давления движущегося потока и статического (неподвижного) заторможенного газа на поверхности преграды [6] (рисунок 4). Динамическое давление на оси НС при угле атаки ВШС 90 град равно нулю, после чего возрастает до максимального значения примерно на половине радиуса НС (зона II), после чего плавно убывает до минимума в зоне III. Динамическое давление замерено у воздушного потока, движущегося строго вдоль (параллельно) поверхности НС. Движущийся поток газов и частиц испытывает при движении сопротивление со стороны поверхности НС за счет сил трения. По этой причине поверхностная зона НС испытывает сдвиговые нагрузки [2]. В центре зоны I НС при среднем давлении ВШС (в пределах 1000-2000 Па) на шихту оказывается максимальное давление, которое выдавливает влагу из напыляемой шихты на поверхность НС особенно при $W_{\text{ш}} > 7,5\%$. В результате этого образуется подвижная шихтовая пульпа влажностью $W=(1,25-1,50)W_{\text{ш}}$, которая пропитывает шихту и активно участвует в структурообразовании. В зоне II НС динамическое давление газа-носителя максимальное, а статическая составляющая полного давления минимальная (рисунок 4). Структурообразованию способствует создание барьеров и неровностей на пути движения частиц за счет сил трения. На формирование размеров напылов и углублений оказывает влияние теневой эффект. Параметры θ_{ho} и θ_N имеют некоторое промежуточное значение. В зоне III НС все составляющие полного давления ВШС имеют минимальное значение. Напыленный слой шихты в этой зоне состоит преимущественно из слабосвязанных шихтовых конгломератов пониженной влажности $W=(0,85-0,95)W_{\text{ш}}$, которые сформированы из частично разрушившихся гребней напылов. Микроструктуры поперечного сечения в разных зонах НС, обожженного при 800 °С, представлены на рисунке 7.



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 7 – Микроструктура обожженного НС ($T=800$ °С, $\tau=20$ мин);
 $W=10\%$; Увеличение $120\times$

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. 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. Причем большинство этих пор наклонено (наклонена вертикальная ось) в сторону атаки ВШС. Это подтверждает сдвиговый механизм формирования пористости, опирающийся на динамическое воздействие ВШС на влажные шихтовые материалы.

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 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. Этот механизм особенно вероятен в зоне I, где ширина углублений не превышает 0,1-0,5 мм и соизмерима с размерами напыляемых частиц и массивных коагулянтов. 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, описанные механизмы имеют вероятностный характер.

Библиографический список

1. Павловец В.М. Окапыши 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. Огнеупорные и теплоизоляционные материалы / В.М. Павловец. – Новокузнецк: СибГИУ, 2015. – 334 с.
4. Гнездовец А.Г. Модель формирования макроструктуры покрытий при плазменном напылении / А.Г. Гнездовец, В.И. Калита // Физика и химия обработки материалов. - 2007. - №1. – С. 30-39.
5. Калита В.И. Механизм формирования аморфной структуры в металлических сплавах при плазменном напылении / В.И. Калита, Д.И. Комлев // Металлы. – 2003. – №6. – С. 30-37.
6. Павловец В.М. Прикладная механика жидкости и газа / В. М. Павловец. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2009. – 214 с.

