

АННОТАЦИЯ

диссертационной работы на тему:

«ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ НОВЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ»,

представленной на соискание степени доктора философии (PhD) по

специальности «8D07202 – Metallurgy»

УТЕГЕНОВОЙ МЕРУЕРТ ЕРКИНОВНЫ

Целью диссертационного исследования является разработка технологии направленной на оптимизацию комплексной переработки металлургических шлаков свинцового и медного производств, включающей доизвлечение остаточных концентраций ценных компонентов (Pb, Cu, Zn) и последующее использование шлакового остатка в синтезе новых керамических материалов многоцелевого назначения для перехода к устойчивому развитию металлургической отрасли.

Задачи исследования:

- провести анализ литературных данных о современном состоянии и перспективах переработки металлургических шлаков в рамках концепции круговой экономики и перехода к устойчивому развитию металлургической отрасли;
- провести исследование состава и структуры металлургических шлаков медного и свинцового производств предприятий Восточного Казахстана для оценки возможности вовлечения металлургических шлаков в синтез керамических материалов в смеси с природными алюмосиликатами;
- провести лабораторные опыты гидрометаллургической переработки металлургических шлаков для доизвлечения остаточных количеств тяжелых цветных металлов (Pb, Cu, Zn);
- разработать составы шлакосодержащей шихты (на основе шлакового остатка после гидрометаллургической переработки) для получения новых керамических материалов многоцелевого назначения методами порошковой металлургии;
- изготовить опытную партию новых шлакосодержащих керамических материалов многоцелевого назначения с заданными свойствами различной конфигурации (в виде гранул, таблеток, блоков и др.);
- провести пилотные испытания полученных шлакосодержащих керамических материалов для определения их прочностных характеристик;
- использовать цифровые технологии для оценки влияния различных показателей и визуализации отдельных стадий процесса синтеза новых шлакосодержащих керамических материалов;
- провести апробацию полученных шлакосодержащих керамических материалов в экологическом катализе;

- выполнить предварительную технико-экономическую оценку разработанной технологии комплексной переработки металлургических шлаков на примере носителей катализаторов и/или катализаторов.

Объекты исследования - металлургические шлаки свинцового и медного производств Восточно-Казахстанской области.

Методы исследования

Для проведения исследований по созданию технологии производства композиционных материалов из смеси металлургических шлаков и природного сырья использовали:

- комплекс физико-химических методов (XRD, TGA / DTA, OM, SEM);
- ПО HSC 9 для расчета термодинамических реакций и построение диаграмм металлургических процессов;
- ПО SolidWorks Flow Simulation для моделирования процесса экструзии.

Основные положения (доказанные научные гипотезы и другие выводы, являющиеся новыми знаниями), выносимые на защиту:

- результаты исследования составов и структуры металлургических шлаков свинцового и медного производств Восточного Казахстана и отечественных природных алюмосиликатов (цеолиты и бентониты);
- результаты лабораторных испытаний гидromеталлургической переработки металлургических шлаков;
- результаты влияния варьирования содержания компонентов шихты, исследования фазовых превращений, значения влажности и температуры спекания на структуру и свойства шлакосодержащих керамических материалов;
- результаты пилотного испытания прочностных характеристик шлакосодержащих керамических материалов;
- результаты математического и компьютерного моделирования процесса синтеза шлакосодержащих керамических материалов;
- предложена технология по оптимизации комплексной переработки металлургических шлаков свинцового и медного производств;
- результаты апробирования и технико-экономической оценки полученных шлакосодержащих керамических материалов в экологическом катализе.

Обоснование необходимости проведения данной научно-исследовательской работы. Работа выполнена в рамках приоритетных направлений развития науки Республики Казахстан - «рациональное использование природных ресурсов, в том числе водных ресурсов, геология, переработка, новые материалы и технологии, безопасные изделия и конструкции». Необходимость систематического изучения и переработки металлургических шлаков обусловлена их значительным объемом и потенциальной ценностью как вторичного сырья. Это делает исследование и разработку технологий в этом направлении особенно актуальным.

Описание основных результатов исследования

В первом разделе проанализирована перспективность и целесообразность использования металлургических шлаков для вовлечения в переработку в рамках концепции круговой экономики. Описана

гидрометаллургическая переработка шлаков для доизвлечения ценных компонентов. Проведен анализ существующих исследований в области порошковой металлургии. Рассмотрены методы математического и компьютерного моделирования как способ оптимизации технологического процесса.

Во втором разделе описаны объекты исследования и отработаны методики исследования и проведения экспериментов. Описаны методы анализа физических, химических и механических характеристик композиционных материалов.

