

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
“ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”

Галушка Ярослав Олегович



УДК 666.72

**КОНСТРУКЦІЙНО-ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНІ КЕРАМІЧНІ МАТЕРІАЛИ
З ОРГАНІЗОВАНОЮ ПОРОВОЮ СТРУКТУРОЮ ДЛЯ
ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧОГО БУДІВНИЦТВА**

Спеціальність 05.17.11 – технологія тугоплавких неметалічних матеріалів

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі технології кераміки, вогнетривів, скла та емалей Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник кандидат технічних наук, доцент
Щукіна Людмила Павлівна,
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
професор кафедри технології кераміки,
вогнетривів, скла та емалей.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, старший науковий співробітник
Логвінков Сергій Михайлович,
Харківський національний економічний
університет імені Семена Кузнеця,
професор кафедри технологій і безпеки життєдіяльності;

кандидат технічних наук, доцент
Кольцова Ярослава Іванівна,
ДНУЗ «Український державний хіміко-технологічний
університет», м. Дніпро,
доцент кафедри хімічних технологій кераміки, скла
та будівельних матеріалів

Захист відбудеться «11» травня 2021 р. о 12⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.03 в Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, Харків, вул. Кирпичова, 2.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, Харків, вул. Кирпичова, 2.

Автореферат розісланий « 1 » квітня 2021 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



Галина ШАБАНОВА

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Сучасне будівництво в Україні орієнтується на європейські будівельні стандарти, що передбачає посилення вимог до класу енергетичної ефективності будівель. Найбільш прогресивним рішенням при зведенні огорожувальних стінових конструкцій є використання конструкційно-теплоізоляційної кераміки у вигляді пустотілих керамічних каменів високої теплової ефективності, які є перспективними для будівництва довговічних одношарових стін без використання недовговічних утеплювачів. Продукція одиничних українських виробників при такому її використанні не забезпечує нормативних вимог до опору теплопередачі кладки для обох температурних зон України, що вимагає удосконалення існуючих виробів у напрямку покращення їх теплозахисних властивостей (зниження густини та теплопровідності). Зазвичай для вирішення цієї задачі йдуть шляхом збільшення пустотності виробів, яка може доходити навіть до 62 %, але це негативно впливає на їх механічну міцність і дозволяє використовувати їх тільки для малоповерхового будівництва.

Можливий інший підхід до вирішення проблеми поєднання в керамічному матеріалі таких «антагоністичних» властивостей, як знижена густина та підвищена механічна міцність. Він полягає у зменшенні пустотності виробу і створенні зміцненого керамічного каркасу зі спеціально організованою пористою структурою. Таке рішення доцільно також і з точки зору сировинної бази виробництва стінової кераміки, яка представлена в основному низькоякісними в технологічному відношенні суглинками, з яких неможливо формувати вироби складної конфігурації. Тому розроблення технологічних принципів отримання поризованої конструкційно-теплоізоляційної кераміки з покращеними теплотехнічними та механічними характеристиками на основі глинистих порід невисокої технологічної якості, встановлення взаємозв'язків «технологія-структура-властивості», опрацювання шляхів управління характеристиками міцності поризованих матеріалів є актуальною науково-практичною задачею, на вирішення якої спрямовано дану дисертаційну роботу.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами. Робота виконувалась на кафедрі технології кераміки, вогнетривів, скла та емалей НТУ «ХП» в межах держбюджетних НДР МОН України: «Створення малоенергоємних екологічно орієнтованих високоресурсних керамічних матеріалів» (№ ДР 0115U000537), «Розробка складів для створення вискоефективних неметалічних матеріалів з використанням структурно-фазового моделювання та енергозберігаючих технологічних процесів» (№ ДР 0115U004888), «Розроблення наукових основ ефективного використання енергоносіїв і техногенних ресурсів в технологіях композиційних, керамічних та скломатеріалів для сучасних технічних об'єктів» (№ ДР 0120U001009), в яких здобувач був виконавцем окремих етапів робіт.

Мета і задачі досліджень. Метою дисертаційної роботи є розроблення технології пористо-пустотілої конструкційно-теплоізоляційної будівельної кераміки зниженої пустотності з покращеними теплотехнічними та механічними характеристиками на основі недефіцитної полімінеральної глинистої сировини.

Для досягнення поставленої мети вирішувались наступні задачі:

- обґрунтування раціональної конструкції пустотілих керамічних виробів з поризованим каркасом на основі моделювання їх експлуатаційної поведінки з урахуванням

- теплозахисних, механічних властивостей і геометричних параметрів пористих структур;
- дослідження процесів спікання та фазоутворення полімінеральних глинистих порід у взаємозв'язку з їх мінеральним складом і властивостями;
 - вивчення закономірностей формування структури та взаємозв'язку «технологія-структура-властивості» керамічних матеріалів при використанні пороутворюючих компонентів з різними механізмами поризації з метою визначення технологічних способів організації заданої пористої структури;
 - розроблення технологічних способів покращення характеристик міцності високопористих керамічних структур;
 - розроблення та оптимізація рецептурно-технологічних параметрів отримання поризованої конструкційно-теплоізоляційної будівельної кераміки, які забезпечують одночасне збільшення теплової ефективності виробів та їх механічної міцності;
 - здійснення практичної апробації розробленої технології та надання рекомендацій щодо використання результатів досліджень.

Об'єкт досліджень – процеси формування структури поризованої конструкційно-теплоізоляційної кераміки з покращеними експлуатаційними властивостями.

Предмет досліджень – фізико-хімічні закономірності та технологічні параметри отримання матеріалів із організованою пористою структурою і заданими властивостями.

Методи дослідження. Теоретичні дослідження проводилися шляхом розрахунку коефіцієнту теплопровідності моделей виробів і комп'ютерно-імітаційного моделювання їх поведінки під дією силових навантажень. Для вивчення хімічного складу мінеральної та техногенної сировини, структури та фазового складу матеріалів застосовували методи хімічного, рентгенофазового, петрографічного, термічного аналізів, гамма-спектроскопії, оптичної, лазерної та електронної мікроскопії. Визначення властивостей матеріалів проводили з використанням спеціальних методик згідно з діючими нормативними документами. При проведенні досліджень використовували методи кореляційного аналізу та планування оптимального експерименту.

Дослідження проводилися з використанням обладнання кафедри технології кераміки, вогнетривів, скла та емалей, кафедри матеріалознавства НТУ «ХП», а також Інституту монокристалів НАН України, ПАТ «УкрНДІВ ім. А.С. Бережного», атестованої лабораторії ТОВ «Плінфа» (м. Харків).

Наукова новизна одержаних результатів.

Вперше:

- на основі 3D-моделювання експлуатаційної поведінки пустотілих керамічних виробів з пористим та щільним каркасом визначені технологічні принципи отримання конструкційно-теплоізоляційної будівельної кераміки з покращеними теплозахисними і деформаційно-міцнісними характеристиками, які полягають у зниженні пустотності виробів, організації раціональної пористої структури керамічного каркасу зі сферичними порами та зміцненні локальних зон «керамічна матриця-пора» як найбільш уразливих ділянок структури;
- на основі системного дослідження процесів спікання і фазоутворення полімінеральних глинистих порід доведена можливість використання неспікливих суглинків в масах для отримання поризованої будівельної кераміки з їх модифікацією керамзитовою глиною (10–20 мас. %), яка забезпечує необхідну пластичну консистенцію глиномас (коефіцієнт консистенції 0–0,25) і суттєве зміцнення матеріалів (мак-

симально на 112 %) залежно від кількості глини і температури випалу (920–980 °С) за рахунок кращої спікливості мас;

- встановлені закономірності структуроутворення в поризованих керамічних матеріалах з використанням пороутворюючих добавок з різними механізмами поризації у взаємозв'язку з технологічними параметрами їх отримання та властивостями. Вони полягають в тому, що за однакового рівня загальної пористості (40 %) механічна міцність пористих структур визначається їх однорідністю та долею закритих пор, оптимальне поєднання яких можливо при використанні тонкодисперсних органіно-мінеральних поризаторів, які формують найбільш міцні структури з глобулярними і сферичними порами та коефіцієнтом анізотропії 0,8–1,0;

- визначена ефективність використання висококальцієвого ваграночного шлаку в масах для отримання керамічних матеріалів підвищеної міцності як функціонального компонента, який при випалі матеріалів за температур 970–1000 °С є джерелом синтезу новоутворень з подовженою неізометричною формою кристалів (анортит, діопсид, воластоніт), які зміцнюють структуру, що покращує межу міцності при стиску матеріалів на 70 %.

Практичне значення одержаних результатів для промисловості будівельних матеріалів і будівельної індустрії в цілому полягає в тому, що на основі розроблених наукових положень запропоновані рецептурно-технологічні параметри виробництва пористо-пустотілої конструкційно-теплоізоляційної будівельної кераміки зниженої пустотності з покращеними теплотехнічними та механічними характеристиками з використанням недефіцитної полімінеральної глинистої сировини України для застосування таких виробів при зведенні сучасних енергозберігаючих будівель.

