

К. Т. Н. Р. Ю. Попов¹, К. Т. Н. Е. М. Дятлова¹, Д. Т. Н. Ф. И. Пантелеенко²,
К. Т. Н. А. Н. Шиманская¹ (✉), И. Р. Гула³, Д. А. Диулин⁴, А. Г. Ефимович⁴

¹ Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет», Минск, Республика Беларусь

² Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

³ Производственное унитарное предприятие «Лоевский комбинат строительных материалов» ОАО «Полесьестрой», г. Лоев, Республика Беларусь

⁴ ОАО «Трест Шахтоспецстрой», г. Солигорск-4 Минской обл., Республика Беларусь

УДК 666.3:549.632]:553.613

ТЕРМОСТОЙКИЕ КОРДИЕРИТСОДЕРЖАЩИЕ ИЗДЕЛИЯ НА ОСНОВЕ ГЛИН МЕСТОРОЖДЕНИЯ КРУПЕЙСКИЙ САД И ОРГАНИЗАЦИЯ ИХ ПРОИЗВОДСТВА

Представлены сведения о процессах, протекающих при синтезе кордиеритовой керамики, полученной на основе глины месторождения Крупейский сад, детально изучены фазовый состав и свойства материала. Установлено влияние глинистого компонента на особенности фазо- и структурообразования в материале в процессе обжига, а также на формирование структуры и приобретение свойств при термообработке.

Ключевые слова: кордиеритовая керамика, глинистое сырье, термостойкие материалы, ТКЛР, структура, фазовый состав.

ВВЕДЕНИЕ

Термостойкая керамика широко используется в тепловых агрегатах, подверженных воздействию нестационарного теплового поля, в качестве носителей катализаторов (в автомобильных выхлопных системах и нефтеперерабатывающих производствах), при одновременном воздействии высоких температур и электрических полей (индукционные печи и др.), а также для футеровки бытовых тепловых установок [1–13].

В Республике Беларусь термостойкие керамические материалы применяются в машино- и станкостроении, металлургии, в производстве строительных материалов, керамики, в химической отрасли. Потребителями этой продукции являются белорусские гиганты-производители: БСЗ ЗАО «Атлант», ОАО «Минский завод шестерен», ОАО «Гомсельмаш», ОАО «Борисовский завод «Автогидроусилитель», ООО «Инженерный центр «АМТинжи-

ниринг» и др. В ОАО «Трест Шахтоспецстрой» для термообработки металлических заготовок и придания им необходимой формы и свойств, а также закалки инструмента и изготовления оснастки (анкерная и арочная крепь) используют индукционные печи, футерованные термостойкой кордиеритовой керамикой. Кроме того, термостойкая керамика используется в горелочных устройствах, в качестве опорных элементов тепловых агрегатов (лещади, полки, опоры) при обжиге керамических изделий в печах непрерывного и периодического действия в ОАО «Керамин», ЗАО «Добрушский фарфоровый завод», ОАО «Белхудожкерамика» и др.

Как видно, потребность в термостойкой керамике значительна, но в Республике Беларусь она не изготавливается в промышленных масштабах и является предметом импорта. В этой связи организация производства изделий позволит решить целый ряд важнейших задач.

По составу термостойкие материалы могут относиться к оксидной (на основе чистых оксидов), бескислородной (на основе карбидов, нитридов, боридов и силицидов) или силикатной и алюмосиликатной керамике на основе соединений, содержащих такие металлы, как алюминий, литий, цирконий, бериллий, титан, магний, иттрий и др. Следовательно, в

✉
А. Н. Шиманская
E-mail: anna.shimanskaya.86@mail.ru

качестве сырья для получения термостойкой керамики в основном используют оксидные и бескислородные соединения металлов, силикаты, а также разное кремнеземистое сырье [1–21].

Наиболее перспективной для получения термостойких изделий является кордиеритовая керамика. В системе $MgO-Al_2O_3-SiO_2$ имеется тройное соединение кордиерит ($2MgO \cdot 2Al_2O_3 \cdot 5SiO_2$), который при значительных температурах обладает малым ТКЛР ($0,5 \cdot 10^{-6} - 3,2 \cdot 10^{-6} K^{-1}$), обеспечивая требуемые термомеханические характеристики материала [9].