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1: ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, ТЕОРИЯ, МОДЕЛИРОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ	4
МЕТАЛЛУРГИЯ КУЗБАССА: НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ	
<i>Протопопов Е.В., Темлянец М.В., Галевский Г.В., Козырев Н.А., Коротков С.Г., Фастыковский А.Р.</i>	<i>4</i>
СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ	
<i>Протопопов Е.В., Калиногорский А.Н., Ганзер Л.А.</i>	<i>9</i>
СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ	
<i>Фастыковский А.Р.</i>	<i>14</i>
ФЕРРОСПЛАВНОЕ ПРОИЗВОДСТВО: СОСТОЯНИЕ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ В МИРЕ И РОССИИ	
<i>Рожихина И.Д., Нохрина О.И., Ёлкин К.С., Голодова М.А.</i>	<i>20</i>
НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ СВАРКИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ РЕЛЬСОВ	
<i>Козырев Н.А.¹, Шевченко Р.А., Протопопов Е.В., Кратько С.Н., Хомичева В.Е.</i>	<i>33</i>
85 ЛЕТ В СИСТЕМЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ. К ЮБИЛЕЮ КАФЕДРЫ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ И ЭКОЛОГИИ СИБГИУ	
<i>Коротков С.Г., Темлянец М.В., Стерлигов В.В.</i>	<i>44</i>
МОЛИБДЕНОВЫЕ КОНЦЕНТРАТЫ : СЫРЬЕВАЯ БАЗА И СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБОГАЩЕНИЯ	
<i>Полях О.А., Комрони М.</i>	<i>55</i>
РЕСУРСО – И ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ КАЧЕСТВЕННЫХ СТАЛЬНЫХ ОТЛИВОК С ТЕРМОВРЕМЕННОЙ ОБРАБОТКОЙ	
<i>Лубяной Д.А., Мамедов Р.О., Князев С.В.</i>	<i>61</i>
ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ШЛАКОВ РАФИНИРОВАНИЯ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ	
<i>Рожихина И.Д., Нохрина О.И., Ходосов И.Е., Ёлкин К.С.</i>	<i>66</i>
ИССЛЕДОВАНИЕ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОГО И МИРОВОГО ПРОИЗВОДСТВА МОЛИБДЕНА, ЕГО СПЛАВОВ И СОЕДИНЕНИЙ	
<i>Горлова А.А., Галевский Г.В., Руднева В.В.</i>	<i>72</i>
КОМПАНИЯ CINF – ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЙ ЛИДЕР В ПРОЕКТИРОВАНИИ, СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ИНЖИНИРИНГЕ ПРЕДПРИЯТИЙ ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ	
<i>Чжан Кэ</i>	<i>78</i>
ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ОКАТЫШЕЙ С ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫМИ СВОЙСТВАМИ	
<i>Павловец В.М.</i>	<i>81</i>
ПОВЫШЕНИЕ СТОЙКОСТИ ПОДОВОЙ ФУТЕРОВКИ АЛЮМИНИЕВОГО ЭЛЕКТРОЛИЗЕРА: СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ	
<i>Горлова А.А., Зербач О.В., Галевский Г.В.</i>	<i>90</i>
ПРИМЕНЕНИЕ ДИБОРИДА ТИТАНА ДЛЯ ЗАЩИТЫ КАТОДОВ АЛЮМИНИЕВЫХ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРОВ	
<i>Галевский Г.В., Руднева В.В., Галевский С.Г., Комрони М., Гордиевский О.И.</i>	<i>94</i>
ПРОИЗВОДСТВО ОБОЖЖЕННЫХ АНОДОВ ДЛЯ АЛЮМИНИЕВЫХ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРОВ: ДОМИНИРУЮЩИЕ ТЕНДЕНЦИИ, ТЕХНОЛОГИЯ, КАЧЕСТВО	
<i>Лысенко О.Е., Галевский Г.В., Руднева В.В., Галевский С.Г., Комрони М.</i>	<i>101</i>

СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ ПРИРОДНЫХ ТВЕРДЫХ УГЛЕРОДИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ В МЕТАЛЛУРГИИ <i>Аникин А.Е., Галевский Г.В., Руднева В.В., Галевский С.Г., Комрони М.⁴, Макарычева Е.Г., Смит С.В.</i>	110
СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ ТВЕРДЫХ УГЛЕРОДИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ В МЕТАЛЛУРГИИ.....	118
<i>Аникин А.Е., Галевский Г.В., Руднева В.В., Галевский С.Г., Комрони М., Макарычева Е.Г., Смит С.В.</i>	118
ТЕХНОЛОГИЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОКСИДОВ ЖЕЛЕЗА ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ СКРАПА ШЛАКОМЕТАЛЛИЧЕСКОГО В КИСЛОРОДНОМ КОНВЕРТЕРЕ <i>Амелин А.В., Протопопов Е.В., Кузнецов С.Н., Калиногорский А.Н., Ганзер Л.А.</i>	124
ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ МАРГАНЦЕВЫХ КОНЦЕНТРАТОВ <i>Прошунин И.Е., Нохрина О.И., Рожихина И.Д.</i>	128
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ИЗВЛЕЧЕНИЕ ВАНАДИЯ ИЗ КОНВЕРТЕРНОГО ВАНАДИЕВОГО ШЛАКА ПРИ ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКЕ СТАЛИ <i>Голодова М.А., Рожихина И.Д., Нохрина О.И., Рыбенко И.А.</i>	133
СЕКЦИЯ 2: ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ: ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО, ОБРАБОТКА ДАВЛЕНИЕМ, ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА	139
РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ВРЕМЕНИ И КОЭФФИЦИЕНТА ЗАТВЕРДЕВАНИЯ ОТЛИВОК В ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТЫХ ФОРМАХ <i>Деев В.Б., Приходько О.Г., Прусов Е.С., Протопопов Е.В., Темлянец М.В., Куценко А.И., Mei Shunqi, Ри Э.Х., Сметанюк С.В., Пономарева К.В., Гаврилов Г.Н.</i>	139
РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ВРЕМЕНИ ЗАТВЕРДЕВАНИЯ ОТЛИВОК И СЛИТКОВ В МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ФОРМЕ <i>Деев В.Б., Приходько О.Г., Прусов Е.С., Протопопов Е.В., Темлянец М.В., Куценко А.И., Mei Shunqi, Ри Э.Х., Базлова Т.А., Сметанюк С.В., Соколов А.А.</i>	146
МЕЛКОСЕРИЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО ЛИТЫХ ПОРИСТЫХ И КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ <i>Князев С.В., Усольцев А.А., Куценко А.И., Куценко А.А., Соколов Б.М.</i>	152
ИССЛЕДОВАНИЕ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ МАРКИ Э90ХАФ <i>Симачев А.С., Осколкова Т.Н.</i>	159
МНОГОСТАДИЙНАЯ ПРОТЯЖКА КРУГЛОЙ ЗАГОТОВКИ НА ПЛОСКИХ БОЙКАХ НА ГИДРАВЛИЧЕСКОМ ПРЕССЕ <i>Перетягко В.Н., Вахман С.А., Филиппова М.В., Юрьев А.Б.</i>	164
ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ПЛАСТИЧЕСКИХ И ДЕФОРМАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЛЬСОВЫХ СТАЛЕЙ, ЛЕГИРОВАННЫХ ХРОМОМ, В ТЕМПЕРАТУРНОМ ИНТЕРВАЛЕ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ <i>Уманский А.А., Головатенко А.В., Симачев А.С., Дорофеев В.В.</i>	170
ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПРОКАТКИ – РАЗДЕЛЕНИЯ НА ДЕЙСТВУЮЩЕМ ПРОИЗВОДСТВЕ <i>Фастыковский А.Р., Беляев С.В.</i>	175
НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВИНТОВЫХ ПРОФИЛЕЙ ВОЛОЧЕНИЕМ <i>Фастыковский А.Р., Чинокалов Е.В.</i>	180
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ ЗАХВАТА И КОЛЕБАНИЙ ПОЛОСЫ НА ВОЗНИКНОВЕНИЕ ВИБРАЦИЙ ПРИ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКЕ <i>Кожевников А.В., Смирнов А.С., Платонов Ю.В.</i>	184

