

ОСОБЛИВОСТІ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ ВСПІНЕНИХ АЛЮМОСИЛКАТНИХ В'ЯЖУЧИХ РЕЧОВИН І ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ ПОРИЗОВАНИХ БЕТОНІВ НА ЇХ ОСНОВІ*

© Гузій С.Г., 2007

Досліджено фізико-хімічні процеси структуроутворення, які відбуваються в поризованих матеріалах на основі лужної алюмосилкатної в'язучої речовини та в поризованому бетоні на її основі. Показано, що процеси відбуваються за рахунок синтезу в складі продуктів гідратації низькоосновних гідросилікатів кальцію групи CSH(B) і цеолітоподібних новоутворень типу анальциму, цеоліту Р, натроліту тощо, а після дегідратації – новоутворень, які представлені воластонітом, альбітом і безводними натрієвими алюмосилкатами. Показано, що такий склад новоутворень приводить до формування стабільної безусадкової структури штучного каменю як за нормальних умов тверднення і експлуатації, так і за дії підвищених температур.

Physical and chemical processes of structurization which occur in porous materials on the basis of alkaline alumina silicate binders and in porous concrete on its basis are investigated. It is shown, that processes of structurization occur due to synthesis in structure of products of hydration low basic hydrosilicates of calcium of group CSH (B) and zeolitic new formation type analcite, zeolite P, natrolite and others, and the ambassador dehydration – new formation which are submitted wollastonite, albite and waterless sodium alumina silicate. It is shown, that such structure new formation results in formation stable nonshrinking structures of an artificial stone as under normal conditions hardening and operation, and at action of the raised temperatures.

Постановка проблеми. Аналіз інформації в області синтезу штучного каменю на основі лужних алюмосилкатних в'язучих речовин [1–4] та інформації щодо відносного дефіциту на ринку України ефективних теплоізоляційних матеріалів спеціального призначення дає змогу висунути гіпотезу про можливість направленої регулювання процесом структуроутворення в системі “Поризована алюмосилкатна в'язуча речовина – наповнювач” на мікро- та макрорівнях з метою отримання штучного каменю низької середньої густини з регульованими експлуатаційними та підвищеними термомеханічними характеристиками

Встановлені раніше [5–8] закономірності щодо формування структури композиційних матеріалів були реалізовані в розробці сучасних композиційних матеріалів спеціального призначення: вогнезахисті покриття, що спучуються, ефективні пористі заповнювачі для легких бетонів та утеплюючої засипки, жаростійких теплоізоляційних матеріалів, низьковипалювальних матеріалів типу піноскла.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В Україні, що має потужну мережу централізованого теплопостачання, крізь поверхню трубопроводів втрачається близько 16 % теплової енергії, яка відпускається споживачам, що у 1,5–2 рази вище, ніж у ведучих європейських країнах. Такі високі втрати обумовлені не тільки кліматичними умовами, але й порівняно невисокими експлуатаційними характеристиками матеріалів та виробів, що використовуються для теплоізоляції

* Робота виконана по гранту INTAS № 04-82-7055.

труб, котлів та інших видів теплового обладнання, низькою якістю монтажних робіт. Техніко-економічна ефективність теплоізоляції поверхонь визначається комплексом показників, серед яких поряд із теплоізоляційними характеристиками матеріалів та виробів повинні братися до уваги їх атмосферостійкість, незмінність геометричних розмірів, зручність та небезпечність виготовлення, монтажу, витрати на ремонтно-відновлювальні роботи.

У сучасних умовах експлуатація промислових теплових агрегатів неможлива без використання ефективних теплоізоляційних матеріалів, які характеризуються підвищеною теплоізолювальною здатністю, особливо, враховуючи все зростаючу вартість теплоносіїв та підвищення вимог до теплоізоляції. Це потребує постійного розширення номенклатури теплоізоляційних матеріалів підвищеної якості, створення нових технологій виробництва високоефективних теплоізоляційних матеріалів.

Сьогодні найбільш відомі такі матеріали, як мінеральна вата, азбестові матеріали, пінополіуретани, пінопласти, керамзитопінобетони, жаростійкі газобетони. Але ці матеріали мають недоліки, насамперед такі, як недостатньо низька середня густина, потреба в дефіцитній сировині, складна та енергомістка технологія виготовлення, високий коефіцієнт теплопровідності, недовговічність тощо.

Основними теплоізоляційними матеріалами, що зараз широко використовуються для теплової ізоляції гарячих поверхонь трубопроводів, найчастіше є мінераловатні вироби, які мають невисоку хімічну та гідролітичну стійкість внаслідок низького модуля кислотності, що знижує термін дії ізоляційного покриття. Зверху теплоізоляційний шар вкривають захисним покриттям, призначеним для попередження теплоізоляції від атмосферного впливу та механічних впливів. Як захисні покриття використовують рулонні гідроізоляційні матеріали, склотканину або більш надійну та дорожчу листову сталь. Рулонне покриття, що вкладене на м'яку волокнисту теплоізоляцію, переважно проривається, зменшуючи термін використання захисної конструкції загалом. Також мінеральна вата з плином часу деструктується – дає усадження, утворюючи незахищений від втрат тепла простір.

