СИНТЕЗ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СОЕДИНЕНИЯ $MgO-Al_2O_3-SiO_2$ МЕТОДОМ ПЛАЗМЕННОЙ ПЛАВКИ

В.В. Шеховцов, Н.К. Скрипникова, А.Б. Улмасов, О.А. Кунц
Томский государственный архитектурно-строительный университет,
Соляная пл. 2, Томск 634003, Россия
shehovcov2010@yandex.ru, nks2003@mail.ru, akhrorbek001@mail.ru, kunts.98@mail.ru

В работе представлены результаты исследований синтеза материалов на основе соединения $MgO-Al_2O_3-SiO_2$ с использованием энергии термической плазмы. Описаны основные физико-химические свойства данных материалов. Установлено, что с применением природного сырья, можно получать алюмомагнезиальную шпинель $MgAl_2O_4$ и форстерит Mg_2SiO_4 методом плазменной плавки. Оптимальным режимом синтеза материала массой 10 г является: сила тока 100 А, напряжение 100 В и расход плазмообразующего газа 1 г/с. Подобраны составы, которые позволят с помощью плазменной технологии синтезировать керамические материалы на основе соединения $MgO-Al_2O_3-SiO_2$, соответствуют стехиометрическим соотношениям $MgAl_2O_4$ и Mg_2SiO_4.

Ключевые слова: огнеупоры; шпинель; форстерит; плазма; магнезит; кварцевый песок; бёмит.

SYNTHESIS OF MATERIALS BASED ON THE $MgO-Al_2O_3-SiO_2$ COMPOUND BY PLASMA MELTING METHOD

V.V. Shekhovtsov, N.K. Skripnikova, A.B. Ulmasov, O.A. Kunts
Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering,
2 Solyanaya Sq., 634003 Tomsk, Russia,
shehovcov2010@yandex.ru, nks2003@mail.ru, akhrorbek001@mail.ru, kunts.98@mail.ru

The paper presents the results of studies on the synthesis of materials based on the $MgO-Al_2O_3-SiO_2$ compound using thermal plasma energy. The main physical and chemical properties of these materials are described. It has been established that using natural raw materials, it is possible to obtain aluminum-magnesian spinel $MgAl_2O_4$ and forsterite Mg_2SiO_4 by plasma melting. The optimal mode for synthesizing a material weighing 10 g is: current strength 100 A, voltage 100 V, and plasma gas flow rate 1 g/s. Compositions have been selected that will allow using plasma technology to synthesize ceramic materials based on the $MgO-Al_2O_3-SiO_2$ compound, correspond to the stoichiometric ratios of $MgAl_2O_4$ and Mg_2SiO_4.

***Keywords*:** refractories; spinel; forsterite; plasma; magnesite; quartz sand; boehmite.

Введение

Современные технологии постоянно требуют материалы с особыми свойствами, что в свою очередь, постоянно совершенствуются в научно-техническом производстве и в технологических процессах.

Такие материалы, как алюмомагнезиальная шпинель и форстерит имеют высокие температуры плавления и хорошую стойкость к проникновению металлургических шлаков [1] которые широко применяются в качестве рабочей футеровки сталеразливочных ковшей и разливочных ковшей, кроме того, они также считаются конкурентоспособными огнеупорными материалами на ответственных стадиях производства. Форстерит Mg_2SiO_4 и шпинель $MgAl_2O_4$, может использоваться в качестве сырья для керамических изделий. К такой керамике предъявляются высокие требования по качеству и стабильности функциональных свойств, таких как диэлектрические свойства, коэффициент теплового расширения, механическая прочность и спаяемость к металлу, а также по выпуску высококачественной продукции [2, 3].

Форстерит представляет интерес для инженеров и конструкторов, особенно в качестве активной среды для перестраива-

емого лазера [4]. Он показывает хорошую огнеупорность благодаря высокой температуре плавления (~1890 °C), низкому тепловому расширению и проводимости, хорошей химической стабильности и превосходным изоляционным свойствам даже при высоких температурах.

