

ВЛИЯНИЕ БОЯ ТАРНОГО СТЕКЛА НА СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНОЙ КЕРАМИКИ

¹А. Т. Волочко, ²П. И. Манак, ¹К. Б. Подболотов,
¹Н. А. Хорт, ³А. С. Ковчур, ¹В. А. Манкевич

¹Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси,
г. Минск, Республика Беларусь

²Обольский керамический завод,
г. п. Оболь, Республика Беларусь

³Витебский государственный технологический университет,
г. Витебск, Республика Беларусь

Представлены результаты исследования влияния количества боя тарного стекла в составе керамической шихты на физико-химические свойства строительной керамики. Установлено, что введение в состав керамической шихты боя тарного стекла в количестве более 5 % приводит к уменьшению водопоглощения на 3,6 %, при этом прочность при сжатии составляла 24–31 МПа, прочность на изгиб – 10–13 МПа. Проведен анализ микроструктуры полученных материалов. Показано, что введение боя тарного стекла в состав керамической шихты приводит к увеличению количества пор размером от 4,5 до 100 мкм на поверхности изделий. Полученные результаты могут быть использованы при выборе составов на предприятиях по производству строительной керамики.

Ключевые слова: керамический кирпич, бой тарного стекла, морозостойкость, структура

INFLUENCE OF FRACTURED TARE GLASS ON THE PROPERTIES OF BUILDING CERAMICS

¹A. T. Valochka, ²P. I. Manak, ¹K. B. Podbolotov ,
¹N. A. Khort, ³A. S. Kovchur, ¹V. A. Mankevich

¹Physical-Technical Institute of the National Academy of Sciences of Belarus,
Minsk, Republic of Belarus

²Obol Ceramic Plant,
Obol (urban-type settlement), Republic of Belarus

³Vitebsk State Technological University,
Vitebsk, Republic of Belarus

The results of investigation of the influence of the amount of tare glass in the composition of ceramic charge on the physicochemical properties of building ceramics are presented.

It is established that the introduction in the composition of ceramic charge of tare glass in the amount of more than 5 % leads to a decrease in water absorption by 3.6 %, while the compressive strength was 24–31 MPa, bending strength – 10–13 MPa. The microstructure of the obtained materials was analyzed. It has been shown that the introduction of tare glass into the composition of ceramic charge leads to an increase in the number of pores with the size from 4.5 to 100 microns on the surface of the products. The obtained results can be used in the selection of compositions at enterprises producing construction ceramics

Keywords: ceramic brick, fractured container glass, frost resistance, structure

e-mail: volochkoat@mail.ru

ВВЕДЕНИЕ

Применяемые в строительстве керамические изделия являются одними из наиболее широко используемых строительных материалов для возведения стен и облицовки фасадов зданий. Они обладают рядом уникальных свойств, таких как высокая прочность, долговечность, экологичность, отличная звуко- и теплоизоляция, низкое водопоглощение.

С целью повышения качества строительных керамических изделий ведется непрерывный поиск и исследование различных добавок (отошителей, пластификаторов, плавней, выгорающих добавок и др.), способствующих снижению себестоимости продукции и улучшению ее эксплуатационных характеристик.

Минеральный и фракционный состав глины, а также вид добавок, вводимых в керамическую шихту, влияют на основные эксплуатационные свойства изделия, такие как прочность, водопоглощение, морозостойкость. Плавни влияют на степень спекания черепка, тем самым снижая показатель водопоглощения до 4–6 %. Выгорающие добавки при обжиге сгорают, оставляя поры, тем самым снижают плотность изделия и соответственно его теплопроводность, также вводятся для улучшения сушильных свойств (коэффициент чувствительности к сушке, сушильная усадка). Отошители представляют собой непластичные материалы, которые при вводе в керамическую шихту уменьшают усадку изделий во время сушки и обжига, а также формируют структуру черепка при обжиге. Они могут быть различных видов, включая песок, шамот, шлак и другие материалы [1–3].

Морозостойкость является одним из важнейших эксплуатационных свойств керамических изделий. Это свойство строительных материалов зависит от множества факторов, включая их структуру, химический состав и физические свойства. Одним из ключевых параметров, влияющих на морозостойкость, является размер пор материала. С точки зрения морозостойкости все поры в керамическом материале могут быть разделены на три категории: опасные, безопасные и резервные [4]:

1. «Опасные» поры заполняются водой при насыщении на холоду. В них она удерживается при извлечении материала из воды и замерзает при температуре от -15 до -20 °С. К опасным порам можно отнести поры размером от 0,1 до 100 мкм.

