



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2023-2-45-51>
УДК 666.7+666.76:621.762.4

Поступила 01.02.2023
Received 01.02.2023

О ПРОБЛЕМАХ И РЕЗУЛЬТАТАХ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ТЕХНИЧЕСКОЙ КЕРАМИКИ ДЛЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА. СООБЩЕНИЕ 2

*Ф. И. ПАНТЕЛЕЕНКО, Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65. E-mail: panteleyenkovfi@tut.by*

Р. Ю. ПОПОВ, Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет», г. Минск, Беларусь, ул. Свердлова, 13а

*В. Т. ШМУРАДКО, Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65*

А. С. САМСОНОВА, Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет», г. Минск, Беларусь, ул. Свердлова, 13а

В статье приведены результаты исследований в области синтеза многофункциональных керамических материалов для металлургической, станкостроительной и других отраслей, связанных с обработкой металлов, их сплавов и изделий из них; современные направления и тенденции, сопряженные с получением изделий из таких материалов. Приведены сведения по расширению отечественной сырьевой базы для производства керамики с привлечением отечественных предприятий, а также перспективы развития промышленного потенциала для организации производства подобных изделий.

Ключевые слова. *Металлургия, металлообработка, керамические материалы и изделия, сырьевые материалы, синтез, физико-технические характеристики, производство.*

Для цитирования. *Пантелеенко, Ф. И. О проблемах и результатах получения изделий из технической керамики для металлургического производства. Сообщение 2 / Ф. И. Пантелеенко, Р. Ю. Попов, В. Т. Шмурадко, А. С. Самсонова // Литие и металлургия. 2023. № 2. С. 45–51. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2023-2-45-51>.*

ABOUT THE PROBLEMS AND RESULTS OF OBTAINING PRODUCTS FROM TECHNICAL CERAMICS FOR METALLURGICAL PRODUCTION. MESSAGE 2

*F. I. PANTELEENKO, Belarusian National Technical University,
Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosti ave. E-mail: panteleyenkovfi@tut.by*

R. Yu. POPOV, Belarusian State Technological University, Minsk, Belarus, 13a, Sverdlova str.

V. T. SHMURADKO, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosti ave.

A. S. SAMSONOVA, Belarusian State Technological University, Minsk, Belarus, 13a, Sverdlova str.

The article presents the results of research in the field of synthesis of multifunctional ceramic materials for metallurgical, machine-tool and other industries related to the processing of metals, their alloys and products from them; current trends and trends associated with the production of products from such materials; provides information on expanding the domestic raw material base for the production of ceramics with the involvement of domestic enterprises, and also, the prospects for the development of industrial potential for the organization of the production of such products.

Keywords. *Metallurgy, metalworking, ceramic materials and products, raw materials, synthesis, physical and technical characteristics, production.*

For citation. *Panteleenko F.I., Popov R. Yu., Shmuradko V.T., Samsonova A.S. About the problems and results of obtaining products from technical ceramics for metallurgical production. Message 2. Foundry production and metallurgy, 2023, no. 2, pp. 45–51. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2023-2-45-51>.*

Керамику на основе кордиерита возможно получать различными способами: шликерным (на основе глинистых суспензий), пластическим, полусухим. Более сложные по форме изделия получают первым способом, простые – двумя последними. Изделия, применяющиеся на предприятиях Республики Беларусь и изготовленные из экспериментальных масс, приведены в сообщении 1 на рис. 2.

