

## ВЛИЯНИЕ ФРАКЦИОННОГО СОСТАВА ШАМОТА НА СВОЙСТВА КЕРАМИЧЕСКИХ КЛИНКЕРНЫХ ИЗДЕЛИЙ

<sup>2</sup> П. И. Манак, <sup>1</sup> А. Т. Волочко,  
<sup>1</sup> К. Б. Подболотов, <sup>1</sup> Н. А. Хорт, <sup>3</sup> А. С. Ковчур

<sup>1</sup> Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси,  
г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup> ОАО «Обольский керамический завод»,  
г. п. Оболь, Витебская обл., Республика Беларусь

<sup>3</sup> УО «Витебский государственный технологический университет»,  
г. Витебск, Республика Беларусь

*Приведены исследования влияния вторичного шамота и шамотной пыли в сочетании с отсевом из материалов дробления горных пород и речным песком на свойства керамических клинкерных изделий. Определены зависимости основных физико-механических свойств полученных материалов от вида, количества вводимых компонентов и температуры обжига. Проведено исследование структуры полученных материалов. Полученные результаты могут быть использованы при выборе составов, технологических параметров сушки и обжига керамических клинкерных изделий изготавливаемых на основе легкоплавкой неспекающейся глины.*

**Ключевые слова:** клинкер, вторичны шамот, шамотная пыль, сушка, обжиг, прочность, структура

## INFLUENCE OF THE FRACTIONAL COMPOSITION OF FIRECLAY ON THE PROPERTIES OF CERAMIC CLINKER PRODUCTS

<sup>2</sup> P. I. Manak, <sup>1</sup> A. T. Valochka,  
<sup>1</sup> K. B. Podbolotov, <sup>1</sup> N. A. Khort, <sup>3</sup> A. S. Kovchur

<sup>1</sup> Physical-Technical Institute of the National Academy of Sciences of Belarus,  
Minsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup> Obol ceramic plant, urban settlement of Obol,  
Vitebsk region, Republic of Belarus

<sup>3</sup> Educational institution «Vitebsk State Technological University»,  
г. Витебск, Republic of Belarus

*Studies of the influence of secondary fireclay and fireclay dust in combination with screening from rock crushing materials and river sand on the properties of ceramic clinker products are presented. The dependences of the basic physical and mechanical properties*

*of the obtained materials on the type, number of injected components and firing temperature are determined. The structure of obtained materials has been studied. The obtained results can be used in the selection of compositions, technological parameters of drying and firing of ceramic clinker products made on the basis of low-melting non-baking clay.*

**Keywords:** clinker, secondary fireclay, fireclay dust, drying, firing, strength, structure

e-mail: volochkoat@mail.ru

## ВВЕДЕНИЕ

Одним из материалов, применяемых для отделки фасадов зданий различного назначения, является керамический клинкерный кирпич. Благодаря своим уникальным свойствам он занимает особое место среди фасадных материалов. Клинкерный кирпич, имея высокую прочность и морозостойкостью, низкое водопоглощение (менее 6 % по СТБ 1787), является надёжным и долговечным строительным материалом для применение в домостроительстве [1].

Многие предприятия, выпускающих строительные керамические изделия, заинтересованы в организации выпуска клинкерного кирпича на собственном глинистом сырье. Расширение ассортимента и номенклатуры выпускаемых изделий обеспечит более устойчивую работу предприятия за счёт удовлетворения спроса на строительные материалы различного назначения. Основные глины крупных месторождений Республики Беларусь относятся к группам легкоплавкого и тугоплавкого глинистого сырья. При этом эти глины являются неспекающимися или среднеспекающимися, что затрудняет производство на их основе клинкерных изделий. Это требует введения различных добавок улучшающих спекания в глину. Такими добавками могут быть как различные природные материалы, так и промышленные отходы [2, 3].

Для улучшения спекания тугоплавкой глины месторождения «Городное» Столинского района Брестской области, например, предлагается добавлять легкоплавкие глины или разнофракционный гранитный отсев, что обеспечивает получение клинкерных изделий с высокими характеристиками и при этом позволяет понизить температуру обжига [4].

Одной из проблем, возникающей при производстве клинкерных изделий на основе легкоплавких глин, является их узкий интервал спекания. Это требует строгого выдерживания температурно-временных режимов обжига для обеспечения равномерного распределения температуры по всему объёму садки изделий, что не всегда возможно без внедрения новых систем контроля и управления процессом обжига.