2. Безопасные поры при насыщении на холоде водой не заполняются, либо заполнившая их вода не переходит в лед даже при низких температурах. Это обычно мелкие поры менее 0,1 мкм. Заполняющая их вода становится по существу пристеночной адсорбированной влагой, имеющей свойства почти твердого тела и температуру замерзания существенно ниже -20 °С;

3. Резервные поры при насыщении на холоде полностью заполняются водой, но из них при извлечении образца из насыщающего сосуда вода частично вытекает вследствие малых капиллярных сил. Это крупные поры размером более 100 мкм.

Существует несколько методов регулирования пористости. Один из них — изменение состава керамической шихты. Например, добавление органических веществ (древесные опилки, торф), минеральных наполнителей (песок, шлак) или химических реагентов (гидроксид алюминия) может увеличить пористость образца. Оксиды щелочных металлов, входящих в состав глин, способствуют уплотнению структуры.

Согласно данным [5] в 2022 г. в Беларуси было собрано 190,14 тыс. тонн отходов стекла. Стеклобой является вторичным ресурсом и при правильной переработке может быть использован на предприятиях стекольной промышленности для производства новых стеклянных изделий. Однако, объемы сбора превышают потребности стекольных заводов, что указывает на необходимость разработки и внедрения новых подходов и технологий по использованию вторичных ресурсов. Образующийся при производстве и потреблении стекольных изделий стеклобой в виде порошка фракции 0–1,6 мм может быть использован в качестве отощителя техногенного происхождения. По степени и классу опасности относится к неопасным (в соответствии с общегосударственным классификатором Республики Беларусь ОКРБ 021-2019 «Классификатор отходов, образующихся в Республике Беларусь»). Исследование влияния вторичного сырья в виде боя тарного стекла на физико-химические свойства керамического кирпича представляет большой интерес, поскольку оно позволит производить керамический кирпич с улучшенными свойствами, который будет соответствовать требованиям предъявляемым к кирпичу в современном строительстве.

Целью работы является исследование влияния боя тарного стекла на структуру керамического материала, а также на его физико-химические свойства.

МАТЕРИАЛЫ, МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Основным сырьевым материалом, используемым в данной работе, являлась глина месторождения «Заполье». Данная глина обладает крупнодисперсной структурой и комковатой текстурой, легко дробится, хорошо размокает в воде и активно реагирует при обработке 10 % раствором HCl. Карьерная влажность сырья 20,5–25,5 %. Глина относится к умеренно пластичному виду сырья, с числом пластичности верхнего уступа 7,9 и нижнего уступа 5. Огнеупорность этой глины находится в пределах легкоплавких видов (1139 °С). Данное сырье относится к неспекающейся группе глин. Содержание Al_2O_3 колеблется от 14,6 до 15,1 мас. %, а содержание щелочных оксидов $Na_2O + K_2O$ составляет 3,56 мас. %.

В качестве отощающих материалов в работе использовался отсев дробления горных пород (гранитный отсев), речной песок, теннисит и бой тарного стекла фракции 0–1,6 мм. Элементный состав стекла представлен в табл. 1.

Табл. 1

Элементный состав боя стекла

Элемент	O	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Fe
Массовая доля химических элементов, %	48,95	5,75	0,66	1,59	33,17	0,16	0,15	0,73	8,57	0,28

Образцы для проведения исследований изготавливались методом пластического формования. Сырьевую смесь получали путем смешивания сначала в сухом виде предварительно взвешенных компонентов, а затем с добавлением воды до достижения влажности массы 17–19 %, последующим вылёживанием массы не менее 24 ч. Формование осуществлялось методом ручной набивки пластической массы в металлические

формы в виде кирпичей размером 65×30×15 мм и цилиндров Ø 30 мм и высотой 30–40 мм. После формования была проведена сушка изделий в естественных условиях в течение не менее 24 ч с последующей сушкой в сушильном шкафу при температуре 100 ± 10 °С.

После сушки образцы подвергались термической обработке в электропечи при температуре 1050 °С с выдержкой при максимальной температуре 1 ч.

Водопоглощение определяли согласно ГОСТ 7025, открытую пористость, кажущуюся плотность методом гидростатического взвешивания согласно ГОСТ 2409. Прочность на сжатие и изгиб определяли согласно ГОСТ 8462. Морозостойкость образцов определяли по ускоренной методике с использованием насыщенного раствора Na_2SO_4 [6]. Предлагаемый метод определения морозостойкости является более жестким, нежели в случае использования морозильной камеры. Это обусловлено тем, что в процессе испытаний в порах исследуемого материала формируются кристаллы $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, которые оказывают большее давление на стенки пор образца по сравнению со льдом. Таким образом, один цикл испытания в растворе сульфата натрия эквивалентен десяти циклам испытания замораживанием в воде.