Проведені в умовах спеціалізованого підприємства ТОВ «Плінфа» (м. Харків) випробовування запропонованої технології показали можливість її адаптації до технологічного процесу та обладнання середньостатистичного заводу з випуску стінової кераміки пластичного формування. Впровадження технології в промислове виробництво дозволить: поліпшити експлуатаційні властивості виробів, використовувати недефіцитну глинисту сировину, зменшити залежність підприємств від якості сировинної бази, знизити собівартість виробництва за рахунок використання промислових відходів (30 мас. %), скоротити цикл випалу напівфабрикатів, що дозволяє заощадити 414556,8 м³/рік природного газу (в грошовому еквіваленті 3656391 грн/рік).

Результати дисертації впроваджені у навчальний процес кафедри технології кераміки, вогнетривів, скла та емалей НТУ «ХПІ» і використовуються при викладанні спеціальних дисциплін і підготовці кваліфікаційних робіт за спеціалізацією 161.04.

Особистий внесок здобувача. Наукові та практичні результати, які представлені в дисертаційній роботі та винесені на захист, отримані здобувачем особисто. Серед них: аналіз інформації з питань розвитку технологій теплоефективної кераміки, закономірностей впливу базової сировини на властивості матеріалів, способів організації пористої структури; теоретичне обґрунтування конструкції виробів та оптимальної пористої структури керамічного каркасу; дослідження процесів спікання та фазоутворення глинистої сировини; дослідження різних видів поризаторів і функціональних добавок; встановлення закономірностей структуроутворення в матеріалах; опрацювання технологічних параметрів виготовлення матеріалів; практична апробація технології. Постановка задач досліджень та інтерпретація результатів здійснювалися

здобувачем разом з науковим керівником. Внесок співавторів спільних публікацій полягав в їх участі в окремих експериментальних роботах, апаратурній реалізації окремих досліджень, участі в підготовці статей і доповідей за результатами роботи.

Апробація результатів дисертації. Результати дисертаційної роботи доповідались на Міжнародних і Всеукраїнських наукових, науково-технічних і науково-практичних конференціях: «Новейшие достижения в области импортозамещения в химической промышленности и производстве строительных материалов» (Республіка Білорусь, м. Мінськ, 2012 р.); «Фізико-хімічні проблеми в технології тугоплавких неметалевих та силікатних матеріалів» (м. Дніпропетровськ, 2013 р.); «Технология и применение огнеупоров и технической керамики в промышленности» (м. Харків, 2014 р.); «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (м. Харків, 2014, 2018 р.); «Science and Scientists» (м. Дніпропетровськ, 2015 р.); «Проблеми та досягнення сучасної хімії» (м. Одеса, 2016 р.); «Наукові дослідження: перспективи інновацій у суспільстві і розвитку технологій» (м. Харків, 2017 р.), «Прикладні науково-технічні дослідження» (м. Івано-Франківськ, 2017 р.); науково-практичній конференції магістрантів та аспірантів (м. Харків, 2017р.); «Львівські хімічні читання» (м. Львів, 2017, 2019 р.); «Актуальні питання хімії та інтегрованих технологій» (м. Харків, 2019 р.); «Физико-химические проблемы в технологии тугоплавких неметаллических и силикатных материалов» (м. Харків, 2020 р.).

Публікації. Основні наукові результати дисертації опубліковані у 25 наукових працях, у тому числі у 9 статтях (з них 2 – у журналах, що входять до наукометричної бази Scopus, 1 – у закордонному науковому виданні, 6 – у фахових виданнях України), 1 патенті України та 15 тезах доповідей на міжнародних конференціях.

Структура дисертації. Дисертаційна робота складається з анотації двома мовами, вступу, п'яти розділів, висновків, списку джерел інформації, додатків. Загальний обсяг дисертації становить 229 сторінок, з них – 44 рисунки на 29 окремих сторінках, 13 таблиць на 14 окремих сторінках, список використаних джерел з 220 найменувань на 24 сторінках, 3 додатки на 8 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційних досліджень, сформульовані мета і задачі роботи, визначені об'єкт, предмет і методи дослідження, а також наукова новизна та практичне значення отриманих результатів.

У **першому розділі** проведений аналіз сучасних науково-технологічних досягнень в галузі створення конструкційно-теплоізоляційної стінової кераміки для енергозберігаючого будівництва, в тому числі в Україні, висвітлені переваги та недоліки вітчизняної продукції такого типу. Розглянуті особливості вітчизняної сировинної бази виробництва стінової кераміки, технологічні фактори, які визначають рівень експлуатаційних властивостей, взаємозв'язок між структурно-фазовим складом та властивостями, способи формування пористої структури керамічних матеріалів і властивостей твердої матриці. Визначена доцільність створення теплоефективної будівельної кераміки зниженої пустотності з організованою високопористою структурою керамічного каркасу на основі неспікливих глинистих порід як типових представників сучасної сировинної бази галузі та поставлені задачі для досягнення цієї мети.

У **другому розділі** наведено докладну характеристику сировинних матеріалів,

методів і методик досліджень, використаного обладнання. Розрахунок коефіцієнту теплопровідності моделей виробів проводили на основі закону теплопровідності Фур'є. Комп'ютерно-імітаційне 3D-моделювання поведінки моделей керамічних виробів під дією силових навантажень, в тому числі з різною геометрією пор здійснювали з використанням програмних комплексів Ansys та SolidWorks Simulation.

Хімічний склад глинистої сировини та відходів вивчався методами хімічного аналізу (ДСТУ 3305.3-11-96), мінеральний склад – методами рентгенофазового, петрографічного, термічного аналізів (дифрактометр ДРОН-3М, рентгенівський спектрометр ARL 9900, поляризаційний мікроскоп МІ-2е, дериватограф системи Паулік-Паулік-Ердей, термічний аналізатор STA 409 PC). Радіологічний контроль промислових відходів здійснювався на гамма-спектрометрі СЕГ-001 (ГОСТ 30108-94). Фазовий склад проб відходів і зразків визначали методом рентгенофазового аналізу (ДРОН-3М, картотека ASTM (США)). Дилатометричний аналіз керамічної маси оптимального складу проводили на дилатометрі DIL 402 PC (фірма NETZSCH).

Технологічні властивості глинистих порід і властивості керамічних зразків досліджували згідно з діючими в Україні стандартами (ГОСТ 21216-2014, 19609.22-89, 12170-85, ДСТУ Б В.2.7-26-95, Б В.2.7-42-97, Б В.2.7-248:2011).

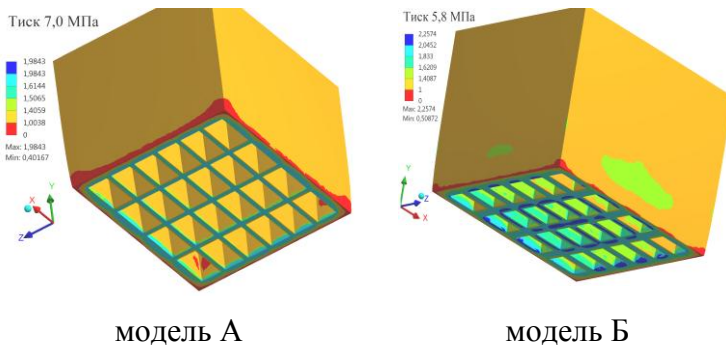
Пористу структуру керамічних зразків вивчали методами оптичної мікроскопії (мікроскоп МІ-2е), лазерної мікроскопії (скануючий мікроскоп VK-9700K), світлової контрастної мікроскопії (мікроскоп Axiovert 200 M), растрової електронної мікроскопії (електронний мікроскоп JSM-6390LV).

Експериментальні дослідження проводилися з використанням методів кореляційного аналізу, повного факторного експерименту, симплекс-гратчастого планування експерименту, методу крутого сходження Бокса-Уїлсона. Для статистичної обробки даних застосовували метод регресійного аналізу, реалізований у вигляді прикладної програми для Excel, а також стандартний пакет «Statistica».

У третьому розділі наведено науково-теоретичне обґрунтування технічних рішень по удосконаленню конструкційно-теплоізоляційних керамічних матеріалів.

Проведено теоретичну оцінку теплозахисних властивостей двох різних моделей, які відрізнялися процентом пустот і густиною керамічного матеріалу. Перша модель (А) з пустотністю 60 % мала щільну (непоризовану) стінку, друга (Б) – мала пустотність 40 % і пористу стінку (50 %). Розрахунки еквівалентного коефіцієнту теплопровідності $\lambda_{\text{екв}}$ для обох моделей показали, що зменшення пустотності виробів на 20 % за умови пористої керамічної стінки призводить до зменшення $\lambda_{\text{екв}}$ на 12 %.

Проведено комп'ютерно-імітаційне 3D-моделювання поведінки виробів під дією силових навантажень в програмному комплексі Ansys, для чого до моделей прикладали тиск, який варіювався від 3,5 МПа до значення, за якого виникали незворотні деформації, що свідчили про початок руйнування (рис. 1). За оціночний критерій міцності моделей приймався їх коефіцієнт запасу міцності, який дорівнював 1,4 по аналогії з його стандартним значенням, що використовується при проектуванні деталей машин та елементів споруд. Аналіз деформаційно-міцнісних якостей моделей показав, що при переході від моделі А до моделі Б відбувається деградація міцності виробу (критичне навантаження для моделі А склало 7 МПа, для моделі Б – 5,8 МПа). Це вказує на необхідність розроблення ефективних способів зміцнення каркасу.



