

УДК 666.72

*О.С. Хоменко^а, Н.М. Срібняк^б, С.О. Грецай^в, І.Ф. Телющенко^в, В.Д. Івченко^б,
В.В. Душин^б*

РОЗРОБКА КОМПЛЕКСНОЇ ВИГОРЯЮЧОЇ ДОБАВКИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ПОРИЗОВАНОЇ БУДІВЕЛЬНОЇ КЕРАМІКИ З ПІДВИЩЕНОЮ МІЦНІСТЮ

^а ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет», м. Дніпро

^б Сумський національний аграрний університет

^в ТОВ «Керамейя», м. Суми

Робота спрямована на вдосконалення технології виробництва поризованих керамічних блоків та підвищення їх експлуатаційних властивостей. Встановлено, що введений до складу керамічної маси комплекс вигоряючих добавок, який містить скоп, золу ТЕС та тирсу, дозволяє інтенсифікувати процеси сушіння напівфабрикату та випалу виробів. Зазначені добавки в процесі випалу вигоряють при різних температурах та виділяють тепло, що сприяє зменшенню витрат палива та дозволяє економити енергоресурси. При вигорянні добавок формується пориста структура виробів, що приводить до покращення їх теплоізоляційної здатності. Особливо важливим результатом даної роботи є те, що, завдяки підбраному комплексу добавок, майже у 4,0–4,5 рази підвищується механічна міцність виробів у порівнянні із виробами з маси базового складу. Рациональна кількість складових добавки у 100 мас. % керамічної маси становить, мас. %: 10 тирси, 5 скопу та 8 золи ТЕС. При цьому основні показники поризованих блоків наступні: уявна густина 814 кг/м³, водопоглинання 13,7%, механічна міцність при стиску до 9,2 МПа, коефіцієнт теплопровідності 0,209 Вт/(м·°С).

Ключові слова: скоп, тирса, зола, пористо-порожниста кераміка, вигоряюча добавка, випал, водопоглинання, механічна міцність, структура.

DOI: 10.32434/0321-4095-2019-124-3-166-175

Вступ

Останнім часом на ринку керамічних стінових матеріалів з'явилися так звані поризовані великоформатні керамічні блоки [1]. Виробниками такої продукції є Wienerberger (Угорщина, Тисавашварі), Leier (Польща, Петровани), Слобожанська будівельна кераміка (Україна, Озера), Керамейя (Україна, Суми) та ін. Цей стіновий матеріал має низку переваг у порівнянні зі звичайною керамічною цеглою, що полягають в низькій теплопровідності, високій тепло- та звукоізоляції, простоті монтажу та невеликій масі (в порівнянні з порожнистою та повнотілою керамічною цеглою). Застосування поризованої кераміки дозволяє скоротити час на зведення несучих стін і зменшити витрати на купівлю додаткових в'язучих матеріалів та заповнювачів (цемент, пісок та ін.). Ще однією перевагою стін

з поризованої кераміки є висока паропроникність, що дозволяє створювати оптимальний мікроклімат у оселі [2].

Для формування пористої структури в технології теплоізоляційних матеріалів найбільш поширеним є використання вигоряючих добавок [3]. Як добавки в масу вводять тирсу, вугілля, золу, побічні продукти паперової, вугільної промисловості, відходи сільськогосподарського виробництва тощо.

Так, пропонується при виробництві поризованих блоків у якості вигоряючої добавки використовувати модифікований фрезерний торф [4]. Встановлено, що при введенні у пластичну глину модифікованого торфу у кількості 27–32% після випалу при 980–1050°C одержано керамічні зразки з густиною 850–950 кг/м³. Механічна міцність зразків при стиску знижується до 0,9–

1,4 МПа.

Було досліджено можливість використання відходів виробництва біодизелю та гліцерину у виробництві легкої конструкційної цегли [5]. Встановлено, що введення відходів у керамічну масу в кількості 20 і 15 мас.%, відповідно, приводить до зменшення об'ємної густини і збільшення уявної пористості спечених при 1050°C зразків. Теплопровідність цегли знизилась на 20% у разі використання відходів виробництва біодизелю, і до 40% – при введенні в керамічну масу відходів виробництва гліцерину. Відмічено, що при цьому відбувається зниження показників механічної міцності.

Досліджено можливість використання у виробництві пористої будівельної кераміки відходів паперового виробництва в кількості до 30 мас.% [6]. Після випалу при 1100°C одержано керамічну цеглу з густиною 1280 кг/м³. Теплопровідність пористої цегли була знижена на 50% і для зразків з добавкою складала 0,4 Вт/м·К.

Можливо використовувати у виробництві цегли тирсу деревини у кількості до 20 мас.% [7]. Така добавка забезпечує рівномірну усадку матеріалу під час сушіння, оскільки волокнисті добавки зміцнюють глинисті частки, а при вигоранні під час випалу при 1000–1050°C забезпечують формування поризованої структури виробів. Однак для сушіння такої композиції необхідні значні витрати енергії через високу вологість добавки.

Для виробництва керамічної поризованої цегли пропонується [8] виготовляти бінарні суміші глинистого та паперового шламу у різному співвідношенні. Збільшення вмісту шламу паперу в глинистій суміші забезпечує матеріал поліпшеними властивостями щодо його теплової та акустичної ізоляції, зменшує його механічну міцність. Але відмічається, що крихкість матеріалу частково компенсується підвищеною пластичністю маси під час формування виробів, що дозволяє одержати на цьому етапі щільніший напівфабрикат.

Як вигоряючі добавки при виготовленні пористої кераміки пропонується використовувати горілі дерева та льняні відходи [9]. Відзначається, що ці матеріали є ефективними порутворювачами, при чому розмір пор коливається у широких межах від 0,033 до 1,7 мм. Завдяки цьому зменшено вагу виробів при збереженні максимальної міцності на стиск 2,28 МПа.

Досліджено вплив вівсяного лушпиння, лушпиння ячменю і меляси на властивості поризованої кераміки [10]. При додаванні 5–10%

вівсяного або ячмінного лушпиння і меляси в глиняну суміш для формування цегли можна одержати вироби з густиною 1300–1800 кг/м³, міцністю на стиск 3,3–9,5 МПа, загальною відкритою пористістю 34–49%, водопоглинанням 14–28%. Втім, введення вказаних добавок у керамічну масу знижує міцність випаленої цегли на стиск.