В третьем разделе выполнены исследования по изучению составов и структуры исходных материалов. Представлены результаты солянокислотного выщелачивания металлургических шлаков свинцового и медного производств. Изучены термодинамические и кинетические закономерности процесса выщелачивания Pb, Cu и Zn из свинцового и медного шлаков в HCl и обеспечена степень извлечения в продуктивный раствор Zn 73-89 %, Pb 24 - 31 %, Cu 76-77 %. Проведены исследования синтезированных новых композиционных материалов. Изучено влияние температуры термообработки на механическую прочность образцов. Представлены модели линейной зависимости, тепловая карта и трехмерная поверхность отклика, иллюстрирующие влияние содержания шлака на механическую прочность. Анализ показал, что механическая прочность зависит от доли шлака в составе, при этом оптимальным является содержание шлака около 20 % от общей массы шихты. Приведены результаты апробации полученных образцов. Определено, что в серии гранулированных образцов при окислительной конверсии CO при температуре 600 °C конверсия составляет - 74,2 %, при окислительной конверсии CH₄ составляет 61 %. Среди блочных образцов конверсия для CO – 84,5 % и для CH₄ – 99,8 %. Представлена технологическая схема, предусматривающая первоначальное выщелачивание остаточных концентрации ценных компонентов до получения из металлургических шлаков инертного материала, пригодного для последующей переработки и синтеза получения новых композиционных материалов многоцелевого назначения из смеси металлургических шлаков и природного сырья в виде гранул, таблеток, блоков, огнеупорных плиток и лего-кирпича. Приведена экономическая эффективность разработанной технологии получения новых композиционных материалов.

Обоснование новизны и важности полученных результатов

Новые научные результаты заключаются в следующем:

- впервые проведено комплексное исследование (методами рентгенофазового анализа, сканирующей электронной микроскопией, дифференциально – термического анализа, оптической электронной микроскопией и др.) состава, структуры и свойств металлургических шлаков свинцового и медного производств Восточного Казахстана в сочетании с анализом природных алюмосиликатов для оценки их потенциала в синтезе керамических материалов;

- установлены технологические регламенты пластифицирования шлакосодержащих формовочных масс, обеспечивающих требуемые реологические свойства для формования керамических изделий методами прессования и экструзии. Выявлено, что металлургические шлаки в отличие от глинистых компонентов, не обладают пластичностью и связующей способностью, поэтому для синтеза шлакосодержащих керамических материалов требуются знания закономерностей формирования матричной структуры формовочной смеси под воздействием различных факторов (температура, состав исходной шихты и др.), очередность термических разрушений материалов и состав летучих компонентов;

- показана применимость и эффективность предварительного выщелачивания металлургических шлаков свинцового и медного производств Восточного Казахстана в соляной кислоте для доизвлечения остаточного количества тяжелых металлов (Pb, Zn, Cu) и перспективность вовлечения шлакового остатка от выщелачивания в процесс получения продукции с высокой добавленной стоимостью путем синтеза керамических материалов многоцелевого назначения в условиях перехода к устойчивому развитию металлургической отрасли в отличие от текущего долгосрочного складирования или использования для производства цемента;

- впервые выявлены закономерности изменения химического и минералогического составов техногенного и природного сырья, а также синтезированных керамических материалов на их основе в зависимости от температуры спекания. Определено, что для получения термически стабильного и прочного шлакосодержащего керамического материала количество металлургического шлака в шихте можно варьировать в интервале от 10 до 30 масс.%. Установлено, что для получения термически стабильного и прочного шлакосодержащего керамического материала оптимальным соотношением компонентов в шихте являются 2 варианта: 20-60-20 и 20-50-30 (где 20, это содержание шлака, 60 или 50 содержание цеолита и бентонит остальное). Показано, что увеличение доли бентонита (до 30масс. %) при одновременном снижении доли цеолита способствует повышению прочности шлакосодержащего керамического материала, которое обусловлено улучшением пластичности и равномерным распределением частиц при формовании. Получено, что оптимальными с точки зрения прочности и устойчивости к термообработке являются композиции на основе цеолита Тайжуген, бентонита Динозаврового и медного шлака ИМЗ при температуре обжига 1000 °С и составе 20-50-30;

- впервые разработана технология синтеза шлакосодержащих керамических материалов из смеси отечественного техногенного и природного сырья, пригодных для эффективного использования в экологическом катализе. Выявлены закономерности взаимодействия компонентов шлакового остатка (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_xO_y и др.) от выщелачивания свинцового и медного шлаков с природными алюмосиликатами в условиях температурной обработки (вплоть до 1000оС) с образованием прочных (45-75 МПа), термостабильных керамических систем пригодных для использования

в качестве носителей катализаторов и/или катализаторов. Установлено, что исследованные металлургические шлаки могут быть использованы в качестве дополнительного компонента к цеолит-бентонитовой основе для создания шлаксодержащего керамического носителя для катализатора и/или катализатора эффективного для окислительной конверсии CO и/или CH₄ до CO₂ и H₂O (α конверсии 50-90%);

- обоснована перспективность использования цифровых технологий для моделирования, визуализации и прогнозирования свойств синтезированных шлаксодержащих керамических материалов, позволяющих сократить количество практических экспериментов по синтезу керамики и определить оптимальные параметры синтеза шлаксодержащих керамических материалов с заданными свойствами;

- обоснована новая технологическая схема комплексной переработки металлургических шлаков свинцового и медного производств, предусматривающая первоначальное выщелачивание остаточных концентраций ценных компонентов, с последующей переработкой и синтезом новых керамических материалов многоцелевого назначения из смеси металлургических шлаков и природного сырья в виде гранул, таблеток, блоков, лего-кирпича, плитки.

