4. Тема проекта: ***АР08857429 «Разработка технологии получения огнеупорных материалов в режиме твердофазного горения и реакционного спекания из отходов металлургических производств»***

***Актуальность:*** Для Республики Казахстан, располагающей мощной металлургической промышленностью, разработка и производство нового класса огнеупоров является актуальной проблемой, ввиду отсутствия сколько-нибудь значимой собственной огнеупорной промышленности. Известные производственные факторы требуют изыскания путей уменьшения затрат на использование огнеупорных материалов и частичной заменой их альтернативными аналогами. В Казахстане накоплены сотни миллионов тонн техногенных отходов металлургии, которые не только лежат бесполезным грузом, но и оказывают сильное негативное влияние на окружающую среду. Например, на Актюбинском заводе ферросплавов на складах временного хранения и в отвалах хранятся десятки миллионов тонн хромсодержащих пылей рукавных и циклонных фильтров, которые содержат 30-40% оксида хрома. Они практически не поддаются обогащению, а возвращать их в оборот ферросплавного производства малоэффективно, т.к. большая их часть снова осядет на фильтрах. Кроме того, такая операция приведет к значительному обеднению технологической шихты, потому как исходный хромитовый концентрат содержит до 60 % оксида хрома. Накоплено значительное количество огнеупорного лома и графита в виде отработанных электродов, боя, и т.д. а также металлургических шлаков, содержащих до 60% оксида магния, которые активно подвергаются воздушной и водной эрозии, загрязняя атмосферу и почву, хотя и могут стать доступной сырьевой основой для создания и производства углеродсодержащих огнеупоров, получаемых методом СВС.

Создание научно-технических и технологических основ производства новых огнеупорных материалов, в том числе и углеродсодержащих, методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза или твердопламенного горения является *актуальной* научно-прикладной задачей. Новый класс углеродсодержащих огнеупорных материалов и композиций для применения их на участках воздействия агрессивных расплавов: разливочных и промежуточных ковшах, сводов электропечей и т.д. Разработать методом СВС в режиме твердофазного горения технологию производства с максимальным вовлечением в качестве сырья техногенных отходов и некондиционных промежуточных продуктов металлургических производств (пылей рукавных и циклонных фильтров, металлургических шлаков, кеков, боя графитовых электродов). Будет разработан углеродсодержащий композиционный материал, удовлетворяющий требованиям к материалам для футеровки металлургических ковшей, сводов печей с соответствующими физико-техническими характеристиками.

***Целью данного проекта*** является создания научных и практических основ использования промежуточных продуктов и некондиционных отходов металлургии для производства нового класса огнеупоров, получаемых в режиме твердофазного горения.

***Ожидаемые результаты:*** Проведение термодинамических расчетов и термохимическое моделирование в СВС-системах, установление изменений энергии Гиббса при различном соотношении шихт в зависимости от тепловых эффектов выделения (ΔН - энтальпия) поглощения (ΔS энтропия) энергии с определением теплофизических характеристик. Определение реакционной способности компонентов шихты и фазовых превращений. Исследование макроскопических процессов спекания материалов, включающих при различном соотношении компонентов и связующих. Исследование закономерностей процессов синтеза материалов, включающие богатые по хрому (28,5-59,9 % Cr2O3) и бедные отходы (4,0-20,0 % Cr2O3) при различном соотношении компонентов и связующих. Оптимизация составов, содержащих различные виды отходов (шлак, лом, пыли, кек) с использованием связующих.

***Достигнутые результаты:***Выполнены термодинамические расчеты и термохимическое моделирование СВ-синтеза углеродсодержащих огнеупорных материалов на основе кека из фильтров мокрой очистки металлургических производств с использованием ПО HSCChemistry6.12. Приведены расчеты стандартных значений энтальпий и значений свободной энергий Гиббса для химических реакций. С использованием расчетных модулей были построены диаграммы и графики, которые демонстрируют возможность образования высокоогнеупорных продуктов в условиях эксперимента.

Установлены макрокинетические закономерности твердофазного горения СВС-систем на основе богатых и бедных по хрому отходов ферросплавного производства, а также их различных комбинаций в широком диапазоне соотношения компонентов. Устойчивое горение с линейной скоростью 0,7-1,2 мм/сек и температурами горения 1200-1500 °С наблюдается при концентрации алюминия в смеси 12-20%.

