

ТЭХНІЧНАЯ ХІМІЯ І ХІМІЧНАЯ ТЭХНАЛОГІЯ
TECHNICAL CHEMISTRY AND CHEMICAL ENGINEERING

УДК 666.016.666.714

Поступила в редакцию 28.10.2016

Received 28.10.2016

И. В. Пищ¹, В. А. Бирюк², Ю. А. Климош¹, Р. Ю. Попов¹, Т. Н. Микулич¹

¹*Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь*

²*Университет гражданской защиты МЧС Беларуси, Минск, Беларусь*

**ПОЛУЧЕНИЕ КЛИНКЕРНОГО КИРПИЧА
НА ОСНОВЕ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

Аннотация. Проведены исследования и разработаны составы масс для получения плотносспекшейся керамики, в частности клинкерного кирпича, на основе легкоплавких глин, суглинков, низкоожженного шамота и стеклообая тарного. Установлено положительное влияние тонкомолотого низкоожженного шамота, полученного термообработкой легкоплавких глин при 1000 °С, который способствует расширению интервала спекания материалов. Комплексное использование полиминеральных глин, низкоожженного шамота, суглинков позволяет получить плотносспекшийся материал с водопоглощением 3–5 %, что обусловлено эффективным воздействием тонкодисперсного аморфного кремнезема, содержащегося в суглинках. Выявлено, что при таком использовании указанных компонентов при температуре обжига 1150±10 °С получен плотносспекшийся материал с водопоглощением менее 5 %, морозостойкостью 120–200 циклов и механической прочностью при сжатии 41–47 МПа.

Ключевые слова: глина, кирпич, низкоожженный шамот, механическая прочность, водопоглощение

Для цитирования. Получение клинкерного кирпича на основе минерального сырья Республики Беларусь / И. В. Пищ [и др.] // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. хім. навук. – 2017. – № 4. – С. 90–98.

I. V. Pisch¹, V. A. Biryuk², Y. A. Klimosh¹, R. Y. Popov¹, T. N. Mikulich¹

¹*Belarusian State Technological University, Minsk, Belarus*

²*University of Civil Protection of the MES of Belarus, Minsk, Belarus*

**PRODUCTION OF CLINKER BRICK ON THE BASIS OF MINERAL RAW MATERIALS
OF THE REPUBLIC OF BELARUS**

Abstract. Mass compositions for production of dense ceramics, in particular clinker bricks based on low-melting clays, loams, low-calcined chamotte and cullet glass have been developed. A positive effect of finely ground low-ash chamotte obtained by heat treatment of low-melting clays at 1000 °С, which contributes to the expansion of the sintering interval of materials, is established. The complex use of polymineral clays, low-calcined chamotte and loams allows obtaining dense-looking material with a water absorption of 3–5 %, which is due to the effective action of fine-dispersed amorphous silica contained in loam. Dense material with a less than 5 % water absorption, frost resistance of 120–200 thermal cyclings and mechanical compressive strength of 41–47 MPa was produced by calcination of the mentioned materials at 1150 ± 10 °С.

Keywords: clay, brick, low-calcined chamotte, mechanical strength, water absorption

For citation. Pisch I. V., Biryuk V. A., Klimosh Y. A., Popov R. Y., Mikulich T. N. Production of clinker brick on the basis of mineral raw materials of the Republic of Belarus. *Vesti Natsyynal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya khimichnykh navuk=Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus, Chemical series*, 2017, no. 4, pp. 90–98 (In Russian).

Введение. В настоящее время в строительной отрасли большое внимание уделяется решению задач импортозамещения строительных отделочных материалов, повышению долговечности ограждающих конструкций зданий и сооружений, снижению текущих затрат на их эксплуатацию и ремонт. В этой связи все большее внимание на рынке строительных материалов уделяется клинкерному керамическому кирпичу, который наряду с хорошими эстетическими качествами обладает высокими прочностными характеристиками, морозо- и огнестойкостью, экологичностью, долговечностью.

Как известно, клинкерный кирпич – керамический материал, обожженный до полного спекания черепка без признаков пережога и деформаций, отличающийся высокой механической прочно-

стью, плотностью и морозостойкостью [1]. Различают клинкер дорожный (клинкерная брусчатка), строительный и облицовочный, применяемые в гражданском строительстве, клинкер для гидротехнических сооружений и кислотоупорный клинкер. Поверхность облицовочного клинкерного кирпича может быть неглазурованной и глазурованной, блестящей или матовой [1–3].