Одним из видов отходов, который может быть использован в производстве керамических клинкерных изделий, является огнеупорный шамот. Крупные зёрна шамота во время обжига при высоких температурах, частично оплавляясь, выступают в роли каркаса, что препятствует деформации изделий. Пылевидная фракция шамота (< 0,16 мм) во время обжига полностью растворяется в жидкой фазе, что увеличивает вязкость расплава, исключаящее вспучивание и деформирование при обжиге керамики на основе легкоплавких глин в более широком на 50 % температурном интервале 1100–1150 °С. В качестве добавки для производства может быть использован вторичный шамот, получаемый при дроблении лома огнеупорных изделий. Значительное количество лома огнеупорных изделий образуется на ОАО «Белорусский металлургический завод после ремонта печей и других тепловых агрегатов, который используется для получения вторичного шамота. Также, при работе дробильного оборудования участка по получению

вторичного шамота, образуется большое количество шамотной пыли, которая собирается аспирационной системой.

**Целью данной работы** является исследование влияния разнофракционных огнеупорных материалов на свойства клинкерных изделий.

### **МАТЕРИАЛЫ, СПОСОБ ПОДГОТОВКИ СЫРЬЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Глина месторождения «Заполье». Данная глина имеет следующие характеристики: структура крупнодисперсная, текстура беспорядочная (комковатая); легко поддается дроблению, хорошо размокает в воде, бурно вскипает, обработанная 10 % раствором HCl.

Карьерная влажность сырья 20,5–25,5 масс. %, по числу пластичности глина относится к группе умеренно пластичного сырья (число пластичности верхнего уступа – 7,9; нижнего – 5). По чувствительности к сушке глина относится к группе высокочувствительного сырья. Глина является полиминеральным сырьём. По показателям огнеупорности сырья является легкоплавкой (1139 °C). По степени спекания глинистое сырьё относится к группе неспекающихся глин. Содержание  $Al_2O_3$  – 14,6–15,1 масс. %; содержание щелочных оксидов  $Na_2O+K_2O$  – 3,56 масс. %.

В качестве отощителя использовался вторичный шамот из шамотного порошка ЗША 0–5 (ГОСТ 23037). Содержание  $Al_2O_3$  – 35–38 масс. %; содержание  $SiO_2$  – 46–50 масс. %. Также в качестве отощителя использовались гранитный отсев и речной песок. Для приготовления формовочных масс использовались отощители фракции 0–1,6 мм.

Шамотная пыль представляет собой порошок с размером частиц менее 0,16 мм.

Глина «Заполье» предварительно высушена и размолота до фракции размером менее 1 мм. Отощители высушены и просеяны.

Образцы для проведения исследования изготовлены методом пластического формования. Пластическую керамическую массу изготовили путём смешивания предварительно взвешенных компонентов с добавлением воды до влажности массы 17–19 % и последующим вылёживанием не менее 24 ч. Формование осуществлялось методом ручной набивки пластической массы в металлические формы в виде кирпичей размером (65×30×15) мм и цилиндров диаметром 30 мм и высотой 30–40 мм. После формования проведена сушка изделий в естественных условиях в течение не менее 24 ч с последующей сушкой в сушильном шкафу при температуре  $100 \pm 10$  °C.

После сушки образцы подвергались термической обработке в электропечи при температурах 1100–1125–1150 °C с выдержкой при максимальной температуре 1 ч.

Физико-механические характеристики полученных материалов оценивались по следующим параметрам: коэффициент чувствительности к сушке, сушильная усадка, огневая усадка, механическая прочность при сжатии, водопоглощение и кажущаяся плотность [5].

Исследуемые составы с добавлением вторичного шамота и шамотной пыли приведены в табл. 1 и табл. 2.

**Табл. 1**

**Исследуемые составы с добавкой вторичного шамота**

Компоненты	Содержание, масс. %					
	0	1	2	3	4	5
глина «Заполье»	100	95	90	85	80	75
вторичный шамот	–	5	10	15	20	25

## Исследуемые составы с добавкой шамотной пыли

Компоненты	Содержание, масс. %			
	0	1	2	3
глина «Заполье»	80	80	80	80
гранитный отсев	15	15	15	15
речной песок	5	5	5	5
шамотная пыль, сверх 100 %	–	5	7,5	10

## ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Внешний вид полученных образцов приведён на рис. 1.

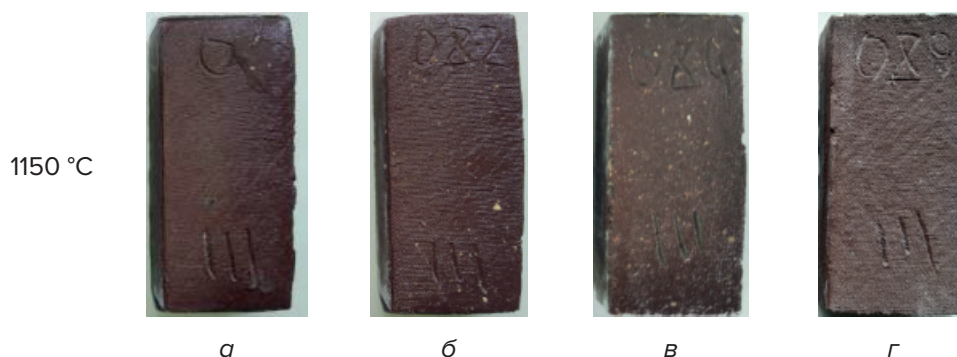


Рис. 1. Внешний вид образцов обожжённых при температуре 1150 °С

*а* – состав без добавок; *б* – с добавкой 10 масс. % шамота;  
*в* – с добавкой 20 масс. % шамота; *г* – с добавкой шамотной пыли 10 масс. %

При увеличении температуры обжига от 1100 до 1150 °С цвет образцов изменяется от коричневого до шоколадного. Образцы обожжённые при температурах 1100 и 1125 °С не деформированы и не вспучены. Однако, повышение температуры обжига до 1150 °С, приводит к вспучиванию образцов составов без огнеупорных добавок и с добавкой 10 масс. % шамота, их поверхность остеклована, а образцы с добавлением 20 масс. % вторичного шамота и 10 масс. % шамотной пыли не вспучены и не остеклованы. На поверхности образцов с вторичным шамотом видны крупные зёрна шамота.

На рис. 2 представлена зависимость коэффициента чувствительности к сушке и сушильная усадка образцов полученных с использованием вторичного шамота и шамотной пыли.

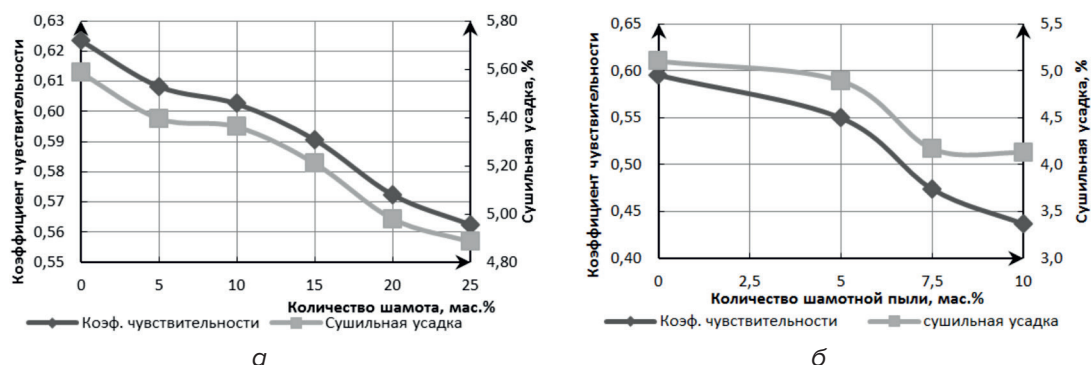


Рис. 2. Зависимость коэффициента чувствительности к сушке и сушильной усадки от количества шамота (*а*) и шамотной пыли (*б*)

Вторичный шамот является хорошим отошителем. Его использование в составе керамических масс позволяет снизить сушилную усадку с 5,58 до 4,48 % и коэффициент чувствительности к сушке с 0,62 до 0,56 (рис. 2а). Добавка шамотной пыли к шихте также приводит к снижению сушилной усадки и коэффициента чувствительности к сушке на 20–30 % (рис. 2б).

Изменение огневой усадки во время обжига при высоких температурах, близких к температуре плавления, может указывать на протекающие внутри изделия процессы. Уменьшение размеров образцов при обжиге свидетельствует о протекании процессов спекания, если же с ростом температуры обжига происходит уменьшение огневой усадки, то это может свидетельствовать о вспучивании образцов. Так на рис. 3 приведены зависимости огневой усадки от количества вторичного шамота, шамотной пыли и температуры обжига.