Таблица 1. Характеристика кордиеритовых материалов согласно ТУ ВУ 100354659.065-2007

Характеристика керамики	Значение показателя свойств		
	МКК	МК	МКМД
Водопоглощение, % (ГОСТ 2409-2014)	15–30	10–16	6–12
Кажущаяся плотность, кг/м ³ (ГОСТ 2409-2014)	1950–2050	1800–1900	1850–1950
Открытая пористость (кажущаяся), % (ГОСТ 2409-2014)	15–30	18–32	12–25
Температурный коэффициент линейного расширения, $\alpha \cdot 10^{-6}$ в интервале 20–400 °С, К ⁻¹ (ГОСТ 27180-2019)	3,8–4,2	3,9–4,5	3,0–3,9
Термостойкость, число теплосмен (800–20 °С), не менее (ТУ РБ 02071837-002-96)	50	40	50
Предел прочности при сжатии, МПа, не менее (ГОСТ 4071.1-94)	60	50	50
Удельное объемное сопротивление (при 100 °С), Ом·см, не менее (ГОСТ 6433.2-71)	1011	1010	1010
Предельно допустимые отклонения от заданных геометрических размеров по любой из сторон (диаметру) изделий, %, не более	2,0	3,0	2,0
Отбитости краев, мм, не более	1,0	1,0	1,0
Огнеупорность, °С, не менее	1500	1400	1400
Температура эксплуатации, °С, не менее	1450	1350	1300–1450 (в зависимости от вида модификаторов)

Примечание: МКК – муллито-кордиерито-корундовые; МК – муллито-кордиеритовые; МКМД – муллито-кордиеритовые модифицированные.

Сырьевыми материалами для получения кордиеритовой керамики выступают высококачественные глины и каолины, а также сырьевые компоненты, содержащие Al_2O_3 (технический глинозем, электроплавленный корунд, гидраты глинозема, минералы силлиманитовой группы) и MgO (талек, оливины, магнезиты, дуниты, хризотил-асбест). Также для улучшения свойств могут вводиться различные добавки, повышающие механические свойства или улучшающие какие-либо специфические характеристики материала [1–6] (табл. 1).

Расчет керамических масс осуществляли таким образом, чтобы обеспечить стехиометрическое соотношение основных кордиеритообразующих оксидов в составе керамики $2MgO \cdot 2Al_2O_3 \cdot 5SiO_2$ (колебание оксидов в зависимости от типа применяемого сырья находилось в следующих пределах: MgO – 12–14%; Al_2O_3 – 33–35%; SiO_2 – 50–52%).

Образцы керамики получали следующим образом. Предварительно высушенные и измельченные до прохождения через сито № 1 сырьевые компоненты дозировали согласно рецептуре, смешивали в шаровой мельнице в течение 20 мин. Массу увлажняли водой до 6–8%, протирали через сито № 1, вылеживали в течение 1 сут. Затем из керамической массы прессовали образцы (цилиндры диаметром 20–23 мм) и палочки размером 5×5×50 мм при давлении 35–45 МПа, сушили в электрическом сушильном шкафу СНОЛ при температуре 100–110 °С, обжигали в интервале температур 1200–1300 °С с выдержкой при максимальной температуре 1 ч и скоростью подъема температуры 250–300 °С/ч.

Глинистые компоненты играют важную роль при формировании структуры материала, его фазового состава и позволяют обеспечить достижение требуемых эксплуатационных характеристик. Необходимо обратить внимание на то, что содержание и качество глинистого сырья существенным образом влияет на технологические особенности получения изделий, особенно на выбор способа формования керамики. Минеральный и гранулометрический состав глин определяют режимы сушки и обжига материала, что также следует учитывать при разработке технологии производства керамических изделий. В табл. 2 приведены свойства керамических материалов, синтезированных на основе глин различного минерального, химического и гранулометрического состава.