Добавка відходів виробництва гірничого воску до складу керамічної маси у виробництві цегли дозволяє знизити її чутливість до сушіння [11], інтенсифікувати процес формування напівфабрикату та зменшити витрату основного теплоносія під час випалу.

Таким чином, виконаний аналіз наукової літератури показав різноманітність вигоряючих добавок, які можуть бути використані у виробництві поризованої будівельної кераміки. Але досягнення високої пористості та теплоізоляційної здатності кераміки зводиться за собою суттєве зниження її механічної міцності, що у разі виготовлення крупногабаритних поризованих блоків є суттєвим недоліком. Тому вирішення питань зниження щільності керамічних виробів при забезпеченні необхідних фізико-механічних показників є одним з перспективних наукових напрямків, в якому необхідно виконувати науково-дослідні роботи.

Мета даних досліджень: на основі результатів термічного аналізу поризуючих речовин для виготовлення теплоефективної будівельної кераміки розробити комплексну добавку, яка забезпечить високі показники міцності виробів при високій пористості структури черепка.

Експериментальна частина

Як базову для досліджень було обрано керамічну масу ТОВ Керамейя (м. Суми) на основі місцевого коричневого суглинку Верхньосироватського родовища. Для розробки комплексної добавки було обрано скоп, золу ТЕС та тирсу, які вводили до керамічної маси як окремо, так і сумісно.

Керамічні зразки виготовляли методом пластичного формування, сушили та випалювали в лабораторній печі при температурах 880–960°C протягом 24 год з випушмуванням при максимальній температурі тривалістю 1 год.

Для керамічних мас визначали повітряну усадку, пластичність та чутливість до сушіння стандартними методами [12], повітряну усадку розраховували за зміною розмірів зразків-напівфабрикатів до та після сушіння, пластичність оцінювали за числом пластичності, а чутливість до сушіння визначали за методикою А.Ф. Чиж-

ського, яка відображає початок розтріскування керамічного зразка при інтенсивному нагріванні.

Характер термічних перетворень керамічних мас визначали за допомогою диференційно-термічного аналізу з використанням дериватографу системи F. Paulik, J. Paulik, L. Erdey Q-1000.

Для визначення якісного мінерального складу суглинка використовували рентгенофазовий аналіз за допомогою дифрактометра ДРОН-3.

Для випалених зразків визначали [12]: повну усадку за відповідною зміною розмірів зразків, уявну густину та водопоглинання – за кількістю поглиненої води в відкриті пори зразка після насичення в вакуумі та за допомогою гідростатичного зважування, механічну міцність при стиску – шляхом виміру руйнуючого стискаючого навантаження на одиницю площі зразка. Теплопровідність визначали для виробів розміром 250×120×138 см з порожниною 48% за допомогою камери визначення опору теплопередачі ККТХ, МО Х 05.2094-2009. Для вивчення мікроструктури сировинних матеріалів та випалених зразків було використано растровий електронний мікроскоп РЕМ-106-І.

Результати та обговорення

Базовий суглинок коричневий Верхньосироватського родовища являє собою глинистий матеріал з наступним хімічним складом (табл. 1). Із даних видно, що у сировині має місце досить високий вміст оксиду заліза (до 5,5 мас.%), а також оксидів лужних і лужноземельних металів (сумарно до 6–6,5 мас.%). Зазначене обумовлює легкоплавкість суглинка, але в той же час суттєво звужує його інтервал спікання [13].

Рентгенофазовий аналіз показав (рис. 1), що дослідний суглинок має полімінеральний склад, який наданий каолінітом, ілітом, β-кварцом, тощо. Це забезпечує суглинку добру формувальну здатність та одночасно зменшує усадку та виключає деформацію виробів при сушінні та випалі.

Зазначене підтверджується дослідженням мінерального складу суглинка з використанням електронного мікроскопу. Суглинок містить високу кількість (до 40–45%) кварцових домішок з розміром часток 30–70 мкм (рис. 2), а також частки глинистих мінералів різного роз-

міру – зустрічаються як агрегати 10 мкм, так і одиничні зерна менше 5 мкм. При цьому глинисті частки мають недосконалу, дефектну структуру, що свідчить про їх високу реакційну здатність при випалі та формуванні керамічного черепка [11].

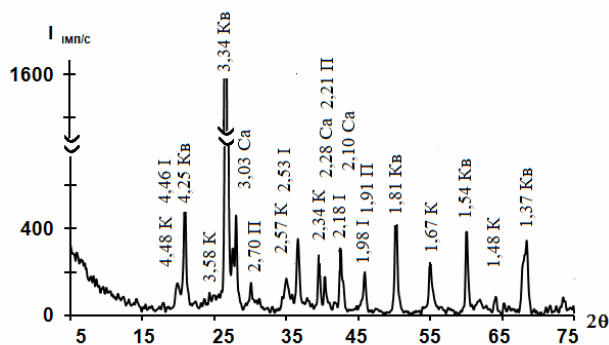


Рис. 1. Рентгенограма коричневого суглинка: К – каолініт; Кв – β-кварц; І – іліт; П – пірит; Са – кальцит

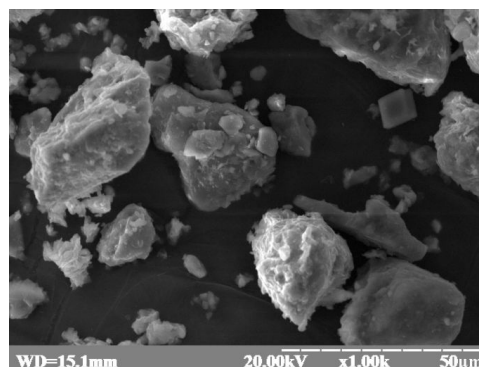


Рис. 2. Мінеральний склад дослідного суглинка

Деревна тирса зазвичай застосовується у виробництві гіперпресованої силікатної цегли для полегшення конструкцій та бетонних розчинів. Широких досліджень щодо впливу тирси на властивості поризованих керамічних блоків не проводилось, але існують відомості [7] про доцільність використання тирси як вигоряючої добавки.