Клинкерный кирпич благодаря использованию качественных сырьевых материалов, строгому соблюдению технологического процесса обладает водопоглощением менее 6 %, высокими химической и коррозионной стойкостью. Эти особенности позволяют изделиям выдерживать интенсивные статические и динамические нагрузки, что определяет область их использования для мощения территорий с интенсивным транспортным и пешеходным движением. Кроме того, кладка из клинкерного кирпича на протяжении длительного времени не требует ремонта, что значительно сокращает затраты на эксплуатацию. Поэтому все шире клинкерная керамика используется при загородном строительстве и тротуарном мощении пешеходных дорожек, строительстве фундаментов, наружной кладке дымовых труб.

В настоящее время на белорусском рынке строительных материалов доминирует клинкерная керамика (кирпич, облицовочная плитка и фасонные изделия), импортируемая из Польши и Германии. За последние три года объем ввезенного в Беларусь клинкера вырос более чем в 3 раза. Собственного массового производства клинкера в Республике Беларусь до сих пор не налажено. Это обусловлено рядом объективных причин – скудными запасами качественного глинистого сырья (огнеупорных и тугоплавких глин), отсутствием на кирпичных предприятиях до недавнего времени теплотехнических агрегатов (печей обжига), способных обеспечить необходимую для полного спекания кирпича температуру обжига 1100–1200 °С. Хотя решению указанных проблем в настоящее время уделяется серьезное внимание. А именно, на ОАО «Керамин» смонтирована и запускается туннельная печь, позволяющая проводить обжиг клинкерного кирпича при температурах 1200 °С.

На кафедре технологии стекла и керамики Белорусского государственного технологического университета проведены исследования, направленные на получение из белорусских осадочных и магматических горных пород керамического клинкерного кирпича, соответствующего требованиям стандартов (СТБ 1787–2007 и ГОСТ 530–2012).

Цель представленной работы – разработка составов керамических масс для изготовления клинкерного керамического кирпича на основе минерального сырья Республики Беларусь, изучение фазового состава и структуры синтезированных материалов. Задачами исследований являются обеспечение достаточной степени спекания изделий при использовании минерального сырья Республики Беларусь, расширение интервала спекшегося состояния, выявление особенностей формирования структуры синтезируемых керамических материалов.

Результаты исследования и их обсуждение. В качестве глинистых компонентов керамических масс в работе использовали различные сочетания белорусских полиминеральных глин и суглинков. Для отошения керамических масс, интенсификации процесса спекания и повышения прочностных характеристик использовали сырьевые компоненты, приведенные в таблице. Выбор компонентов и пределов их содержания обусловлен следующими обстоятельствами. Составы масс, используемые в производстве керамического кирпича и камней, содержат легкоплавкие глины и различные отошающие добавки. Недостаточная спекаемость и соответственно невысокая прочность кирпича на основе полиминеральных глин Беларуси обусловлена содержанием в них значительных количеств примесных минералов: кварца, карбонатов и т. д.

Минералогический состав глин является одним из факторов, влияющих на природу образующихся при обжиге кристаллических фаз. Изменяя минералогический состав масс путем смешивания нескольких глин, суглинков, можно влиять на фазовые превращения и свойства изделий. Суммарное содержание глинистой составляющей в экспериментальных керамических массах составляло 60–80 %¹.

На основании ранее проведенных нами исследований, а также данных источников литературы установлено, что одним из эффективных путей достижения спекшейся структуры клинкер-

¹ Здесь и далее по тексту приведено массовое содержание, мас. %.

ного кирпича является введение в состав масс кремнеземистого сырья, магматических пород и отходов их переработки [2, 3].

В качестве непластичного сырья в составах масс – использовали сырьевые компоненты (гранитоидные отсевы, базальт, трепел, порошок шамотный низкожженный), которые на стадии приготовления керамических масс выполняют роль отошителя, а при температурах более 1050 °С начинают активно принимать участие в спекании керамического материала, снижают пористость. Количество непластичных сырьевых компонентов варьировали и составляло 10–40 %. Химический состав сырьевых компонентов, используемых в работе, приведен в таблице.

Химический состав исходных сырьевых материалов

Composition of the initial raw materials

Наименование сырья	Оксиды и их содержание, %									
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	CaO	TiO ₂	P ₂ O ₅	п.п.п
Глина «Туровское»	63,60	19,92	5,60	0,30	0,60	2,30	0,40	0,90	–	7,38
Глина «Городное»	66,9	16,0	7,2	0,49	0,14	0,4	0,71	0,51	–	7,62
Глина «Городок»	70,47	16,08	3,99	1,0	2,07	0,62	0,76	0,05	–	7,1
Глина «Заполье»	57,60	14,91	5,51	0,76	3,80	1,89	6,61	0,72	–	8,2
Суглинок «Фаниполь»	77,2	8,7	2,8	1,3	2,4	1,3	2,1	0,4	–	3,8
Гранитоидный отсев	65,38	15,08	5,36	3,52	2,77	1,60	4,20	0,45	–	1,32
Базальтовая порода	51,42	15,65	12,59	2,78	1,34	3,76	9,53	2,67	0,25	–
Трепел «Стальное»	54,97	5,9	1,73	0,12	1,36	0,82	14,03	0,16	–	20,91
Порошок шамотный низкожженный	72,31	17,3	7,78	0,53	0,15	0,43	0,77	0,55	–	0,14

При изучении химико-минералогического состава и основных физико-химических и технологических свойств сырья установлено, что глина месторождения «Туровское» (Брестская область) представляет собой темно-серую, плотную, вязкую породу, от жирной до слабозапесоченной. Минералогический состав глины представлен каолинитом, иллитом, кварцем.