модель А модель Б
Рисунок 1 – 3D-моделі виробів,
які знаходяться під дією руйнівного
механічного навантаження

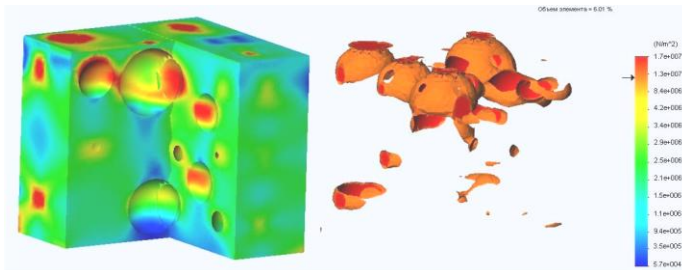


Рисунок 2 – 3D-модель керамічного
матеріалу зі сферичними порами в
напружено-деформованому стані

Вивчено вплив геометричних параметрів пористих керамічних структур на їх механічну міцність з використанням програмного комплексу SolidWorks Simulation. Аналізувалися моделі з однаковою пористістю, але різною формою пор за їх приблизно однакового розміру: сферичні, еліпсоїдні та глобулярні пори. Навантаження на моделі становило 10 МПа і 12,5 МПа. При аналізі використовувався критерій руйнування матеріалів Писаренка-Лебедева, що є коректним для оцінки міцності крихких матеріалів, і являє собою критичне навантаження, яке викликає руйнування структури. На рис. 2 для прикладу наведені результати моделювання керамічної структури зі сферичними порами у вигляді 3D-моделі з епюрами розподілу напруг

під дією тиску 10 МПа. Там же наведений об'єм структури, який буде зруйнований при перевищенні критичної міцності. Встановлено, що критичні напруги виникають в контактній зоні керамічної матриці з порами, і саме вони є уразливими ділянками структури (зони червоного кольору на рис. 2). За будь-якого навантаження найбільш міцною виявилася модель зі сферичними порами, в якій об'єм зруйнованих елементів структури у 1,25 разів менше, ніж для моделей з порами іншого типу.

На підставі проведених досліджень зроблено висновок, що для організації найбільш сприятливої структурної картини поризованого матеріалу та збільшення його міцності слід створювати в ньому сферичні пори та зміцнювати як сам керамічний матеріал, так і локальні зони, що оточують пори.

У **четвертому розділі** наведені результати експериментальних досліджень з розроблення рецептурно-технологічних параметрів виробництва конструкційно-теплоізоляційної стінової кераміки (КТСК) з організованою пористою структурою на основі недефіцитних глинистих порід і функціональних техногенних добавок.

На першому етапі проведені дослідження процесів спікання та фазоутворення декількох видів полімінеральних легкотопких суглинків у взаємозв'язку з їх мінеральним складом і властивостями з позицій їх використання як основи мас для виробництва КТСК з урахуванням широкої розповсюдженості в Україні (67 % від загальної кількості балансових запасів цегельно-черепичної сировини). Для дослідження були обрані суглинки (табл.1), які задовольняли наступним вимогам: за умови полімінерального складу в них мала міститись відносно мала й велика кількість глинистих мінералів і домішок, а в складі домішок мали бути присутні основні неглинисті мінерали легкотопких суглинків – кварц і кальцит (доломіт), вміст яких мав суттєво

Таблиця 1 – Мінеральний склад дослідних суглинків і фазовий склад продуктів їх випалу

Мінерал	Приблизний вміст за даними петрографії, %			
	CH-1	CH-2	CC-1	CC-2
Гідрослюда	5,0	3,0	9,0	11,0
Монтморилоніт	2,0	2,0	2,5	7,0
Каолініт	23,0	21,5	50,0	47,5
Хлорит	-	2,5	4,0	-
Кварц	62,0	37,0	17,0	6,0
Кальцит	2,5	25,0*	3,0	12,5
Польові шпати	4,0	5,5	6,5	1,5
Температура початку синтезу новоутворень, °C				
Діопсид	-	905	-	-
Окерманіт-геленіт (меліліт)	-	905	-	-
Шпінель	-	-	950	950
Муліт	-	-	1050	1050
Анортит	-	-	-	1050
Примітка. «*» - разом з доломітом				

пісоченої породи CH-1). За найбільшого рівня пористості (> 30 %) висококарбонатна неспіклива порода CH-2 має аналогічну міцність зі спікливими породами, що пояснюється формуванням в матеріалах складу CH-2 діопсиду та меліліту, які, вочевидь, чинять зміцнюючу дію на керамічний матеріал. Зроблено висновок, що для інтервалу випалу стінової кераміки (950–1000 °C) з точки зору кращої механічної міцності придатними є як середньоспікливі, так і неспікливі породи з високим вмістом карбонатних домішок, які розглядаються як бажані мінерали, що чинять комплексну позитивну дію (пороутворювач і джерело синтезу Ca,Mg-силікатів та алюмосилікатів).

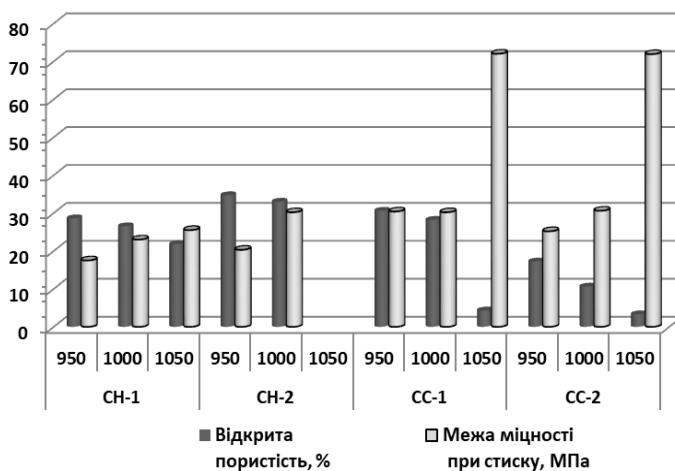


Рисунок 3 – Властивості продуктів випалу суглинків

На наступному етапі роботи була проведена попередня технологічна оцінка різних компонентів для організації пористої структури матеріалів. Така оцінка проводилася з акцентом на техногенні матеріали з позицій їх впливу на зниження густини (бажаний ступінь > 20 %) і межі міцності при стиску поризованих зразків (допустимий ступінь < 50 %) по відношенню до суглинка без поризаторів. Досліджувалися поризатори з різним механізмом пороутворення: органічні (солома, рослинна луска, тирса, торф, пінополістирол, муловий осад), неорганічні (крейда, мергель, доломіт, перліт), органо-мінеральні (зола уносу, паливний шлак, скоп, відходи вуглезбагачення). Встановлено, що певний компроміс між означеними вище вимогами імовірний при використанні обмеженого кола поризаторів (тирса, мергель, доломіт, вуглевідходи, зола), а досягти одночасного поєднання таких взаємовиключних вимог, як низька густина і підвищена міцність, з викорис-

танням методів вигоряючих і газотвірних добавок не представляється можливим.

Досліджений взаємозв'язок «технологія-структура-властивості» керамічних матеріалів з організованою пористою структурою. Об'єктами слугували зразки, отримані за температури 1000 °С на основі неспікливого суглинку з використанням пінополістиролу, тирси, мергелю, доломіту, вуглевідходів і золи уносу різної дисперсності. Ставилася задача експериментально дослідити вплив форми і розмірів пор, а також типу пористості на властивості матеріалів з приблизно однаковим рівнем загальної пористості (39–42 %). Встановлено, що найбільш дефектні (аж до тріщин в об'ємі) структури зниженої міцності формують органічні поризатори, які діють за механізмом повного вигорання, незалежно від форми та розміру пор. Структури з переважанням сферичних пор (зразок із золою уносу) і глобулярних пор (зразок з вуглевідходами) більш міцні, їх межа міцності при стиску зменшується по відношенню до чистого суглинку на 18,5 %. Зразки з мергелем, що містять переважно каналні пори, мають майже вдвічі меншу міцність за причини найбільшої кількості відкритих пор. Судячи по коефіцієнту анізотропії K_a , найбільш однорідну структуру мають зразки з дрібними порами ($K_a=0,8\div 1,0$).

Кореляційний аналіз взаємозв'язку «структура-властивості» (табл. 2) показав, що густина і теплопровідність визначаються загальною пористістю, відкрита пористість чинить негативний вплив на міцність і морозостійкість матеріалів, а закрита пористість позитивно впливає на ці властивості. Виявлені закономірності підтвердили результати теоретичних досліджень і вказують на переважність структур із замкненими сферичними порами.

Таблиця 2 – Коефіцієнти парної кореляції R_{xy} по показниках структури і властивостей зразків

Види пористості	Значення коефіцієнтів парної кореляції			
	середня густина	межа міцності при стиску	морозостійкість	коефіцієнт теплопровідності
Загальна пористість	-0,87	-0,54	-0,53	-0,86
Відкрита пористість	-0,16	-0,86	-0,77	-0,14
Закрита пористість	-0,50	0,43	0,40	-0,52

тність чинить негативний вплив на міцність і морозостійкість матеріалів, а закрита пористість позитивно впливає на ці властивості. Виявлені закономірності підтвердили результати теоретичних досліджень і вказують на переважність структур із замкненими сферичними порами.