Тирса (рис. 3) має мікрОВОЛОКНИСТУ структуру, розмір часток досягає 0,8–1,1 мм, отже при випалі така добавка буде вигорати, залишаючи пори розміром у межах 1 мм. В основному тирса має видовжену форму, тому при її вигорянні

Таблиця 1

Хімічний склад суглинка Верхньосироватського родовища (мас.%)

Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	В.п.п.
10–11	63–66	3,5–5,5	0,7–0,9	1,8–4,5	0,7–0,8	0,8–0,9	1,5–1,9	10–11

будуть утворені не круглі пори, а пори з неправильним контуром, що сприятиме більшій високій міцності пористого керамічного матеріалу.

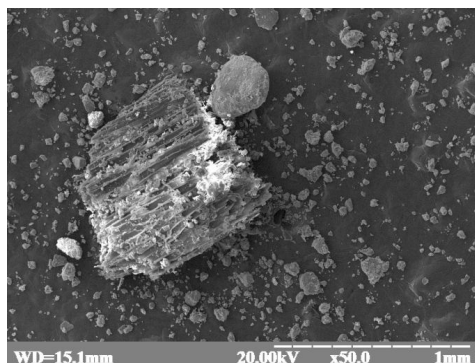


Рис. 3. Мікрволокниста структура тирси

Скоп являє собою відхід целюлозно-паперової промисловості, який містить деревне волокно та мул. Його використовують у виробництві керамзиту та аглопориту, волокнистих плит, як компонент бетонної суміші, тощо [14]. В даній роботі скоп планується використовувати в якості опіснюючої та вигоряючої добавки.

Скоп має вигляд волокон розміром від 0,2 до 1,0 мм (рис. 4) з ворсистю текстурою, що у складі керамічної маси буде додатково зміцнювати напівфабрикат до випалу.

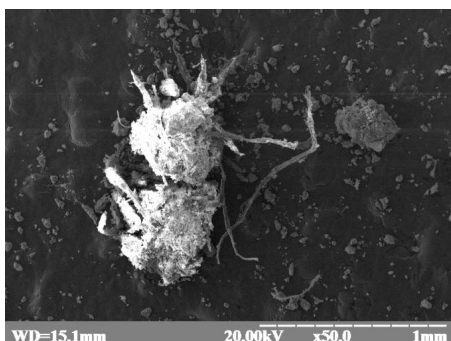


Рис. 4. Ворсиста текстура скопу

Зола-винесення ТЕС утворюється при спалюванні пилоподібного вугілля та його мінеральної частини, яка містить глинисті речовини, кварц і карбонатні породи. Зола-винесення використовується в бетонних виробництвах та як вигоряюча добавка до керамічної маси у виробництві цегли [5].

Склоподібні частки золи мають кульоподібну форму (рис. 5), що при формовці виробів буде покращувати рухливість керамічної маси. Максимальний їх розмір – до 22 мм, тому вве-

дення такої добавки у керамічну масу буде сприяти формуванню щільної структури напівфабрикату під час екструзії. Наявність склофаз у золі сприятиме спіканню керамічної маси.

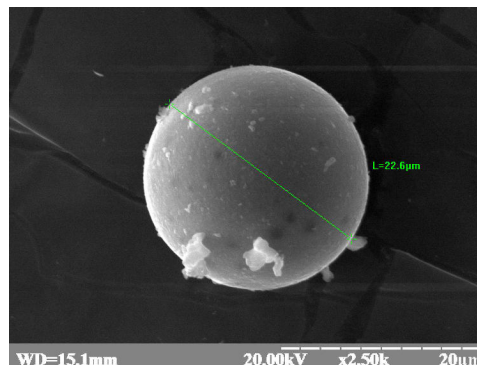


Рис. 5. Мікроструктура золи ТЕС

З метою встановлення фізико-хімічних перетворень базового компонента маси та дослідних добавок при нагріванні, було виконано диференційно-термічний аналіз суглинку та його сумішей з рівною кількістю (20 мас.%) кожної добавки (рис. 6).

З наведених даних видно, що базовий суглинок (рис. 6,а) демонструє чотири ендоефекти різної інтенсивності. Перший ендоефект з максимумом при 100°C пов'язаний з видаленням адсорбованої (гігроскопічної) води з глинистих мінералів. Другий ендоефект з найбільшою інтенсивністю (максимум при 520°C) свідчить про видалення хімічно зв'язаної води із структури каолініту. У цей період відбувається активна усадка зразків, виготовлених із суглинку, та активна перебудова кристалічної решітки мінералу, при цьому каолініт переходить в метаканолініт. Ендоефект при 575°C свідчить про модифікаційне перетворення β-кварцу в α-кварц, яке протікає зі зміною об'єму зерен, що при надлишковій їх кількості може призводити до розтріскування виробів. Також присутній ендоефект з максимумом при 850°C, що пов'язаний з розкладанням іліту та карбонатних сполук. Окрім того, на термограмі неявно виражений екзоефект при 900°C, який, ймовірно, пов'язаний з кристалізацією первинного муліту, але кількість його є невеликою.