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И ТРУДОВЫХ ПРОЦЕССОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРОКАТНОГО КОМПЛЕКСА <i>Кадыков В.Н., Мусатова А.И.</i>	188
ПОСТРОЕНИЕ НОРМАТИВНОЙ МОДЕЛИ РАБОТЫ ОПЕРАТОРОВ-ВОЛОЧИЛЬЩИКОВ В РЕЖИМЕ МНОГОСТАНОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ <i>Кадыков В.Н., Мусатова А.И.</i>	196
РАЗРАБОТКА ПРОГРЕССИВНЫХ КАЛИБРОВОК АСИММЕТРИЧНЫХ РЕЛЬСОВЫХ ПРОФИЛЕЙ НА УНИВЕРСАЛЬНОМ РЕЛЬСОБАЛОЧНОМ СТАНЕ АО «ЕВРАЗ ЗСМК» <i>Дорофеев В.В., Добрянский А.В., Фастыковский А.Р.</i>	202
ИССЛЕДОВАНИЕ ОПЫТНЫХ ДЕТАЛЕЙ ДЛЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ АГРЕГАТОВ НА ИЗНОС И УДАР В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ <i>Исагулов А.З., Квон Св.С., Куликов В.Ю.</i>	208
ДЛИНА ЗОНЫ ПЛАВНОГО ПЕРЕХОДА И ХАРАКТЕРИСТИКИ ЖЁСТКОСТИ С- И Н-ОБРАЗНОГО ПРОФИЛЕЙ, ФОРМУЕМЫХ ПО ПОЛУЗАКРЫТЫМ СХЕМАМ <i>Филимонов А.В., Филимонов С.В., Филимонов В.И.</i>	213
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОБОЛОЧКОВОЙ ФОРМЫ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК Ковалева Т.В., Еремин Е.Н.	219
ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ЛИТЕЙНЫХ ДЕФЕКТОВ В МЕЛЮЩИХ ШАРАХ <i>Исагулов А.З., Аубакиров Д.Р.</i>	223
ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЛИТЕЙНОЙ ФОРМЫ <i>Исагулов А.З., Исагулова Д.А.</i>	228
ДЕФОРМАЦИЯ, ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА И СВОЙСТВА ПОРШНЕВЫХ ЗАЭВТЕКТИЧЕСКИХ СИЛУМИНОВ <i>Афанасьев В.К., Прудников А.Н., Прудников В.А.</i>	234
СЕКЦИЯ 3: ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ПРОЦЕССОВ СВАРКИ, ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ И ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И ПОКРЫТИЙ	241
АНАЛИЗ УСЛОВИЙ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОДОВ ПЛАЗМОТРОНА ЭДП-104А В АЗОТНОЙ ПЛАЗМЕ <i>Галевский Г.В., Руднева В.В., Оршанская Е.Г., Галевский С.Г., Мишне И.</i>	241
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ВОЛЬФРАМА ИЗ ОКСИДА ПРИ НАПЛАВКЕ ПОРОШКОВЫМИ ПРОВОЛОКАМИ <i>Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Усольцев А.А., Бащенко Л.П., Михно А.Р.</i>	244
ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВОССТАНОВЛЕНИЯ WO_3 АЛЮМИНИЕМ ПРИ ДУГОВОЙ НАПЛАВКЕ <i>Крюков Р.Е., Бендре Ю.В., Горюшкин В.Ф., Козырев Н.А., Шурупов В.М.</i>	251
ИССЛЕДОВАНИЕ НОВОЙ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ, ИЗГОТОВЛЕННОЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПЫЛИ ГАЗООЧИСТКИ АЛЮМИНИЕВОГО ПРОИЗВОДСТВА <i>Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Усольцев А.А., Михно А.Р., Бащенко Л.П.</i>	256
ИССЛЕДОВАНИЕ НОВОЙ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ, ИЗГОТОВЛЕННОЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПЫЛИ ГАЗООЧИСТКИ ФЕРРОХРОМА <i>Козырев Н.А., Усольцев А.А., Крюков Р.Е., Прудников А.Н., Михно А.Р.</i>	261
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОВШЕВОГО ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ШЛАКА В КАЧЕСТВЕ ФЛЮС – ДОБАВКИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ СВАРОЧНЫХ ФЛЮСОВ <i>Михно А.Р., Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Усольцев А.А., Уманский А.А.</i>	267

УПРОЧНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ТВЕРДОГО СПЛАВА ВК10КС ДЛЯ РЕШЕНИЯ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ ЗАДАЧ В МАШИНОСТРОЕНИИ	
<i>Осколкова Т.Н., Глезер А.М.</i>	272
НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ: ИСТОРИЯ, РЕАЛЬНОСТЬ И ПРОГНОЗЫ	
<i>Полях О.А., Полях К.Е., Вильдеманн В.</i>	277
МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭРОЗИИ ЭЛЕКТРОДОВ ПЛАЗМОТРОНА ЭДП-104А В АЗОТНОЙ ПЛАЗМЕ	
<i>Галевский Г.В., Руднева В.В., Оршанская Е.Г., Галевский С.Г., Мишне И.</i>	281
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЛАЗМООБРАБОТКИ КАРБИДА КРЕМНИЯ	
<i>Галевский Г.В., Руднева В.В., Галевский С.Г., Черновский Г.Н., Крушенко Г.Г., Стафецкис Л., Черепанов А.Н.</i>	285
ИССЛЕДОВАНИЕ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ ОБРАЗУЮЩИХСЯ ПРИ КОНТАКТНОЙ СТЫКОВОЙ СВАРКЕ РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ	
<i>Шевченко Р.А., Козырев Н.А., Усольцев А.А., Крюков Р.Е., Михно А.Р.</i>	294
РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ МОДЕЛИ ПЛАЗМОСИНТЕЗА ДИБОРИДА ТИТАНА	
<i>Галевский Г.В., Руднева В.В., Оршанская Е.Г., Ефимова К.А.</i>	298
ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ НОВЫХ ПОРОШКОВЫХ ПРОВОЛОК СИСТЕМЫ Fe–C–Si–Mn–Cr–Ni–Mo	
<i>Козырев Н.А., Усольцев А.А., Гусев А.И., Осетковский И.В., Михно А.Р.</i>	306
СВАРОЧНЫЙ ФЛЮС НА ОСНОВЕ БАРИЙ – СТРОНЦИЕВОГО МОДИФИКАТОРА И ШЛАКА СИЛИКОМАНГАНА	
<i>Козырев Н.А., Михно А.Р., Усольцев А.А., Крюков Р.Е., Попова М.В.</i>	322
ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ МЕТАЛЛА, НАПЛАВЛЕННОГО ХРОМИСТОЙ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ	
<i>Еремин Е.Н., Лосев А.С., Бородихин С.А., Пономарев И.А.</i>	328
КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ СПЛАВА СИСТЕМЫ Sn-Sb, ПОЛУЧЕННЫЕ МЕТОДОМ ГОРЯЧЕГО ПРЕССОВАНИЯ	
<i>Калашиников И.Е., Болотова Л.К., Быков П.А., Катин И.В., Кобелева Л.И.</i>	334
ИССЛЕДОВАНИЕ УДЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ РЕЛЬСОВЫХ СТАЛЕЙ	
<i>Шевченко Р.А., Кузнецов В.А., Козырев Н.А., Усольцев А.А., Михно А.Р.</i>	338
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ	
<i>Кузнецов В.А., Шевченко Р.А., Усольцев А.А., Козырев Н.А., Михно А.Р.</i>	342
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПЛАЗМОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА КАРБИДА ЦИРКОНИЯ	
<i>Алексеева Т.И., Галевский Г.В., Руднева В.В., Галевский С.Г.</i>	347
ОСОБЕННОСТИ КАРБОТЕРМИЧЕСКОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОКСИДА ВОЛЬФРАМА(VI) В ПЛАЗМЕННОМ ПОТОКЕ АЗОТА	
<i>Баротов Ф.Б., Ноздрин И.В.</i>	351
СЕКЦИЯ 4: ТЕПЛО- И МАССОПЕРЕНОС В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ И АГРЕГАТАХ. РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ, ЭКОЛОГИЯ И УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ	355
БИОМОНИТОРИНГ РЕКУЛЬТИВИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ШЛАМОХРАНИЛИЩА АО «ЕВРАЗ ЗСМК»	
<i>Водолеев А.С., Синяевский Д.В., Кривцова Ю.В.</i>	355
ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВОГО, ХИМИЧЕСКОГО И ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВОВ ПРОКАТНОЙ ОКАЛИНЫ И ОБЕЗВОЖЕННОГО ШЛАМА ГАЗООЧИСТКИ	
<i>Аникин А.Е., Галевский Г.В., Руднева В.В., Ноздрин Е.В.</i>	358

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ <i>Соловьев А.К., Шевченко А.А.</i>	364
ВЫБОР МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ТОПЛИВА НА ОСНОВЕ ЭНЕРГОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СТОИМОСТНОЙ ОЦЕНКИ <i>Стерлигов В.В.</i>	369
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВЫБРОСОВ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНОГО ПОТЕНЦИАЛА ТОПЛИВА <i>Стерлигов В. В.</i>	373
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ШЛАКИ – КАТАЛИЗАТОРЫ ОЧИСТКИ ГАЗООБРАЗНЫХ ВЫБРОСОВ <i>Титова О.О., Павлович Л.Б., Медведская Е.В.</i>	377
ОЦЕНКА РИСКОВ НА КОКСОХИМИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ С ВНЕДРЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ КАТАЛИТИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ <i>Титова О.О., Павлович Л.Б., Медведская Е.В.</i>	379
ТЕХНОГЕННЫЕ КАТАСТРОФЫ И ИХ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ <i>Апасов А.М.</i>	384
ЗАКОНОМЕРНОСТИ ТЕПЛООБМЕНА В ДОМЕННОЙ ПЕЧИ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ <i>Спирин Н.А., Онорин О.П., Истомин А.С., Гурин И.А.</i>	393

Научное издание

**МЕТАЛЛУРГИЯ:
ТЕХНОЛОГИИ, ИННОВАЦИИ, КАЧЕСТВО**
«Металлургия – 2019»

Труды XXI Международной научно-практической конференции

Часть 1

Под общей редакцией профессора Е.В. Протопопова

Технический редактор	В.Е. Хомичева
Компьютерная верстка	Н.В. Ознобихина

Подписано в печать 04.10.2019 г.

Формат бумаги 60×84 1/16. Бумага офисная. Печать цифровая.

Усл. печ. л. 23,4 Уч.-изд. л. 25,8 Тираж 300 экз. Заказ № 235

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