Алюмо-магнезиальная шпинель ($MgAl_2O_4$) является одним из самых известных и широко используемых поликристаллических материалов благодаря своим привлекательным свойствам, таким как высокая температура плавления (~2135°C), механическая прочность при повышенных температурах, химическая инертность и хорошая стойкость к тепловому удару [5, 6], которые широко применяются в качестве рабочей футеровки. Такие материалы как алюмо-магнезиальная шпинель и форстерит можно синтезировать с использованием различных исходных материалов и методов, также данные материалы относятся классу высокоогнеупорным [7,8].

Целью работы является установить возможность синтеза материалов на основе соединения $MgO\text{-}Al_2O_3\text{-}SiO_2$ из природного сырья с использованием энергии термической плазмы методом плавления.

Результаты и их обсуждение

Основными исходными компонентами являлись: источник MgO – магнезит Савинского месторождения, Al_2O_3 – бёмит месторождение бокситов Северный урал, SiO_2 – отсев кварцевого песка Туганского месторождения. Выбранные материалы предварительно проходили изотермическую выдержку в течении 3-х часов, для того чтобы избежать все лишние примеси находящихся в материалах. Химический анализ сырья MgO показывает, что природный магнезит содержит значительное количество SiO_2 и CaO в качестве примесей, что снижает содержание MgO в магнезите до 50%. Прокаленный высокой чистоты с содержанием Al_2O_3 потеря массы варьируется и составляет от 5 до 7 %. Отсев кварцевого песка состоит из 98 % кварцевых минералов, остальное составляют полевые шпаты, слюда и титанистый железняк, потеря массы при этом составляет от 4 до 8%.

Подготовлены составы шихты: алюмомагнезиальная шпинель Al_2O_3/MgO (M-1:70/30; M-2:75/25; M-3:80/20). Форстерит MgO/SiO_2 (F-1: 65/35; F-2: 60/40; F-3: 55/45). Процесс приготовления заключался в помоле шихты, грануляции и сушки, после, после чего проходит процесс плавления готовой шихты навесом 10 г. на электроплазменном стенде. Параметры: сила тока 100 А, напряжение 100 В и расход плазмообразующего газа 1 г/с. подробно стенд описан в работе [9,10]. Плазма позволит повысить температуру и получить гомогенный расплав, сократить время получения материла. Также синтезировать новые материалы с тонкой микроструктурой и уникальными свойствами.

На рисунке 1 представлены результаты рентгенофазового анализа готовых образцов шпинели (M) и форстерита (F).

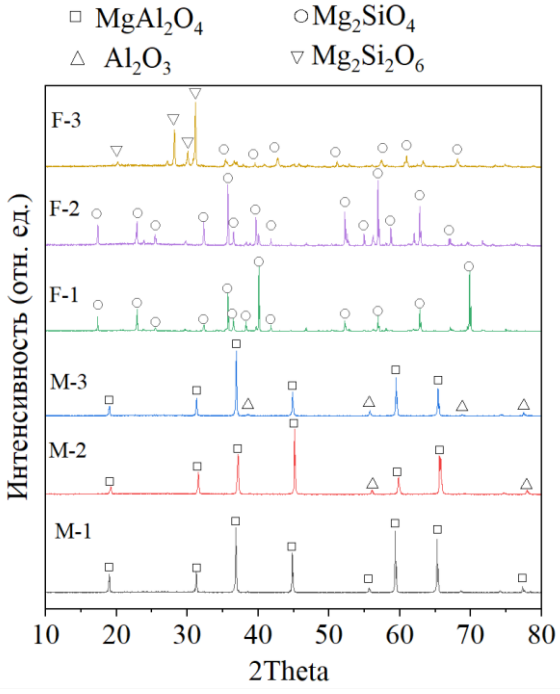

Рис. 1. Дифрактограммы полученных синтезируемых образцов шпинели и форстерита методом плазменной плавки (M1-M3 – алюмомагнезиальная шпинель), (F1-F3 – форстерит)

Исходя из рентгеновский дифрактометрии видно, что образцы шпинели ха-

рактеризуются высоким содержанием кристаллической фазы алюмомагнезиальной шпинели. При этом в образцах М-2 и М-3 обнаружены вторичные фазы корунда (Al_2O_3), появляются они за счет того, что в содержании избыточный оксид алюминия. Образец М-1, обладает наибольшими дифракционными максимумами кристаллических фазы $MgAl_2O_4$, так как состав близок к теоретическому.