Как известно, сырьевыми материалами для получения кордиеритовой керамики служат высококачественные глинистые компоненты (огнеупорные глины и каолины), а также соединения, содержащие Al_2O_3 (технический глинозем, электроплавленный корунд, гидраты глинозема, минералы силлиманитовой группы) и MgO (талек, оливины, магнезиты, дуниты, хризотил-асбест) [1, 2, 4–14]. Кроме того, в составы композиций могут вводиться добавки, способствующие спеканию керамики и формированию необходимых кристаллических фаз (например, кордиерита, муллита), создающие условия для снижения температуры синтеза, а также улучшающие механические или электрофизические характеристики материала. Использование подобных добавок определяется условиями эксплуатации изделий, технологическими особенностями производства и другими немаловажными факторами.

Глинистые компоненты играют важную роль при формировании структуры материала, его фазового состава и позволяют обеспечить достижение необходимых эксплуатационных характеристик. Следует отметить, что содержание и качество глинистого сырья существенно влияют на технологические особенности получения изделий, особенно на выбор способа формования керамики. Минеральный и гранулометрический составы глин определяют режимы сушки и обжига материала, что также следует учитывать при разработке технологии производства керамических изделий. Количественное содержание глинистого компонента в кордиеритовых массах обычно варьируется в пределах 30–35 мас. %. При этом изготовление технической керамики преимущественно осуществляют с использованием высококачественных огнеупорных глин укра-

инских месторождений (Веселовское, Новорайское, Часов-Ярское и др.). Несмотря на их высокое качество, хорошие технологические характеристики, зависимость от внешних факторов (конъюнктуры рынка, экономической нестабильности и прочих обстоятельств), логистические сложности могут затруднять производство и приводить к удорожанию продукции, что будет сдерживать экономическое развитие предприятия, а также способствовать оттоку валютных средств. Таким образом, изыскание и использование отечественных сырьевых компонентов для производства керамических материалов технического назначения является весьма актуальной задачей.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Республика Беларусь не располагает месторождениями высококачественного глинистого сырья, хотя на ее территории (Брестская и Гомельская обл.) имеются месторождения каолинов [22] и тугоплавких глин. Месторождение Крупейский сад расположено в Лоевском районе Гомельской обл. Глина имеет достаточно сложный минеральный состав с широким диапазоном свойств. Глина залегает в четыре слоя, существенно различающиеся химическим, минеральным и гранулометрическим составом, а также окраской. Химический состав разных слоев глинистого сырья месторождения Крупейский сад приведен в табл. 1.

Минеральный состав разных слоев глины месторождения также неодинаков: в некоторых из них кроме гидрослюда и каолинита присутствует монтмориллонит, а в пробе № 2 (2-й слой глины) встречается минерал монотермит со структурной формулой $0,2R \cdot Al_2O_3 \cdot 3SiO_2 \cdot 2H_2O$ (где R — K_2O , Na_2O , CaO , MgO), являющийся тонкой механической смесью гидрослюда и каолинита (что является положительным обстоятельством). Глинистое сырье может включать песчаную полиминеральную составляющую, слагаемую преимущественно из пылевидных тонкозернистых и мелкозернистых фракций кристаллического кварца, полевых шпатов и гранитов. Кроме того, фрагментарно могут встречаться крупные включения и образования карбонатов (доломита, известняка, мергеля). Результаты химического анализа проб глин (см. табл. 1) свидетельствуют о том, что использование серой глины (проба № 2) представляет практический интерес для получения технической керамики, поскольку она со-

Таблица 1. Усредненный химический состав глинистого сырья, мас. %

Слой глины (цвет)	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	$\Delta m_{прк}$
1-й (рыжая)	8,46	83,15	2,58	0,84	0,24	0,42	0,08	0,85	3,38
2-й (серая)	24,23	62,84	2,23	0,95	0,37	0,40	0,04	0,14	8,80
3-й (красно-серая)	14,53	65,09	8,55	1,20	0,59	0,49	0,04	0,14	9,37
4-й (рыже-серая)	15,59	64,29	6,03	1,03	0,95	0,82	0,10	0,61	10,58

Таблица 2. Усредненный химический состав сырьевых компонентов, мас. %

Компонент	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₂	Δm _{прк} , %
Глина месторождения:										
Крупейский сад	62,84	24,23	0,95	2,23	0,37	0,40	0,04	0,14	–	8,80
Веселовское	59,20	34,00	1,50	1,00	0,40	0,60	0,30	2,10	0,11	9,67
Онотский тальк	58,41	0,58	–	0,52	0,12	35,06	–	–	0,32	4,99
Технический глинозем	0,02	98,34	0,01	0,03	0,40	–	0,40	–	–	0,80
Алюмосиликатный шамот	32,49	64,09	0,40	0,67	0,14	0,06	0,01	2,07	–	–