Для створення структури такого типу були досліджені різні види золівідходів ТЕС, які зазвичай містять порожнисті сфери. Усі досліджені золоматеріали є надкислими і низькокальцієвими, їх розрахункові температури ліквідусу знаходяться в межах 1150–1700 °С, визначаються вмістом в них Fe_2O_3 і виключають їх високотемпературну деформацію за температур 950–1000 °С, що важливо для створення закритої пористості в матеріалах. Окремі золівідходи (ВД і ВК) з низьким вмістом Fe_2O_3 (4–7 %) являють собою товарний продукт у вигляді дисперсних мікросфер (0,056–0,5 мм), виділених мокрим способом із зол уносу Добро-творської та Криворізької ТЕС України. Усі інші проби (ЗШ, С1, С2, С3, С4) з високим вмістом Fe_2O_3 (13–43 %) являли собою золошлак та продукти його розділення різними способами. Золовідходи використовувались в кількостях 10–30 мас. % в комбінації із середньоспікливим суглинком, зразки отримували за температури випалу 970 °С, після чого були досліджені їх густина, теплопровідність і механічна міцність. Встановлено, що золовідходи С1–С4 з підвищеним вмістом Fe_2O_3 (13 %) не виявляють помітного пороутворюючого ефекту, а проба ЗШ з високим його вмістом (29,4 %) взагалі діє як плавець за причини кристалізації в ній гематиту при термічній

обробці та його взаємодії з компонентами маси з утворенням евтектичних розплавів. Найбільш перспективними для отримання теплоефективної кераміки є зольні мікросфери ВД і ВК, з використанням яких досягаються найнижчі показники середньої густини ($1105\text{--}1400\text{ кг/м}^3$), коефіцієнта теплопровідності ($0,43\text{--}0,62\text{ Вт/(м·К)}$) та високий рівень пористості (загальна – $52\text{--}54\%$, закрита – $29\text{--}31\%$). Недоліком кераміки з цими золосферами є невисокий рівень межі міцності при стиску (на рівні 10 МПа), що втричі менше, ніж у продуктів випалу чистого суглинку. Як показали мікроскопічні та рентгенофазові дослідження, це знеміцнення зумовлене слабкою взаємодією тугоплавких мулітизованих золосфер із суглинком в процесі випалу. Попри недостатню механічну міцність матеріалів, тільки зольні мікросфери ВД і ВК дають змогу отримувати матеріали, які за теплопровідністю і густиною згідно з ДСТУ Б В.2.7-61:2008 відносяться до групи ефективних і можуть слугувати як стінова кераміка марки М100. Керамічні матеріали з усіма іншими золівідходами за цими ж ознаками класифікуються як малоефективні.

Подальші дослідження були спрямовані на пошук функціональних добавок для зміцнення керамічної матриці пористого матеріалу. Для цього спочатку були досліджені глинисті добавки, функція яких полягала у покращенні як спіклівості вихідного суглинку, так і його пластичності (число пластичності $P=9,5$). З цією метою були розглянуті: глина «Технік-4» ($P=14,8$), бентонітова глина ($P=66,5$), керамзитова глина ($P=17,5$), глинистий буровий шлам – відходи газовидобутку ($P=14,4$). Встановлено, що при випалі в інтервалі температур $920\text{--}980\text{ }^\circ\text{C}$ усі добавки при вмісті в масі $10\text{--}30\%$ по відношенню до суглинку є спікаючими, але в найбільшому ступені бентонітова і керамзитова глини. При цьому бентоніт чинить екстремальний вплив на міцність зразків, виявляючи навіть знеміцнюючий ефект ($950\text{--}980\text{ }^\circ\text{C}$), що характерно для поведінки монтморилонітових порід. Керамзитова глина виявляє стабільний характер позитивного впливу на міцність матеріалів зі зростанням її вмісту в масі. Найбільший приріст міцності матеріалів спостерігається при додаванні 20% і 30% керамзитової глини до неспікливого суглинку при їх випалі за температури $980\text{ }^\circ\text{C}$ (113% і 154% відповідно).

Доцільність використання тих чи інших глинистих добавок була також проаналізована за їх впливом на фізико-механічні властивості глиномас, які оцінювалися за їх вологістю та пластичною консистенцією. Для оцінки останньої характеристики був використаний такий відомий з фізико-хімічної механіки глинистих систем критерій, як коефіцієнт консистенції K_k , що має знаходитись в межах $0\div 0,25$ для бажаного тугопластичного стану маси, коли вона нормально формується і не наліпає на формувальне обладнання. Було визначено, що значення $K_k=0\div 0,25$ забезпечують бентоніт, керамзитова глина і буровий шлам, але серед них лише керамзитова глина спроможна зменшити формувальну вологість глиномаси (абсолютна $28,2\%$) при збереженні їх тугопластичного стану (за значення $K_k=0,2$ вологість мас на основі бентоніту становить $35,1\%$, на основі бурового шламу – $37,4\%$). На підставі встановленого позитивного впливу керамзитової глини на пластичну консистенцію та формувальну вологість глиномас, їх спіклівість і механічну міцність після випалу, вона може розглядатися як функціональна добавка комплексної дії до неспікливої сировини при виготовленні КТСК, враховуючи її досить широку розповсюдженість в Україні.

Досліджена можливість зміцнення керамічної матриці поризованих матеріалів

шляхом використання функціональних добавок для синтезу кристалічних фаз з неізометричною формою кристалів, зокрема воластоніту $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$. Для цього були розглянуті висококальцієві металургійні шлаки – доменні відвальний (ДВ) і гранульований (ДГ), ваграночний шлак (ВШ). У вихідному стані шлак ДВ містить окерманіт, шлак ДГ – склофазу і мервініт, шлак ВШ є аморфним матеріалом. Після випалу шлаку ВШ він кристалізується з утворенням воластоніту, діопсиду та анортиту (рис. 4).

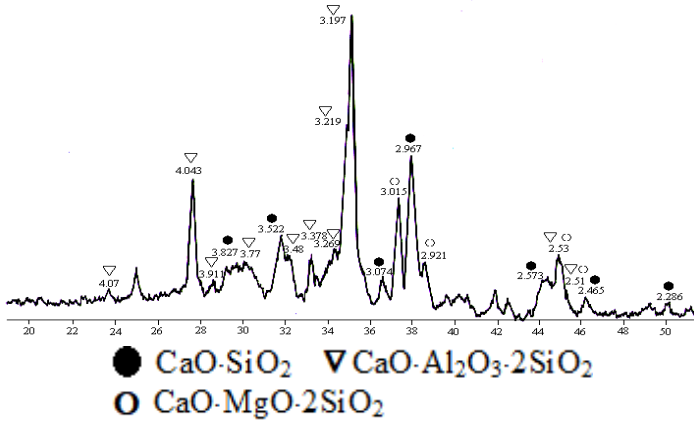


Рисунок 4 – Рентгенограма ваграночного шлаку ($t = 1000^\circ\text{C}$)

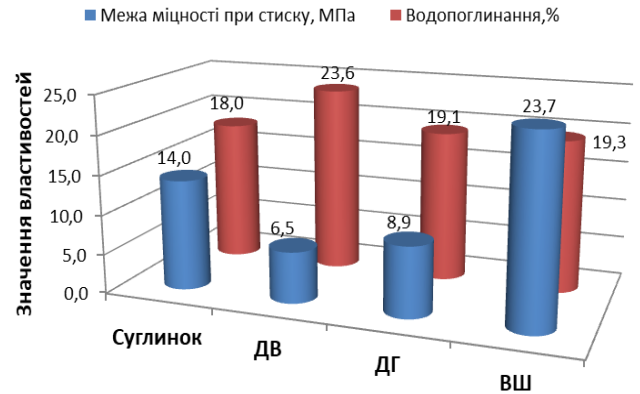


Рисунок 5 – Властивості керамічних зразків зі шлаками ($t = 970^\circ\text{C}$)

Вивчено вплив шлаків на властивості матеріалів на основі неспікливого суглинка з однаковим їх вмістом 20 мас. % (рис. 5). Встановлено, що при використанні в масі доменних шлаків відбувається знеміцнення матеріалів і погіршення їх спікання за причини закристалізованого стану шлаків (в меншому ступені ДГ) і дією як спікнучачів. Шлак ВШ при відсутності впливу на спіклівість, незважаючи на його вихідний скловидний стан, майже на 70 % підвищує механічну міцність керамічних матеріалів. Це пов'язано з високотемпературними фазовими перетвореннями самого шлаку, формуванням в ньому комплексу фаз з подовженою формою кристалів, які проростаючи в матрицю, певним чином мовби «армують» її. Це робить ваграночний шлак цінною функціональною добавкою, яка може слугувати «прекурсором» для синтезу структурозміцнюючих кристалічних фаз.