Глина «Городное» (Брестская область) – порода от желтовато-серого, серого до черного цвета. Основными минералами, входящими в ее состав, являются каолинит, монтмориллонит, иллит, а также смешанослойные образования.

Глине «Городок» (Гомельская область) характерна высокая дисперсность, отсутствие грубых включений. Месторождение разделено на три слоя: верхний, средний и нижний. Промышленное значение имеют глины среднего слоя, которые использовали в данной работе. Минеральный состав глин представлен каолинитом и монтмориллонитом, в качестве примесных минералов содержится кварц, гетит и полевои шпат.

Глина «Заполье» (Витебская область) имеет светло-коричневый цвет, крупнодисперсную структуру, беспорядочную (комковую) текстуру. Глинистое вещество представлено каолинитом (6–15 %), монтмориллонитом (10–18 %), гидрослюдой (5–12 %), в качестве примеси присутствуют хлориты.

Суглинки «Фаниполь» (Минская область) представляют собой желтовато-серую, местами светло-серую породу, рыхлую, комковатую. Глинистое вещество имеет полиминеральный состав и является неоднородной смесью гидрослюды и каолинита.

Отсевы камнедробления Микашевичского ГОК (Брестская область), используемые в работе, характеризуются присутствием оксидов алюминия, щелочных и щелочноземельных металлов, суммарное содержание которых типа RO и R₂O составляет 5,8 и 6,29 соответственно, а отношение RO/R₂O – 0,92. Главными породообразующими минералами гранитов Микашевичского месторождения РУП «Гранит» являются плагиоклаз (олигоклаз-андезит), щелочной полевои шпат, кварц, небольшие включения биотита и каолинита, единичные зерна эпидота и амфибола.

Базальтовое сырье (Брестская область) представляет собой темно-серые, черные или зеленовато-черные породы, обладающие стекловатой, скрытокристаллической афировой или порфировой структурой. В порфирированных разностях на фоне общей скрытокристаллической массы хорошо

заметны мелкіе вкраплення зеленовата-жёлтых изометричных кристаллов оливіна, светлага плагіоклаза или чэрных прызм піроксенов. По мінералагіческому составу базальт прадставлен в асновном плагіоклазом и клінопіроксеном, в невялікіх колькасцях прысутствуюць оливін и рудныя мінералы (магнетит, ільменіт), анальцім.

Месторождение трепела «Стальное» знаходзіцца в Могілеўскай абласці. Трепел прадставяе сабой очень лёгкую зямлістага віда пароду, змяшчаючую аморфны кремнезём в віде мельчайшых частіц опала и халцедона размерамі ад 0,0025 да 0,005 мм. В состав входіць такжэ невялікае колькасць скелетов дыатомей, спікулей губок, раковін радыолярыяў. В віде прымесей трепелы змяшчаюць гліністыя мінералы и оксіды жалеза. Окраска трепела вар’іруе ад светла-серага да бурога в залежнасці ад прысутствія оксідів жалеза и арганічнага рэчыва.

Порошок шамотный нізкожжэнны гатовілі путем абжыга гліны «Городное» пры тэмпературы 1000 °С с паследуючым дробленнем да размера зерен менш 1 мм.

Результатом праведзенага выбара асновных кампанентаў, прадэлов іх змяшчэння и прымянення для планіравання и асацвялення эксперымента с іспользаваннем метада сімплексных рэшотак явілось апрадэленне чатырех эксперыментальных абласцей составов, в котрых асацвяляўся сінтэз клінкернага керамічнага кірпіча.

Все сырыявыя матэрыялы прадварітэльно высушывалі, ізмельчалі, дозіравалі. Маса прыходіла смешыванне, помол, вылежыванне. Образцы фармывалі пластычным метадам пры влажнасці керамічнага масы 17–20 %. Пасле падвялкі образцы сушылі в электрычным шкафу пры тэмпературы 110–120 °С да пастаяннай масы, пасле чаго абжыгалі в муфельнай печі в інтэрвале тэмператур 1050–1175 °С с выдэржкы пры максімальнай тэмпературы в тэчэнне 1 ч. В рэзультате праведзенных ісследываній устаановлена, што найбалее важнымі фактарамі, вліяючымі на працэсы фарміравання плотнаспекшейся структуры іздэліяў, явяляюцца ўслова спеканія керамічных матэрыялов (тэмпературна-врэменныя ўслова абжыга), хіміка-мінералагічэскі состав опытных масс, а іменна налічце оксідів шчолачных, шчолачнозёмельных металлов и жалеза в составах кампозіцыяў, котрыя с увелічэннем тэмпературы абжыга вышэ 1050 °С спосабствуюць абазаванню лёгкаплавкых эвтектык, уплотня матэрыял и павышяа яго прачнасць.