У композиції з тирсою (рис. 6,б), на термограмі з'являється чітко виражений екзоефект великої інтенсивності при 360°C, який пов'язаний із вигорянням органічної складової. Під час цього процесу виділяється теплота, що приводить до інтенсифікації спікання керамічних

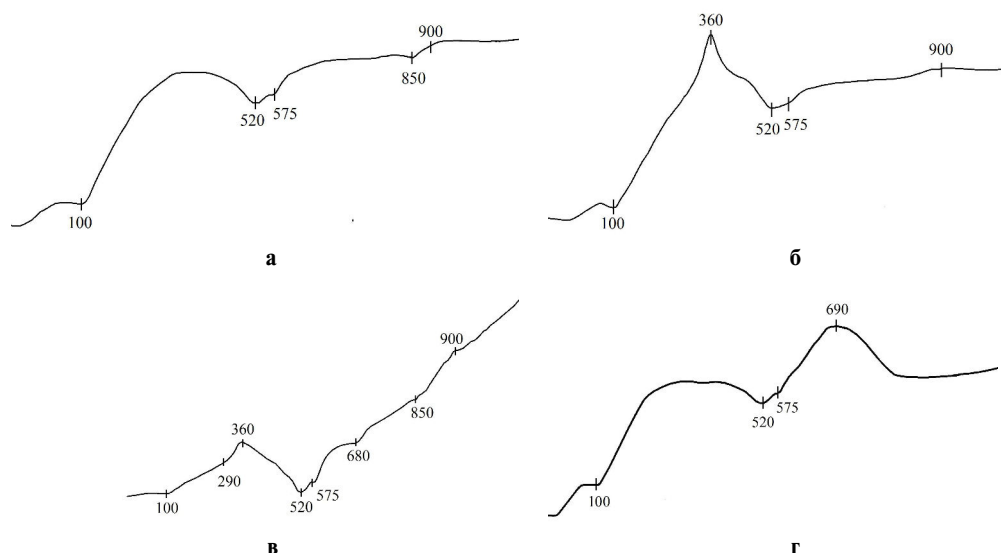


Рис. 6. Криві диференційно-термічного аналізу дослідних матеріалів: а – базовий суглинок; б – суглинок+тирса; в – суглинок+скоп; г – суглинок+зола ТЕС

зразків «зсередини» та дещо зменшує витрати природного палива.

На термограмі зразка зі скопом (рис. 6,в) також присутній екзоефект великої інтенсивності при 360°C , пов'язаний із вигоранням органічної складової добавки, а також з'являється невеликий додатковий ендоефект з максимумом при 680°C , який можна пояснити остаточним розкладанням мінеральної складової скопу.

Зола ТЕС також призводить до зміни характеру термічних перетворень шихти (рис. 6,г). На термограмі зберігаються ендоефекти, характерні для глинистого суглинку без добавки, і з'являється екзоефект з максимумом при 690°C , пов'язаний з вигоранням органічної складової золи. Під час цього процесу також виділяється теплота.

Отже, з наведених термограм видно, що досліджені добавки, введені до складу глинистої шихти, вигоряють при різних температурах (від 250 до 800°C). Під час цього процесу виділяється теплота, що буде сприяти інтенсифікації спікання керамічних виробів. Тому до складу

керамічної маси доцільно вводити вивчені добавки у комплексі, що буде значно ефективнішим, ніж одиначне використання кожної з них.

Враховуючи різну природу дослідних добавок та їх поведінку при термічній обробці, було вирішено проводити поетапні дослідження їх впливу на властивості керамічних мас та зразків з них.

На першому етапі досліджували вплив тирси на властивості керамічної маси та випалених зразків. Добавку вводили до суглинку в кількості від 5 до 20 мас.%. Результати визначення властивостей керамічних мас наведені на рис. 7.

Із наведених даних видно, що введення тирси приводить до збільшення повітряної усадки зразків з $8,8$ до $9,2\%$. Це обумовлено тим, що тирса є матеріалом, що адсорбує та втримує вологу, тому при затворенні водою керамічної маси, тирса вбирає вологу, що потім при сушінні проявляється в збільшенні усадки матеріалу. Чутливість до сушіння зменшується – час розтріскування зразків при різкому нагріванні збільшується з 68 до 75 с, оскільки тирса є опі-

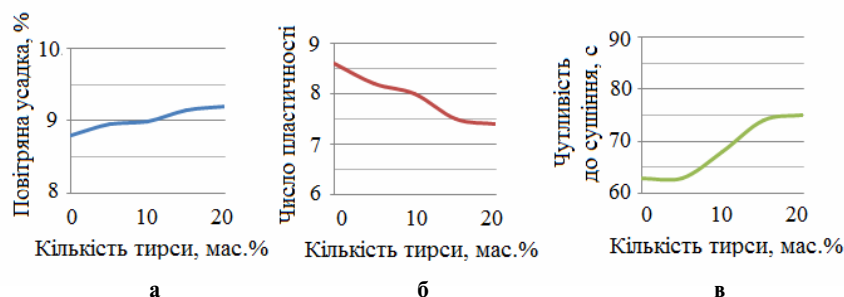


Рис. 7. Вплив добавки тирси на: а – повітряну усадку, б – пластичність, в – чутливість до сушіння керамічних мас

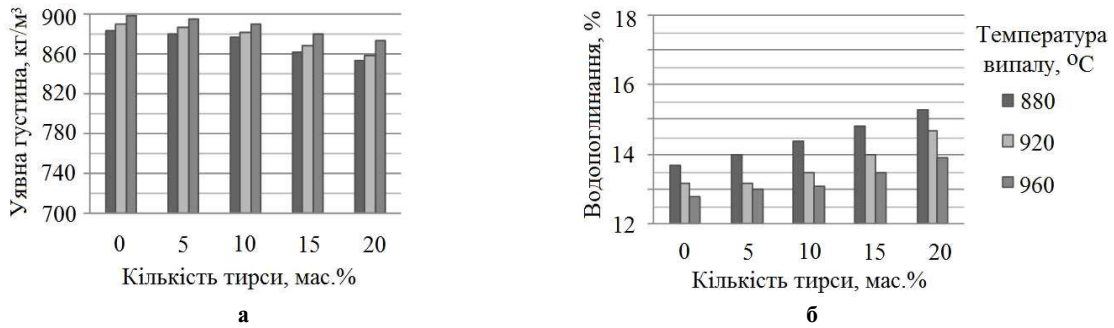


Рис. 8. Показники властивостей керамічних зразків з добавкою тирси після випалу при різних температурах:
а – уявна густина; б – водопоглинання

снюючим матеріалом. З іншого боку, використання тирси обмежується тим, що вона знижує пластичні властивості керамічної маси (число пластичності знижується від 8,5 до 7,4), що може проявлятися у розтріскуванні виробів через недостатню зв'язність маси, відколюванні країв, тощо.

Зміну властивостей випалених виробів при збільшенні тирси у складі маси наведено на рис. 8.