Из таблицы видно, что, несмотря на то что составы керамических масс проектировались таким образом, чтобы обеспечить стехиометрическое соотношение оксидов в материале, продуктах синтеза, наряду с основной фазой (кордиерита или индиалита) присутствуют побочные компоненты: муллит; шпинель; кристобалит; α -кварц; энстатит; корунд. Отмечается, что в образцах керамики, полученных на основе огнеупорного и тугоплавкого сырья, присутствует нежелательная для термостойкой керамики фаза кристобалит, в то время как при использовании отечественного легкоплавкого глинистого компонента указанная кристаллическая фаза отсутствует, что, вероятно, связано с вовлечением избыточной кварцевой составляющей в формирование расплава. Следует обратить внимание на специфику формирования

Таблица 2. Сравнительные характеристики образцов термостойкой керамики, синтезированных на основе различного глинистого сырья

Свойства материала	Показатель свойств		
	1200 °С	1250 °С	1300 °С
Керамика, полученная с использованием каолина месторождения «Глуховецкий» (Украина)			
Водопоглощение, % (ГОСТ 2409-2014)	17,5–24,5	15,1–23,1	12,5–19,5
Кажущаяся плотность, кг/м ³ (ГОСТ 2409-2014)	1680–1890	1720–1970	1820–2010
ТКЛР, $\alpha \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ (ГОСТ 27180-2019)	4,3–8,8	3,2–5,9	2,2–4,0
Фазовый состав при 1300 °С	Кордиерит; муллит; кристобалит; α -кварц; энстатит; корунд		
Керамика, полученная с использованием огнеупорной глины месторождения «Веселовское» (Украина)			
Водопоглощение, % (ГОСТ 2409-2014)	15,7–17,3	14,8–15,1	13,1–14,3
Кажущаяся плотность, кг/м ³ (ГОСТ 2409-2014)	1920–1925	1971–1975	2010–2025
ТКЛР, $\alpha \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ (ГОСТ 27180-2019)	4,21–4,32	3,10–3,32	2,34–2,46
Фазовый состав при 1300 °С	Индиалит (высокотемпературная модификация кордиерита); муллит; энстатит		
Керамика, полученная с использованием каолина месторождения «Дедовка» необогащенного (Беларусь)			
Водопоглощение, % (ГОСТ 2409-2014)	21,7–30,1	19,2–28,6	17,4–27,1
Кажущаяся плотность, кг/м ³ (ГОСТ 2409-2014)	1560–1850	1580–1890	1610–2010
ТКЛР, $\alpha \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ (ГОСТ 27180-2019)	5,67–8,01	4,93–7,87	4,75–7,75
Фазовый состав при 1300 °С	Кордиерит; муллит; шпинель; кристобалит; α -кварц; энстатит; корунд		
Керамика, полученная с использованием тугоплавкой глины месторождения «Крупейский сад» (Беларусь)			
Водопоглощение, % (ГОСТ 2409-2014)	23,9–24,4	22,5–22,8	17,5–18,1
Кажущаяся плотность, кг/м ³ (ГОСТ 2409-2014)	1746–1760	1781–1793	1882–1888
ТКЛР, $\alpha \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ (ГОСТ 27180-2019)	8,48–8,49	9,41–9,43	1,63–2,54
Фазовый состав при 1300 °С	Кордиерит; индиалит (высокотемпературная модификация кордиерита); муллит; энстатит; кристобалит; корунд		
Керамика, полученная с использованием легкоплавкой глины месторождения «Гайдуковка» (Беларусь)			
Водопоглощение, % (ГОСТ 2409-2014)	9,8–10,1	6,5–6,7	2,7–3,0
Кажущаяся плотность, кг/м ³ (ГОСТ 2409-2014)	1910–1920	2140–2160	2370–2490
ТКЛР, $\alpha \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ (ГОСТ 27180-2019)	2,61–2,63	2,22–2,31	2,10–2,21
Фазовый состав при 1300 °С	Индиалит (высокотемпературная модификация кордиерита); муллит; шпинель; энстатит		

полиморфных модификаций кордиерита в образцах керамики, синтезированных на основе различных глинистых компонентов керамических масс: в некоторых из них (на основе каолинов) присутствует только низкотемпературная модификация – кордиерит; в образцах, где используется тугоплавкое сырье, их уже две – кордиерит и индиалит. В случае применения глинистого сырья, содержащего значительное количество гидрослюдов, – только индиалит.