держит минимальное количество примесной составляющей и максимальное огнеупорных кордиеритообразующих компонентов (Al₂O₃ и SiO₂). Селективная выборка и усреднение глинистого сырья, производимые КУП «Ловевский комбинат строительных материалов» ОАО «Полесьестрой», создает предпосылки для рационального использования этого природного ресурса и организации производства технической керамики на его основе. Поэтому было принято решение об использовании в качестве одного из компонентов керамических масс проб серой глины. Остальными сырьевыми компонентами являлись онотский тальк (ГОСТ 21234–75), технический глинозем (ГОСТ

30559–98), алюмосиликатный шамот (ГОСТ 390–96). Химический состав используемых для синтеза керамики сырьевых материалов приведен в табл. 2. Для сравнения приведены свойства керамических материалов, полученных на основе огнеупорной глины месторождения Веселовское (ТУ У 14.2-00282049–003).

Составы керамических масс подбирали таким способом, чтобы в конечном продукте обеспечить стехиометрическое соотношение основных оксидов, образующих кордиерит. Керамические композиции готовили следующим образом. Предварительно высушенные и измельченные до прохода через сито с сеткой № 1 сырьевые компоненты дозировали в соответствии с рецептурой, переме-

шивали, измельчали в течение 20 мин в планетарной лабораторной мельнице РМ-100 фирмы Retsch. Приготовленную смесь увлажняли до влажности 6–8 мас. % и протирали через сито с сеткой № 1. Готовый пресс-порошок вылеживался в течение 1 сут для усреднения по составу и влажности. Образцы формовали на гидравлическом прессе под давлением 35–40 МПа, затем сушили в электрическом сушильном шкафу при (100 ± 10) °С в течение 2 ч и однократно обжигали в электрической муфельной печи при 1100–1350 °С со скоростью подъема температуры 250–300 °С/ч. Охлаждение печи проводили инерционно. В табл. 3 приведены характеристики образцов керамики, синтезированных на основе глины месторождений Веселовское (образцы № 1) и Крупейский сад (образцы № 2).

На рис. 1 показаны результаты дилатометрических исследований образцов керамики, обожженных при 1300 °С (образцы № 2). Зависимость фазового состава керамических материалов, синтезированных

Таблица 3. Физико-химические свойства образцов кордиеритовой керамики, полученной на основе разного глинистого сырья

Показатель*	Образцы кордиеритовой керамики, обожженные при температуре, °С		
	1200	1250	1300
<i>Образцы № 1</i>			
Водопоглощение, %	15,7–17,3	14,8–15,1	13,1–14,3
Кажущаяся плотность, кг/м ³	1920–1925	1971–1975	2010–2025
ТКЛР, 10 ⁻⁶ К ⁻¹	4,21–4,32	3,10–3,32	2,34–2,46
<i>Образцы № 2</i>			
Водопоглощение, %	23,9–24,4	22,5–22,8	17,5–18,1
Кажущаяся плотность, кг/м ³	1746–1760	1781–1793	1882–1888
ТКЛР, 10 ⁻⁶ К ⁻¹	8,48–8,49	9,41–9,43	1,63–2,54

* Водопоглощение и кажущуюся плотность исследовали по ГОСТ 2409–2014, ТКЛР — по ГОСТ 27180–2019.