Исследование микроструктуры образцов проводили на сканирующем электронном микроскопе высокого разрешения «Mira» фирмы «Tescan» (Чехия).

Исследуемые составы представлены в табл. 2. Бой тарного стекла вводился сверх 100 % в количестве от 0 до 10 %. В качестве контрольного выбран состав без стеклобоя (состав 1).

Табл. 2

Состав образцов

Состав	Содержание, мас. %			
	1	2	3	4
Глина месторождения «Заполье»	78	78	78	78
Речной песок	15	15	15	15
Гранитный отсев	3,5	3,5	3,5	3,5
Теннисит	3,5	3,5	3,5	3,5
Бой тарного стекла, сверх 100 %	0	5	7,5	10

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Коэффициент чувствительности к сушке у образцов с добавлением стеклобоя составлял от 0,49 до 0,57, в то время как у контрольного образца этот показатель был равен 0,59. Отмечено, что с увеличением в составе керамической массы боя тарного стекла происходит уменьшение показателя на 3–16 % в сравнении с контрольным образцом. Это свидетельствует о том, что стеклобой является хорошим отощителем.

Зависимости основных физико-химических свойств представлены на рис. 1.

В ходе эксперимента было установлено, что при введении в состав шихты более 5 % стеклобоя происходит снижение водопоглощения с 15,7 % (у контрольного образца) до 15,1 % и открытой пористости с 28,5 % (у контрольного образца) до 28,3 %. Снижение показателей водопоглощения и открытой пористости связано с тем, что в процессе спекания происходит взаимодействие стекла с глинистым сырьем, при этом происходит заполнение крупных пор с формированием мелких на поверхности керамики. Кажущаяся плотность увеличивается с 1836,44 до 1873,31 кг/м³.

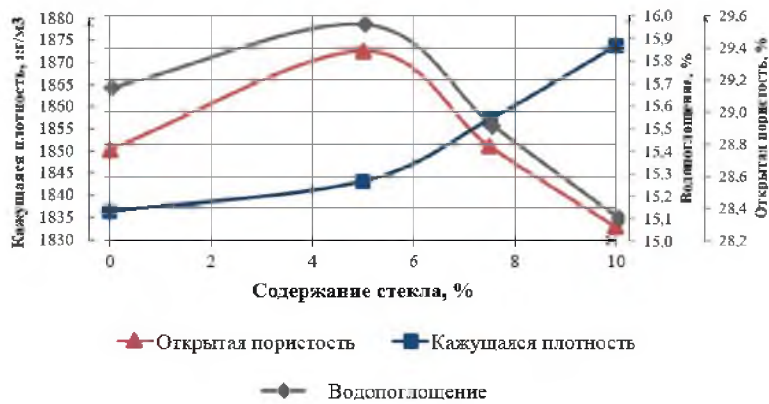


Рис. 1. Зависимость физико-химических свойств образцов от количества стеклобоя

Исследование влияния стеклобоя на механические свойства материала показывает, что прочность при сжатии и изгибе практически не изменилась. Прочность при сжатии находилась в интервале 24,71–31,68 МПа, при изгибе в интервале 10,98–12,79 МПа.

Результаты определения морозостойкости и внешний вид образцов после испытания представлены на рис. 2.