Проведенные исследования показывают, что материалы, синтезированные на основе тугоплавкого и легкоплавкого глинистого сырья, обладают высокими термостойкими характеристиками, прочностные свойства образцов практически сопоставимы с керамикой, получаемой на основе высококачественной импортной глины. Отличительной особенностью является некоторое снижение температуры эксплуатации по сравнению с аналогами на 100–150 °С (для термостойких материалов на основе легкоплавких глин до 1200–1250 °С, с использованием тугоплавких – до 1250–1300 °С). Также следует отметить, что снижается удельное объемное сопротивление материала до уровня $10^{10} \text{ Ом} \cdot \text{см}$ (при 100 °С), что связано прежде всего с формированием стекловидной фазы за счет присутствия в сырье оксидов щелочных, щелочноземельных металлов, а также соединений железа (табл. 3). Использование природных необогащенных каолинов способствует повышению ТКЛР керамики вследствие значительного содержания кварцевой составляющей и уменьшает прочностные свойства материала. Использование обогащения для указанного глинистого сырья (гравитационного, флотационного, а также химического) позволяет улучшить показатели свойств на 15–20%.

На основе разработанных рецептов керамических масс и предлагаемых технологических режимов (подготовки, формования, сушки полуфабриката изделий и его обжига) изготовлены термостойкие

изделия (на основе тугоплавкого глинистого сырья) в виде керамических втулок диаметром 69 мм со стыковочным устройством для индукционных печей (в количестве 1000 шт.), работающих в нестационарном тепловом поле для изготовления и термообработки металлической крепи в горнодобывающей промышленности. Изделия были переданы в распоряжение ОАО «ТРЕСТ ШАХТОСПЕЦСТРОЙ», где и проходили промышленные испытания. Результаты испытаний приведены в табл. 3.

Т а б л и ц а 3. Характеристика опытной партии изделий, эксплуатирующихся в условиях ОАО «ТРЕСТ ШАХТОСПЕЦСТРОЙ» на основе тугоплавкой глины «Крупейский сад»

Характеристика образцов керамики	Показатель свойств
Водопоглощение, % (ГОСТ 2409-2014)	15–20
Кажущаяся плотность, кг/м ³ (ГОСТ 2409-2014)	1700–1860
Открытая пористость (кажущаяся), % (ГОСТ 2409-2014)	30–35
Температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР), $\alpha \cdot 10^{-6}$ в интервале 20–400 °С, К ⁻¹ (ГОСТ 27180-2019)	2,7–4,0
Термостойкость, число теплосмен (800–20 °С), не менее (ТУ РБ 02071837-002-96)	40–50
Предел прочности при сжатии, МПа, не менее (ГОСТ 4071.1-94)	27–42
Удельное объемное сопротивление (при 100 °С), Ом·см, не менее (ГОСТ 6433.2-71)	1010
Предельно допустимые отклонения от заданных геометрических размеров по любой из сторон (диаметру) изделий, %, не более	2,0–3,0
Отбитости краев, мм, не более	1,0–1,5
Огнеупорность, °С, не менее	1350–1400
Температура эксплуатации, °С, не менее	1250–1300

Примеры использования полученных керамических изделий на основе различных глинистых компонентов в промышленных условиях приведены на рис. 1.



Рис. 1. Применение изделий на основе разработанных составов в промышленных условиях:

а – линия поперечно-винтовой прокатки; *б* – оборудование для производства железнодорожного шурупа путевого ЦП-54, ss-25, ss-35; *в* – индукционные нагреватели с ТПЧ для кузнечно-прессовых производств (АМТинжиниринг); *г* – линия изготовления анкерной и арочной крепи (ОАО «ТРЕСТ ШАХТОСПЕЦСТРОЙ»)

Испытания керамики, полученной на основе различного отечественного глинистого сырья, проведенные в заводских условиях, свидетельствуют о возможности и целесообразности его использования для получения термостойких материалов. Изделия (рис. 1) эксплуатируются на предприятиях в настоящий момент без каких-либо нареканий.