Образцы форстерита F-1, F-2, F-3, выражены четкими дифракционными максимумы характерных для кристаллической форстеритовой фазы, в составе F-3 появляются линии энстатита, образуются за счет того, что в составе происходит уменьшения оксида магния до 55 % и увеличения диоксида кремния до 45 %.

Заключение

В результате проведенных экспериментальных исследований установлена возможность получения алюмомагнезиальной шпинели и форстеритовой фазы из природных материалов с использованием энергии термической плазмы. Такие материалы хорошо применяются в керамических изделиях, особенно в огнеупорной промышленности, благодаря своим свойствам.

Информация о финансовой поддержке: Работа выполнена при поддержке государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ FEMN-2022-0001 и гранта Президента РФ МК-66.2022.4

Библиографические ссылки

1. Tavangarian F., Emadi R. Synthesis and characterization of spinel–forsterite nanocomposites. *Ceramics International* 2011; (37): 2543-2548. DOI: 10.1016/j.ceramint.2011.03.056
2. . Guiyuan Wu, Wen Yan, Stefan Schafföner, Yajie Dai, Bingqiang Han, Tianqing Li, Sanbao Ma, Nan Li, Guangqiang Li. A comparative study on the microstructures and mechanical properties of a dense and a lightweight magnesia refractory. *Journal of Alloys and Com-pounds* 2019; (796): 131-137. DOI:10.1016/j.jallcom.2019.05.064
3. Guo Huishi, Li Wenfeng. Effects of Al_2O_3 crystal types on morphologies, formation mecha-nisms of mullite and properties of porous mullite ceramics based on kyanite. *Journal of the Eu-ropean Ceramic Society* 2018; (38): 679-686. DOI: 10.1016/j.jeurceramsoc.2017.09.003
4. Braulio M.A.L., Buhr A., Parr C., Pandolfelli V.C. Spinel-containing alumina-based refractory castables. *Ceramics International* 2011; (37): 1705-1724. DOI: 10.1016/j.ceramint.2011.03.049
5. Rasim Ceylantekin, Cemail Akse. The comparison of mechanical behavior of $MgO–MgAl_2O_4$ with $MgO–ZrO_2$ and $MgO–MgAl_2O_4–ZrSiO_4$ composite refractories. *Ceramics International* 2012; (38): 1409-1416. DOI: 10.1016/j.ceramint.2011.09.020
6. Шеховцов В.В., Абзаев Ю.А., Волокитин О.Г. Особенности структурно-фазового состояния природного магнезита $MgCO_3$ в диапазоне температур 1173-6500 К. *Известия вузов. Физика*. 2022; Т. 65, (776): 73-78.
7. Шеховцов В.В., Волокитин О.Г., Ушков В.А., Зорин Д.А. Получение стеклокерамики системы $MgO-SiO_2$ методом плазменной плавки. *Письма в Журнал технической физики* 2022; 48(24): 15-18.
8. Шеховцов В.В., Скрипникова Н.К., Улмасов А.Б. Синтез алюмомагнезиальной керамики $MgAl_2O_3$ в среде термической плазмы. *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета* 2022; 24(3): 138-146.
9. Шеховцов В.В., Волокитин О.Г., Ушков В.А., Зорин Д.А. Синтез стеклокерамики Mg_4SiO_2 в среде термической плазмы. *Известия вузов. Физика* 2023; 66(1): 3-8.
10. Волокитин О.Г., Шеховцов В.В., Семеновых М.А., Скрипникова Н.К. Плазмохимический синтез анортита. *Известия вузов. Физика.* 2022; 65(6): 139-144.