Із наведених даних видно, що при введенні тирси водопоглинання випалених при 880°C дослідних зразків збільшується з 13,7 до 15,3%, що пояснюється збільшенням пор всередині та ззовні матеріалу внаслідок вигорання тирси. Уявна густина виробів зменшується з 884 до 854 кг/м³, що сприяє поліпшенню їх теплоізоляційних властивостей. Аналогічна тенденція зберігається після випалу зразків при температурі 920 і 960°C, з тією різницею, що, завдяки інтенсифікації процесів рідкофазного спікання, матеріал сильніше ущільнюється. Таким чином, за комплексом показників властивостей керамічних мас та випалених зразків, оптимальною кількістю добавки тирси є 10 мас.%.

Наступний етап дослідної роботи включав підбір кількості скопу. Тому, до складу обраної на попередньому етапі маси, яка включала суглинок та 10 мас.% тирси, вводили добавку скопу від 2,5 до 10 мас.%. Вплив добавки скопу на властивості керамічної маси та випалених зразків

наведені на рис. 9 та 10.

З наведених результатів видно, що введення до 10 мас.% скопу у керамічну масу практично не змінює її пластичність та повітряну усадку, але істотно покращує чутливість до сушіння – показник розтріскування подовжується до 85 с. Це пов'язано із тим, що, маючи вигляд тонких волокон, скоп являється армуючою складовою та підвищує зв'язність маси.

З наведених даних видно, що після випалу при 880°C зі збільшенням вмісту скопу підвищується водопоглинання зразків з 14,4 до 17,9% та зменшується уявна густина з 876 до 780 кг/м³, що свідчить про покращення теплоізоляційної здатності керамічних матеріалів, одержаних з добавкою скопу.

Необхідно звернути увагу на те, що показники водопоглинання після випалу при 920 і 960°C набувають максимальних значень (16,0–16,6%) при вмісті скопу 5–7,5 мас.%; з подальшим збільшенням кількості скопу відбувається інтенсивне спікання керамічної маси зі зменшенням водопоглинання зразків.

Отже, за комплексом наведених властивостей, оптимальною добавкою скопу було прийнято 5 мас.%.

Наступний етап досліджень включав підбір кількості золи ТЕС. Золи вводили до складу маси, яка вже містила 5 мас.% скопу та 10 мас.% тирси. Кількість золи варіювали від 4 до 10 мас.%.

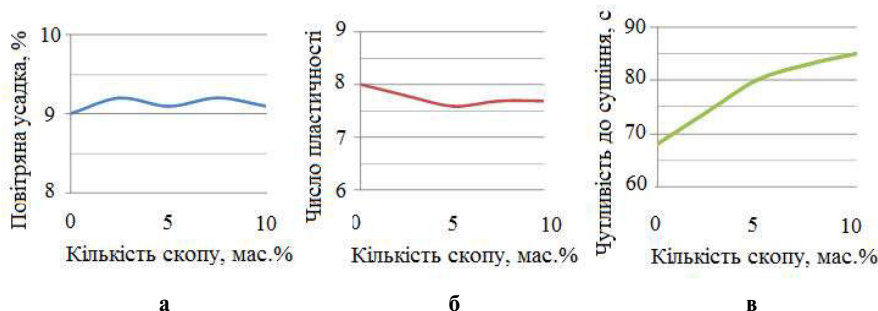


Рис. 9. Вплив добавки скопу на: а – повітряну усадку; б – пластичність; в – чутливість до сушіння керамічних мас

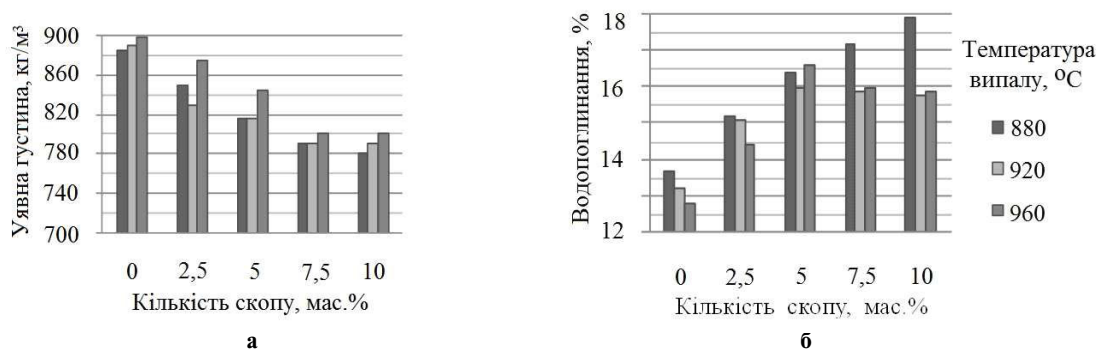


Рис. 10. Показники властивостей керамічних зразків з добавкою скопу після випалу при різних температурах: а – уявна густина; б – водопоглинання

Результати досліджень основних властивостей мас та зразків наведені на рис. 11 та 12.

З отриманих даних видно, що введення золи в кількості від 4 до 10 мас.% практично не змінює властивості керамічних мас – лише незначно зменшуються повітряна усадка та чутливість до сушіння. Зазначене можна пояснити тим, що зола має кульоподібну форму, тому добре розподіляється в усьому об'ємі маси, сприяючи її рухливості та формуванню щільної упаковки ще під час екструзії напівфабрикату.

На рис. 12, де представлені властивості

випалених при різних температурах зразків, видно, що показники водопоглинання проходять через екстремум і максимальні значення (16,8–17,1%) зафіксовано для зразків із вмістом 6 мас.% золи після випалу при 920–960 °C. При збільшенні кількості золи інтенсифікується рідкофазне спікання, зразки ущільнюються та їх водопоглинання зменшується. Не менш важливою є та обставина, що збільшення вмісту золи сприяє зменшенню уявної густини випаленого зразка, що свідчить про покращення його теплоізоляційних властивостей.

