



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2025-1-67-72>
УДК 666.7+666.76:621.762.4

Поступила 16.01.2025
Received 16.01.2025

ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ТЕХНИЧЕСКОЙ КЕРАМИКИ ДЛЯ ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

Ф. И. ПАНТЕЛЕЕНКО, Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65. E-mail: panteleyenkovfi@bntu.by
Р. Ю. ПОПОВ, А. Н. ШИМАНСКАЯ, Учреждение образования «Белорусский государственный
технологический университет», г. Минск, Беларусь, ул. Свердлова, 13а
Н. А. 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
И. Р. ГУЛА, ООО «Техкерамика», г.п. Лоев, Беларусь

В статье представлена информация о проведенных исследованиях, направленных на расширение сырьевой базы керамических предприятий Республики Беларусь. Описаны особенности применения тугоплавкого глинистого сырья при получении волластонитсодержащих и кордиеритовых изделий. Описано поведение материала, синтезированного на основе разработанных рецептов.

Ключевые слова. Кордиерит, волластонит, глины, керамика, эксплуатационные характеристики, металлургия, станкостроение.

Для цитирования. Пантелеенко, Ф. И. Особенности производства технической керамики для тепловых агрегатов металлургической отрасли / Ф. И. Пантелеенко, Р. Ю. Попов, А. Н. Шиманская, Н. А. Шмурадко, А. С. Самсонова, И. Р. Гула // Литье и металлургия. 2025. № 1. С. 67–72. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2025-1-67-72>.

FEATURES OF THE PRODUCTION OF TECHNICAL CERAMICS FOR THERMAL UNITS OF THE METALLURGICAL INDUSTRY

F. I. PANTELEENKO, Belarusian National Technical University,
Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosti ave. E-mail: panteleyenkovfi@bntu.by
R. Ju. POPOV, A. N. SHIMANSKAYA, Educational Institution “Belarusian State Technological University”,
Minsk, Belarus, 13a, Sverdlova str.
N. A. SHMURADKO, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosti ave.
A. S. SAMSONOVA, Educational Institution “Belarusian State Technological University”,
Minsk, Belarus, 13a, Sverdlova str.
I. R. GULA, ООО «Tekhkeramika», g.p. Loev, Belarus

The article provides information on the conducted research aimed at expanding the raw material base of ceramic enterprises of the Republic of Belarus, describes the features of the use of refractory clay raw materials in the production of wollastonite-containing and cordierite products, describes the behavior of the material synthesized on the basis of the developed formulations.

Keywords. Cordierite, wollastonite, clays, ceramics, performance characteristics, metallurgy, machine tool construction

For citation. Panteleenko F. I., Popov R. Ju., Shimanskaya A. N., Shmuradko N. A., Samsonova A. S., Gula I. R. Features of the production of technical ceramics for thermal units of the metallurgical industry. Foundry production and metallurgy, 2025, no. 1, pp. 67–72. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2025-1-67-72>.

Несмотря на то что керамика является одним из древнейших конструкционных материалов, освоенных человеком, научный и практический интерес к ней в последние десятилетия значительно возрос. Это связано с уникальным комплексом физических, механических, технологических и эксплуатационных свойств, делающих ее незаменимым материалом в целом ряде отраслей, в том числе металлургии и литейном производстве, а также с недостаточной изученностью многих композиций.

По данным работы [1], из 2868 возможных эффективных трехкомпонентных композиций огнеупоров изучены и учтены 233, т.е. 8%. Это открывает широкое поле деятельности ученым и практикам.

Известно, что в значительной степени эксплуатационные свойства керамики зависят от химического состава, степени чистоты сырья, однако не всегда высокие показатели свойств сырьевых материалов достижимы. В силу ряда объективных причин возникли проблемы в получении некоторых видов сырья для производства керамики в Беларуси, что вызывает необходимость поиска и исследования отечественных источников как альтернативы импортному сырью. Исходя из этих основополагающих позиций, рассмотрим результаты исследований специалистов БНТУ и БГТУ в этом направлении [3–5, 8, 10, 11].

Из более чистого по химическому составу сырья (природного или синтетического происхождения) может быть обеспечена большая огнеупорность материала. Высокая степень чистоты исходных компонентов керамических масс – основа качества материалов, полученных на их основе, обуславливает более высокие эксплуатационные характеристики изделий, обеспечивает стабильность свойств и долговечность керамики. В то же время она приводит к его инертности, малой реакционной способности, повышению температуры синтеза материала, что зачастую усложняет и удорожает технологию производства изделий из таких исходных компонентов. В отдельных случаях для упрощения технологии производства, снижения затрат (включая энергетические) в составы керамических масс вводят различные минерализующие добавки, плавни, наполнители, которые изменяют степень чистоты конечного продукта, но позволяют достигнуть вполне приемлемых показателей качества изделий. Конечно, при производстве изделий вполне логичным является стремление производителей достигать высоких показателей качества своей продукции, однако в случае отсутствия альтернативы при поставке сырья для производства продукции или комплектующих при эксплуатации технологического оборудования (например, в результате санкционных ограничений) необходимо использовать все возможные способы для осуществления своей основной деятельности [2, 6, 7, 9].