Анализ рынка термостойких материалов, использующихся металлургической, станкостроительной, машиностроительной отраслями, позволяет сделать выводы о том, что более 60% таких изделий применяются в интервале температур 1100–1200 °С, что расширяет сферу применения керамики на основе отечественного сырья и создает предпосылки для организации производства такой керамики в Республике Беларусь.

Одним из направлений исследований являются волластонитсодержащие керамические материалы ($\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$), которые нашли широкое применение в обработке цветных металлов, в частности литья изделий из алюминия (табл. 4).

Таблица 4. Основные характеристики волластонитовой керамики

Свойства	Значение
Кажущаяся плотность, кг/м^3	2700–2900
Диэлектрическая проницаемость	6,5–7
Объемное удельное сопротивление, Ом·м	1013
Диэлектрические потери, МГц	$(3-4) \cdot 10^{-4}$
Электрическая прочность, кв/мм	30–50
ТКЛР, $\alpha \cdot 10^{-6}, \text{K}^{-1}$	5,6–7,0
Предел прочности при изгибе, МПа	не менее 30

Волластонитовая керамика обладает комплексом ценных физико-технических характеристик и находит широкое применение в промышленности. Однако научные исследования по ее синтезу и модификации довольно ограничены и чаще касаются технологических вопросов. Для изготовления волластонитовой керамики используют природный волластонит и высококачественные огнеупорные глины. Первоначально для получения волластонитсодержащей керамики применяли композиции, которые включали природный волластонит, карбонатсодержащие и кремнеземсодержащие компоненты при различном их соотношении. Кроме того, к ним вводили различные добавки. Одним из достоинств указанной керамики является устойчивость к воздействию алюминиевых расплавов, что способствует ее популярности в обработке металлов. Однако отсутствие природного волластонита в значительном количестве, а также сложности его синтеза ограничивают распространение подобных материалов.

Получение волластонитсодержащей керамики на основе карбонатного (доломит, известь, мел) и кремнеземистого природного сырья Республики Беларусь (опока, трепел) является актуальной задачей.

В качестве сырьевых материалов для изготовления опытных образцов использовали глину Веселовскую (ТУ У 14.2-00282049-003), мел Волковысского месторождения (ТУ ВУ 590118065.007-2004), маршаллит (ГОСТ 9077-82), трепел (ТУ ВУ 700235363.001-2019), известь (ГОСТ 9179-77), а также вводили добавки (волластонит Босагинского месторождения (ТУ 2321-001-17547702-2014), известковую пыль), а также поливиниловый спирт в качестве связки при полусухом прессовании [7].

Образцы керамики на основе природного сырья РБ получали по аналогичной, описанной выше технологии, и обжигали в лабораторной печи типа СНОЛ 6,7/1300 при различных температурах (1050, 1100, 1150, 1200 °С) с подъемом температуры 5 °С/мин и выдержкой 1 ч. Образцы охлаждали инерционно.

Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что материалы на основе трепела характеризуются более высокими показателями спекания, а, следовательно, и прочностными свойствами.

Отмечается, что с увеличением температуры обжига фиксируется постепенное повышение кажущейся плотности керамики при снижении открытой пористости и водопоглощения. Это связано как с изменением фазового состава керамических масс, так и с формированием расплава, изменением его свойств: вязкости, проникающей способности, смачивающих характеристик.

Составы, получаемые с применением трепела, спекаются более интенсивно по сравнению с остальными массами. Более активное спекание может способствовать повышению прочностных характеристик материала, но в то же время несколько снижать его теплопроводность.

На процессы спекания, кроме химического состава керамических масс, влияет и состояние SiO_2 , а именно присутствует кремнезем в кристаллическом или аморфном виде, в чистом виде или с примесями FeO , Fe_2O_3 , $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$.