Прыведзеныя расчэты паказалі, што опытные керамічныя масы змяшчаюць SiO₂ в колькасці 63–72 % и Al₂O₃ в колькасці 11–16 %. Налічце в эксперыментальных кампозіцыях Al₂O₃ пры тэмпературах абжыга матэрыялов акола 1100 °С прыводіць к фарміраванню мулліта, увелічываючага прачнасцьныя характэрыстыкі сінтэзіруемага керамічнага матэрыяла. В то жэ врэмя сацэтанне кремнезёма с оксідамі шчолачных и шчолачнозёмельных металлов стымулірוע абазаванне стэкловіднай фазы, цэментірועаючэй структуру фармірועаючэйся керамікі. Аналагічнае вліянне аказываюць саадінэння жалеза, прысутствуючыя в сырыа в значітэльном колькасці.

Можно ааметіть, што качэство и внашній вяд абажжэнных матэрыялов удывлетворітэльныя. Взуальнае ізучэнне термоабаботаных абазцов паказало, што пры ізмэннені змяшчэння кампанентаў шыхты не прыходіць значітэльных ізмэннєній в аокраске абазцов. Все абазцы характэрізуюцься равномэрнай аокраской ад карічневато-оранжэвой да шоколадно-корічневой цвэтовай гаммы, прычэм с увелічэннем тэмпературы термоабаботкы інтєнсывнасць аокрашыванія чэрэпка усілываеься. Дэфекты повэрхносці (вспучыванне, дэформація) аотсутствуюць за ісключєнієм абазцов ряда составов, абажжєнных пры максімальнай тэмпературы 1175 °С.

Значєня аобщєй усадкы абазцов наоходілісь в прэдєлах 5,8–9,5 % и завєселі как от тэмпературы абжыга, так и от колькасства гліністай саавяляючєй керамічєскых масс. Аналізрועа получєнныє даннєя, можно сдєлать закономірнєй вывод, што с увелічєнієм тэмпературы абжыга аот показатєль павышяеься вслєдствіє болєе полного спеканія чэрэпка и сближєнія частіц под дєйствієм сил повэрхносного натяжєнія расплава. В процесє абжыга по мєрє павышєнія тэмпературы прыходіць постєпєнное нарастаніє колькасства жідкой фазы, абазаваніє котрой в матэрыялє обусловлєно прысутствієм оксідів шчолачных и шчолачнозёмельных металлов, оксідів жалеза, а такжє кварцєвой саавяляючєй. По мєрє растворєнія рєчыва в зонах контакта частіц прыходіць пєрєнос рєчыва чєрєз расплав, пры аотом укрупнєіяься кристаллы,

сглаживаются их поверхности, что обеспечивает уплотнение материала и увеличение усадки с ростом температуры обжига.

С увеличением температуры обжига опытных образцов от 1050 до 1150 °С закономерно происходит повышение физико-механических показателей (рост плотности и механической прочности, снижение водопоглощения и пористости), что объясняется интенсификацией процессов спекания и фазообразования – формирование и увеличение количества новых кристаллических фаз, а именно муллита и анортита. Активное уменьшение объема образцов, а также значительное снижение водопоглощения наблюдалось у образцов, изготовленных из опытных масс, включающих в своем составе трепел, гранитоидные отсева, базальт, и обожженных при температурах выше 1100 °С. Это обусловлено тем, что активное флюсующее действие этих компонентов начинает проявляться при достижении указанной температуры. Ниже этой температуры они выполняют роль отошителя, что обусловлено их сложным минеральным составом и относительно высокой температурой плавления входящих в состав минералов.

В результате экспериментальных исследований установлено, что оптимальным является сочетание одной из тугоплавких глин («Городное», «Туровское» или «Городок») с суглинками «Фаниполь» в соотношении 1:1, а также использование в составах масс шамотного порошка в количестве 10–15 %. Использование суглинка в массах позволяет расширить интервал спекания материалов, увеличить количество стекловидной фазы, влияющей на формирование спекшегося черепка, а низкоожженный шамот, помимо отошения формовочной массы, позволяет улучшить сушильные характеристики. Сравнительный анализ влияния используемых в исследовании непластичных компонентов на спекание образцов показал, что по эффективности действия их можно расположить в следующий ряд: трепел – гранитоидные отсева – базальтовая порода.