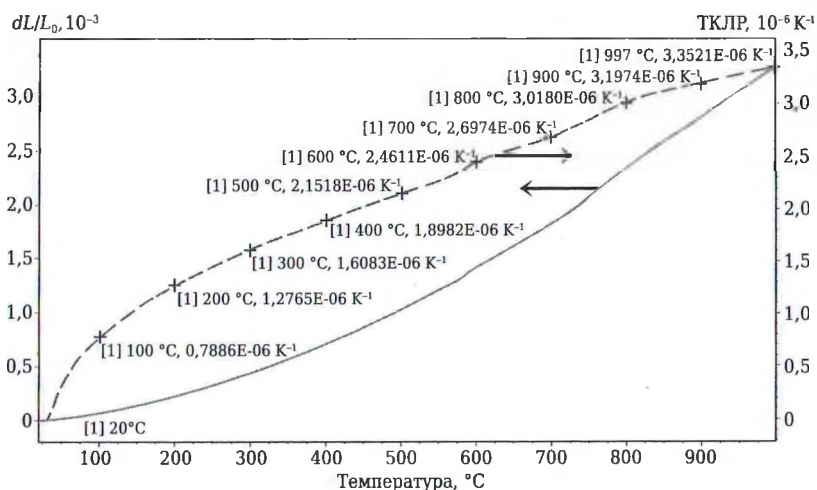


Рис. 1. ТКЛР образцов № 2 кордиеритосодержащей керамики, синтезированной при 1300 °С (дилатометр DIL-402 PC, Netzsch)

на основе разного глинистого сырья, от температуры обжига показана на рис. 2. Результаты исследований получены с помощью рентгеновского дифрактометра D8 Advance фирмы Bruker (Германия).

Результаты исследований свидетельствуют, что в образцах № 2 процессы формирования кордиерита смещены в сторону высоких температур (>1250 °С), в продуктах синтеза фиксируется несколько модификаций кордиерита; кроме того, отсутствует шпинель. Интенсивность дифракционных максимумов кордиерита в образцах такого состава выше на 20–25 % при 1300 °С по сравнению с образцами, обожженными при более низких температурах. Следует отметить, что в материале сохраняется кристобалит вплоть до максимальной температуры обжига, который является нежелательной кристаллической фазой, поскольку характеризуется высоким ТКЛР. Однако в процессе диагностирования образцов существенного негативного влияния этой фазы на свойства керамики не наблюдалось: материал выдержал лабораторные испытания, его термостойкость составила не менее 50 теплосмен резкого попеременного нагрева и охлаждения в интервале 800–20 °С.

Микроструктуру образцов керамики (рис. 3) исследовали с помощью сканирующего электронного микроскопа JSM-5610 LV с системой химического анализа EDXJED-2201, JEOL (Япония). Структура образцов керамики № 2, обожженных при 1300 °С, однородная, в ней присутствуют поры неизомерической формы размерами от 50 до 200 мкм. Морфология кристаллов достаточно различима, пространство между кристаллическими образованиями заполнено крипстокристаллическим веществом и стеклофазой. На поверхности излома можно зафиксировать кордиерит, кристаллы которого чаще всего отличаются неправильной формой

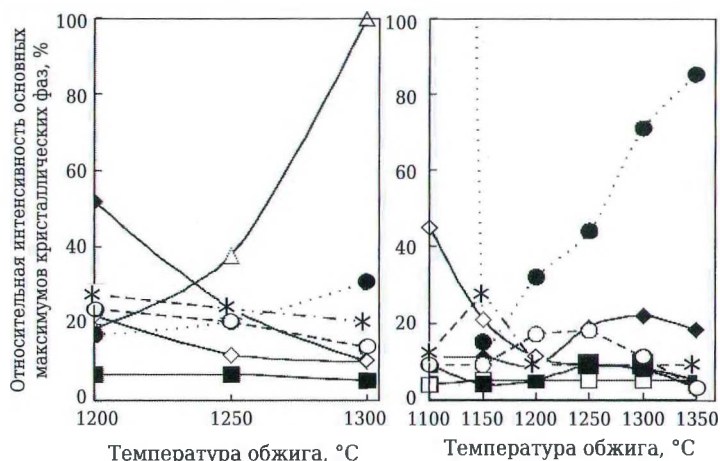


Рис. 2. Динамика изменения фазового состава керамического материала, синтезированного на основе глинистых компонентов разных месторождений: а — образцы № 2; б — образцы № 1; Δ — кордиерит; ◆ — энстатит; ■ — муллит; ○ — корунд; ● — индиалит; ◇ — кварц; * — кристобалит; □ — шпинель

ромбической (псевдогексагональной) сингонии, а также короткостолбчатым, короткопризматическим обликом, и индиалит в виде гексагональных призм. Кроме того, в материале можно идентифицировать и другие фазы (например, муллит и кристобалит), которые сформировались при термообработке исходных сырьевых материалов, а также из не прореагировавших в полном объеме соединений, участвующих в образовании предпочтительной фазы кордиерита или его полиморфной модификации — индиалита, либо из стекловидного расплава. Это может свидетельствовать о незавершенности процессов фазообразования.