Пінополіуретанова ізоляція у вигляді шкаралуп або така, що утворюється методом напилення, широко використовується і є високоефективною за теплофізичними показниками, відрізняється порівняно високою собівартістю, несприятливими умовами виготовлення, має обмеження за температурою використання (не більше 120 °C) та терміну експлуатації (не більше 10 років).

Полістирольний пінопласт є горючим матеріалом, що обмежує область його використання.

Теплоізоляційний поризований бетон, якому властиве оптимальне співвідношення фізико-технічних властивостей дає змогу широко використовувати його та виключати основні недоліки, притаманні матеріалам на основі мінеральної вати та пінополіуретанових і пінополістирольних виробів. А коефіцієнт екологічності ніздрюватого бетону становить 2 та поступається тільки деревині (коефіцієнт 1). Для порівняння коефіцієнт екологічності цегли становить 10, керамзитобетону – 22 [9].

Використання таких бетонів забезпечує багато переваг під час будівництва та експлуатації теплових агрегатів. Це значна економія матеріалів та технологічного палива; можливість збільшувати габарити елементів для збирання конструкцій футерувань, знижувати їх масу; виготовляти монолітні конструкції футерувань з підвищеною теплоізолювальною здатністю; інтенсифікувати технологічні процеси; ефективно захищати будівельні конструкції та технологічне обладнання від шкідливої дії високих температур; створювати нормальні умови праці обслуговуючого персоналу в гарячих цехах.

Також вони можуть використовуватись в парових котлах електростанцій, для футерувань вагонеток тунельних печей, в трубчастих підігрівачах на заводах нафтової промисловості, для повітропроводів, димових труб тощо.

Виробництво ефективного за теплофізичними параметрами поризованого бетону низьких марок за середньою густиною є проблемним із-за складності забезпечення стабільної тонко дисперсної ніздрюватої структури та високої міцності, що залежать від рецептурно-технологічних факторів.

Збільшення міцності за постійної густини може бути досягнуто за рахунок підвищення однорідності ніздрюватої структури та міцності поризованого бетону. А саме – за рахунок

використання ефективних піноутворювачів та стабілізаторів структури піни, розробки нових видів в'язучих речовин, зниження водотвердого відношення тощо. Використання технологічних прийомів може ускладнити технологічний процес, тому їх впровадження повинно бути обґрунтоване техніко-економічною доцільністю [10].

Якість ніздрюватого бетону значною мірою залежить від способу обробки (автоклавна чи неавтоклавна). Слід зазначити, що переважно структурна міцність автоклавного ніздрюватого бетону на один – два класи (15–25 %) вища, ніж у неавтоклавного ніздрюватого бетону, але сьогодні відомі шляхи підвищення міцності неавтоклавного бетону. Неавтоклавний бетон має вологісне усадження у 2–4 рази більше, ніж у автоклавного. Переважно вироби з неавтоклавного ніздрюватого бетону мають низьку тріщиностійкість, що знижує довговічність будівельних виробів та гальмує розвиток виробництва неавтоклавного ніздрюватого бетону, особливо в монолітному будівництві. Вищеперелічені проблеми є істотними і до недавнього часу стримували його конкурентоспроможність.

Однак у неавтоклавного ніздрюватого бетону є багато переваг перед автоклавним. Так, пориста структура ніздрюватого бетону повністю формується у дуже короткий проміжок часу в умовах інтенсивних динамічних впливів (механічного перемішування). Тому температура зовнішнього середовища, точність дозування компонентів, постійність властивостей в'язучого та заповнювача не здійснюють такого великого впливу на кінцеві властивості матеріалу, як в технології автоклавних ніздрюватих бетонів. Більше того, головний показник ніздрюватого бетону – середня густина – легко корегується безпосередньо під час технологічного процесу. А ліквідувати вологісне усадження вдається за рахунок введення до складу поризованого бетону меленого доменного шлаку, який значно прискорює терміни тужавіння бетонної суміші, фіксуючи ніздрювату структуру, та управляє процесом тверднення.

Усі необхідні властивості ніздрюватий бетон отримує в нормальних умовах за температури не нижче +10...+15 °С. При цьому виключаються витрати палива та приблизно в 10 разів знижуються витрати електроенергії. Відсутність автоклавної та тепловологої обробки дає змогу виробляти ніздрюватий бетон з порівняно невеликими виробничими затратами (м³ ніздрюватого бетону у 2–2,5 рази дешевший від аналогічного об'єму цегли та автоклавного ніздрюватого бетону).

Мета роботи – дослідити особливості фізико-хімічних процесів структуроутворення вспінених алюмосилікатних в'язучих речовин і теплоізоляційних поризованих бетонів на їх основі.