Розроблені рецептурно-технологічні параметри отримання поризованої КТСК за температури випалу 970°C на основі мас, які містили глинистий компонент (не-

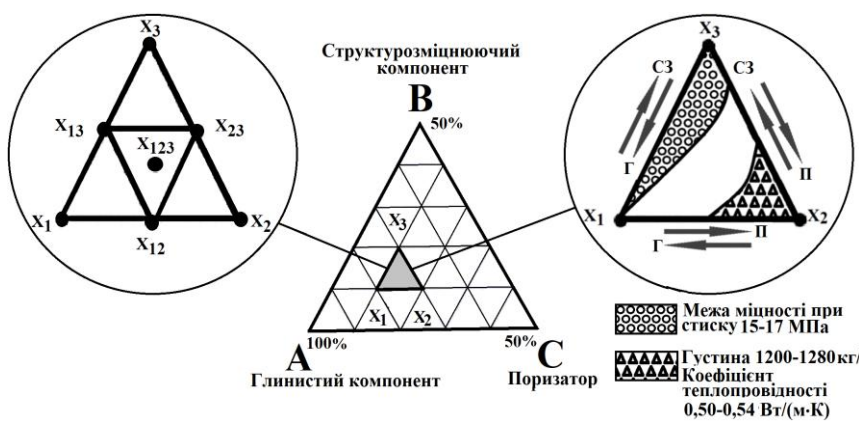


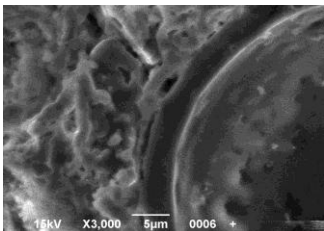
Рисунок 6 – Досліджуваний факторний простір $\{X_1, X_2, X_3\}$ і результати експерименту

спікливий суглинок і керамзитову глину у співвідношенні 4 : 1), золосфери ВК і шлак ВШ. Рациональний склад маси визначали методом симплексно-гратчастого планування експерименту в локальній частині потрібного симплексу ABC (рис. 6). Малий симплекс $\{X_1, X_2, X_3\}$ мав такі координати: X_1 (80 % глинистого компонента, 10 % золосфер і 10 % шлаку; X_2

(70 % глинистих, 20 % золосфер і 10 % шлаку); X_3 (70 % глинистих, 10 % золосфер і 20 % шлаку). Експеримент показав, що області бажаних значень міцності σ і густини ρ (або теплопровідності λ) розташовані у симплексі протилежно одна іншій, що ще раз підтверджує взаємовиключний характер цих властивостей. За значеннями середньої густини ρ згідно з ДСТУ Б В.2.7-61:2008 усі зразки знаходяться у групі ефективних, а значення λ мало змінюються, що при виборі раціональних складів дозволяє орієнтуватися саме на міцність матеріалів. Таким чином була визначена область складів мас, на основі яких отримані матеріали з $\lambda = 0,58\text{--}0,60$ Вт/(м·К), $\rho = 1360\text{--}1400$ кг/м³ $\sigma_{cm} = 16\text{--}17$ МПа.

Для посилення міцності поризованих керамічних матеріалів на основі шихтового складу X_3 (56 % суглинку, 14 % керамзитової глини, 10 % золосфер і 20 % і шлаку ВШ) здійснено оптимізацію технологічних параметрів отримання матеріалів (температура випалу, ступінь подрібнення глинистих компонентів). Встановлено, що в межах дослідного інтервалу значень факторів температура (960–980 °С) є незначущою, а для досягнення максимальної міцності зразків (19,4 МПа) суглинок треба використовувати з крупним розміром часток (сито № 1), а керамзитову глину з меншим (сито № 025). За таких умов отримані поризовані керамічні матеріали з підвищеними значеннями $\sigma_{cm} = 20,2$ МПа і $\rho = 1380$ кг/м³ (t=970 °С).

Для зміцнення контактної зони «керамічна матриця–золосфера» опрацьовані різні способи попередньої обробки поризатора перед його введенням в масу (водні розчини NaHCO_3 , Na_2CO_3 , $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$, керамзитовий шлікер). Передбачалося, що така обробка має покращити змочувальну здатність золосфер, їх адгезію до компонентів маси, забезпечить кращий контакт між ними, а при випалі зміцнить ці ділянки. Встановлено, що максимальна взаємодія між поризатором та іншими компонентами маси досягається при обробці золосфер керамзитовим шлікером, що сприяє спіканню золосфери з матрицею під час випалу. Як показали електронно-мікроскопічні дослідження (рис. 7), цей прийом дозволяє створити між сферою і матрицею перехідний шар товщиною 15 мкм, в якому також присутні пори і голчасті кристали муліту. Цей прошарок між матрицею і сферою



без обробки золосфер



обробка золосфер
керамзитовим шлікером

Рисунок 7 – Фрагменти структури з ділянками «керамічна матриця-золосфера»

зміцнює контактну ділянку, що підвищує міцність матеріалу. За густини зразків 1410 кг/м³ міцність матеріалів з обробленими сферами підвищилася на 15 % ($\sigma_{cm} = 22,7$ МПа), що дало змогу перевести матеріали в категорію виробів з маркою М175.

У **п'ятому розділі** наведені результати досліджень з розроблення режимів сушки і випалу напівфабрикатів на основі вивчення технологічних властивостей керамічної маси оптимального складу (пластичної міцності, чутливості до сушки), а також результатів дилатометричного аналізу маси та її випалювальних властивостей.

З урахуванням означених характеристик маси запропонований скорочений цикл сушки (24 год) напівфабрикатів, скорочений режим випалу (44 год), які разом із встановленими вище оптимальними параметрами дозволили запропонувати технологічну схему виготовлення поризованих пустотілих керамічних виробів (рис. 8).

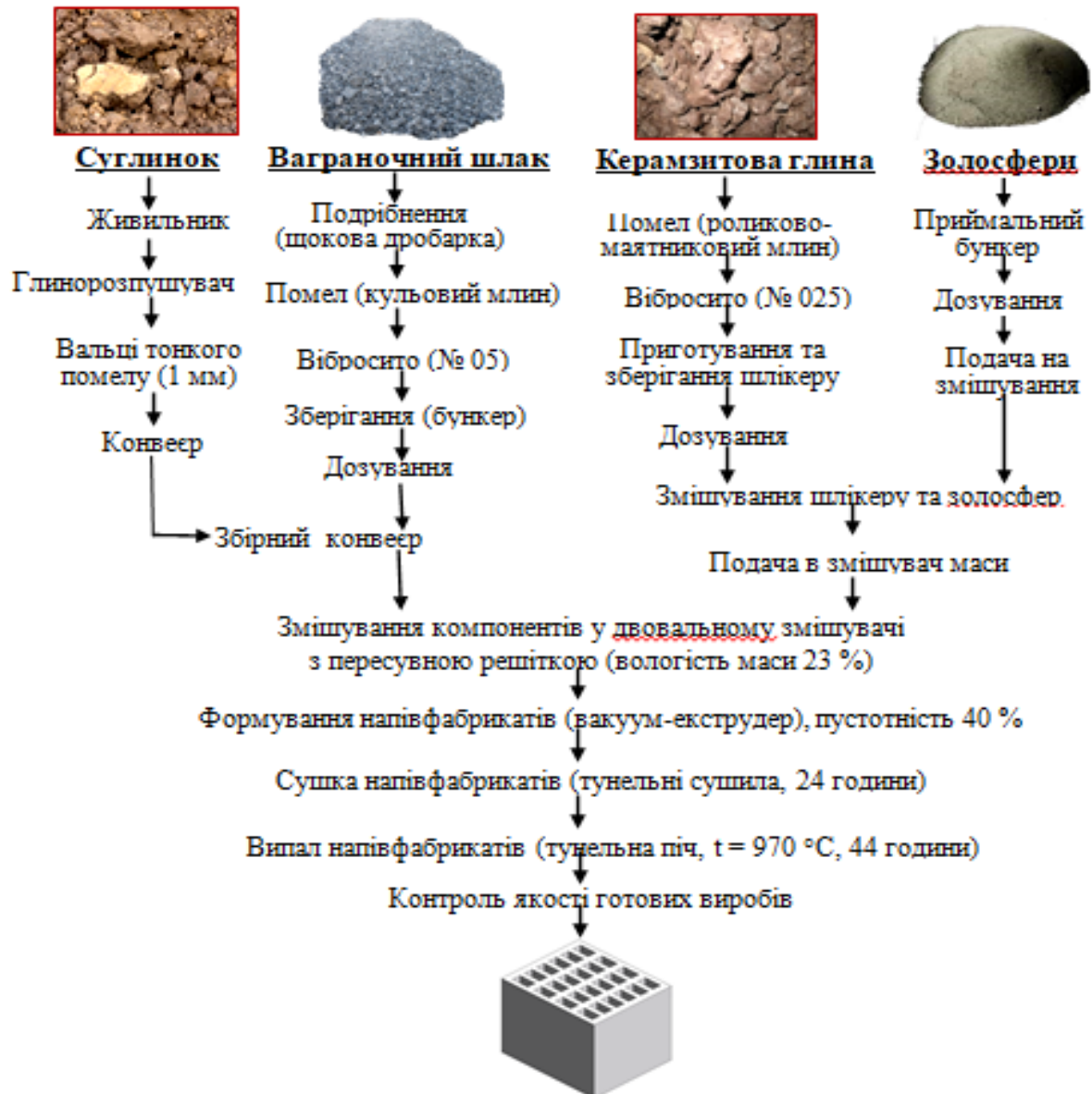


Рисунок 8 – Технологічна схема отримання поризованої будівельної кераміки

Технологія є ресурсоощадною, оскільки базується на використанні недефіцитної глинистої сировини, техногенних добавок, передбачає скорочений цикл випалу та є енергоекономічною. За розробленою технологією можна отримувати поризовану КТСК з маркою М175, коефіцієнтом теплопровідності $0,19 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$, середньою густиною 850 кг/м^3 (при 40 % пористості), що за цими властивостями відносить такі вироби до категорії високоефективних згідно з ДСТУ Б В.2.7.-61: 2008 і дозволяє використовувати їх для кладки несучих стін збільшеної поверховості при зведенні сучасних енергозберігаючих будинків. Результати випробовувань розробленої технології в умовах атестованої лабораторії спеціалізованого підприємства ТОВ «Плі-нфа» показали позитивний результат. При використанні розробок у виробництві прогнозований економічний ефект від скорочення випалу та економії природного газу складає 3656391 грн/рік.