Из литературы известно, что наличие аморфных форм соединений, гидратных оболочек или примесных составляющих в исходных сырьевых материалах способствует активизации процессов

фазаобразования и спекания керамических материалов, а также снижению температуры синтеза, что в принципе и наблюдается для составов масс, включающих трепел.

Отмечается, что значения ТКЛР синтезированных образцов находятся в достаточно широком диапазоне (от 8,04 до $9,64 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$), что говорит о важной роли используемых компонентов на процессы, протекающие при обжиге керамики, и прежде всего на формирование фазового состава.

В результате обжига исходной шихты при температуре 1150 °С полученный черепок характеризуется сочетанием следующих кристаллических фаз: высокотемпературный триклинный псевдоволластонит ($\alpha\text{-CaSiO}_3$); моноклинный волластонит ($\beta\text{-CaSiO}_3$); ларнит (Ca_2SiO_4); анортит ($\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$); форстерит (Mg_2SiO_4); кубический кристобалит (SiO_2) и тригональный кварц ($\alpha\text{-SiO}_2$), а также зерна извести (CaO). Последние фазы определяются в виде очень малой примеси.

Следует отметить, что увеличение температуры синтеза выше 1150 °С приводит к пережогу материала для образцов, содержащих трепел. Они изменяют свой цвет, в них увеличивается количество жидкой фазы, ухудшаются эксплуатационные характеристики.

Также обращает на себя внимание тот факт, что введение природного волластонита в состав керамических масс в качестве затравки в количестве до 6 мас. % несколько активизирует фазовые преобразования в керамике.

Исследования свойств керамических материалов на основе трепела и мела позволили сделать выводы о том, что образцы обладают лучшими характеристиками по сравнению с другими составами: кажущаяся плотность – 1663–1735 кг/м³, открытая пористость – 36,1–39,9%, водопоглощение – 20,8–24,0%, ТКЛР – $(8,04\text{--}9,50) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, механическая прочность при сжатии – 13,0–32,9 МПа (в интервале температур 1050–1150 °С).

Таким образом, проведенные исследования подтверждают возможность применения отечественного сырья для получения волластонитсодержащей керамики, востребованной в производстве алюминиевых изделий и его сплавов.

Исходя из сказанного выше, результаты проведенных работ в данной области позволяют создать предпосылки для организации производства технической керамики в условиях Республики Беларусь и способствовать решению вопроса импортозамещения, развитию наукоемкой отрасли, расширению ассортимента продукции керамических предприятий, при этом играя важную социальную роль, создавая дополнительно рабочие места. Организация производства подобных материалов способствует экономии валютных средств предприятий, что на сегодняшний день является актуальным.

Данные работы согласуются с политикой импортозамещения и ресурсосбережения в стране: Директива Президента Республики Беларусь «О приоритетных направлениях развития строительной отрасли» (№ 8 от 04.03.2019 г.); Указ Президента Республики Беларусь «Об утверждении Программы социально-экономического развития Республики Беларусь на 2016–2020 гг.» (№ 466 от 15.09.2016 г.), Указ Президента Республики Беларусь «Об утверждении Программы социально-экономического развития Республики Беларусь на 2021–2025 гг.» (№ 292 от 29.07.2021 г.); Указ Президента Республики Беларусь «О государственной программе инновационного развития Республики Беларусь на 2021–2025 гг.» (№ 348 от 15.09.2021 г.) и др.