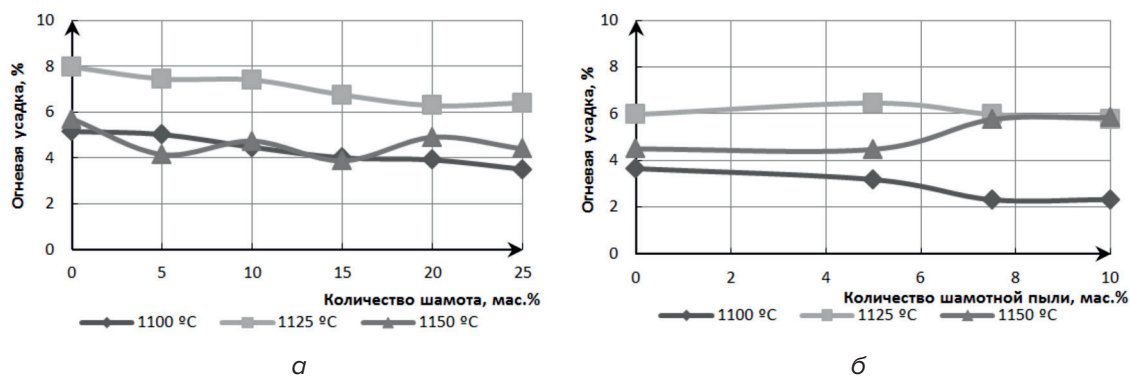


Рис. 3. Огневая усадка образцов с шамотом (а) и шамотной пылью (б)

Огневая усадка образцов с шамотом изменяется от 3,5 до 7,48 %, а образцов с шамотной пылью от 2,32 до 6,46 %. При этом у образцов с шамотом огневая усадка с ростом температуры от 1100 до 1150 °С сначала увеличивается, а затем уменьшается. Увеличение температуры обжига интенсифицирует спекания, о чём свидетельствует рост огневой усадки при увеличении температуры обжига до 1125 °С. При дальнейшем увеличении температуры обжига до 1150 °С образцы начинают деформироваться и вспучиваться, что приводит к снижению огневой усадки. Добавления шамота в количестве 20–25 масс. % и шамотной пыли в количестве 7,5–10 масс. % повышает огнеупорность керамической массы: образцы обожжённые при температуре 1150 °С не вспучены и не деформированы.

Зависимости основных физико-механических свойств образцов (прочности при сжатии, водопоглощения, кажущейся плотности), изготовленных с добавлением вторичного шамота, приведены на рис. 4.

Полученные результаты показали, что прочность при сжатии изменяется от 45 до 160 МПа. Максимальную прочность при сжатии в 160,77 МПа имеют образцы состава № 2, обожжённые при температуре 1125 °С. Зависимость прочности при сжатии образцов от температуры обжига при добавлении вторичного шамота имеет различный характер (рис. 4а). При температуре обжига в 1100–1125 °С прочность при сжатии с увеличением количества шамота до 10 масс. % увеличивается, а затем начинает уменьшаться. При этом прочность с ростом температуры обжига с 1100 до 1125 °С увеличивается. А при температуре обжига 1150 °С прочность при сжатии с увеличением количества вторичного шамота увеличивается с 45 до 85 МПа.