Методи досліджень і матеріали. У роботі для отримання пінобетону, іншими словами, *безвипалювального теплоізоляційного матеріалу* в лабораторних умовах як в'язучу речовину використовували лужне алюмосилікатне зв'язуюче (ТУ У В.2.7-16403272.001); як затверджувач – шлак доменний гранульований мелений до $S_{шт.} \leq 350$ м²/кг по Блейну (ГОСТ 3476); як піноутворювач – ПБ-2000 (ТУ 2481-185-05744685-01), а як заповнювач – спучений перлітовий пісок (ГОСТ 10832) такого гранулометричного складу: фр. 5–10 мм – 4,32 %, фр. 2,5–5 мм – 90,5 %, фр. 1,25–2,5 мм – 4,76 %, фр. 0–1,25 мм – 0,42 %, який характеризувався насипною густиною у 115,5 кг/м³.

Зразки матеріалу, які виготовляли методом заливання пінобетонної суміші в форми з розміром ребер 10×10×10 см, витримували в нормальних умовах протягом однієї доби. Після чого їх підсушували в лабораторній сушильній шафі за температури 100 °С протягом доби та випалювали за температури 800 °С протягом 2 годин. За аналогією з вищезазначеним, виготовляли і зразки вспіненої лужної алюмосилікатної в'язучої речовини, яку заливали у форми з розміром ребер 4×4×4 см.

Склад новоутворень вспінених лужних алюмосилікатних в'язучих і пінобетону та продуктів їх дегідратації вивчали за допомогою рентгенофазового, диференційно-термічного та термогравіметричного аналізів.

Рентгенофазовий аналіз проводили на дифрактометрі ДРОН-3М з мідною трубкою за напруги 30 кВ, струму 20 мА та діапазону кутів $2\theta = 10...60^\circ$ за швидкості обертання лічильника 2° на хвилину. Ідентифікацію новоутворень проводили на основі даних, вказаних у [11–15].

Комплексний диференційно-термічний та термогравіметричний аналізи проводили на дериватографі системи Р. Паулік, І. Паулік, Л. Ердей фірми MOM (Будапешт). Нагрівання зразків проводили із швидкістю 10° на хвилину до температури 500 і 700 °С. Як еталон використовували прожарений технічний глинозем. Мікроструктуру штучного каменю визначали за допомогою електронного мікроскопа “РЭММА-101А”. Отримані дані трактували відповідно до [16–19].

Результати досліджень. Відомо, що отримання ніздрюватого бетону низької середньої густини та допустимої міцності за стиску або *безвипалювального теплоізоляційного матеріалу* є найскладнішим технологічним завданням. У такого матеріалу 90–96 % об’єму займають повітряні та капілярні пори, тому міжпоровий “скелет” повинен бути міцним. Досягти цього параметра можливо тільки тоді, коли використовують якісні матеріали та раціонально підбирають склад, який вже на стадії формування масиву повинен забезпечити безусадкову структуру, а на стадії розрізання масиву на вироби – необхідну міцність сирця бетону [20–29, 31–33].

За нашими даними, макроструктура отриманого штучного каменю на основі вспіненої лужної алюмосилікатної в’язучої речовини (рис. 1, а) являє собою рівномірний розподіл пор різного діаметра в об’ємі конгломерату. Пори з’єднані між собою тонкими пористими перегородками алюмосилікатного складу. Макроструктура поризованого бетону (рис. 1, б) являє собою рівномірний розподіл гранул заповнювача в поризованій алюмосилікатній матриці та характеризується дрібною пористістю з переважною більшістю замкнених пор.

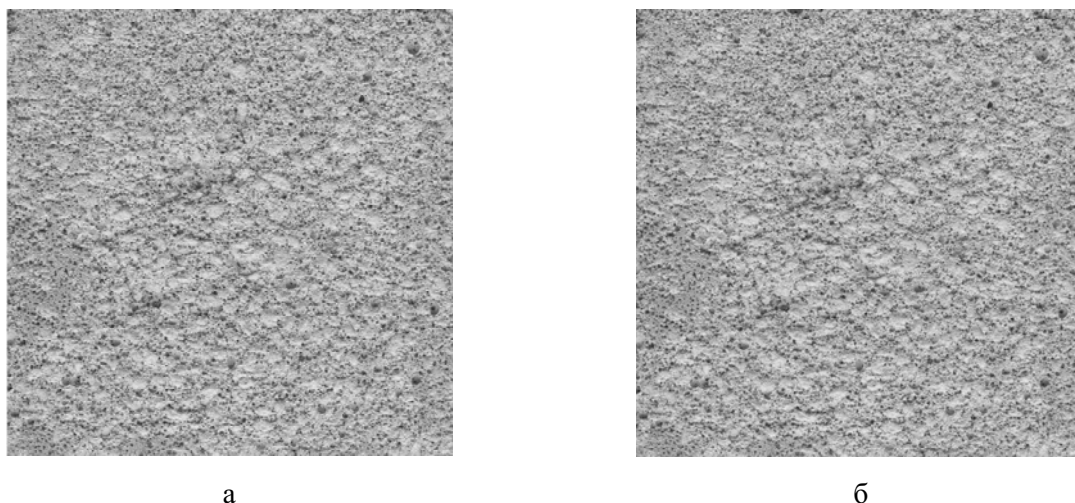


Рис. 1. Макроструктура поризованої лужної алюмосилікатної в’язучої речовини (а) і поризованого бетону, отриманого на її основі, наповненого спученим перлітовим піском

Пори та частинки вспученого перлітового піску з’єднані між собою тонкими пористими перегородками алюмосилікатного складу.