Кроме того, работы в данном направлении способствуют стимулированию предпринимательской деятельности, развитию малых городов и регионов, а также созданию условий для устойчивого рационального использования имеющихся в стране природных ресурсов.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Авакумов Г. Н., Гусев А. А.** Кордиерит – перспективный керамический материал. Новосибирск: Наука, 1999. 167 с.
2. **Балкевич В. Л.** Техническая керамика. М.: Стройиздат, 1984. 256 с.
3. **Попов, Р. Ю.** Термостойкие керамические кордиеритсодержащие материалы с пониженной температурой спекания: дис. ... канд. техн. наук. Минск, 2011. 180 с.
4. **Tereshchenko I. M., Popov R. Yu., Kravchuk A. P. et. al.** Use of unconventional initial materials to obtain heat-proof ceramic // *Glass and Ceramics*. 2009. Vol. 66. No 3–4. P. 129–131.
5. Перспективы использования глинистого сырья месторождения «Крупейский сад» для получения термостойких керамических изделий / Р. Ю. Попов [и др.] // *Стекло и керамика*. 2021. № 9. С. 24–32.
6. **Попов, Р. Ю.** Кордиеритсодержащие изделия на основе каолинов РБ / Попов Р. Ю., Сергиевич О. А., Лященко Е. А., Сянкина Т. О., Пытько И. Л. // *Материалы Респ. науч.-техн. конф. аспирантов, магистрантов и студентов «Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности»*. Могилев, 30–31 октября 2013. 82 с.
7. **Самсонова А. С.** Термостойкие керамические материалы для футеровки промышленных тепловых агрегатов / А. С. Самсонова, Р. Ю. Попов // *Сб. материалы VIII Белорусско-Китайского молодежного инновационного форума «Новые горизонты – 2021»*. Минск, 11–12 ноября 2021. С. 50–52.

REFERENCES

1. **Avakumov G.N., Gusev A.A.** *Kordierit – perspektivnyj keramicheskij material* [Cordierite is a promising ceramic material]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1999, 167 p.
2. **Balkevich V.L.** *Tekhnicheskaja keramika* [Technical ceramics]. Moscow, Strojizdat Publ., 1984, 256 p.
3. **Popov R. Ju.** *Termostojkie keramicheskie kordieritsoderzhashhie materialy s ponizhennoj temperaturoj spekanija. Diss.kand. tehn. nauk* [Heat-resistant ceramic cordierite-containing materials with low sintering temperature. Cand. tech. Sci. diss.]. Minsk, 2011, 180 p.
4. **Tereshchenko I.M., Popov R. Yu., Kravchuk A.P.** Use of unconventional initial materials to obtain heat-proof ceramic. *Glass and Ceramics*, 2009, vol. 66, no. 3–4, pp. 129–131.
5. **Popov R. Ju. et al.** Perspektivy ispol'zovaniya glinistogo syr'ja mestorozhdenija «Krupejskij sad» dlja poluchenija termostojkih keramicheskij izdelij [Prospects for the use of clay raw materials from the Krupeysky Sad deposit for the production of heat-resistant ceramic products]. *Steklo i keramika = Glass and ceramics*, 2021, no. 9, pp. 24–32.
6. **Popov R. Ju., Sergievich O.A., Ljashhenko E.A., Sinjakina T.O., Pyt'ko I.L.** Kordieritsoderzhashhie izdelija na osnove kaolinov RB [Cordierite-containing products based on kaolins RB]. *Materialy Respublikanskoj nauchno-tehnicheskoy konferencii "Novye materialy, oborudovanie i tehnologii v promyshlennosti"*, Mogilev, 30–31 oktjabrja 2013 = *Materials of the Republican scientific and technical conference "New materials, equipment and technologies in industry"*. Mogilev, October 30–31, 2013. Mogilev, 82 p.
7. **Samsonova A.S., Popov R. Ju.** Termostojkie keramicheskie materialy dlja futerovki promyshlennyh teplovyh agregatov [Heat-resistant ceramic materials for lining industrial thermal units]. *Sbornik materialov VIII Belorussko-Kitajskogo molodezhnogo innovacionnogo foruma "Novye gorizonty – 2021"*. Minsk, 11–12 nojabrja 2021 = *Collection of materials of the VIII Belarusian-Chinese Youth Innovation Forum "New Horizons – 2021"*. Minsk, November 11–12, 2021. Minsk, pp. 50–52.