Альтернативой в этом случае является изыскание и детальное изучение отечественного сырья для получения аналогов, систематизация видов керамических материалов и их разграничение по условиям эксплуатации, что позволит расширить сырьевые возможности керамических предприятий. Систематизация и разграничение видов керамических материалов дают возможность снизить необходимость применения более качественного дорогостоящего сырья и организовать производство востребованной продукции, используя отечественные природные ресурсы. Так, например, анализ использования термостойких керамических материалов свидетельствует о том, что около 70% из них эксплуатируются при температурах ниже 1200 °С. Это говорит о том, что некоторые виды отечественного сырья могут быть пригодны для указанных целей. Конечно, нельзя утверждать, что такой подход позволит во многом приблизиться по качеству к изделиям, полученным из высококачественного сырья, однако он сделает возможным бесперебойное функционирование отечественных предприятий независимо от внешних воздействий, сохраняя иностранную валюту внутри страны и решая вопрос импортозамещения.

В данной работе рассмотрим подобный подход, который позволит решать актуальные проблемы производителей керамических материалов, а также потребителей продукции, в частности в металлургической отрасли.

Следует отметить, что предприятия, работающие с обработкой цветных и черных металлов, сталкиваются с проблемами износа керамической футеровки тепловых агрегатов в результате термомеханического, химического воздействия, например, в индукционных печах, установках, применяющихся при литье изделий из алюминия и его сплавов и т.д. По истечении определенного срока эксплуатации такие материалы выходят из строя, что иногда приводит к остановке теплового агрегата, который в большинстве случаев применяется на завершающей стадии производства. Отсутствие изделий, которыми можно заменить отслужившие свой срок элементы и способных эксплуатироваться в экстремальных условиях, вызывает остановку всего технологического процесса на длительный срок. Эту проблему можно решить с помощью альтернативных материалов и изделий, которые позволят обеспечить работу предприятий, однако не всегда изделия, выполненные из других материалов, могут эффективно работать в одинаковых экстремальных условиях.

Так, например, замена итальянских керамических элементов на основе волластонита, применяющихся при литье алюминиевых сплавов и эксплуатирующихся в течение года, при замене похожими, но выполненными из графита, позволяет их эксплуатировать не более одного месяца, в то время как аналогичные, синтезированные из различных природных материалов, вполне способны работать на протяжении 7–8 месяцев (рис. 1).



Рис. 1. Использование тепловых агрегатов в производственных условиях при изготовлении изделий из сплавов алюминия (а), а также вид внутренних элементов печи (б), выполненных из графита, после недолговременной эксплуатации (менее 1 мес)

Применение разработанных составов масс на основе волластонита и кордиерита для изготовления керамических материалов, работающих в экстремальных условиях, позволяет частично решить проблемы предприятий с ремонтом и обслуживанием тепловых агрегатов и обеспечить практически бесперебойную работу [8,10, 11] (рис. 2).



Рис. 2. Применение термостойких керамических изделий на основе кордиерита в тепловых агрегатах индукционного типа

В качестве сырья для получения термостойких изделий выступают следующие материалы: для кордиеритовой керамики – глины отечественных месторождений, а также тальк и технический глинозем (Российская Федерация); для волластонитовых материалов – мел, трепел и глина белорусских месторождений.

Особенность составов таких материалов в том, что изделия на их основе возможно получать полусухим прессованием (при влажности $W=4-8\%$), пластическим формованием ($W=14-18\%$), шликерным литьем ($W=26,5-45\%$) в зависимости от сложности формы изделия, что расширяет возможности керамических предприятий благодаря универсальности разработанных составов масс.

Использование отечественных тугоплавких глин при производстве волластонитовой керамики является весьма рациональным решением, поскольку они обладают огнеупорностью до $1410-1550\text{ }^{\circ}\text{C}$ (для данного вида керамики достаточно $1250\text{ }^{\circ}\text{C}$), избыточным содержанием аморфного кремнезема, не позволяющего при синтезе сохранять в материале непрореагировавший оксид кальция, который может

приводить к разрушению изделий при сорбции влаги из воздуха и увеличении вследствие этого объема. Наличие в составе глинистого сырья монтмориллонита обеспечивает пластичность керамических масс для придания форм изделий при прессовании. Основные свойства образцов волластонитсодержащей керамики, синтезированной в интервале температур 1000–1150 °С, приведены в табл. 1.