За даними рентенофазового аналізу склад новоутворень як у поризованій алюмосилікатній в’язучій речовині, так і в бетоні на її основі однаковий (рис. 2, а, б). Після сушіння зразків за температури 100 °С (рис. 2, а, б, кр. 1) в складі продуктів новоутворень поризованої матриці та бетону на її основі зафіксовано незначну кількість низькоосновних гідросилікатів кальцію типу CSH(B) ($d=0.28; 0.24; 0.183$ нм), утворення якого підтверджується даними ІЧС (рис. 3, а, б, кр. 1), на кривій якої зафіксовані спектри поглинання з частотами 1000, 1493, 1697, 3598 cm^{-1} . Окрім вище зазначеного новоутворення, на кривій РФА зафіксовані дифракційні сплески новоутворень, подібних до цеолітів: анальниму $\text{Na}\{\text{AlSi}_2\text{O}_6\}\cdot\text{H}_2\text{O}$ ($d=0.62; 0.304; 0.296; 0.269; 0.251; 0.191; 0.182$ нм), гмелініту $(\text{Na}_2, \text{Ca})\{\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_8\}\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ($d=0.62; 0.329; 0.295; 0.272; 0.229; 0.191; 0.183$ нм), гароніту $\text{NaCa}_{2.5}\{\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_8\}13.5\text{H}_2\text{O}$ ($d= 0.719; 0.407; 0.324; 0.314; 0.287; 0.269$ нм), Na – гароніту типу P₂ ($d= 0,505; 0,410; 0,275; 0,198; 0,196; 0,192; 0,184; 0,176; 0,166; 0,163; 0,161; 0,159$ нм), жисмондіну $\text{Ca}\{\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_6\}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ($d=0.72; 0.313; 0.305; 0.27; 0.251; 0.246; 0.228; 0.191$ нм), цеоліту P ($d= 0,82; 0,72; 0,56; 0,50; 0,45; 0,365; 0,335; 0,324; 0,302; 0,296; 0,260$ нм).

Також на кривій РФА фіксуються сплески натроліту $\text{Na}_{16}\{\text{Al}_{16}\text{Si}_{24}\text{O}_{80}\}\cdot 16\text{H}_2\text{O}$ ($d=0.439$; 0.39 ; 0.295 ; 0.276 нм) та Na – шабазиту ($d=0.693$; 0.557 ; 0.466 ; 0.392 ; 0.361 ; 0.270 ; 0.260 ; 0.209 нм).

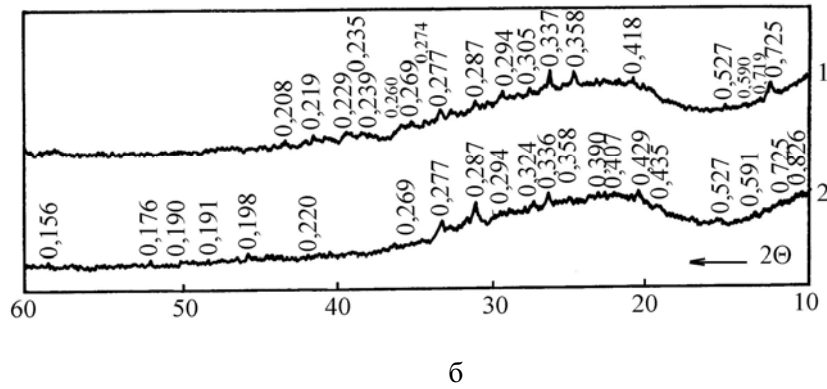
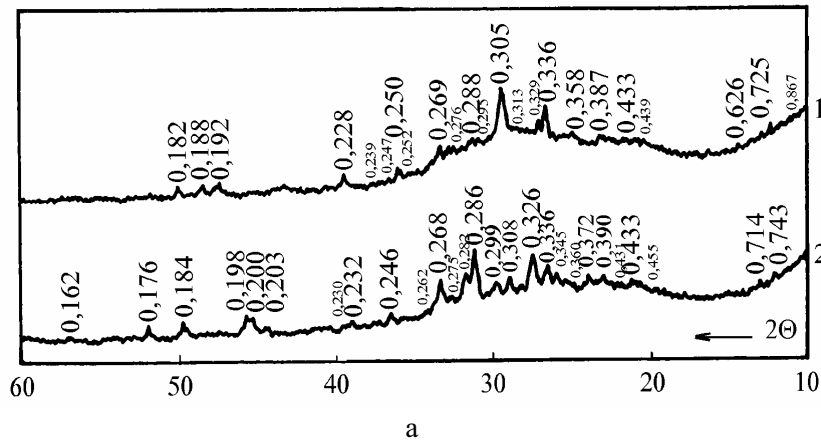