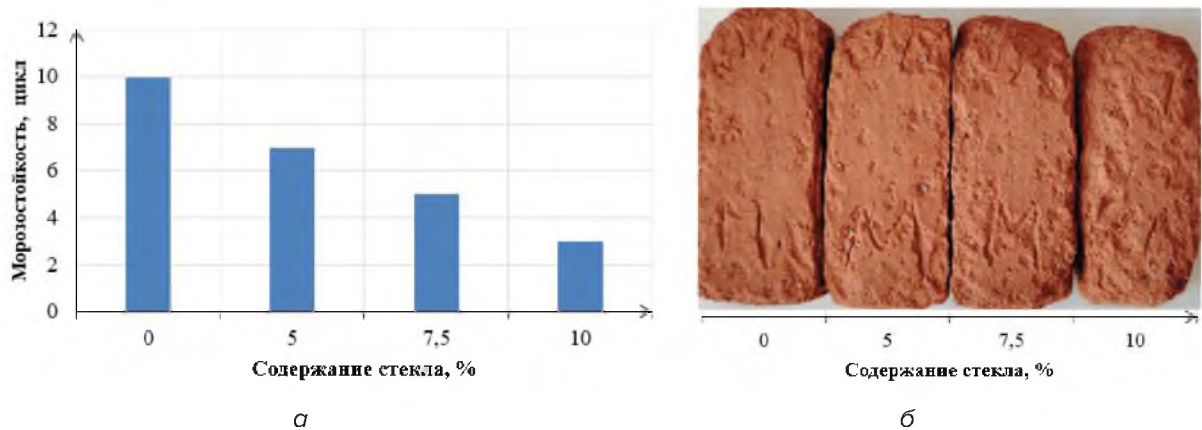
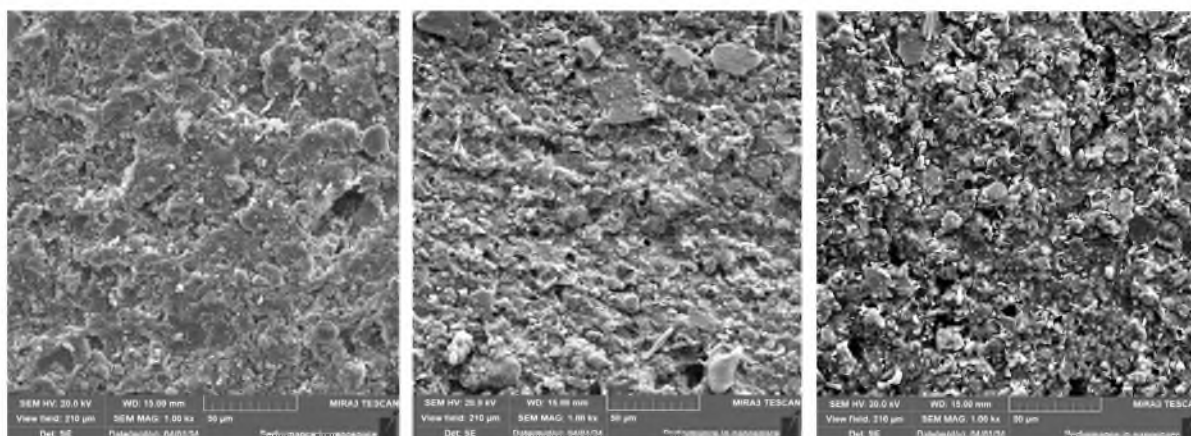


Рис. 2. Зависимость морозостойкости от содержания стеклобоя (а) и внешний вид образцов после 10 циклов определения морозостойкости (б)

Полученные результаты показали, что увеличение количества боя тарного стекла в составе керамической массы приводит к уменьшению морозостойкости. Данные по морозостойкости противоречат данным по водопоглощению и открытой пористости, что потребовало дополнительных исследований микроструктуры керамических материалов.

Морфология поверхности керамического материала (рис. 3) представлена округлыми и угловатыми образованиями. Наблюдаются различной формы поры, расположенные беспорядочно. Размер пор изменяется в широком интервале. Формы крупных пор в контрольном образце преимущественно вытянутые щелевидные, их размер находится в интервале от 67 до 107 мкм, размер мелких пор – от 9 до 18,5 мкм. Образцы, в состав которых вводился бой тарного стекла имеют округлые поры. Размер крупных пор находится в интервале от 60 до 100 мкм, мелких пор – от 4,5 до 25 мкм. С увеличением содержания в составе боя стекла наблюдается увеличение количества мелких пор. Таким образом можно сделать вывод, что причиной снижения морозостойкости изделий при введении стеклобоя является образование «опасных» пор размером от 4,5 до 100 мкм.



а

б

в

Рис. 3. Морфология поверхности образцов при увеличении 1000:
а – образца контрольного состава; *б* – образца 3-го состава; *в* – образца 4-го состава

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования позволили установить влияние боя тарного стекла на структуру керамического материала, а также на его физико-химические свойства. Получены следующие результаты.

Установлено, что введение в состав керамической шихты боя тарного стекла в количестве более 5 % приводит к уменьшению водопоглощения на 3,6 %, открытой пористости на 1,6 %, увеличению кажущейся плотности на 2 %, при этом прочность при сжатии составляет 24–31 МПа, прочность на изгиб 10–13 МПа.