На основе разработанных рецептур сырьевых композиций керамических масс и предлагаемых технологических режимов (подготовки, формования, сушки полуфабриката изделий и его обжига) изготовлены керамические втулки со стыковочным устройством для индукционных печей, работающих в нестационарном тепловом поле. Печи предназначены для изготовления металлической крепи для горно-

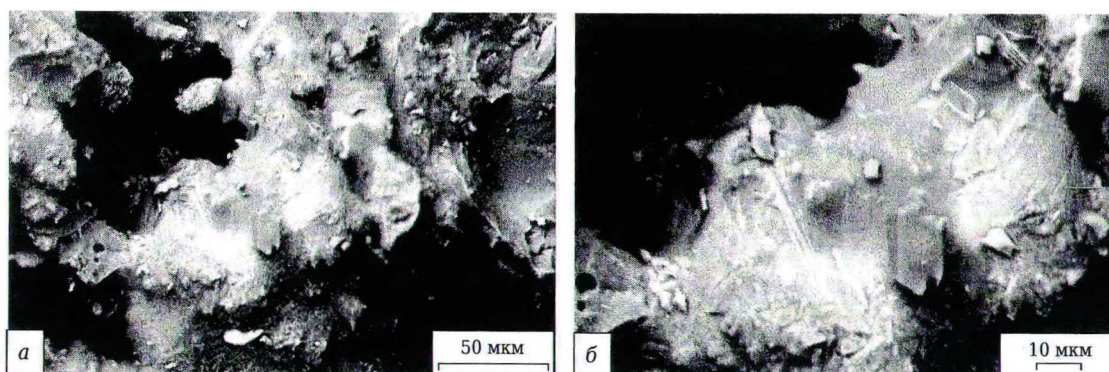


Рис. 3. Структура поверхности образцов керамики № 2, обожженных при 1300 °С

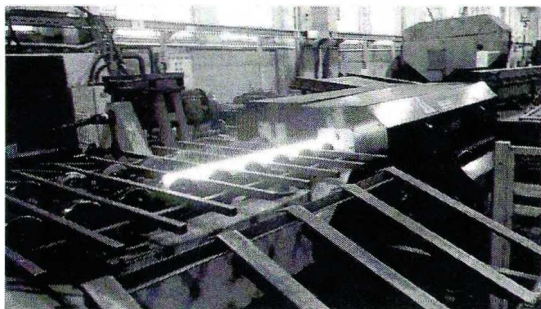


Рис. 4. Промышленные испытания изделий на основе керамических масс с использованием глины месторождения Купейский сад в конструкции индукционных печей для термообработки металлических заготовок

уровне производственных и приближаются по своим характеристикам к действующим стандартам (ТУ ВУ 100354659.065–2007).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенных испытаний показали, что глина месторождения Крупейский сад (проба глины № 2) может применяться для производства термостойких изделий взамен импортируемого сырья из Украины при прочих равных условиях. Это создает предпосылки для организации производства термостойкой керамики в Республике Беларусь.

Таблица 4. Физико-химические свойства опытных образцов

Показатель*1	Образцы		
	опытные	по ТУ ВУ 100354659.065–2007	
		МК	МКМД
Водопоглощение, %	15–20	10–16	6–12
Кажущаяся плотность, кг/м ³	1700–1860	1800–1900	1850–1950
Открытая пористость, %	30–35	18–32	12–25
ТКЛР, 10 ⁻⁶ К ⁻¹ , в интервале 20–400 °С	2,7–4,0	3,9–4,5	3,0–3,9
Термостойкость (800 °С – вода), теплосмены, не менее	40–50	40	50
Предел прочности при сжатии, МПа, не менее	27–42	50	50
Удельное объемное сопротивление (при 100 °С), Ом·см, не менее	1010	1010	1010
Предельно допустимые отклонения от заданных геометрических размеров по любой из сторон (диаметру) изделий, %, не более	2,0–3,0	3,0	2,0
Отбитости краев, мм, не более	1,0–1,5	1,0	1,0
Огнеупорность, °С, не ниже	1350–1400	1400	1400
Температура эксплуатации, °С, не ниже	1250–1300	1350	1300–1450*2

*1 Водопоглощение, кажущуюся плотность и открытую пористость исследовали по ГОСТ 2409–2014, ТКЛР — по ГОСТ 27180–2019, термостойкость — по ТУ РБ 02071837-002–96, предел прочности при сжатии — по ГОСТ 4071.1–94, удельное объемное сопротивление — по ГОСТ 6433.2–71.
*2 В зависимости от вида модификатора.