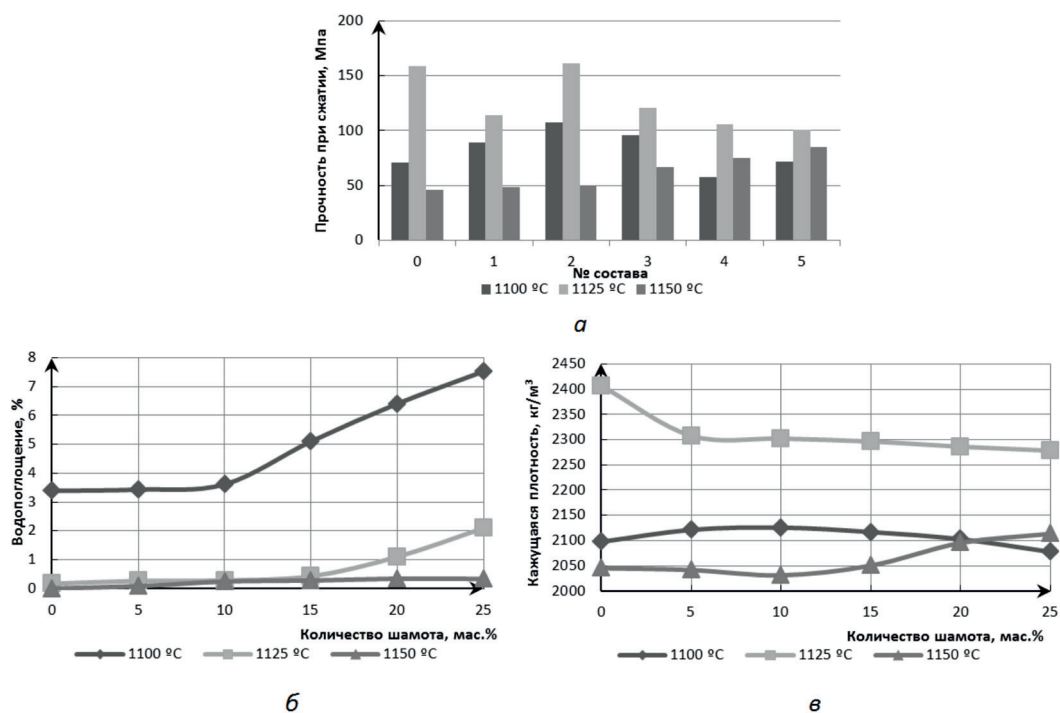


Рис. 4. Физико-механические свойства образцов с вторичным шамотом: а – прочность при сжатии; б – водопоглощение; в – кажущаяся плотность

Такую зависимость прочности при сжатии можно объяснить тем, что с ростом температуры обжига с 1100 до 1125 °C интенсифицируется процесс спекания за счёт образования жидкой фазы. При этом можно предположить, что вторичный шамот в количестве 10 масс. % равномерно распределяется в керамической массе, формирует с глинистым веществом прочную структуру. Увеличение количества вторичного шамота разрыхляет структуру материала, количество образующейся при обжиге жидкой фазы недостаточно для его спекания.

С увеличением температуры обжига до 1150 °C образуется большое количество жидкой фазы, что приводит к вспучиванию образцов и активному взаимодействию этой жидкой фазы с вторичным шамотом. Это взаимодействие при увеличении количества вторичного шамота в составе приводит к снижению вспучивания материала и постепенному росту прочности при сжатии. Также крупные частицы шамота формирует каркас, сцементированный расплавленным глинистым веществом.

Водопоглощение образцов изменяется от 0 % у состава без добавки вторичного шамота, обожжённого при температуре в 1150 °C до 7,53 % у состава, содержащего 25 мас. % вторичного шамота и обожжённого при температуре 1100 °C (рис. 4б). У образцов обожжённых при температурах 1100–1125 °C, водопоглощение с увеличением количества вторичного шамота более 10 масс. % увеличивается, что объясняется разрыхлением структуры. У образцов обожжённых при температуре обжига 1150 °C с увеличением количества вторичного шамота водопоглощение увеличивается незначительно, из-за сильного оплавления поверхности и закрытия открытых пор.

Кажущаяся плотность образцов с вторичным шамотом находится в интервале 2030,93–2406,68 кг/м<sup>3</sup> (рис. 4в). У образцов обожжённых при 1100–1125 °C с увеличением количества вторичного шамота с 5 до 25 масс. % изменяется незначительно. У образцов обожжённых при температуре 1150 °C с увеличением количества вторичного шамота более 10 масс. % незначительно увеличивается. Рост температуры обжига с 1100



до 1125 °С приводит к увеличению кажущейся плотности за счёт спекания материала, увеличение температуры обжига до 1150 °С из-за протекания процессов вспучивания снижает кажущуюся плотность.

Зависимости основных физико-механических свойств образцов (прочности при сжатии, водопоглощения, кажущейся плотности), изготовленных с добавлением шамотной пыли, приведены на рис. 5.