Рис. 2. Рентгенограми поризованої в'язучої композиції на основі ЗЛА-25(а) і поризованого бетону на основі в'язучої композиції ЗЛА-25 і вступеного перлітового піску після термообробки за температур, °С: 1 – 100; 2 – 800

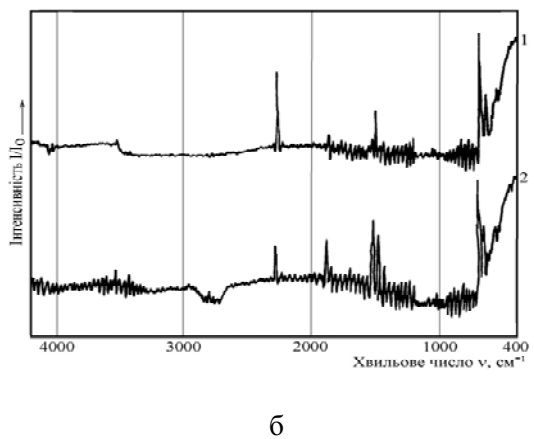
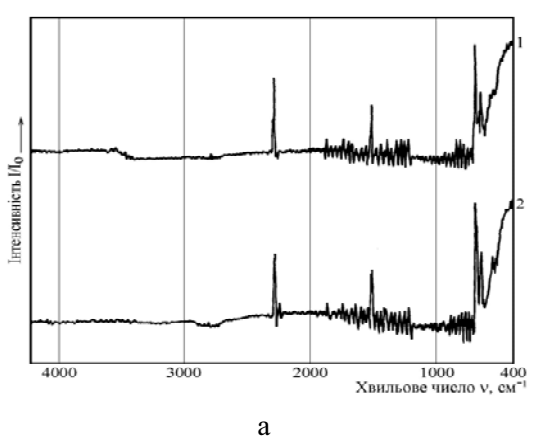


Рис. 3. ІЧ-спектрограми поризованої в'язучої композиції на основі ЗЛА-25(а) і поризованого бетону на основі в'язучої композиції ЗЛА-25 і вступеного перлітового піску після термообробки за температур, °С: 1 – 100; 2 – 800

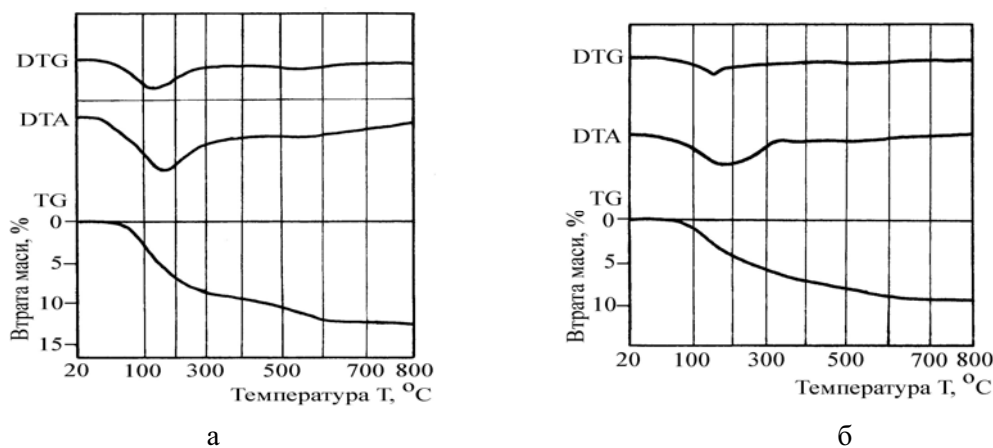


Рис. 4. Дериватограми поризованої в'язучої композиції на основі ЗЛА-25 (а) і поризованого бетону на основі в'язучої композиції ЗЛА-25 і вспученого перлітового піску (б)

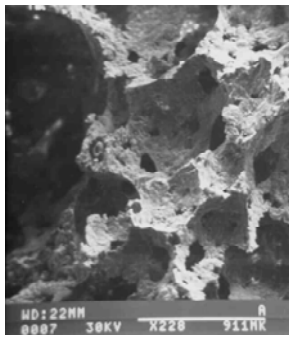
Дані ДТА (рис. 4, а, б) підтверджують наявність анальциму у складі продуктів гідратації за характером зміни кривої ДТА, яка є характерною для цього мінералу, що підтверджується даними з [13–15, 30], та шабазиту, для яких є характерною неперервна втрата маси від 14,7 до 23 % в інтервалі температур 25–400 °С, що підтверджується даними [11, 16–18, 30].