У Додатках наведені акти про практичну апробацію результатів дисертаційної роботи, їх впровадження у навчальний процес, список публікацій здобувача.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена науково-практична задача з розроблення технології поризованої конструкційно-теплоізоляційної кераміки з покращеними теплотехнічними та механічними характеристиками на основі недефіцитної глинистої сировини та функціональних добавок техногенного походження.

1. Проведена теоретична оцінка теплозахисних і механічних властивостей моделей керамічних виробів з поризованою стінкою (40 % пустот) і щільною стінкою (60 % пустот). Встановлено, що при зменшенні пустотності виробів з поризованою стінкою коефіцієнт теплопровідності знижується на 12 %, що покращує їх теплозахисні властивості, але при цьому відбувається деградація механічної міцності майже пропорційно зниженню пустотності. За результатами 3D-моделювання напружено-деформованого стану керамічних структур зі сферичними, глобулярними, еліпсоїдними порами визначено, що напруги концентруються в контактних зонах матриці з порами, а найбільш міцною є структурна модель зі сферичними порами, яка характеризується мінімальним об'ємом зруйнованих елементів структури при досягненні критичного навантаження. Це вказує на необхідність організації структури зі сферичними порами, розроблення способів зміцнення керамічної матриці матеріалів та локальних зон, оточуючих пори.

2. Досліджені процеси спікання та фазоутворення різновидів полімінеральних суглинків як типових представників сучасної сировинної бази галузі з різним вмістом глинистої речовини, кварцу і карбонатних домішок. Встановлено, що для температурного інтервалу випалу стінової кераміки (950–1000 °C) з точки зору досягнення кращої механічної міцності придатними є як середньоспіктиві суглинки, так і неспіктиві породи з високим вмістом карбонатних домішок. При цьому останні позиціонуються як бажані мінерали, що є джерелом синтезу кристалічних фаз Са, Mg-силікатів та алюмосилікатів, які зміцнюють керамічний матеріал.

3. Вивчений взаємозв'язок «технологія-структура-властивості» керамічних матеріалів з використанням органічних, мінеральних та органо-мінеральних пороутворюючих компонентів. Встановлено, що найбільш дефектні структури формують органічні поризатори, які знеміцнюють матеріал більш ніж на 50 %. Структури з переважанням сферичних і глобулярних пор характеризуються більшою межею міцності при стиску, яка лише на 18 % менша, ніж у вихідного суглинку. Ці ж структури характеризуються як однорідні з коефіцієнтом анізотропії понад 0,8. Кореляційний аналіз взаємозв'язку «структура-властивості» показав, що густина і теплопровідність визначаються загальною пористістю, відкрита пористість чинить негативний вплив на міцність і морозостійкість матеріалів, а закрыта позитивно впливає на ці властивості. Виявлені закономірності підтвердили результати теоретичних досліджень щодо впливу геометрії пор на властивості матеріалів і вказують на доцільність організації структур із замкненими дрібними сферичними порами.

Досліджені різні види золоматеріалів як пороутворюючі компоненти для організації структури зі сферичними порами. Встановлена перспективність використання зольних мікросфер у вигляді товарного продукту переробки зол уносу ТЕС для отримання високопористих керамічних матеріалів з густиною 1105–1400 кг/м³, закритою пористістю 29–31 % при загальній 52–54 % при вмісті золосфер в масі

(10–30 %). Недоліком кераміки з цими золосферами є невисока межа міцності при стиску на рівні 10 МПа, що втричі менше, ніж у чистого суглинка. Встановлено, що це зумовлено слабкою взаємодією золосфер із суглинком в процесі випалу за причини того, що їх оболонка містить тугоплавкий муліт, що потребує опрацювання способів зміцнення як керамічної матриці, так і контактної зони «керамічна матриця-золосфера» для підвищення загальної механічної міцності матеріалів.

4. Досліджені різні види глинистих і техногенних добавок для зміцнення керамічної матриці пористих матеріалів, отриманих на основі неспікливої сировини. Встановлена доцільність використання керамзитової глини (20 %) як добавки, яка чинить позитивний вплив на пластичну консистенцію глиномас, знижує їх формувальну вологість при забезпеченні тугопластичного стану, покращує спікливість мас та межу міцності при стиску матеріалів на 113 % за температури випалу 980 °С.

Визначена структурозміцнююча дія висококальцієвого ваграночного шлаку, який є аморфним матеріалом, а при випалі кристалізується з утворенням діопсиду, анортиту та воластоніту, кристали яких проростають в керамічну матрицю, «армують» її, що приводить до збільшення межі міцності при стиску матеріалів на 70 %.

5. Розроблені рецептурно-технологічні параметри отримання керамічних матеріалів на основі мас, які містили глинистий компонент (неспікливий суглинок і керамзитову глину у співвідношенні 4 : 1), золосфери ВК і ваграночний шлак. На основі складу (56 % суглинка, 14 % керамзитової глини, 10 % золосфер і 20 % шлаку) здійснено оптимізацію технологічних параметрів отримання матеріалів (температура випалу, ступінь подрібнення глинистих компонентів). Визначено, що для досягнення максимальної міцності зразків (19,4 МПа) суглинок треба використовувати з крупним розміром часток (сито № 1), а керамзитову глину з меншим (сито № 025). Це дозволяє за температури випалу 970 °С отримати керамічні матеріали з межею міцності при стиску 20,2 МПа і густиною 1380 кг/м³.

Для зміцнення зони «керамічна матриця–золосфера» запропонована обробка золосфер керамзитовим шлікером перед їх введенням в масу. Це сприяє рідкофазному спіканню золосфери з масою та зміцнює контактну ділянку. За майже однакової густини зразків (1410 кг/м³) з обробленими і необробленими золосферами їх межа міцності при стиску зросла до 22,7 МПа, що дало змогу підвищити марку виробів за механічною міцністю до М175.

6. Розроблена технологічна схема отримання поризованої стінової кераміки, що передбачає скорочений цикл випалу (44 год), на основі якої можна отримати матеріали з маркою М175, коефіцієнтом теплопровідності 0,19 Вт/(м·К) і густиною 850 кг/м³ (при 40 % пустотності). Прогнозований економічний ефект від скорочення випалу та відповідної економії природного газу складає 3656391 грн/рік при річній продуктивності підприємства 33 млн ум. штук виробів. В умовах атестованої лабораторії спеціалізованого підприємства ТОВ «Плінфа» проведена апробація розробленої технології на керамічній масі оптимального складу з її формуванням на екструдері у вигляді пустотілого бруса, визначенням сушильних і випалювальних властивостей, яка показала позитивний результат, що підтверджується актом випробовувань. Основні результати дисертаційної роботи впроваджені в навчальний процес кафедри технології кераміки, вогнетривів, скла та емалей НТУ «ХПІ» при викладанні спеціальних дисциплін і підготовці випускних кваліфікаційних робіт.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Галушка Я.О. Вплив органічних та неорганічних поризаторів на властивості пористо-пустотілої будівельної кераміки / Л.П. Щукіна, О.В. Пилипчатін, Я.О. Галушка, Л.О. Міхеєнко // Вісник НТУ «ХПІ». – Х.: НТУ «ХПІ». – 2012. – № 32. – С. 159–164.

Здобувачем досліджені фізичні властивості різних видів поризуючих добавок, придатних для виробництва пористо-пустотілої стінової кераміки, здійснено їх технологічну оцінку.

2. Галушка Я.О. Структура и свойства теплоизоляционной керамики, получаемой методом введения удаляемых и газообразующих добавок / Л.П. Щукина, Я.О. Галушка, Л.А. Михеенко, В.В. Цовма // Вісник НТУ «ХПІ». – Х.: НТУ «ХПІ». – 2014. – № 27 (1070). – С. 142–147.

Здобувачем розглянуті особливості порової структури керамічних матеріалів, отриманих на основі легкотопкої глини з вигоряючими та газотвірними добавками.