Таблица 1. Характеристика волластонитсодержащих материалов на основе различного глинистого сырья

Пластифицирующая добавка	Свойства образцов при температуре обжига, °С															
	водопоглощение, %				открытая пористость, %				механическая прочность при сжатии, МПа				ТКЛР, $\alpha \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$			
	1000	1050	1100	1150	1000	1050	1100	1150	1000	1050	1100	1150	1000	1050	1100	1150
Глина месторождения «Веселовское»	26,2	25,4	25,2	24,1	42,0	41,9	40,8	39,6	17,5	18,2	19,1	29,7	6,82	6,56	6,53	6,06
Глина месторождения «Крупейский сад»	29,9	29,0	27,9	26,7	45,6	44,5	42,9	41,3	11,2	12,0	12,9	22,8	6,95	6,35	5,97	5,77

Следует отметить, что использование высококачественного огнеупорного глинистого сырья месторождения «Веселовское» (Украина) при синтезе волластонитсодержащих материалов позволяет получить термостойкое изделие, однако при длительном его хранении фиксируется нарушение целостности, что связано с взаимодействием свободного (несвязанного) оксида кальция, присутствующего в керамике, с парами воды воздуха, обуславливающего локальное увеличение объема, приводящего к разрушению изделия (рис. 3).



Рис. 3. Поведение волластонитсодержащей керамики при ее длительном хранении:
 а – образцы с использованием глины месторождения «Крупейский сад» (Республика Беларусь);
 б – образцы с использованием глины месторождения «Веселовское» (Украина)

Получение термостойких кордиеритсодержащих материалов также возможно при использовании отечественного глинистого сырья, однако при этом целесообразно осуществлять синтез керамики в интервале температур 1300–1350 °С для достижения необходимого фазового состава (табл. 2).

Таблица 2. Свойства кордиеритовой керамики, полученной на основе различного глинистого сырья

Свойства материала	Показатель свойств при температуре, °С		
	1200	1250	1300
Керамика, полученная с использованием глины месторождения «Веселовское»			
Водопоглощение (ГОСТ 2409–2014), %	15,7–17,3	14,8–15,1	13,1–14,3
Кажущаяся плотность (ГОСТ 2409–2014), кг/м ³	1920–1925	1971–1975	2010–2025
ТКЛР (ГОСТ 27180–2019), $\alpha \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$	4,21–4,32	3,10–3,32	2,34–2,46
Керамика, полученная с использованием глины месторождения «Крупейский сад»			
Водопоглощение (ГОСТ 2409–2014), %	23,9–24,4	22,5–22,8	17,5–18,1
Кажущаяся плотность (ГОСТ 2409–2014), кг/м ³	1746–1760	1781–1793	1882–1888
ТКЛР (ГОСТ 27180–2019), $\alpha \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$	8,48–8,49	9,41–9,43	1,63–2,54

В настоящее время изделия на основе разработанных кордиеритовых масс прошли промышленные испытания и эксплуатируются на предприятиях без каких-либо нареканий, образцы волластонитсодержащих материалов проходят лабораторные испытания и показывают необходимый уровень свойств для данных видов керамики. На рис. 4 представлены результаты испытания образцов при воздействии на них расплава алюминия.



Рис. 4. Результаты проведения испытаний при воздействии на них расплава алюминия (марка алюминиевого сплава АД31): а – образец на основе глины месторождения «Веселовское»; б – образец на основе глины месторождения «Крупейский сад»

Образцы волластонитсодержащей керамики помещали в расплав алюминия на 3 мин, после чего извлекали и визуально осматривали. Как видно из рис. 4, синтезированный материал не претерпевал существенных изменений. Отмечается, что расплав алюминия не проникал внутрь керамического материала и не изменял структуру керамики.

Результаты исследований показывают возможность и целесообразность применения тугоплавкого глинистого сырья Республики Беларусь для производства керамики технического назначения, востребованного металлургическими и станкостроительными предприятиями.

Исследования проводили в рамках гранта Президента Республики Беларусь в сфере науки на 2025 год.