Після випалу зразків за температури 800 °С склад новоутворень поданий аморфізованими безводними алюмосилікатними структурами (рис. 2, а, б, кр. 2), склад яких близький до складу альбіту та анальциму. Втрата маси (не більше 5 %) характерна для цеолітоподібних новоутворень типу анальциму (рис. 4, б) і відбувається неперервно в інтервалі температур 20–500 °С. За підвищення температури випалу матеріалу до температури 800 °С склад продуктів дегідратації штучного каменю (рис. 2, а, б, кр. 2) поданий безводними алюмосилікатними сполуками типу альбіту $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ($d=0,638; 0,403; 0,366; 0,323; 0,317; 0,296; 0,258; 0,243; 0,213; 0,189; 0,185; 0,182; 0,178; 0,174$ нм), $\text{NaAlSi}_2\text{O}_8$ ($d=0,559; 0,377; 0,365; 0,337; 0,316; 0,285; 0,278; 0,264; 0,253; 0,233; 0,218$ нм). В складі продуктів дегідратації фіксується наявність воластоніту (β -CS) ($d=0,351; 0,308$ нм), що підтверджується даними ІЧ-спектроскопії (рис. 3, а, б, кр. 2), на кривій якої зафіксовано спектри поглинання за частот 557, 636, 927 і 1092 cm^{-1} .

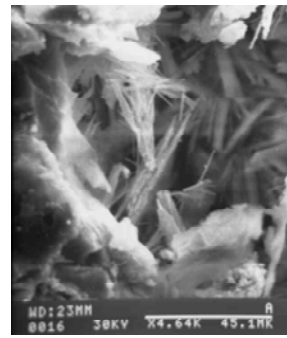
Дослідження мікроструктури (рис. 5) поризованого штучного каменю на основі ЗЛА-25 за допомогою електронного мікроскопа показало: після сушіння зразків за температури 100 °С (рис. 5, а, б) штучний камінь характеризується наявністю пор різного діаметра, які з'єднуються між собою тонкими пористими перегородками. У порах зафіксовано утворення кристалів цеолітів типу анальциму (ромбогендричні призми), Na-шабазиту (голчасті призми). Після термообробки зразків поризованої алюмосилікатної матриці за $T=800$ °С макроструктура штучного каменю (рис. 5, в) щільна, з рівномірно розподіленими замкнутими порами, розмір яких становить від 0,06 до 0,12 мм.

Аналіз мікроструктури (рис. 5, з) показує наявність кристалоподібних фаз, які характерні для продуктів дегідратації цеолітоподібних новоутворень типу Na-шабазиту та сфероїдальних утворень, характерних для продуктів дегідратації, цеоліту Р [16, 18, 19, 30] та каркаса безводних натрієвих алюмосилікатних сполук.

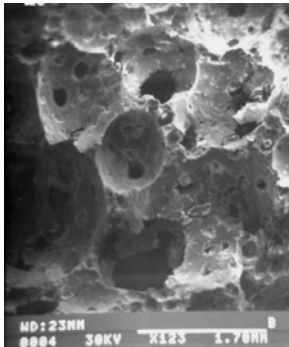
Дослідження мікроструктури (рис. 6) поризованого бетону на основі ЗЛА-25 та спученого перлітового піску за допомогою електронного мікроскопа показало: після сушіння зразків за температури 100 °С (рис. 6, а, б) штучний камінь характеризується доволі щільною структурою з порами різного діаметра, які з'єднуються між собою та частинками заповнювача тонкими пористими перегородками. У порах зафіксовано утворення кристалів цеолітів типу Na-шабазиту (призми) та цеоліту Р (сферичні кристали). Після термообробки зразків поризованої алюмосилікатної матриці за $T=800$ °С (рис. 6) макроструктура штучного каменю (рис. 6, в) щільна, з рівномірно розподіленими замкнутими порами, розмір яких становить від 0,06 до 0,12 мм.



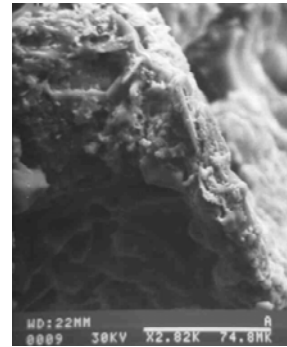
x 2280
а



x 4640
б

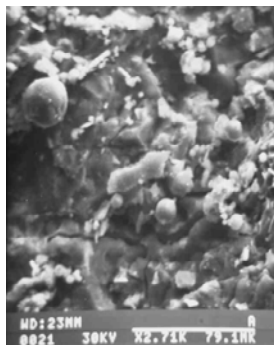


x 1230
в

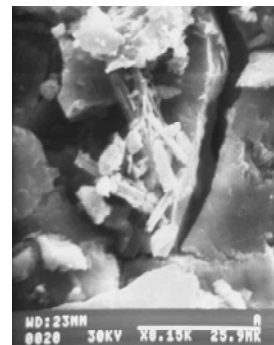


x 2820
г

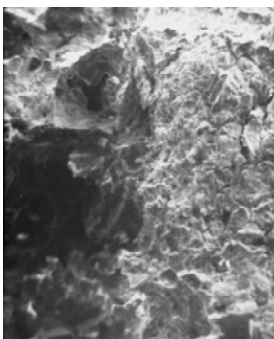
Рис. 5. Мікроструктура штучного каменю, який отримано на основі поризованої матриці ЗЛА-25 після термообробки за температур, °С:
а, б – 100; в, г – 800