добывающей промышленности, диаметр изделий 69 мм, количество 1000 шт. Изделия были переданы в ОАО «Трест Шахтоспецстрой» для проведения промышленных испытаний (рис. 4). Результаты испытаний приведены в табл. 4 в сравнении с показателями аналогичных муллитокордиеритовых (МК) и муллитокордиеритовых модифицированных (МКМД) изделий по ТУ ВУ 100354659.065–2007.

Средние значения физико-механических свойств изделий опытной партии находятся на

На основании полученных сведений, а также работ, проведенных ранее [10, 11, 14–16, 19–21] в условиях производственного унитарного предприятия «Лоевский комбинат строительных материалов» (в чем ведении находится месторождение Крупейский сад), принято решение организовать участок по выпуску термостойких кордиеритовых изделий. В настоящее время согласован бизнес-план проекта, ведутся проектно-конструкторские работы.

Библиографический список

1. **Авакумов, Г. Н.** Кордиерит — перспективный керамический материал / Г. Н. Авакумов, А. А. Гусев. — Новосибирск : Наука, 1999. — 167 с.
2. **De Almeida, E. P.** Cordierite obtained from compositions containing kaolin waste, talc and magnesium oxide / E. P. de Almeida, I. P. de Brito, H. C. Ferreira [et al.] // *Ceram. Int.* — 2018. — Vol. 44, № 2. — P. 1719–1725 (<https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2017.10.102>).
3. **Lei, Z.** Application of surfactant-modified cordierite-based catalysts in denitration process / Z. Lei, J. Yang, S. Hao [et al.] // *Fuel.* — 2020. — Vol. 268. — Article № 117242 (<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117242>).
4. **Балкевич, В. Л.** Техническая керамика / В. Л. Балкевич. — М. : Стройиздат, 1984. — 256 с.
5. **Павлов, В. Ф.** Исследование процесса образования кордиерита из низкотемпературных масс при скоростном обжиге / В. Ф. Павлов, Л. Л. Алексеева, В. С. Митрохин // *Стекло и керамика.* — 1976. — № 9. — С. 21–23.
6. **Павлов, В. Ф.** Низкотемпературная кордиеритовая керамика скоростного режима обжига / В. Ф. Павлов,

11. *Л. П. Алексеева, В. С. Митрохин* // Стекло и керамика. — 1975. — № 10. — С. 18.

7. *Хабас, Т. А.* Низкотемпературный синтез кордиеритовой фазы в керамических массах из природного сырья / *Т. А. Хабас, В. И. Верещагин, Т. В. Вакалова* [и др.] // Огнеупоры и техническая керамика. — 2002. — № 10. — С. 42–46.

8. Пат. 2458886 Российская Федерация, МПК С 04 В 35/195. Шихта для получения кордиеритовой керамики / Лебедева Г. А., Попова Т. В., Ильина В. П., Циццов В. В.; заявитель и патентообладатель Учреждение Российской академии наук «Институт геологии Карельского научного центра Российской академии наук». — № 2010150250/03; заявл. 07.12.2010; опубл. 20.08.2012, Бюл. № 23.

9. *Логвинков, С. М.* Влияние периодических реакций в системе $MgO-Al_2O_3-SiO_2$ на фазовый состав и свойства кордиеритсодержащих материалов / *С. М. Логвинков, С. Н. Семченко, Д. А. Кобызева* [и др.] // Огнеупоры и техническая керамика. — 2001. — № 6. — С. 16–22.

10. Пат. 8183 Республика Беларусь, МПК С 04 В 35/195. Состав шихты для изготовления кордиеритовой керамики / Терещенко И. М., Попов Р. Ю.; заявитель и патентообладатель Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет». — № а20040151; заявл. 01.03.2004; опубл. 30.06.2006, Бюл. № 3.

11. Пат. 16163 Республика Беларусь, МПК С 04 В 35/18. Состав шихты для получения кордиеритовой керамики / Дятлова Е. М., Подболотов К. Б., Какошко Е. С., Шинканова Л. Г.; заявитель и патентообладатель Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет». — № а20110004; заявл. 03.01.2011; опубл. 30.08.2012, Бюл. № 4.