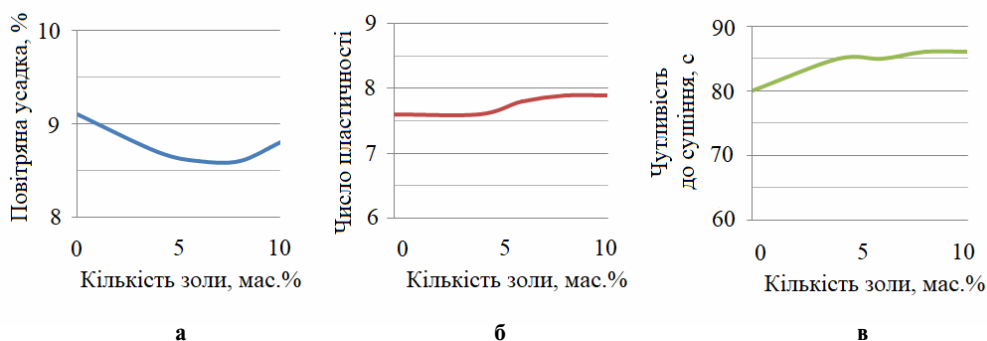


Рис. 11. Вплив добавки золи ТЕС на: а – повітряну усадку; б – пластичність; в – чутливість до сушіння керамічних мас

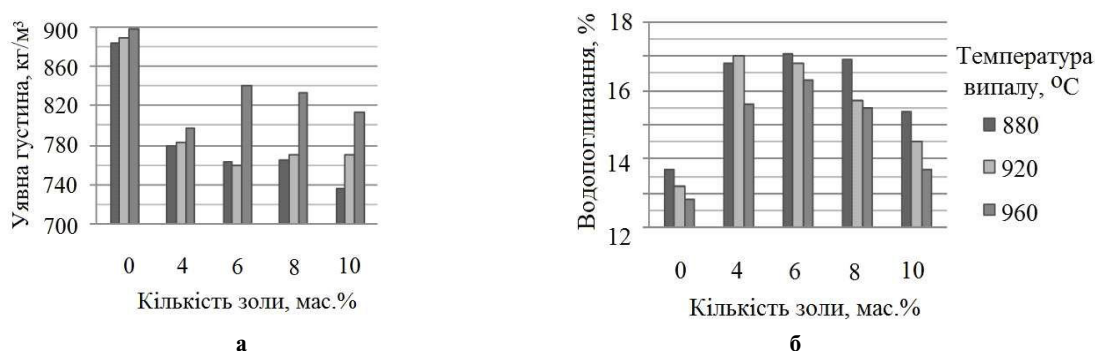


Рис. 12. Показники властивостей керамічних зразків з добавкою золи після випалу при різних температурах: а – уявна густина; б – водопоглинання

Таблиця 2

Вплив комплексної добавки на властивості керамічної маси та випалених зразків

Властивість	Наявність комплексної добавки	
	Без добавки	З добавкою
Керамічна маса		
Усадка повітряна, %	8,8	8,6
Число пластичності	8,9	7,8
Чутливість до сушіння, с	63	86
Випалені при 960 ⁰ С зразки		
Усадка повна, %	8,9	8,9
Уявна густина, кг/м ³	898	814
Водопоглинання, %	12,8	13,7
Механічна міцність при стиску, МПа	3,8	9,2
Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м ⁰ С)	0,570	0,209

Для зразків з комплексною добавкою були також виміряні механічна міцність при стиску (рис. 13) та теплопровідність (табл. 2).

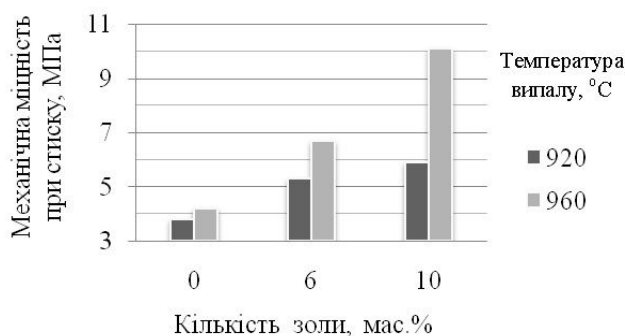


Рис. 13. Вплив добавки золи на механічну міцність при стиску

З наведених даних видно, що при введенні золи до складу маси значно збільшується міцність зразків при стиску: з 3,8–4,1 МПа до 6–10 МПа. Це пояснюється утворенням більш однорідної поруватої структури матеріалу за рахунок рівномірного розподілення часток золи за об'ємом. Окрім того, при температурах 920–960⁰С, частинки золи покращують рідкофазне спікання маси, за рахунок чого підвищується площа контакту та міцність зчеплення часток керамічного черепка.

Теплопровідність дослідних зразків зменшується з 0,570 до 0,209 Вт/(м⁰С), оскільки часточки золи мають форму полів сфер, що сприяє формуванню рівномірної мікропористості спеченого керамічного матеріалу. Отримані показники теплопровідності відповідають показникам теплоізоляційної кераміки [3].

Отже, можна стверджувати, що ефективним з точки зору покращення теплоізоляційних

властивостей поризованого блоку є використання керамічної маси, яка містить, мас. %: 10 – тирси, 5 – скопу та 8 – золи ТЕС, інше – суглинок. Зазначене дозволяє змінити властивості випаленого керамічного матеріалу в наступних межах (табл. 2).

Завдяки підібраній комплексній добавці, у керамічної маси практично не змінюються усадка та пластичність, але значно знижується чутливість до сушіння: час появи тріщин при різкому нагріванні збільшується з 63 до 86 с, що особливо важливо, зважаючи на розмір крупногабаритних блоків.

Враховуючи те, що у масу введено до 23 мас. % поризуючих добавок, очікуваним було зниження механічної міцності керамічних зразків у порівнянні зі зразками без добавок, але механічна міцність при стиску дослідних зразків навпаки – зросла від 3,8 до 9,2 МПа, що обумовлено не тільки вигоряючою, а й спікаючою дією комплексної добавки. Окрім того, вдалось зменшити коефіцієнт теплопровідності виробів до 0,209 Вт/(м⁰С).

При вивченні мікроструктури керамічних зразків без добавок та з комплексною добавкою, видно (рис. 14), що в обох випадках має місце добре спечений стан керамічного черепка. Структура однорідна, всі складові добре усереднені.

