

## ПОЛУЧЕНИЕ МАГНЕЗИАЛЬНЫХ ОГНЕУПОРНЫХ ГРАФИТСОДЕРЖАЩИХ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

В современных производствах металлургической отрасли при разливке жидких металлов, футеровке металлургических печей широко используются огнеупорные керамические материалы. Огнеупоры применяются для футеровки устройств в агрегатах, работающих в условиях высоких температур для защиты их неогнеупорных частей и внешней среды от действия тепловой энергии, и агрессивных реагентов-расплавов, горячих газов и др. Черная и цветная металлургия потребляет до 65 % произведенных в мире огнеупорных керамических материалов. Суммарное потребление огнеупоров, отнесенное к 1 т. выплавленной, стали, колеблется от 20-30 до 60-90 кг.

На основе местных сырьевых материалов талько-магнезита Зинельбулакского месторождения, обогащённого графитового концентрата и электрокорунда были синтезированы огнеупорные керамические материалы. Технология производства керамических материалов включала стадии подготовки сырьевых материалов, смешивания компонентов с использованием временной связки, горячее прессование образцов и обжиг при 1450 °С в течении 1-4 часа в лабораторной силиковой печи.

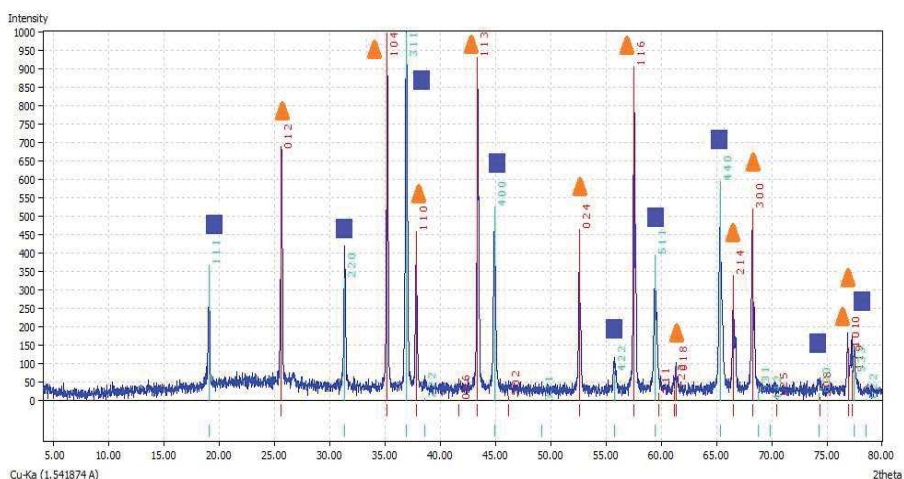


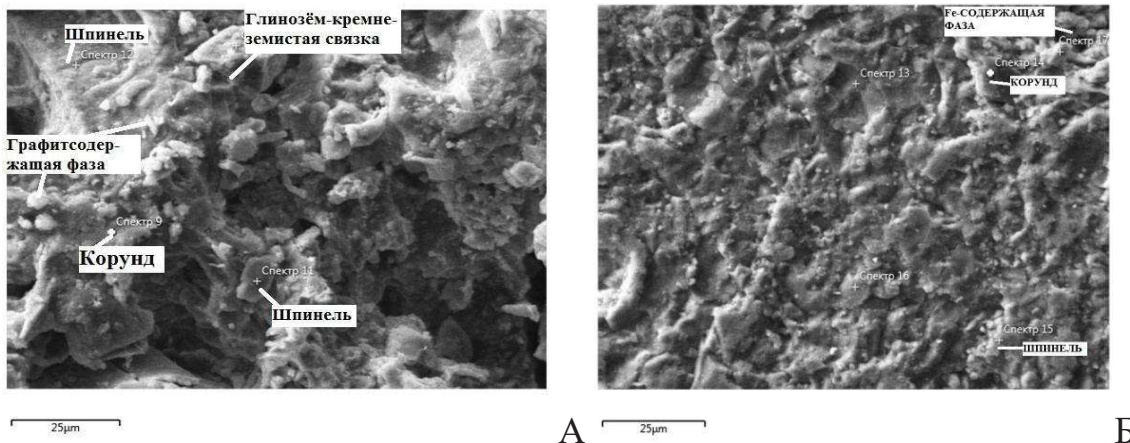
Рисунок 1 - Дифрактограмма оптимального состава керамики, синтезированного при 1450°С, где  $\blacksquare$  -  $MgAl_2O_4$ ,  $\blacktriangle$  -  $Al_2O_3$