Изменение минералогического состава масс путем варьирования соотношения глин не оказывало существенного влияния на спекание материалов исследуемых систем. Однако, анализируя полученные зависимости свойств образцов от состава, можно отметить, что максимальное спекание достигалось при использовании в массах суглинка и трепела.

Опытные образцы, полученные с использованием в массах гранитоидных отсеков и обожженные при температурах 1100–1150 °С, характеризовались следующими показателями свойств: водопоглощение 2,1–4,5 %, кажущаяся плотность 1930–2140 кг/м³, механическая прочность при сжатии 35,2–49,5 МПа, морозостойкость 140–170 циклов. Использование в массах базальтов в количестве 10–20 % позволяет получить при температурах обжига 1100–1150 °С материалы с водопоглощением 4,6–9,4 %, кажущейся плотностью 1850–1980 кг/м³, механической прочностью при сжатии 25,7–31 МПа, морозостойкостью 75–100 циклов.

Увеличение в составах экспериментальных масс белорусского базальта до 25 %, повышение температуры обжига до 1150–1175 °С незначительно увеличивает прочностные характеристики керамических образцов, однако не позволяет добиться показателей свойств, удовлетворяющих требованиям СТБ 1787–2007. Можно предположить, что в интервале указанных температур этот компонент выполняет не столько роль плавня, сколько отошителя, затрудняющего процесс спекания.

Введение трепела в количестве 10–15 % в сочетании с суглинком, тугоплавкой глиной, низкоожженным шамотом позволяет в интервале температур обжига 1100–1150 °С получать образцы клинкерного кирпича с водопоглощением 0,4–4,2 %, кажущейся плотностью 1970–2280 кг/м³, механической прочностью при сжатии 38–62 МПа, морозостойкостью более 160 циклов.

Высокая температура обжига, наличие в составах масс достаточного количества оксидов щелочных, щелочноземельных металлов, оксидов железа, аморфного кремнезема обеспечивает активное протекание жидкофазного механизма спекания. Характер влияния жидкой фазы на спекание находится, как известно, в прямой зависимости от ее вязкости, которая изменяется с температурой. В экспериментальных керамических массах расплав в процессе обжига действует двояким образом: физически – энергией своего поверхностного натяжения, способствуя сближению твердых частиц, и химически – растворяя частицы минералов и выделяя из расплава новые, более термодинамически устойчивые кристаллические фазы. Как известно, даже небольшого количества расплава, образующегося при обжиге, достаточно для развития связей между продуктами дегидратации глин и другими составляющими компонентами шихт [4–5].

В процессе обжига установлено значительное влияние аморфного кремнезема, в больших количествах содержащегося в составе трепела и суглинков. В керамической массе стеклофаза играет роль среды, цементирующей продукты разложения глинистых минералов и другие составляющие компоненты и снижающей температуру формирования керамического черепка. Реакционноспособный аморфный кремнезем уже при низких температурах термообработки в связи со значительным содержанием оксидов щелочных металлов в шихтах образует щелочно-силикатный расплав, в который также вовлекается Al_2O_3 . Это интенсифицирует образование таких кристаллических фаз, как муллит, анортит, волластонит.

Рентгенофазовый анализ образцов, обожженных в интервале температур 1050–1150 °С, проведенный на дифрактометре D8 Advance Bruker AXS (Германия), свидетельствует о том, что фазовый состав синтезированных материалов представлен α -кварцем, муллитом, гематитом, анортитом (рис. 1). Анализируя дифрактограммы керамических образцов, можно отметить, что с увеличением температуры обжига их качественный фазовый состав меняется незначительно. В то же время наблюдается количественное изменение присутствующих в материале фаз, о чем косвенно свидетельствует уменьшение интенсивности дифракционных максимумов, характерных для α -кварца, а также возрастание интенсивности дифракционных максимумов анортита и муллита.

С целью определения наиболее оптимальных режимов термообработки была проведена дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК) опытных масс, которая показала, что при нагревании в них протекают процессы разложения и фазообразования, в целом закономерные для составов на основе осадочных и магматических горных пород. Кривая ДСК одной из опытных масс приведена на рис. 2.

Первый эндотермический эффект в интервале температур 50–150 °С обусловлен удалением остаточной физически связанной влаги, сорбированной глинистыми минералами. Значительный экзотермический эффект с максимумом при температуре 355 °С на термограмме связан, очевидно, с выгоранием органических примесей, содержащихся в трепеле и глинах, а также окислением структурного железа и переходом его в трехвалентное состояние. Эндотермические эффекты наблюдаются в интервале температур 440–700 °С с минимумами при 490 и 573 °С и связаны с разрушением кристаллической решетки глинистых минералов, а также с модификационным переходом кварца. Эндотермический эффект с минимумом при 890 °С, вероятно, связан с разложением карбонатов, содержащихся в значительном количестве в трепеле и глинистом сырье.