Але зразок з добавкою має більшу мікропористість у порівнянні зі зразком без добавки, що пояснює зниження теплопровідності матеріалу. На рис. 14,б добре видно, що в конгломераті основної склокерамічної маси містяться округлі ізольовані пори розміром 1,5–6,0 мкм, тоді як зразок на рис. 14, а має розмір пор значно більший 5 мкм, причому вони поєднуються між собою.

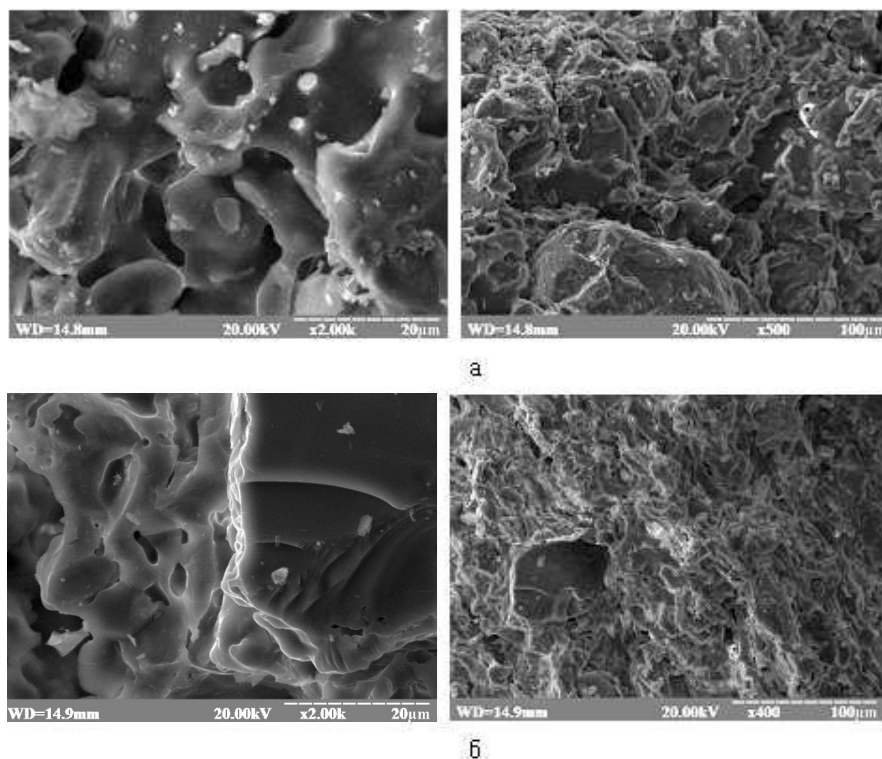


Рис. 14. Мікроструктура дослідних зразків: а – без добавки; б – з комплексною добавкою

Висновки

Виконано порівняльний аналіз поведінки при нагріванні таких поризуючих добавок, як тирса, скоп та зола ТЕС. Встановлено, що під час термічної обробки ці добавки вигоряють в широкому температурному інтервалі (від 250 до 800°C) з виділенням тепла. Використання комплексної поризуючої добавки, що містить 10 мас.% тирси, 5 мас.% скопу та 8 мас.% золи ТЕС забезпечує формування однорідної пористої структури керамічних виробів, що призводить до покращення їх теплоізоляційних властивостей. Також необхідно відзначити, що виділення тепла внаслідок вигорання добавок сприяє економії палива при випалі виробів, що є актуальним в сучасних умовах економії енергоресурсів.

Важливим результатом роботи є те, що використання рекомендованої за результатами досліджень комплексної поризуючої добавки дозволяє знизити уявну густину та суттєво (в 4,0–4,5 рази) підвищити механічну міцність при стиску поризованих блоків, виготовлених на основі верхньосироватського суглинку.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гринфельд Г.И., Вишневецкий А.А. Кирпич и камни с высокой пористостью в облицовочной кладке наружных стен // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2016. – № 11 (50). – С.22-36.
2. *Impact of climatic factors on evaporative cooling of porous building materials* / Z. Lei, P. Zhenhao, Z. Yu, M. Qinglin // *Energy Build.* – 2018. – Vol.173. – P.601-612.
3. *Duggal S.K. Building materials.* – New York: Taylor & Francis, 2007. – 525 p.
4. *Производство поризованных керамических материалов с использованием выгорающих добавок на основе торфа* / Н.В. Гревцев, С.Я. Давыдов, И.А. Тяботов, Л.Н. Олейникова // *Новые огнеупоры.* – 2017. – № 8. – P.11-14.
5. *Valorization of biodiesel production residues in making porous clay brick* / Eliche-Quesada D., Martinez-Martinez S., Perez-Villarejo L., Iglesias-Godino F.J., Martinez-Garcia C., Corpas-Iglesias F.A. // *Fuel Process. Technol.* – 2012. – Vol.103. – P.166-173.
6. *Sutcu M., Akkurt S. The use of recycled paper processing residues in making porous brick with reduced thermal conductivity* // *Ceram. Int.* – 2009. – Vol.35. – P.2625-2631.
7. *Recycling of sawdust, spent earth from oil filtration, compost and marble residues for brick manufacturing* / D. Eliche-Quesada, F.A. Corpas-Iglesias, L. Perez-Villarejo, F.J. Iglesias-Godino // *Construct. Build. Mater.* – 2012. – Vol.34. – P.275-284.
8. *Incorporation of paper sludge in clay brick formulation: ten years of industrial experience* / J.A. Cusido, L.V. Cremades,

C. Soriano, M. Devant // *Appl. Clay Sci.* – 2015. – Vol.108. – P.191-198.

9. Korjakins A., Upeniece L., Bajare D. Heat insulation materials of porous ceramics, using plant filler // 4th International Conference «Civil Engineering». – 13 Proceedings. – Part I Construction and Materials. – Latvia, Jelgava. – 2013. – P.169-175.

10. *Eco-friendly* fired clay brick manufactured with agricultural solid waste / O. Kizinievic, V. Kizinievic, I. Pundiene, D. Molotokas // *Arch. Civ. Mechan. Eng.* – 2018. – Vol.18. – P.1156-1165.