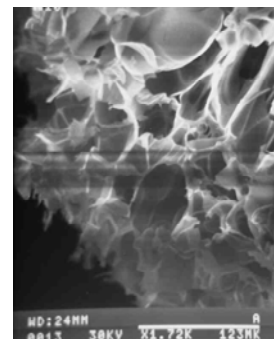
x 2710
а



x 6150
б



x 2700
в



x 4720
г

Рис. 6. Мікроструктура поризованого бетону, який отримано на основі поризованої матриці ЗЛА-25 і ступеного перлітового піску після термообробки за температур, °С:
а, б – 100; в, г – 800

Аналіз мікроструктури (рис. 6, з) показує наявність кристалоподібних фаз, характерних для продуктів дегідратації цеолітоподібних новоутворень типу Na-шабазиту та сфероїдальних утворень, характерних для продуктів дегідратації, цеоліту Р [16, 18, 19, 30] та розвинутої порової структури зі щільними перегородками.

Висновок. Досліджено фізико-хімічні процеси структуроутворення, які відбуваються в поризованих матеріалах на основі лужної алюмосилікатної в'язучої речовини та в поризованому бетоні на її основі. Показано, що процеси структуроутворення відбуваються за рахунок синтезу в складі продуктів гідратації низькоосновних гідросилікатів кальцію групи CSH(B) і цеолітоподібних новоутворень типу анальциму, цеоліту Р, натроліту тощо, а після дегідратації – новоутворень, які представлені воластонітом, альбітом і натрієвими алюмосилікатами. Показано, що такий склад новоутворень приводить до формування стабільної безусадкової структури штучного каменю як за нормальних умов тверднення і експлуатації, так і за дії підвищених температур. Отриманими даними доцільно користуватися під час розробки теплоізоляційних матеріалів, які призначені для теплоізоляції теплових агрегатів із температурою нагрівання поверхні не більше ніж 800 °С.

1. Popel G.N. *Synthesis of a mineral-like stone on alkaline aluminosilicate binders to produce materials with increased corrosion resistance* // Proc. Second Intern. Conf. "Alkaline Cements and Concretes". – Kyiv (Ukraine). – 1999. – P. 208–219. 2. Суханевич М.В. *Неорганические вспучивающие материалы на основе щелочных алюмосиликатных систем: Автореф. дис... канд. техн. наук.* – К.: КТУСА, 1997. – 15 с. 3. Гончар В.П. *Зносо-термостійкі композиційні матеріали на основі лужних алюмосилікатних в'язучих: Автореф. дис... канд. техн. наук.* – К.: КНУБА, 2000. – 20 с. 4. Ковальчук Г.Ю. *Жаростійкий газобетон на основі лужного алюмосилікатного зв'язуючого: Автореф. дис... канд. техн. наук.* – К.: КНУБА, 2002. – 22 с. 5. Кривенко П.В., Пушкарьова К.К., Суханевич М.В. *Розробка фізико-хімічних основ направлено синтезу неорганічних в'язучих в системі "Na₂O-Al₂O₃-SiO₂-H₂O" для отримання ступуваних матеріалів* // Будівництво України. – 1997. – № 2. – С. 46–49. 6. Кривенко П.В., Пушкарьова К.К., Петропавловський О.М., Гузій С.Г. *Фізико-хімічні основи отримання легких заповнювачів у системі "Na₂O-Al₂O₃-SiO₂-H₂O" // Буд. матеріали та вироб. – 2002. – № 2. – С. 5–6. 7. Кривенко П.В., Пушкарьова К.К., Петропавловський О.М., Гузій С.Г. *Низьковипалювальні теплоізоляційні матеріали на основі геоцементів* // Будівельні конструкції: Зб. наук. пр. – К.: КНДІБК, 2002. – Вип. 56. – С. 259–264. 8. Ковальчук Г.Ю. *Дослідження жаростійкості газобетону на основі лужного алюмосилікатного зв'язуючого* // Будівництво України. – 2000. – № 4. – С. 21–24. 9. Пак А.А., Крашенников О.Н., Сухорукова Р.Н. // *Строительные материалы.* – 2004. – № 3. – С. 21–23. 10. Величко Е.Г., Комар А.Г. *Рецептурно-технологические проблемы пенобетона* // *Строительные материалы.* – 2004. – № 3. – С. 26–29. 11. Овчаренко Г.И., Свиридов В.Л., Казанцева Л.К. *Цеолиты в строительных материалах.* – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2000. – 320 с. 12. Горшков В.С., Тимашев В.В., Савельев В.Г. *Методы физико-химического анализа вяжущих веществ: Учеб. пособие* – М.: Высш. шк., 1984. – 335 с. 13. *Минералогическая энциклопедия / Под ред. К. Фрея.* – Л.: Недра, 1985. – 511 с. 14. Семушин В.Н. *Рентгенографический определитель цеолитов.* – Новосибирск: Наука, 1986. – 126 с. 15. Petrov S.L. *X-ray quantitative determination of mordenite in zeolite rock* // Докл. Болг. АН. – 1984. – Т. 37. – № 2. – С. 179–182. 16. Белицкий И.А., Букин Г.В., Топор Н.Д. *Термографическое исследование цеолитов* // *Материалы по генетической и экспериментальной минералогии.* – Новосибирск: Изд-во ВО АН СССР, 1972. – Т. 7. – С. 255–309. 17. Van Reewijk L.P. *The thermal degydration of natural zeolites – Wageninpen.* – Netherlands. – Madedelingen Landboainhogeschool. – 1974. – 88 p. 18. Глуховский В.Д., Жукова Р.С. *Синтез щелочных алюмосиликатов на основе глины и гидроксида калия* // *Материалы III Всесоюз. науч. конф. "Шлакощелочные цементы, бетоны и конструкции".* – К.: КИСИ, 1989. – Т. 1. – С. 42–44. 19. *Рентгеновские методы изучения и структура глинистых минералов / Под ред. Г. Брауна.* – М.: Мир, 1965. – 509 с. 20. Гончарик В.Н., Белов И.А., Богданова Н.П., Гарнашевич Г.С. *Теплоизоляционный ячеистый бетон* // *Строительные материалы.* – 2004. – № 3. – С. 24–25. 21. Мартыненко В.А. *Основные требования к свойствам пенообразователей для производства пенобетона раздельным способом* // *Строительные материалы и изделия.* – 2001. – № 3. – С. 32–34. 22.*