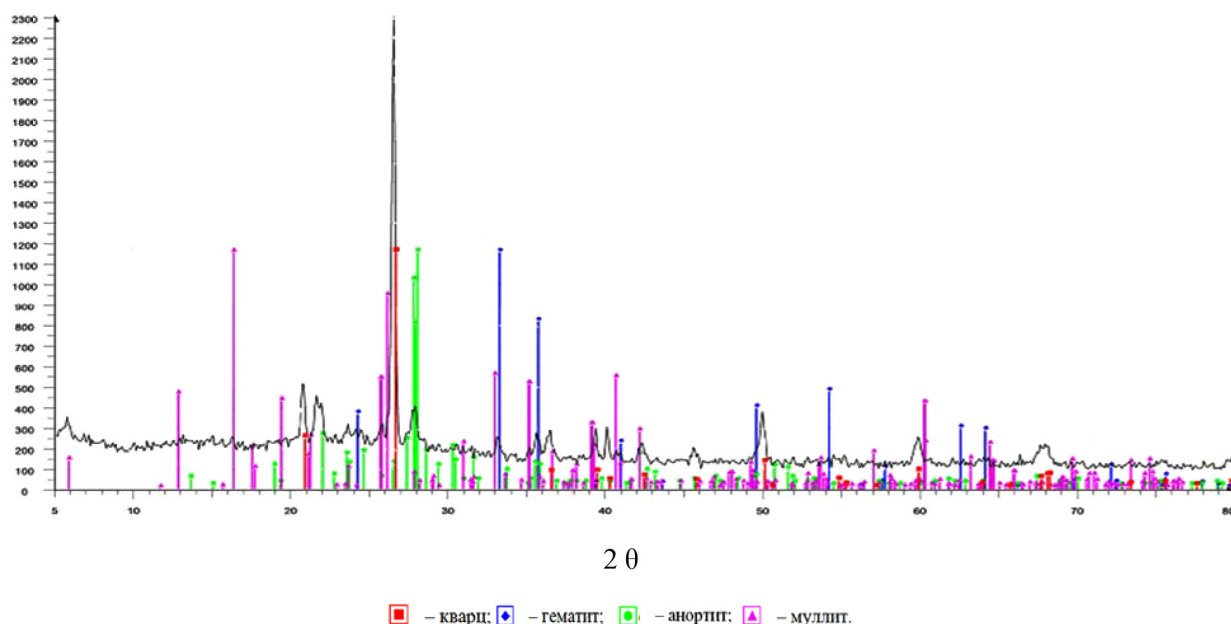


Рис. 1. Дифрактограмма клинкерного кирпича, обожженного при 1150 °С

Fig. 1. XRD pattern of clinker bricks calcined at 1150 °C

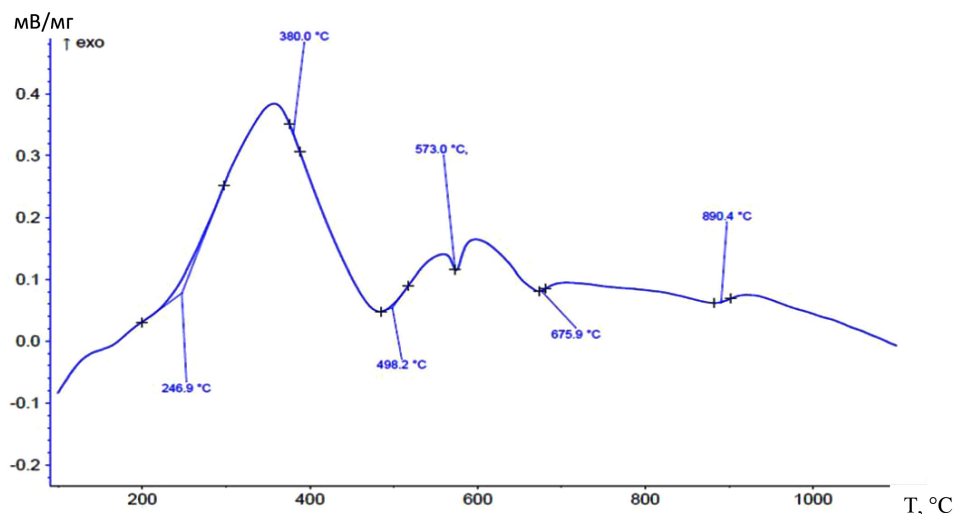


Рис. 2. Кривая ДСК исходной керамической массы

Fig. 2. DSC curve of the original ceramic mass

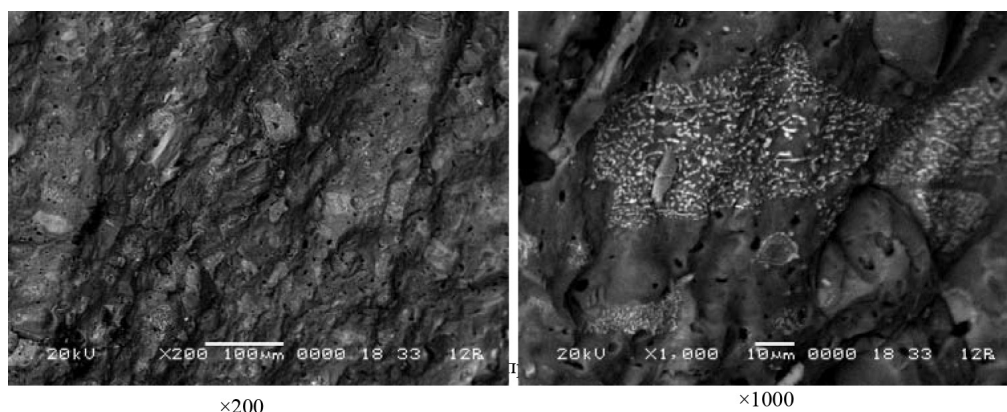


Рис. 3. ЭМ-снимки образцов, обожженных при 1150 °С

Fig. 3. Electron microscopy images of the samples calcined at 1150 °С

Увеличение содержания суглинков, трепела в составах вызывает незначительное изменение интенсивности тепловых эффектов и их смещение в область более высоких температур.

Микроструктуру образцов исследовали с помощью сканирующего электронного микроскопа JSM–5610 LV (Япония). На рис. 3 приведены электронно-микроскопические снимки сколов образцов, обожженных при температуре 1150 °С.

Изучение структуры синтезированных образцов показало, что в материалах морфологически различить кристаллы муллита, анортита, кварца, гематита практически невозможно. На ЭМ-снимках наблюдаются в основном структурные элементы, представленные агрегатами аморфизированных глинистых компонентов сложного состава и значительными количествами стекловидной фазы. В структуре образцов имеются различные по размерам (5–20 мкм) и форме поры, преимущественно закрытые. Поры распределены равномерно, структура материалов однородная. Установлено, что с увеличением температуры обжига материалов 1050–1150 °С меняется характер распределения и снижается размер пор, что обуславливает повышение прочностных характеристик образцов (механическая прочность при сжатии 41–47 МПа) и увеличение морозостойкости керамики (120–200 теплосмен замораживания–оттаивания).