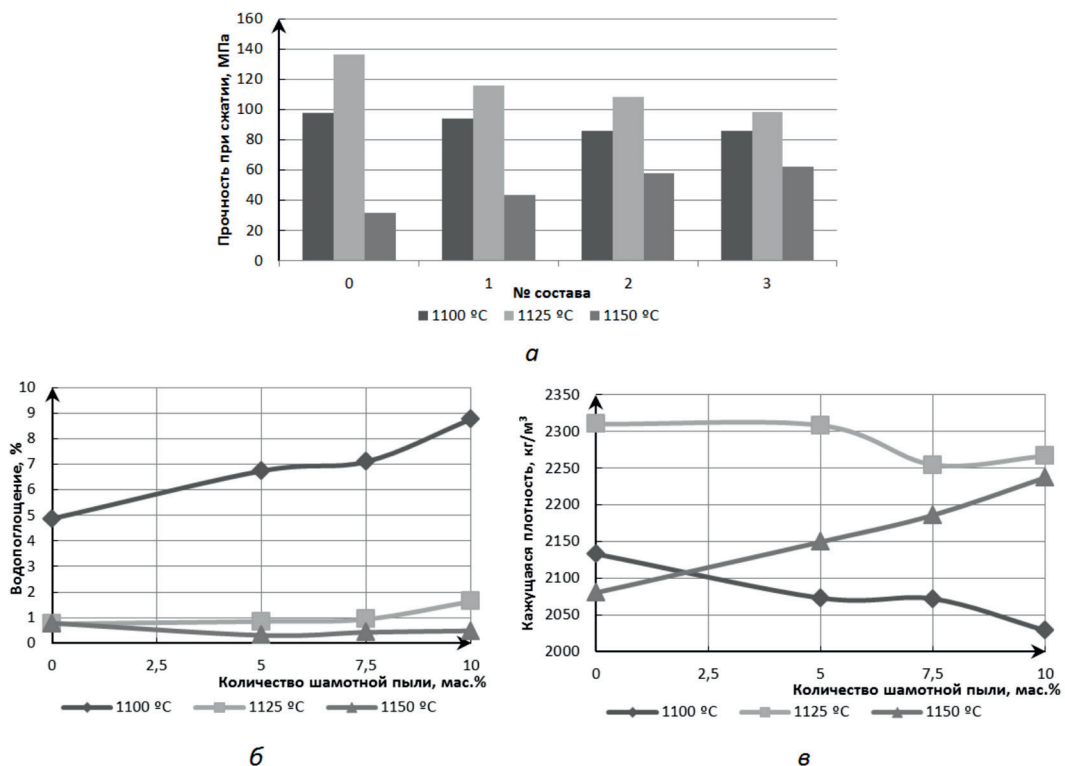


Рис. 5. Физико-механические свойства образцов с шамотной пылью: а – прочность при сжатии; б – водопоглощение; в – кажущаяся плотность

Полученные результаты показали, что прочность при сжатии изменяется от 31,31 до 136,36 МПа. При этом с увеличением температуры с 1100 до 1125 °С прочность при сжатии увеличивается, а с увеличением температуры обжига до 1150 °С прочность снижается. У образцов, обожжённых при 1100 и 1125 °С, с увеличением количества шамотной пыли прочность при сжатии снижается. Добавление шамотной пыли к образцам, обожжённым при температуре 1150 °С приводит к увеличению прочности при сжатии (рис. 5а).

У экспериментальных образцов с добавкой шамотной пыли, обожжённые при температуре 1100 и 1125 °С водопоглощение с увеличением её количества увеличивается, а кажущаяся плотность уменьшается, при этом с увеличением температуры обжига водопоглощение снижается, а кажущаяся плотность увеличивается (рис. 5б, в).

У образцов, обожжённых при температуре 1150 °С, водопоглощение практически не изменяется, а кажущаяся плотность увеличивается (рис. 5б, в).

Такое изменение основных физико-механических свойств при использовании в качестве добавки шамотной пыли можно объяснить тем, что при температурах обжига 1100–1125 °С она ведёт себя как отощитель, при этом являясь огнеупорным материалом плохо взаимодействует с основным глинистым веществом. При температуре 1150 °С, по видимому, активизируется взаимодействие шамотной пыли с глинистым веществом, что и приводит к улучшению спекания материала и как следствие повышение его основных

свойств. Составляющие компоненты шамотной пыли, взаимодействуя с расплавленным глинистым веществом, повышают его вязкость и, как следствие, образцы, обожжённые при 1150 °С, не деформируются и не вспучиваются.

Структура материалов, полученных при различных температурах обжига, приведена на рис. 6.

Из рис. 6а видно, что структура образца без добавки вторичного шамота, обожжённого при температуре 1100 °С не однородна. Видны распределённые в глинистом веществе белые кристаллики, предположительно кварца, также различаются поры с неровными краями. При повышении температуры обжига до 1125 °С глинистое вещество постепенно спекается в однородную массу, но поры при этом не закрываются, сохраняют свои неровные края. У образца обожжённого при температуре 1150 °С структура однородна, в остеклованной массе равномерно распределены поры округлой формы различного размера.