3. Галушка Я.О. Технологічні способи регулювання пористої структури і властивостей конструкційно-теплоізоляційних керамічних матеріалів / Л.П. Щукіна, В.В. Цовма, Я.О. Галушка, Л.О. Міхеєнко // Технологический аудит и резервы производства. – Харьков. – 2015. – № 6/4 (26). – С. 51–55.

Здобувачем визначені типи пористих структур, які формуються залежно від виду та дисперсності поризуючих добавок, встановлені кореляційні зв'язки між показниками структури і властивостей.

4. Галушка Я.О. Утилизация металлургических шлаков в производстве стеновой керамики / М.И. Рыщенко, Л.А. Белостоцкая, Л.П. Щукина, Ю.Д. Трусова, Л.В. Павлова, Я.О. Галушка // Экология и промышленность. – Харьков. – 2017. – № 2. – С. 78–84.

Здобувачем встановлений хімічний склад металургійних шлаків і глини, досліджені властивості керамічних зразків.

5. Галушка Я.О. Керамические строительные материалы с использованием шлаковых отходов чугунолитейного производства / М.И. Рыщенко, Л.П. Щукина, Г.В. Лисачук, Я.О. Галушка, В.В. Цовма // Экология и промышленность. – Харьков. – 2018. – № 2. – С. 67–73.

Здобувачем проведений рентгенофазовий аналіз ваграночного шлаку, досліджені його високотемпературні фазові перетворення.

6. Galushka Ya. An improvement of criteria for assessing the quality of clay raw material for architectural and construction ceramics / L. Shchukina, Ya. Galushka, K. Bohdanova // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – Kharkov. – 2018. – № 6/6 (96). – P. 51 – 57.

Здобувачем проведений аналіз існуючих методів оцінки глинистих порід для виробництва грубої будівельної кераміки, досліджені випалювальні властивості глинистих композицій на основі каолініту, гідроліти, монтморилоніту.

7. Galushka Ya. Study of the properties of drill cuttings at technogenic raw materials for the production of building ceramics / N. Rykusova, O. Shestopalov, L. Shchukina, O. Briankin, Ya. Galushka // ScienceRise. – Tallinn. – 2020. – № 1 (66). – P. 10–22.

Здобувачем вивчені фізико-механічні властивості досліджуваних керамічних

зразків, що їх отримували на основі бурових шламів.

8. Галушка Я.О. Перспективи використання золоматеріалів у виробництві конструкційно-теплоізоляційної кераміки / Л.П. Щукіна, Я.О. Галушка, А.С. Савенков, О.О. Хлопицький // Питання хімії та хімічної технології. – Дніпро. – 2020. – № 3. – С. 215–224.

Здобувачем методом комп'ютерно-імітаційного моделювання досліджений напружено-деформаційний стан 3D-моделей структур, що імітують поризовану стінову кераміку; вивчені властивості золоматеріалів і зразків з їх використанням.

9. Пат. 119091 Україна, МПК C04B 33/00. Керамічна маса для виготовлення стінових виробів / Щукіна Л.П., Галушка Я.О., Лісачук Г.В., Рищенко М.І., Білостоцька Л.О., Павлова Л.В.; заявник і патентовласник НТУ «ХП». – № u2017036100; заявл. 03.04.2017; опубл. 11.09.2017, Бюл. № 17. – 4 с.

Здобувачем вивчені властивості керамічної маси на основі комбінацій глин з ваграночним шлаком.

10. Галушка Я.О. Взаємозв'язок інтервалу газоутворення поризаторів і властивостей стінової кераміки на основі глин різної спікливості / Я.О. Галушка, Л.П. Щукіна, В.В. Цовма, Д.О. Мироненко // Керамика: наука и жизнь. – Киев. – 2016. – № 1(30). – С. 4–10.

Здобувачем вивчений вплив температурного інтервалу газоутворення органічних, неорганічних та органо-мінеральних поризаторів на властивості поризованих керамічних матеріалів.

11. Галушка Я.О. Влияние поризующих добавок на свойства стеновой керамики, получаемой на основе глины с различной степенью спекания / Л.П. Щукіна, А.В. Пилипчатин, Я.О. Галушка, В.Б. Орлов, Р.Р. Зарипова // Новейшие достижения в области импортозамещения в химической промышленности и производстве строительных материалов: Междунар. науч.-техн. конф. (22-23 ноября 2012 г., Минск): материалы конф. – Минск: БГТУ. – 2012. Ч. 1. – С. 87–90.

Здобувачем досліджені властивості керамічних зразків, отримуваних на основі комбінацій глини з різним ступенем спікання та різних поризаторів.

12. Галушка Я.О. Поризована кераміка для будівництва споруд з низьким енергоспоживанням / Я.О. Галушка, Л.П. Щукіна, Л.О. Міхеєнко, О.В. Пилипчатин // Львівські хімічні читання. – 2013: XIV Наукова конференція, (26-29 травня 2013 р., Львів): збірник наукових праць. – Львів: Львівський НУ ім. І. Франка. – 2013. – С. У53.

Здобувачем проведена оцінка поризуючої дії різних добавок при їх використанні разом із середньоспікливим і неспікливим полімінеральними суглинками.

13. Галушка Я.О. Використання комбінованих поризаторів при отриманні теплоефективної стінової кераміки / Л.П. Щукіна, Я.О. Галушка, О.В. Пилипчатин, Є.В. Колесник // Фізико-хімічні проблеми в технології тугоплавких неметалевих та силікатних матеріалів: Міжнар. наук.-техн. конф. (8-9 жовтня 2013 р., Дніпропетровськ): тези допов. – Дніпропетровськ: УДХТУ. – 2013. – С. 67.

Здобувачем вивчено використання комбінацій органічних та неорганічних поризаторів при отриманні теплоефективної стінової кераміки.

14. Галушка Я.О. Роль фазового складу у формуванні рівня механічної міцності поризованої стінової кераміки / Л.П. Щукіна, Я.О. Галушка, К.П. Вернігора, А.Д. Кушнірюк // Технология и применение огнеупоров и технической керамики в

промышленности: Междунар. науч.-техн. конф. (29-30 апреля 2014 г., Харьков): тез. докл. – Х.: Оригинал. – 2014. – С. 73–75.

Здобувачем досліджено фазовий склад і властивості керамічних зразків, отриманих на основі легкотопкої полімінеральної глини з поризаторами.

15. Галушка Я.О. Вплив структурного фактору на фізико-механічні властивості кераміки / Л.П. Щукіна, Я.О. Галушка // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: XXII Міжнар. наук.-техн. конф. (15-17 жовтня 2014 р., Харків): тези допов. – Харків, НТУ «ХПІ». – 2014. – Ч. II. – С. 306.

Здобувачем методом оптичної мікроскопії досліджена макроструктура поризованих керамічних зразків та визначені особливості її формування.

16. Галушка Я.О. Дослідження факторів, які впливають на макроструктуру поризованої будівельної кераміки / Я.О. Галушка, Д.О. Мироненко // «Science and Scientists»: Міжнародна міждисциплінарна наукова конференція студентів, аспірантів і молодих вчених (21-22 грудня 2015 р., Дніпропетровськ): збірник матеріалів. – Дніпропетровськ, GlobalNauka. – 2015. – С. 185–187.

Здобувачем досліджений вплив виду і дисперсності різних поризаторів на макроструктуру поризованої будівельної кераміки.

17. Галушка Я.О. Вплив техногенних органо-мінеральних добавок на конструктивну якість поризованої кераміки / Л.П. Щукіна, Я.О. Галушка, В.В. Цовма, Д.О. Мироненко // «Проблеми та досягнення сучасної хімії»: XVIII Наукова молодіжна конференція (17-20 травня 2016 р., Одеса): збірник тези доп. – Київ, ТОВ НВП «Інтерсервіс». – 2016. – С. 96.

Здобувачем проведений оптимальний експеримент для вивчення властивостей поризованих керамічних матеріалів, отриманих з використанням органо-мінеральних промислових відходів залежно від їх кількості і температури випалу.

18. Галушка Я.О. Дослідження фазового складу і кераміко-технологічних властивостей ваграночного шлаку / Наукові дослідження: перспективи інновацій у суспільстві і розвитку технологій: V Всеукраїнська науково-практична конференція (14-15 березня 2017 р., Харків): матеріали конф. – Харків, НП «НТЦ». – 2017. – С. 101–103.

Здобувачем досліджений хімічний і фазовий склад ваграночного шлаку та його випалювальні властивості.

19. Галушка Я.О. Комплексна обробка інформації щодо техногенної сировини для керамічних технологій / Л.П. Щукіна, М.І. Рищенко, Я.О. Галушка, С.Л. Лігезін, Л.О. Міхесенко // Прикладні науково-технічні дослідження: Міжнар. наук.-практ. конф. (5-7 квітня 2017 р., Івано-Франківськ): матеріали конф. – Івано-Франківськ, Симфонія форте. – 2017. – С. 129.

Здобувачем проведений частковий збір інформації стосовно сировинних матеріалів техногенного походження з метою їх використання у керамічних технологіях.