Заключение. В ходе проведенных исследований установлены оптимальные температурно-временные параметры обжига изделий, изготовленных из разработанных керамических масс, при которых достигаются минимальные значения водопоглощения и пористости, максимальная

плотность без признаков пережога или вспучивания. Принцип, который лежит в основе построения режима обжига плотносспекшихся керамических материалов на основе местного глинистого сырья, состоит в том, что реакции разложения глинистых минералов, карбонатных составляющих масс, окисление углерода должны быть закончены до образования значительных количеств жидкой фазы. Если это условие не выполняется, то выгорание органических составляющих масс, восстановление оксида железа, выделение остатков гидратной воды и продуктов разложения карбонатов затруднены вследствие начинающегося заплавления пор.

С точки зрения затрат на топливно-энергетические ресурсы, а также характеристик используемых печных агрегатов оптимальная температура обжига керамических материалов на основе использованного в работе минерального сырья Республики Беларусь является 1150 °С, время изотермической выдержки при максимальной температуре – 90 мин. Процесс обжига следует вести с замедлением или изотермическими выдержками в интервале температур 850–950 °С. Это обеспечивает полное завершение процессов газовой выделенной до образования необходимого количества расплава и позволит избежать образования черной сердцевины в материале.

Анализируя полученные результаты, можно отметить, что на основе минерального сырья Республики Беларусь возможно получить клинкерный керамический кирпич классов А и Б, удовлетворяющий требованиям СТБ 1787–2007. Использование оптимальных сочетаний сырьевых компонентов (тугоплавких глин и суглинков, низкожженого шамота и трепела), мощных формовочных вакуумных прессов, современных теплотехнических агрегатов позволяет получать высокомарочный клинкерный кирпич пластическим методом.