На рис. 6б представлена структура образца с добавлением 10 масс. % вторичного шамота. Видно, что структура образцов обожжённых при температурах 1100 и 1125 °С не однородна. Хорошо различимы, предположительно зёрна шамота различного размера. При этом с увеличением температуры обжига, количество мелкого шамота уменьшается. Видимо мелкие частицы постепенно спекаются с глинистым веществом в однородную массу. При температуре обжига 1150 °С у образца с вторичным шамотом можно различить только крупные частицы шамота, которые имеют оплавленные края. Также у всех образцов в структуре присутствуют поры различного размера и строения.

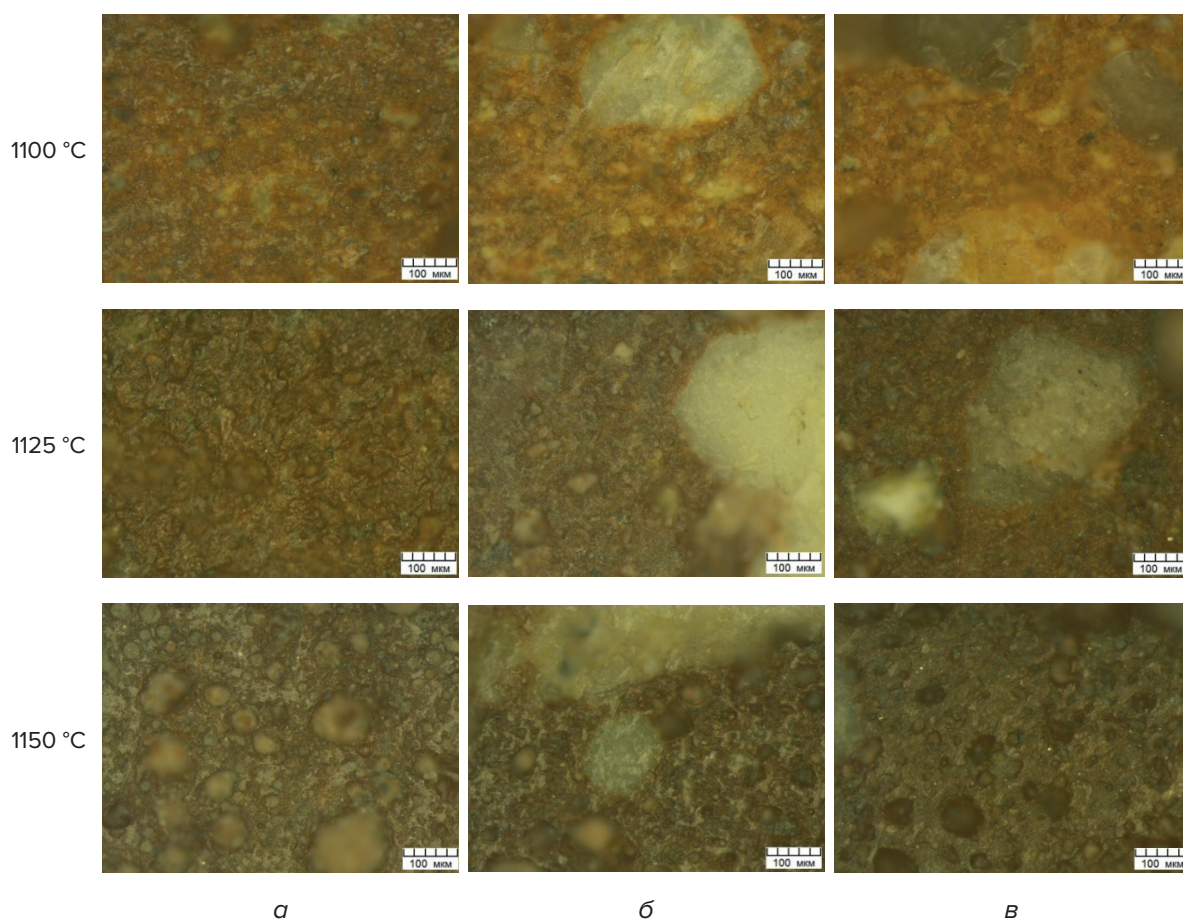


Рис. 6. Структура образцов без добавок (а), с вторичным шамотом (б) и с добавкой шамотной пыли (в) при температуре обжига 1100–1125–1150 °С