Технологическая новизна исследований

Предложена новая технологическая схема комплексной переработки металлургических шлаков свинцового и медного производств, предусматривающая первоначальное выщелачивание остаточных концентраций ценных компонентов, с последующей переработкой и синтезом новых керамических материалов многоцелевого назначения из смеси металлургических шлаков и природного сырья в виде гранул, таблеток, блоков, лего-кирпича, плитки. Данная технология способствует не только эффективному использованию отходов металлургического производства, но и значительно снижает экологическую нагрузку за счет уменьшения объема захоронений шлаков и предотвращения загрязнения земельных ресурсов. В результате реализации схемы происходит освобождение земельных участков от накопленных промышленных отходов, что позволяет использовать их для сельскохозяйственных целей, строительства или рекреационных зон. Кроме того, внедрение такой технологии способствует созданию замкнутого цикла переработки ресурсов и повышению экологической безопасности промышленного комплекса.

Важность полученных результатов

Результаты исследования вносят значительный вклад в развитие технологий переработки металлургических шлаков и синтеза новых композитных материалов. Полученные данные обладают практической ценностью для промышленного сектора Казахстана и могут быть использованы для внедрения предложенных решений на ТОО «East Mineral Resources» с целью гидрометаллургического извлечения ценных компонентов из отвальных шлаков ИМЗ, а также на ТОО «Казцинк» для реализации методов утилизации техногенных отходов.

Соответствие направлениям развития науки или государственным программам. Тема диссертационной работы выполнялась в рамках:

- ГФ научных исследований «Разработка технологии получения новых керамических материалов на основе отечественного природного сырья и техногенных отходов металлургических предприятий Казахстана» на 2018 – 2020 г.;

- ГФ молодых ученых «Жас ғалым» «Разработка цифрового производства передовых керамических материалов, синтезированных из природного сырья и полупродуктов цветной металлургии» на 2024 – 2026 г.

Личный вклад автора заключается в выполнении экспериментальных исследований, изложенных в диссертационной работе, включая работу над исследованием состава и структуры металлургических шлаков, разработки составов и варьировании параметров по предлагаемой технологической схеме, оформление результатов в виде публикаций и научных докладов.

Апробация работы: Основные научные результаты диссертационной работы представлены в 3 статьях, входящих в базу данных Scopus и в 6 публикациях, изданных в Республики Казахстан:

- Sadenova M.A., Utegenova M.E., Klemeš J.J. Synthesis of new materials based on metallurgical slags as a contribution to the circular economy // Clean Technologies and Environmental Policy. – 2019. – V.21. - P. 2047–2059. Q1, процентиль 87;

- Utegenova M.E., Sadenova M.A., Klemeš J.J. Features of the synthesis of block ceramic materials based on natural and technogenic raw materials // Chemical Engineering Transaction. – 2019. – V. 76. – P. 151-156. Q3, процентиль 31;

- Utegenova M.E., Sadenova M.A., Klemeš J.J. Physico-mechanical properties of ceramics based on aluminosilicates modified by metallurgical waste // Chemical Engineering Transaction. – 2020. – V. 81. – P. 1339-1344. Q3, процентиль 31;

- Utegenova M., Sadenova M., P.Varbanov. Creation of Prototypes of Slag-Containing Composite Materials by Powder Metallurgy Methods // Metallurgical Research & Technology (в печати) Q2, процентиль 56;

- Утегенова М., Саденова М., Азаматов Б., Догадкин Д. Оптимизация технологической оснастки для синтеза керамических материалов на основе моделирования // Вестник КазНУ. – 2019. – № 4. - С. 112-118;

- Саденова М.А., Утегенова М.Е., Ануарбеков Т.Б. Характеристика некоторых природных и техногенных сырьевых ресурсов Республики Казахстан // Вестник ВКГТУ. - 2018. –№4. С. 38-45;

- Сапинов Р.В., Утегенова М., Саденова М., Varbanov P.S. Гидрометаллургическая переработка шлаков свинцового производства / Наука и техника Казахстана. – 2025. – № 2. В печати (справка).

- получен 1 патент на полезную модель РК № 5394 РК от 25.09.2020 «Способ получения гранулированного носителя для катализатора»;

- патент на изобретение рег. номер заявки 2024/0968.1, от 11.11.2024 «Способ увеличения механической прочности керамики». Подано, на стадии экспертизы по существу.