

## ТЕРМОСТОЙКИЕ КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ФУТЕРОВКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТОВ

Попов Р. Ю., Самсонова А. С.

Белорусский государственный технологический университет

e-mail: misakamadara@yandex.by

***Summary.** This work presents the results of studies aimed at obtaining ceramic materials for thermal units operating in a nonstationary thermal field based on cordierite and wollastonite ceramics using domestic raw materials. The research results can be used for the production of ceramic fuels based on wollastonite and cordierite using natural and man-made raw materials.*

Наиболее перспективными керамическими огнеупорными материалами в машино- и приборостроении являются изделия из кордиеритовой и волластонитовой керамики, которые достаточно широко используются в качестве огнеприпаса для футеровки тепловых агрегатов. Выбор таких материалов обусловлен их особенными характеристиками, а именно: высокой термостойкостью, необходимыми электрофизическими свойствами, инертностью к химическому взаимодействию с расплавами алюминия, шлакоустойчивость, низкий коэффициент теплопроводности. Как известно, такие изделия имеют ограниченный ресурс применения и являются предметом импорта.

Актуальность исследования заключается в разработке технологии производства огнеприпасов на основе отечественного природного сырья, что расширяет сырьевую базу предприятий; организации производства востребованных промышленностью тугоплавких материалов с комплексом необходимых характеристик; сохранении валютных средств, а также обеспечении снижения экономической и сырьевой зависимости от зарубежных поставщиков изделий и сырья.

Изготовление опытных образцов осуществлялось методом полусухого прессования. Подготовленные сырьевые компоненты измельчали до остатка на сите № 05 1–2 %, взвешивали в необходимом количестве, перемешивали в планетарной мельнице фирмы Retsch РМ-100 в течении 20 мин. Приготовленная смесь увлажнялась до влажности 6–8 %, затем готовый пресс-порошок вылеживался в течении 1 сут. для усреднения по составу и влажности. Формование образцов осуществлялось на гидравлическом прессе при давлении прессования 20–25 МПа. Далее производилась сушка образцов при температуре  $100 \pm 10$  °С в течение 2 ч, после чего осуществлялся однократный обжиг в электрической печи при температурах 1100 °С, 1150 °С, 1200 °С, 1300 °С. Скорость подъема температуры в процессе обжига составляла 200–250 °С/ч. Образцы охлаждались инерционно. Для получения керамики на основе кордиерита в качестве исходных сырьевых материалов использовались следующие компоненты: глина «Керамик-Веско», а также «Крупейский сад», технический глинозем, тальк онотский, дунит и серпентинит, в качестве добавки – карбонат лития (сверх 100 %). В процессе выполнения работы исследованы физико-химические свойства испытуемых образцов, значения которых изменялись в довольно широком интервале в зависимости от вида применяемого сырья, шихтового состава керамических масс и температуры обжига.

Образцы керамики, полученные на основе различных магнийсодержащих компонентов после обжига при температуре 1200 °С, характеризовались следующими показателями свойств: кажущаяся плотность при использовании талька – 1659–2186 кг/м<sup>3</sup>, водопоглощение – 16,4–32,4 %, открытая пористость – 24,8–38,3 %; кажущаяся плотность в образцах, содержащих дунит – 1751–2352 кг/м<sup>3</sup>, водопоглощение – 8,5–19,5 %, открытая пористость – 19,9–34,2 %; кажущаяся плотность при введении в состав масс серпентинита – 1818–2427 кг/м<sup>3</sup>, водопоглощение – 6,3–16,4 %, открытая пористость – 15,3–28,7 %. Механическая прочность образцов (при сжатии) в зависимости от вида применяемого магнийсодержащего компонента, а также температуры обжига находятся в достаточно широ-

ком интервале: при температуре 1100 °С – 32,0–101,5 МПа; 1150 °С – 34,8–108,7 МПа; при 1200 °С – 47,7–117,6 МПа. Значения ТКЛР синтезированных образцов находятся в достаточно широком пределе значений от 0,12 до  $4,62 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ , что говорит о важной роли используемых компонентов на процессы, протекающие при обжиге керамики, и, прежде всего, на формирование фазового состава. Несмотря на то, что использование оксида лития, введенного  $\text{Li}_2\text{CO}_3$ , несколько ухудшает показатели спекания в интервале температур 1100–1200 °С, однако присутствие оксида лития способствует формированию низкорасширяющихся кристаллических фаз, что позволяет повысить термостойкость материала. Свойства керамики, полученной на основе глины месторождения «Крупейский сад», приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика образцов кордиеритовой керамики на основе глины месторождения «Крупейский сад»

Свойство материала	Показатель свойства при температуре обжига, °С:		
	1200	1250	1300
Водопоглощение (ГОСТ 2409–2014), %	23,9–24,4	22,5–22,8	17,5–18,1
Кажущаяся плотность (ГОСТ 2409–2014), $\text{кг/м}^3$	1746–1760	1781–1793	1882–1888
Открытая пористость (ГОСТ 2409–2014), %	42,0–42,5	40,4–42,0	33,0–34,0
Механическая прочность при сжатии (ГОСТ 4071.1–94), МПа	28,0–29,0	35,0–36,0	66,0–67,0
ТКЛР в интервале температур 20 – 300 °С (ГОСТ 27180–2019), $\alpha \cdot 10^6, \text{K}^{-1}$	8,48–8,49	9,41–9,43	1,60–2,50

Согласно данным РФА, фазовый состав керамики представлен: кордиеритом, муллитом, корундом, низкотемпературным кварцем, кроме того в материале присутствует твердый раствор кордиерита и сподумена сложного состава, шпинель, а также в незначительных количествах форстерит. В керамических материалах на основе глины месторождения «Крупейский сад» кроме кордиерита (а также индиалита) фиксируется наличие кристобалита, муллита, энстатита, а также корунда, что может говорить о незавершенности процессов фазообразования в материале, причем присутствие кристобалита связано, по нашему мнению, с избыточным содержанием аморфного кремнезема в глинистом сырье.