12. Пат. 2494995 Российская Федерация, МПК С 04 В 35/195. Шихта для получения кордиеритовой керамики / Стуценко Н. В.; заявитель и патентообладатель Стуценко Н. В. — № 2010150250/03; заявл. 02.02.2011; опубл. 10.10.2013, Бюл. № 28.

13. *Tereshchenko, I. M.* Use of unconventional initial materials to obtain heat-proof ceramic / *I. M. Tereshchenko, R. Yu. Popov, A. P. Kravchuk, L. S. Ivashkevich* // Glass and Ceramics. — 2009. — Vol. 66, № 3/4. — P. 129–131 (<https://doi.org/10.1007/s10717-009-9147-1>).

14. *Попов, Р. Ю.* Термостойкие керамические кордиеритсодержащие материалы с пониженной температу-

рой спекания: дис. ... канд. техн. наук: 05.17.11; защищена 13.05.2011; утв. 28.09.2011 / Попов Ростислав Юрьевич. — Минск, 2011. — 180 с.

15. *Салычиц, О. И.* Влияние оксидов железа (II) и стронция на структуру и свойства магнийалюмосиликатной керамики / *О. И. Салычиц, Е. М. Дятлова* // Весці Нац. Акад. навук Беларусь. Сер. хімічных навук. — 2007. — № 3. — С. 104–107.

16. *Дятлова, Е. М.* Интенсификация спекания муллито-кордиеритовой керамики с применением минерализаторов / *Е. М. Дятлова, Г. Я. Миненкова, Т. В. Колонтаева* // Стекло и керамика. — 2000. — № 12. — С. 21.

17. *Shi, Z. M.* Effects of CeO_2 on phase transformation towards cordierite in $MgO-Al_2O_3-SiO_2$ system / *Z. M. Shi, K. M. Liang, S. R. Gu* // Mater. Lett. — 2001. — Vol. 51. — P. 68–72 ([https://doi.org/10.1016/S0167-577X\(01\)00267-1](https://doi.org/10.1016/S0167-577X(01)00267-1)).

18. *Гусев, А. А.* Влияние добавок оксидов переходных металлов на прочность, фазовый состав и микроструктуру кордиеритовой керамики / *А. А. Гусев, Е. Г. Авакумов, О. Б. Винокурова* // Стекло и керамика. — 2001. — № 1. — С. 23–25.

19. *Попов, Р. Ю.* Перспективы использования глинистого сырья месторождения «Крупейский сад» для получения термостойких керамических изделий / *Р. Ю. Попов, И. Р. Гула, Е. М. Дятлова* [и др.] // Стекло и керамика. — 2021. — № 9. — С. 24–32.

20. *Терещенко, И. М.* Пути снижения энергоемкости процесса производства кордиеритовых изделий / *И. М. Терещенко, Р. Ю. Попов* // Весці Нац. Акад. навук Беларусь. Сер. хімічных навук. — 2005. — № 3. — С. 94–97.

21. *Терещенко, И. М.* Оценка содержания кристаллических фаз в кордиеритсодержащей керамике / *И. М. Терещенко, Р. Ю. Попов, А. П. Кравчук* // Материалы, технологии, инструменты. — 2010. — Т. 15, № 2. — С. 44–52.

22. *Sergievich, O. A.* Thermal and deformative characteristics of kaolin raw deposits of the republic of Belarus / *O. A. Sergievich, E. M. Dyatlova, R. Yu. Popov* [et al.] // Engineering Structures and Technologies. — 2015. — Vol. 7, № 2. — P. 93–98. ■

Получено 26.10.22

© Р. Ю. Попов, Е. М. Дятлова, Ф. И. Пантелеенко, А. Н. Шиманская, И. Р. Гула, Д. А. Дуллин, А. Г. Ефимович, 2023 г.

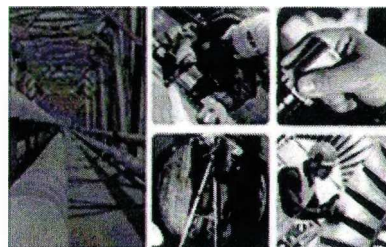
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ



23-я Международная выставка оборудования для неразрушающего контроля

24|25|26
ОКТАБРЯ
2023

Москва, Крокус Экспо



Разделы выставки:

- Неразрушающий контроль
- Лабораторный контроль
- Экологическая диагностика
- Измерения и испытания
- Услуги в области промышленной безопасности

www.exponet.ru