ЛИТЕРАТУРА

1. Матренин, С. В. Техническая керамика / С. В. Матренин, А. М. Слосман. – Томск: Изд-во ТПУ, 2004. – 75 с.
2. Химическая технология керамики / Н. Т. Андрианов [и др.]. – М.: РИФ «Стройматериалы», 2012. – 488 с.
3. Mechanisms of technical ceramic density adjusting / F. Panteleyenko [et al.] // X International Scientific and Practical Conference «Innovations in Mechanical Engineering» (ISPCIME-2019). – Kemerovo, Russia, 2019. – P. 1–9.
4. Prospects for using clayey raw materials of the Krupetskoye deposit for producing heat-resistant ceramic products / R. Popov [et al.] // Glass and Ceramics. 2022. – Vol. 78. – P. 362–368.
5. Oxide ceramic and refractory materials for metallurgical processes and industries / F. Panteleyenko [et al.] // The 73rd World Foundry Congress. – Krakow, Poland, 2018. – P. 465–466.
6. Стрелов, К. К. Теоретические основы технологии огнеупорных материалов / К. К. Стрелов. – М.: Металлургия, 1985. – 480 с.
7. Огнеупорные материалы. Структура, свойства, испытания: справ. / Под ред. Г. Роуча и Х. Вутна. – М.: Интермет Инжиниринг, 2010. – 391 с.

8. Техническая керамика: материаловедческо-технологические принципы и механизмы разработки и реализации керамических электроизоляторов различного научно-практического назначения / В. Т. Шмурадко [и др.] // Новые огнеупоры. – 2020. – № 9. – С. 14–24.
9. Балкевич, В. Л. Техническая керамика / В. Л. Балкевич. – М.: Стройиздат, 1984. – 256 с.
10. Синтез wollastonитовой керамики с использованием кальцийсодержащих отходов производства извести / Р. Ю. Попов [и др.] // Новые огнеупоры. – 2022. – № 12. – С. 45–50.
11. Синтез wollastonитсодержащей керамики на основе природного сырья Республики Беларусь / Р. Ю. Попов [и др.] // Стекло и керамика. – 2023. – Т. 69. – № 4. – С. 12–21.

REFERENCES

1. Matrenin S. V., Slosman A. I. *Tekhnicheskaja keramika* [Technical ceramics]. Tomsk, izdatel'stvo TPU Publ., 2004, 75 p.
2. Andrianov N. T., Balkevich V. L., Beljakov A. V. et al. *Himicheskaja tehnologija keramiki* [Chemical technology of ceramics]. RIF «Strojmaterialy» Publ., 2012, 488 p.
3. Panteleyenkov F., Kuczumow A., Sieniawski J. et. al. Mechanisms of technical ceramic density adjusting. X International Scientific and Practical Conference «Innovations in Mechanical Engineering» (ISPCIME-2019). Kemerovo, Russia, 2019, pp.1–9.
4. Popov R. Ju., Gula I. P., Dzatlova E. M. et. al. Prospects for using clayey raw materials from the Krupesky Sad deposit for the production of heat-resistant ceramic products. *Glass and Ceramics*, 2022, vol. 78, no. 9, pp. 362–368.
5. Pantisaleynka F., Kuczumov A., Shmuradko V., Pantisaleynka K. Oxide ceramic and refractory materials for metallurgical processes and industries. The 73rd World Foundry Congress. Krakow, Poland, 2018, pp. 465–466.
6. Strelov K. K. *Teoreticheskie osnovy tehnologii ogneupornykh materialov* [Theoretical foundations of technology of refractory materials]. Moscow. Metallurgija Publ., 1985, 480 p.
7. *Ogneupornye materialy. Struktura, svojstva, ispytaniya: spravochnik* [Refractory materials. Structure, properties, tests: manual]. Moscow, Intermet Inzhiniring Publ., 2010, 391 p.
8. Shmuradko V. T., Roman O. V., Panteleenko F. I. et al. *Tekhnicheskaja keramika: materialovedchesko-tehnologicheskie principy i mehanizmy razrabotki i realizacii keramicheskikh jelektroizoljatorov razlichnogo nauchno-prakticheskogo naznachenija* [Technical ceramics: materials science and technology principles and mechanisms for the development and implementation of ceramic electrical insulators for various scientific and practical purposes]. *Novye ogneupory = New refractories*, 2020, no. 9, pp. 14–24.
9. Balkevich V. L. *Tekhnicheskaja keramika* [Technical ceramic]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1984, 256 p.
10. Popov R. Ju., Samsonova A. S., Dzatlova E. M. et. al. Sintez wollastonitovoj keramiki s ispol'zovaniem kal'cijsoderzhashhih othodov proizvodstva izvesti [Synthesis of wollastonite ceramics using calcium-containing waste from lime production]. *Novye ogneupory = New refractories*, 2022, no. 12, pp. 45–55.
11. Popov R. Ju., Samsonova A. S., Shimanskaja A. H., Dzatlova E. M. Sintez wollastonitsoderzhashhej keramiki na osnove prirodnogo syr'ja Respubliki Belarus' [Synthesis of wollastonite-containing ceramics based on natural raw materials of the Republic of Belarus]. *Steklo i keramika = Glass and Ceramics*, 2023, vol. 69, no. 4, pp. 12–21.