Изучение фазообразования в синтезированном материале показало, что при температурах обжига 1000 °С микроструктура материала рыхлая, неспеченая, содержит форстеритовую, энстатитовую и корундовую фазы. При 1200 °С в системе MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> в присутствии незначительного количества примесей происходит образование легкоплавких соединений, образуется жидкая стеклофаза и начинается формирование шпинели. Обжиг при 1450 °С приводит к формированию необходимой структуры шпинели, кристаллическая фаза образца при этом представлена двумя минералами – корундом и шпинелью. Минералогический состав синтезированных материалов при 1450 °С установлен с использованием полуколичественного рентгенофазового анализа: корунд Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>- от 60 до 70% и шпинель MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> – от 30 до 40 % (рис. 1). Идентификация кристаллических фаз осуществлялась с помощью программы Match, Universita di Padova.

Этот синтез материала был осуществлён при гораздо более низких температурах (при 1450 °С), чем традиционная температура спекания изделий из шпинели (1750 °С). Это способствует значительной экономии энергетических расходов при синтезе.

Элементный анализ на электронном микроскопе Carl Zeiss, Германия был проведен на срезе образца при разных увеличениях для получения усредненного количественного анализа, а также анализа различных компонентов керамики на наличие конкретных фаз. Образцы керамики были напылены под вакуумом наночастицами золота толщиной 5 нм. Установлено, что в обожжённом керамическом материале кристаллическая фаза представлена исходными минералами - корундом и графитом, минералами спекания - высокотемпературной шпинелью (рис. 2, А), а связка представлена высокоглиноземисто-силикатной фазой. Поры в керамическом образце в основном изолированные, округлые, размером от 10 до 50 μm.

Как известно, стадия обжига отформованных образцов способствует образованию связей между компонентами материала и способствует повышению прочности материала. В порошковой технологии синтеза керамики, чем мельче частицы связки, тем она более реакционноспособная, что приводит к лучшему связыванию частиц материала. Матрица (связка) в материале представлена округлыми, неправильной формы зёрнами размером <25μm (рис. 2, А). Связка отвечает за реологию и упаковку системы, за реакционноспособность при образовании необходимых тугоплавких соединений. Как видно из рис. 2, Б после обработки шлаком происходит образование незначительного количества железосодержащей фазы в области связки.



**Рисунок 2 - Электронно-микроскопический снимок синтезированного керамического образца (А) и образца после проверки шлакоустойчивости (Б). Сканирующий электронный микроскоп CarlZeiss, Германия с энергодисперсионным элементным анализатором Oxford Instruments, Великобритания**

Физико-механические свойства синтезированных материалов: плотность - от 2510 до 2860 кг/м<sup>3</sup>, показатель водопоглощения от 4,6 до 10 %, открытая пористость от 1,5 до 2,5%, кажущийся удельный вес от 3,595 до 3,598. Низкие показатели пористости и водопоглощения приводят к повышению его шлакоустойчивости. Механические свойства образцов определялись методом неразрушающего динамического резонанса на 5 образцах. Прочность на сжатие образцов составила от 100 до 120 МПа, огнеупорность образцов определялась в условиях ТПП «Огнеупор» и составила более 1800 °С. Образцы были испытаны на шлакоустойчивость по отношению к металлургическому шлаку Алмалыкского горно-металлургического комбината в течении 1 часа при 1500 °С, визуальный и электронно-микроскопический анализ показал, что образцы не подверглись разрушению.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Огнеупорные материалы. Структура, свойства, испытания: справочник/ Й. Алленштейн и др.; под ред. Г. Роучка, Х. Вутнау; пер. с нем.. М.: Интермет Инжиниринг, 2010. - С.140.
2. И.Д. Кащеев. Свойства и применение огнеупоров: Справочное издание. — М.: Теплотехник, 2004. – 352 с.
3. ГОСТ 28874-2004 Огнеупоры. Классификация. Введ. 01-01-2006. - М.: Стандартинформ, 2005. - 20 с.