20. Галушка Я.О. Залежність властивостей пористо-пустотілої стінової кераміки від газотвірної здатності поризаторів / Д.О. Мироненко, Л.П. Щукіна, Я.О. Галушка // XI Міжнародна науково-практична конференція магістрантів та аспірантів (18-21 квітня 2017 р., Харків): матеріали конф. – Харків, НТУ «ХПІ». – 2017. – Ч. 2. – С. 180.

Здобувачем досліджений взаємозв'язок між інтервалами спікання глинистого компонента мас та інтервалами газоутворення поризуючих добавок та його вплив на властивості поризованої кераміки.

21. Галушка Я.О. Способи підвищення механічної міцності поризованої будівельної кераміки / Я.О. Галушка, Л.П. Щукіна, С.Л. Лігезін // Львівські хімічні читання – 2017: XVI Наукова конференція, (28-31 травня 2017 р., Львів): збірник наукових праць. – Львів: Львівський НУ ім. І. Франка. – 2017. – С. У22.

Здобувачем вивчений вплив виду поризатора на пороутворення в керамічній матриці та механічну міцність матеріалів.

22. Галушка Я.О. Будівельна кераміка з використанням техногенних компонентів з власною структурною пористістю / Я.О. Галушка, Л.П. Щукіна, М.І. Рищенко, Л.В. Павлова, Е.І. Гуміров // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: XXVI Міжнародна науково-практична конференція MicroCAD-2018, (16-18 травня 2018 р., Харків): тези доп.– Харків, НТУ «ХП».– 2018.– Ч.П.– С. 217.

Здобувачем досліджені структурні показники керамічних матеріалів, отриманих на основі легкотопкої глинистої сировини і пороутворюючих компонентів з власною високопористою будовою.

23. Галушка Я.О. Мінеральні добавки для зміцнення керамічної матриці конструкційно-теплоізоляційних матеріалів / Я.О. Галушка, Л.П. Щукіна, Л.О. Ященко, А.В. Маслов // Львівські хімічні читання – 2019: XVII Наукова конференція, (2-5 червня 2019 р., Львів): збірник наукових праць. – Львів: Львівський НУ ім. І. Франка. – 2019. – С. 3133.

Здобувачем досліджені та проаналізовані властивості матеріалів, отриманих із залученням глинистих добавок для покращення пластичності мас та їх спікливості.

24. Галушка Я.О. Використання відходів міського господарства при виготовленні конструкційно-теплоізоляційних керамічних матеріалів / Я.О. Галушка, Л.П. Щукіна // Актуальні питання хімії та інтегрованих технологій: Міжнар. наук.-практ. конф. (7-8 листопада 2019 р., Харків): матеріали конф. – Харків, ХНУМГ ім. О.М. Бекетова. – 2019. – С. 117.

Здобувачем проаналізована пороутворююча здатність суміші осаду та надлишкового активного мулу при їх використанні в технології конструкційно-теплоізоляційної кераміки як поризаторів.

25. Галушка Я.О. Теплоэффективна кераміка з використанням функціональних добавок техногенного походження / Я.О. Галушка, Л.П. Щукіна, О.Я. Пітак, А.В. Маслов // Физико-химические проблемы в технологии тугоплавких неметаллических и силикатных материалов: Междунар. науч.-техн. конф.: тез. докл. – Х.: ДІСА ПЛЮС. – 2020. – С. 59-60.

Здобувачем розроблені і досліджені склади керамічних мас з використанням техногенної сировини для отримання зміцненої конструкційно-теплоізоляційної кераміки.

АНОТАЦІЇ

Галушка Я.О. Конструкційно-теплоізоляційні керамічні матеріали з організованою поровою структурою для енергозберігаючого будівництва. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.17.11 – технологія тугоплавких неметалічних матеріалів. Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, 2021.

Дисертацію присвячено розробці технології поризованої конструкційно-тепло-

ізоляційної кераміки з покращеними теплотехнічними та механічними характеристиками на основі недефіцитної глинистої сировини та функціональних добавок техногенного походження. Встановлені закономірності формування пористої структури керамічних матеріалів у взаємозв'язку з технологічними параметрами їх отримання і властивостями, визначена доцільність організації структур зі сферичними порами як найбільш міцних. Визначені шляхи досягнення низької густини і покращеної міцності матеріалів, які полягають у використанні золосфер і модифікації мас глинистими та структурозміцнюючими добавками. Розроблені технологічні параметри виробництва будівельної кераміки на основі неспікливого суглинку, керамзитової глини, золосфер і ваграночного шлаку, що дозволяють за температури 970 °С отримати вироби з поризованою стінкою і пустотністю 40 %, які характеризуються марками за міцністю M175 і морозостійкістю F50, коефіцієнтом теплопровідності 0,19 Вт/(м·К), густиною 850 кг/м³ і відносяться до виробів високої ефективності.

Ключові слова: конструкційно-теплоізоляційні керамічні матеріали, полімінеральна глиниста сировина, неспікливі суглинки, пороутворюючі добавки, механізми поризації, макро- і мікроструктура, золосфери, ваграночний шлак, механічна міцність, густина, теплопровідність.

Галушка Я.О. Конструкционно-теплоизоляционные керамические материалы с организованной пористой структурой для энергосберегающего строительства. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.11 – технология тугоплавких неметаллических материалов. Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, 2021.

Диссертация посвящена разработке технологии поризованной конструкционно-теплоизоляционной керамики с улучшенными теплотехническими и механическими характеристиками на основе недефицитного глинистого сырья и функциональных добавок техногенного происхождения. Выявлены закономерности формирования пористой структуры керамических материалов во взаимосвязи с технологическими параметрами их получения, показана целесообразность организации структур со сферическими порами, как наиболее прочных. Установлены пути достижения низкой плотности и повышенной прочности материалов, заключающиеся в использовании золосфер и модификации масс глинистыми и структуроупрочняющими добавками. Разработаны технологические параметры производства строительной керамики на основе неспекающегося суглинки, керамзитовой глины, золосфер и ваграночного шлака, которые позволяют при температуре обжига 970 °С получить изделия с поризованной стенкой и пустотностью 40 %, которые характеризуются марками по механической прочности M175 и морозостойкости F50, коэффициентом теплопроводности 0,19 Вт/(м·К), плотностью 850 кг/м³ и относятся к группе изделий высокой эффективности.

Ключевые слова: конструкционно-теплоизоляционные керамические материалы, полиминеральное глинистое сырье, неспекающиеся суглинки, порообразующие добавки, механизмы поризации, макро- и микроструктура, золосферы, ваграночный шлак, механическая прочность, плотность, теплопроводность.

Galushka Ya.O. Insulating construction ceramic materials with organized pore structure for energy-saving civil engineering. – Manuscript.

Dissertation for a degree of Candidate of Science, Technology (PhD), Specialty 05.17.11 – Technology of Refractory Nonmetallic Materials. National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Kharkiv, 2021.

The dissertation is devoted to technology of heat-efficient insulating construction ceramic materials with improved thermal and mechanical properties on the basis of low-quality brick/tile feed and industrial origin components.

The work includes a review and analysis of up-to-date research and development achievements in the field of heat-efficient ceramics for energy-saving civil engineering.

Performed theoretical research was aimed to predict insulating properties of 3D models of large-size porous and non-porous various voidance articles. Advantages of least voidance model with porous ceramic wall are shown from the point of view of better thermal conductivity as well as advantages of globular pore structural model from the point of view of better mechanical strength.

Polymineral clays of different chemical mineral composition were studied as typical sources of raw materials for brick and tile industry. Phase formation processes of these rocks were studied in connection with their sintering characteristics and properties.

Process-structure-properties string was traced for ceramic materials obtained under different pore formation mechanisms. Additives are defined capable to arrange increased porosity of materials at their weakening values as small as possible. Correlations are found between structural parameters indicative of the necessity to arrange porous structures with small closed globular pores as being least imperfect and most strong.

Techniques were studied for ceramic basis strengthening of ceramic materials obtained from non-sinterable loams. Positive effect of cupola slag (20 %) and claydite (10-20 %) was determined in strengthening of ceramic materials.

By optimization, the range of reasonable ceramic mass composition was determined as well as its optimal analysis (56 % loam, 14 % claydite, 10 % ash globules and 20 % cupola slag), burning temperature and degree of fineness of crude components, which together with burning temperature of 970 °C enable manufacture of materials with average density 1380 kg/m³ and compression strength 20,2 MPa. Process techniques were proved for strengthening of “ceramic matrix-ash globule” area by pretreatment of ash globules in order to ensure their adhesion to other mass components. In order to improve strength it was shown expedient to create as close as possible interaction between pore formant and the mass, which is attained by ash globule pretreatment with claydite slurry which is favorable to liquid phase sintering between ash globule and the mass in the course of burning.

Process flow diagram was developed for insulating porous construction ceramics which provides for shorter drying (24 h) and burning (44 h) cycles. This permits manufacture of insulating construction ceramics meeting the values of mechanical strength M175, thermal conductivity of 0,19 W/(m·K) and density of 850 kg/m³ (at 40% void).

Keywords: insulating ceramic construction materials, polymineral clay raw materials, non-sinterable loams, pore formant additives, pore formation mechanisms, macro- and microstructure, ash globules, cupola slag, mechanical strength, density, thermal conductivity.