Большаков В.И., Мартыненко В.А., Бурейко С.В. О методах приготовления пенобетонной смеси для производства изделий и монолитной теплоизоляции // *Строительные материалы и изделия*. – 2001. – № 5–6. – С. 35–37. 23. Глушков А.М., Удачкин В.И., Смирнов В.М. Технологическая линия по производству пенобетонных изделий // *Строительные материалы*. – 2004. – № 3. – С. 10–11. 24. Селезский А.И., Машков С.А. Технологические линии по производству газобетона автоклавного твердения ЗАО “СИЛБЕТИНДУСТРИЯ” // *Строительные материалы*. – 2004. – № 3. – С. 15–17. 25. Гончарик В.Н., Белов И.А., Богданова Н.П., Гарнашевич Г.С. Теплоизоляционный ячеистый бетон // *Строительные материалы*. – 2004. – № 3. – С. 24–25. 26. Королев А.С., Волошин Е.А., Трофимов Б.Я. Оптимизация состава и структуры конструкционно-теплоизоляционного ячеистого бетона // *Строительные материалы*. – 2004. – № 3. – С. 30–32. 27. Гусенков С.А., Смирнов В.М., Галкин С.Д., Ерофеев В.С. Производство пенобетона в России // *Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века*. – 2001. – № 3. – С. 20–21. 28. Прошин А.П., Береговой В.А., Береговой А.М., Волкова Е.А. Ячеистые бетоны для тепловой защиты зданий и сооружений // *Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века*. – 2002. – № 4. – С. 10–11. 29. Соболев Л.А., Герасименя В.П. Пеноизол. Опыт внедрения и перспективы развития // *Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века*. – 2001. – № 3. – С. 12–13. 30. Термический анализ минералов и горных пород / В.П. Иванова, Б.К. Касатов, Т.Н. Красавина, Е.Л. Розилова. – Л.: Недра, 1974. – 399 с. 31. Кривенко П.В., Гузий С.Г., Горбунова И.А. Пенобетон на основе щелочного алюмосиликатного связующего и вспученного перлитового песка // *Материалы III науч.-практ. семинара “Структура, свойства и состав бетона (вопросы теории бетоноведения и технологической практики), 11–12 ноября, Ровно*. – Ровно: РДЦНТЕІ, 2003. – С. 102–108. 32. Кривенко П.В., Гузий С.Г., Горбунова И.А. Теплоизоляционный бетон на основе поризованного щелочного алюмосиликатного связующего и вспученного перлитового песка // *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. пр.* – Рівне: УДУВГП, 2003. – Вип. 10. – С. 47–51. 33. Горбунова И.А. Теплоизоляционные материалы на основе поризованного алюмосиликатного связующего // *Материалы к 43-му Международ. семинару по моделированию и оптимизации композитов “Моделирование и оптимизация в материаловедении” (МОК’43)*. – Одесса: Астропринт, 2004. – С. 40–42.