Определены прочностные свойства синтезированных композитов с использованием в качестве связующего золя кремнезема и раствора сульфата магния. Для составов на основе кека прочность составила 10-15 МПа, на основе ХШП богатого 6-10 МПа, на основе ХШП бедного 7-8 МПа, на основе различных комбинаций 14-16 МПа. Коэффициент теплопроводности для различных составов составил ~0,46-0,9 Вт/мК, что вполне приемлемо для такого рода огнеупоров. Проведен микроанализ и растровая электронная микроскопия образцов. Определены структура и массовое и молярное содержание элементов в различных областях композита.

Наибольший интерес представляют образцы на основе комбинации кека и магнезитового лома и кека и высокоуглеродистого шлака. В этих образцах достигается наибольшая температура синтеза при 1100-1300 °С и прочность 14-16 МПа. Кроме того, по результатам рентгенофазового анализа в этих комбинациях наблюдается наибольшее количество карбидов кремния, что очень важно для металлостойкости композита и его антиокислительных свойств. Для дальнейших исследований и выпуска опытной партии углеродсодержащих огнеупоров будут предложены составы на основе кека и его комбинации со шлаком и магнезитовым ломом.

***Члены исследовательской группы:***

1) Фоменко С.М., внс, к.х.н., руководитель проекта. Author ID в Scopus – 6601986739, Researcher ID Web of Science – AAQ-1269-2020, ORCID – http://orcid.org/0000-0002-1747-9316. Индекс Хирша – 3.

2) Төлендіұлы С., внс, PhD доктор, ответ исполнитель. Author ID в Scopus – 57190071913, Researcher ID Web of Science – D-5717-2015, ORCID – http://orcid.org/0000-0003-1965-7187. Индекс Хирша – 2.

3) Акишев А.Х., внс, к.т.н. Author ID в Scopus – 57214878352. Индекс Хирша – 1.

4) Бекджанова М.Т., нс.

5) Рахым Н., специалист, магистр.

6) Нұршәріп А., специалист, магистрант 2 года обучения химфака КазНУим.аль-Фараби.

***Список публикаций и патентов по проекту***

1 Фоменко С.М., Рахым Н.Т., Толендиулы С., Акишев А., Бекджанова М.Т., Кунес З. Получение углеродсодержащих огнеупорных материалов на основе хромсодержащего сырья в режиме СВ-синтеза. // Горение и плазмохимия.- 2021. – т.19.- C.25-34.

2 Фоменко С., Толендиулы С., Кунес З., Абдулкаримова Р., Акишев А. СВ-синтез композиционных огнеупорных материалов на основе минерального сырья в режиме технологического горения // Промышленность Казахстана. – 2021. – 1. – С.76-81.

3 Fomenko S.M., Tolendiuly S., AkishevA.Kh., Almagambetov M., Yeskendirov R. The Technology for Producing Refractory Products Based Metallurgical Production Waste. // AIP Conference Proceedings 2380, 040003 (2021); <https://doi.org/10.1063/5.0058302> Published Online: 25 June 2021. – P.1-6.

4 Fomenko S.M., Tolendyuly S., Rakhym N.T., Nursharip A., Akishev A.K. Synthesis of Carbon-containing Refractory Composites Based on Technological Waste of Metallurgical Production Materials XII International Symposium «Combustion and Plasmochemistry. Physics and Chemistry of Material Science». – Almaty. – October 12-13, 2021. – P.80-81.

5 Tolendiuly S., Fomenko S.M., Akishev A. Study of Physico-Chemical Properties of Refractory Materials Synthesized from Metallurgical Waste. // 11th International Advances in Applied Physics & Materials Science Congress & Exhibition (APMAS 2021). – Turkey, 2021. - P.34.

6 Fomenko S.M., Tolendiuly S., Akishev A. The development of Manufacturing Technology of Refractory Products from Waste of Ferrochrome Production. // 11th International Advances in Applied Physics & Materials Science Congress & Exhibition (APMAS 2021). – Turkey, 2021. - P.101.

7 Акишев А., Нуршарип А, Фоменко С.М., Толендиулы С., Рахым Н.Т., Бекджанова М.Т. Получение огнеупоров из высокохромистых отходов ферросплавного производства. // Горение и плазмохимия.- 2021. – т.19.- C.173-182. КОКСОН