Список использованных источников

1. СТБ 1787–2007. Кирпич керамический клинкерный. Технические условия.
2. Кройчук, Л. А. Новый европейский стандарт на клинкерный дорожный кирпич / Л. А. Кройчук // Строительные материалы. – 2003. – № 9. – С. 42–43.
3. Гаврилов, А. В. Краткий обзор истории, состояния и перспектив рынка клинкерного кирпича в России / А. В. Гаврилов, Г. И. Гринфельд // Строительные материалы. – 2013. – № 4. – С. 20–22.
4. Коледа, В. В. Технологические особенности производства клинкерного кирпича / В. В. Коледа, Е. С. Михайлюта, И. А. Алексеев, Э. С. Цыбулько // Стекло и керамика. – 2009. – № 4. – С. 17–20.
5. Мустафин, Н. Р. Клинкерная керамика на основе кремнеземистого сырья и техногенных отходов / Н. Р. Мустафин, Г. Д. Ашмарин // Строительные материалы. – 2006. – № 1. – С. 32–35.
6. Салахов, А. М. Совершенствование технологии производства строительной керамики и расширение номенклатуры изделий / А. М. Салахов, В. П. Морозов, Г. Р. Туктарова // Стекло и керамика. – 2005. – № 3. – С. 18–21.
7. Авалова, Э. В. Пути расширения узкого интервала спекшегося состояния глин / Э. В. Авалова // Стекло и керамика. – 1979. – № 8. – С. 19–21.
8. Гузман, И. Я. Химическая технология керамики / И. Я. Гузмана. – М.: ООО РИФ Стройматериалы, 2003. – 496 с.
9. Кингери, У. Д. Введение в керамику. – М.: Лит. по строительству, 1967. – 499 с.

References

1. STB 1787-2007. Ceramic bricks klinker. Specifications conditions.
2. Kroichuk L. A., “The new European standard for clinker brick road”, *Stroitel'nye materialy* [Construction materials], 2003, no. 9, pp. 42–43.
3. Gavrilov A. V., Grinfel'd G. I., “A brief overview of the history of the state and prospect of clinker brick market in Russia”, *Stroitel'nye materialy* [Construction materials], 2013, no. 4, pp. 20–22.
4. Koleda V. V., Mikhailiuta E. S., Alekseev I. A., Tsybul'ko E. S., “Technological features of production of clinker”, *Steklo i keramika* [Glass and ceramics], 2009, no. 4, pp. 17–20.
5. Mustafin N. R., Ashmarin G. D., “Clay based ceramics siliceous raw materials and industrial waste”, *Stroitel'nye materialy* [Construction materials], 2006, no. 1, pp. 32–35.
6. Salakhov A. M., Morozov V. P., Tuktarova G. R., “Improvement of building ceramics production technology and expansion of the product range”, *Steklo i keramika* [Glass and ceramics], 2005, no. 3, pp. 18–21.
7. Avalova E. V., “Ways to expand a narrow range of the state of sintered clay”, *Steklo i keramika* [Glass and ceramics], 1979, no. 8, pp. 19–21.
8. Guzman E. Y., *Khimicheskaya tekhnologiya keramiki* [Chemical ceramic technology], ООО RIF Stroimaterialy, Moscow, RU, 2003.
9. Kingery W. D., *Vvedenie v keramiku* [Introduction to ceramics], Izdatel'stvo literatury po stroitel'stvu, Moscow, RU, 1967.

Информация об авторах

Пиц Иван Владимирович – д-р техн. наук, профессор, Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220050, Минск, Республика Беларусь). E-mail: I.Piszcz@yahoo.com.

Бирюк Виктор Алексеевич – канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой, Университет гражданской защиты МЧС Беларуси (ул. Машиностроителей, 25, 220118, Минск, Республика Беларусь). E-mail: vik_biruk@tut.by.

Климош Юрий Александрович – канд. техн. наук, доцент, Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220050, Минск, Республика Беларусь). E-mail: klimosh@belstu.by.

Попов Ростислав Юрьевич – канд. техн. наук, ст. преподаватель, Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220050, Минск, Республика Беларусь). E-mail: popov@belstu.by.

Микулич Татьяна Николаевна – Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220050, Минск, Республика Беларусь). E-mail: mikulich_tanya@mail.ru.

Information about the authors

Ivan V. Pishch – D. Sc. (Engineering), Professor, Belarusian State Technological University (13a, Sverdlov Str., 220050, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: I.Piszcz@yahoo.com.

Viktor A. Biryuk – Ph. D. (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Industrial Safety, University of Civil Protection of the MES of Belarus (25, Mashinostroiteley Str., 220118, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: vik_biruk@tut.by.

Yuriy A. Klimosh – Ph. D. (Engineering), Associate Professor, Belarusian State Technological University (13a, Sverdlov Str., 220050, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: klimosh@belstu.by.

Rostislav Yu. Popov – Ph. D. (Engineering), Assistant Professor, Belarusian State Technological University (13a, Sverdlov Str., 220050, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: popov@belstu.by.

Tatsiana N. Mikulich – Belarusian State Technological University (13a, Sverdlov Str., 220050, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: mikulich_tanya@mail.ru.