Структура образцов, обожжённых при температуре 1100–1125 °С, с добавлением шамотной пыли не однородна (рис. 6в). Хорошо видны зёрна отощителя различного размера распределённые в глинистом веществе. С увеличением температуры обжига мелкие зерна постепенно сплавляются с глинистым веществом, а крупные зёрна отощителя оплавляются. Так же в структуре материала видны поры различного размера и формы. С ростом температуры обжига поры принимают более округлую форму. Следует отметить, что с ростом температуры обжига до 1150 °С, у образцов с добавкой шамотной пыли количество пор становится меньше. На основании чего, можно предположить, что мелкие частицы шамотной пыли вступают во взаимодействие с глинистым веществом и улучшают его спекание, что положительно сказывается на основных физико-механических свойствах образцов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При проведении исследования установлено, что использование в качестве отощителя порошка вторичного шамота в количестве 10 масс. % обеспечивает получение клинкерных изделий при температуре обжига 1100–1125 °С с высокими физико-механическими свойствами: водопоглощением 0,5–3,5 %, прочностью при сжатии до 160 МПа.

Показано, что введение шамотной пыли в шихту для производства керамического кирпича позволяет расширить максимальный интервал температуры обжига с 25 °С (1100–1125 °С) до 50 °С (1100–1150 °С), что позволит обжигать клинкерные изделия в промышленных печах без недожога и пережога. Расширение температурного интервала обжига связано с увеличением вязкости расплава, образующегося из глинистого вещества за счёт протекания процессов полного растворения в нём пылевидной фракции шамота (< 0,16 мм), что исключает деформацию и вспучивание при обжиге. Использование добавки шамотной пыли позволит получить клинкерные изделия с водопоглощением 0,2–1,5 % и прочностью при сжатии 95–120 МПа.

Таким образом, полученные результаты могут быть использованы в производстве керамического клинкерного кирпича на основе легкоплавких неспекающихся глин.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кирпич керамический клинкерный. Технические условия : СТБ 1787-2007. – Введ. 28.09.2007. – Мн. : БелГИСС : Госстандарт Беларуси, 2007. – 7 с.
2. Волочко, А. Т. Огнеупорные и тугоплавкие керамические материалы / А. Т. Волочко, К. Б. Подболотов, Е. М. Дятлова. – Мн. : Беларуская навука, 2013. – 385 с.
3. Левицкий, И. А. Основы производства керамических плиток / И. А. Левицкий, И. В. Пищ. – Мн. : БГТУ, 2002. – 127 с.
4. Волочко, А. Т. Керамические клинкерные изделия на основе глин месторождений Республики Беларусь / А. Т. Волочко [и др.] // Современные методы и технологии создания и обработки материалов : сб. науч. тр. : в 3 кн. / редколлегия: В. Г. Залесский (гл. ред.) [и др.]. – Мн. : ФТИ НАН Беларуси, 2022. – Кн. 1. Материаловедение. – С. 64–71.
5. Дятлова, Е. М. Химическая технология керамики и огнеупоров : лаб. практикум / Е. М. Дятлова, В. А. Бирюк. – Мн : БГТУ, 2006. – 275 с.

## REFERENCES

1. Kirpich keramicheskij klinkernyj. Tehnicheskie uslovija : STB 1787-2007. – Vved. 28.09.2007. – Mn. : BelGISS : Gosstandart Belarusi, 2007. – 7 s. (in Russian)
2. Volochko, A. T. Ogneupornye i tugoplavkie keramicheskie materialy / A. T. Volochko, K. B. Podbolotov, E. M. Djatlova. – Mn. : Belaruskaja navuka, 2013. – 385 s. (in Russian)
3. Levickij, I. A. Osnovy proizvodstva keramicheskikh plitok / I. A. Levickij, I. V. Pishh. – Mn. : BGTU, 2002. – 127 s. (in Russian)

4. Volochko, A. T. Keramicheskie klinkernye izdelija na osnove glin mestorozhdenij Respubliki Belarus' / A. T. Volochko [i dr.] // *Sovremennye metody i tehnologii sozdaniya i obrabotki materialov* : sb. nauch. tr. : v 3 kn. / redkollegija: V. G. Zaleskij (gl. red.) [i dr.]. – Mn. : FTI NAN Belarusi, 2022. – Kn. 1. Materialovedenie. – S. 64–71. (in Russian)
5. Djatlova, E. M. Himicheskaja tehnologija keramiki i ogneuporov : lab. praktikum / E. M. Djatlova, V. A. Birjuk. – Mn : BGTU, 2006. – 275 s. (in Russian)

*Статья поступила в редакцию 04.05.2023 г*