Выявлена особенность изменения микроструктуры при введении добавки дозировкой от 5 до 10 %, заключающаяся в образовании пор размером от 4,5 до 100 мкм, которые являются «опасными» и приводят к резкому уменьшению морозостойкости с 10 до 3 циклов (по ускоренной методике). В связи с этим рекомендуется вводить в шихту не более 5 % стеклобоя, что позволит сохранить необходимый высокий уровень физико-химических и механических свойств и предотвратить негативный эффект от отрицательных температур окружающей среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Влияние фракционного состава шамота на свойства керамических клинкерных изделий / А. Т. Волочко [и др.] // Современные методы и технологии создания и обработки материалов : сб. науч. тр. : в 3 кн. – Минск : ФТИ НАН Беларуси, 2023. – Кн. 1. Материаловедение. – С. 177–186.
2. Использование промышленных отходов в производстве изделий строительной керамики / П. И. Манак [и др.] // Современные методы и технологии создания и обработки материалов : сб. науч. тр. : в 3 кн. – Минск : ФТИ НАН Беларуси, 2023. – Кн.1. Материаловедение. – С. 187–197.
3. Влияние комплексных видов отошителей и цветонесущего сырья на свойства изделий строительной керамики / А. Т. Волочко [и др.] // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Серия F. Строительство. Прикладные науки. – 2020. – № 16. – С. 42–46.
4. Абдрахимов, В. З. Исследование взаимосвязи долговечности и структуры пористости лицевого кирпича возрастом более ста лет (село Рождествено, Самарская область) / В. З. Абдрахимов // Construction and Geotechnics. – 2022. – Т. 13, № 4 – С. 30–39.
5. Национальный доклад о состоянии окружающей среды Республики Беларусь за 2019–2022 гг. : Нац. доклад / Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси, Республиканское унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов». – Минск, 2023. – 172 с.

6. Дятлова, Е. М. Химическая технология керамики и огнеупоров : лаб. практикум / Е. М. Дятлова, В. А. Бирюк. – Минск : БГТУ, 2006. – 275 с.

REFERENCES

1. Volochko A. T., Manak P. I., Podbolotov K. B., Khort N. A., Kovchur A. S. Vliyanie fraktsionnogo sostava shamota na svoystva keramicheskikh klinkernykh izdelij [Influence of the fractional composition of fireclay on the properties of ceramic clinker products]. *Sovremennye metody i tekhnologii sozdaniya i obrabotki materialov. Materialovedenie* [Advanced Methods and Technologies of Materials Development and Processing. Materials Science]. Minsk, Physical-Technical Institute of the National Academy of Sciences of Belarus Publ., 2023, pp. 177–186. (in Russian).
2. Manak P. I., Volochko A. T., Podbolotov K. B., Khort N. A. Ispol'zovanie promyshlennykh othodov v proizvodstve izdelij stroitel'noj keramiki [The use of industrial waste in the production of building ceramics]. *Sovremennye metody i tekhnologii sozdaniya i obrabotki materialov. Materialovedenie* [Advanced Methods and Technologies of Materials Development and Processing. Materials Science]. Minsk, Physical-Technical Institute of the National Academy of Sciences of Belarus Publ., 2023, pp. 187–197. (in Russian).
3. Volochko A. T., Podbolotov K. B., Khort N. A., Manak P. I. Vliyanie kompleksnykh vidov otoshchitelej i svetonesushchego syr'ya na svoystva izdelij stroitel'noj keramiki [Influence of complex types of thinners and color-bearing raw materials on the properties of building ceramics products]. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya F. Stroitel'stvo. Prikladnye nauki* [Bulletin of Polotsk State University. Series F. Applied Sciences. Construction], 2020, no. 16, pp. 42–46. (in Russian).
4. Abrahimov V. Z. Issledovanie vzaimosvyazi dolgovechnosti i struktury poristosti licevogo kirpicha vozrastom bolee sta let (selo Rozhdestveno, Samarskaya oblast') [Investigation of the relationship between durability and porosity structure of face bricks over a hundred years old (Village of Rozhdestveno, Samara Region)]. *Construction and Geotechnics*, 2022, vol. 13, no. 4, pp. 30–39. (in Russian).
5. *Nacional'nyj doklad o sostoyanii okruzhayushchej sredy Respubliki Belarus' za 2019–2022 gody*. [National Report on the State of the Environment of the Republic of Belarus for 2019–2022]. Minsk, Ministerstvo prirodnykh resursov i ohrany okruzhayushchej sredy Resp. Belarus', Institut prirodopol'zovaniya NAN Belarusi, Respublikanskoe unitarnoe predpriyatie «Central'nyj nauchno-issledovatel'skij institut kompleksnogo ispol'zovaniya vodnykh resursov» Publ., 2023, 172 p. (in Russian).
6. Dyatlova E. M., Birjuk V. A. *Himicheskaja tehnologija keramiki i ogneuporov* [Chemical technology of ceramics and refractories]. Minsk, Belarusian State Technological University Publ., 2006, 275 p. (in Russian).

Статья поступила в редакцию 21.06.2024 г.