В качестве сырьевых компонентов для волластонитовой керамики были выбраны: мел Волковысского месторождения, маршалит, трепел месторождения «Стальное», огнеупорная глина Веселовского месторождения. Синтезированные образцы на основе различных кремнийсодержащих компонентов (получались по вышеописанной технологии) обладали следующими характеристиками: кажущаяся плотность при использовании маршалита –  $1577\text{--}1602 \text{ кг/м}^3$ , водопоглощение – 27,1–28,1 %, открытая пористость – 43,4–44,4 %, механическая прочность при сжатии – 4,28–5,48 МПа; кажущаяся плотность при использовании трепела –  $1663\text{--}1735 \text{ кг/м}^3$ , водопоглощение – 20,8–24,0 %, открытая пористость – 36,1–39,9 %, механическая прочность при сжатии – 13,0–32,9 МПа, температурный коэффициент линейного расширения –  $(8,04\text{--}9,64) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ . На основании полученных данных можно сделать вывод, что образцы на основе трепела и мела являются более прочными. Это может быть связано с наличием в составе трепела примесных составляющих, гидратных оболочек, способствующих спеканию материала и более раннему формированию кристаллических фаз, обеспечивающих более высокие физико-технические и теплофизические характеристики. Кроме того, кристаллические разновидности кварца (например, в маршалите), характеризуются меньшей активностью ввиду особенности формы и структуры материала. Наличие

аморфного кремнезема в трепеле, а также гидратных оболочек способствует активизации всех процессов, протекающих при синтезе (спекания и фазообразования) за счет так называемого эффекта Хэдвала, определяемого именно наличием указанных факторов. РФА полученной керамики показал, что качественный фазовый состав представлен волластонитом и псевдоволластонитом, низкотемпературной модификацией кварца, в незначительном количестве фиксируется анортит.

УДК 621.793

## **ВЛИЯНИЯ ИНДУКЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ НА СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ ИЗ САМОФЛЮСУЮЩИХСЯ МАТЕРИАЛОВ, НАПЫЛЕННЫХ ГАЗОПЛАМЕННЫМ МЕТОДОМ**

*Рудницкий А. Ю., Девойно О. Г.*

*Белорусский национальный технический университет*

*e-mail: rud5001@mail.ru*

**Summary.** *The task of current importance in mechanical engineering and repair production is to further increase the reliability and durability of mechanisms and machines by increasing wear resistance of details. One of the ways to solve this problem is to apply a coating of self-fluxing materials by the gas-flame method, followed by induction flashing with quenching from the liquid. This research was carried out in the "Industrial research laboratory of plasma and laser technologies" (BNTU). As a result, our work proves the possibility of flashing with the help of HFC with quenching from the liquid state without cracking.*

Актуальной задачей современного машиностроительного и ремонтного производств является повышение надежности и долговечности быстроизнашивающихся деталей машин и механизмов. Немаловажную роль в решении указанной проблемы играет ремонтное производство. В ряде отраслей промышленности Республики Беларусь создана широкая сеть предприятий, цехов и участков для восстановления изношенных деталей машин. В условиях ремонтного производства изготовления новых деталей сопряжено с большими технологическими трудностями и требует значительных экономических затрат. Поэтому оправдано производство запасных частей на основе восстановления методами наплавки и напыления.

Газотермическое напыление порошковых материалов представляет собой процесс образования на поверхности изделия покрытия из нагретых до плавления или близко к нему состояния частиц распыляемого материала с использованием теплоты сжигания горючей смеси или теплоты дугового разряда в газовых средах.

Для формирования газотермических покрытий используют широкую гамму порошков, выпускаемых специализированным предприятием, среди которых представляют интерес самофлюсующиеся порошки. Наиболее широкое распространение получили сплавы на основе никеля, которые представляют собой многокомпонентную систему Ni-Cr-B-Si-C. Данный порошок обеспечивает высокую износостойкость и коррозионную стойкость сплава, способность к восстановлению оксидных пленок, относительно небольшую температуру плавления сплава. Однако в большинстве случаев самофлюсующиеся порошки после напыления требуют оплавления.

При данном методе необходимо соблюдать следующую последовательность действий: внешний осмотр, очистить поверхности от маслянистых и оксидных пленок, снизить размеры детали под покрытие, газотермическое напыление, оплавление и механическая обработка.

Наиболее распространенными методами оплавления являются: оплавление газопламенной горелкой, лазерное оплавление, оплавление в печи и высокочастотный индукционный нагрев, однако многие из них требуют охлаждения вместе с деталью. Так, при оплавлении с помощью газопламенной горелкой или в печи необходим объемный