11. *Recycling* wastes from ozokerite production in large-tonnage energy-conserving technology for fabricating construction ceramic / E.S. Khomenko, V.V. Koleda, O.A. Mirshavka, V.R. Ripak // *Glass Ceram.* – 2014. – Vol.71. – P.124-127.

12. Гузман И.Я. Практикум по технологи керамики. – М.: Стройматериалы, 2004. – 195 с.

13. *Technological* particularities of clinker brick production / V.V. Koleda, E.S. Mikhailiyuta, E.V. Alekseev, E.S. Tsybul'ko // *Glass Ceram.* – 2009. – Vol.66. – P.132-135.

14. Martinez C., Cotes T., Corpas F.A. Recovering wastes from the paper industry: development of ceramic materials // *Fuel Process. Technol.* – 2012. – Vol.103. – P.117-124.

Надійшла до редакції 11.12.2018

DEVELOPMENT OF A COMPLEX BURNABLE ADDITIVE FOR MANUFACTURE OF POROUS BUILDING CERAMICS WITH HIGH STRENGTH

O.S. Khomenko ^{a,*}, N.M. Sribniak ^b, S.O. Hretsai ^c, I.F. Teliushchenko ^c, V.D. Ivchenko ^b, V.V. Dushyn ^b

^a Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnipro, Ukraine

^b Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

^c Limited Liability Company «Kerameya», Sumy, Ukraine

* e-mail: elenah@ukr.net

The work was aimed at improving the production technology of porous ceramic blocks and improving their operational properties. It was established that the introduction of a complex of burning additives, which contains the wastes of pulp and paper industry, ash from thermal power-station and sawdust, into the composition of ceramic mass allows intensifying the processes of drying of semi-finished products and firing of finished products. The specified additives burn out at different temperatures during burning process and emit heat, which promotes reducing fuel consumption and allows saving energy. When the additives burn out, a porous structure of products is formed which leads to the improvement of their thermal insulation capacity. It is important that the selected complex of additives ensures an increase in the mechanical strength of the products by almost 4–4.5 times as compared with the products of the base composition. The rational amounts of additive components (relative to 100 wt.% ceramic mass) are as follows (wt.%): 10 sawdust, 5 wastes of pulp and paper industry, and 8 ash. The main properties of porous blocks are as follows: the density of 814 kg m⁻³, the water absorption of 13.7%, the mechanical compressive strength of 9.2 MPa, and the thermal conductivity of 0.29 W (m °C)⁻¹.

Keywords: wastes of pulp and paper industry; sawdust; ash;

porous hollow ceramics; burnable additive; roasting; water absorption; mechanical strength; structure.

REFERENCES

1. Grinfel'd G.I., Vishnevskiy A.A. Kirpich i kamni s vysokoi pustotnost'yu v oblitsovochnoi kladke naruzhnykh sten [Brick and stones with high hollowness in facing laying of outside walls]. *Stroitel'stvo Unikal'nykh Zdanii i Sooruzhenii*, 2016, no. 11 (50), pp. 22-36. (in Russian).

2. Lei Z., Zhenhao P., Yu Z., Qinglin M. *Impact of climatic factors on evaporative cooling of porous building materials*. *Energy and Buildings*, 2018, vol. 173, pp. 601-612.

3. Duggal S.K., *Building materials*. Taylor & Francis, New York, 2007. 525 p.

4. Grevtsev N.V., Davydov S.Y., Tyabotov I.A., Oleinikova L.N. Proyzvodstvo poryzovannykh keramicheskikh materialov s ispol'zovaniem vygorayushchikh dobavok na osnove torfa [The production of the porous ceramic materials with the using of the peat-based burning additions]. *Novye Ogneupory (New Refractories)*, 2017, no. 8, pp. 11-14. (in Russian).

5. Eliche-Quesada D., Martinez-Martinez S., Perez-Villarejo L., Iglesias-Godino F.J., Martinez-Garcia C., Corpas-Iglesias F.A. Valorization of biodiesel production residues in making porous clay brick. *Fuel Processing Technology*, 2012, vol. 103, pp. 166-173.

6. Sutcu M., Akkurt S. The use of recycled paper processing residues in making porous brick with reduced thermal conductivity. *Ceramics International*, 2009, vol. 35, pp. 2625-2631.

7. Eliche-Quesada D., Corpas-Iglesias F.A., Perez-Villarejo L., Iglesias-Godino F.J. Recycling of sawdust, spent earth from oil filtration, compost and marble residues for brick manufacturing. *Construction and Building Materials*, 2012, vol. 34, pp. 275-284.

8. Cusido J.A., Cremades L.V., Soriano C., Devant M. Incorporation of paper sludge in clay brick formulation: ten years of industrial experience. *Applied Clay Science*, 2015, vol. 108, pp. 191-198.

9. Korjakins A., Upeniece L., Bajare D., Heat insulation materials of porous ceramics, using plant filler. *Proceedings of the 4th International Conference «Civil Engineering». Part I Construction and Materials*. Latvia, Jelgava, 2013, pp. 169-175.

10. Kizinievic O., Kizinievic V., Pundiene I., Molotokas D. *Eco-friendly* fired clay brick manufactured with agricultural solid waste. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 2018, vol. 18, pp. 1156-1165.

11. Khomenko E.S., Koleda V.V., Mirshavka O.A., Ripak V.R. Recycling wastes from ozokerite production in large-tonnage energy-conserving technology for fabricating construction ceramic. *Glass and Ceramics*, 2014, vol. 71, pp. 124-127.

12. Guzman I.Ya., *Praktikum po tekhnologii keramiki* [Practical works on technology in ceramic production]. Stroymaterialy Publishers, Moscow, 2004. 195 p. (in Russian).

13. Koleda V.V., Mikhailiyuta E.S., Alekseev E.V., Tsybul'ko E.S. Technological particularities of clinker brick production. *Glass and Ceramics*, 2009, vol. 66, pp. 132-135.

14. Martinez C., Cotes T., Corpas F.A. Recovering wastes from the paper industry: development of ceramic materials. *Fuel Processing Technology*, 2012, vol. 103, pp. 117-124.