

Кривенко П.В., Гелевера О.Г., Рогозіна Н.В.

Київський національний університет будівництва і архітектури,

Науково-дослідний інститут в'язучих речовин і матеріалів ім. Глуховського В.Д.

(Повітрофлотський пр-т, 31, Київ, 03037, Україна, e-mail: pavlo.kryvenko@gmail.com;

orcid.org/0000-0001-7697-2437, orcid.org/0000-0002-6285-9780, orcid.org/0000-0001-9621-4246)

ВПЛИВ КАОЛІНІТОВОЇ ГЛИНИ НА СТРУКТУРУ І ВЛАСТИВОСТІ ШЛАКОЛУЖНИХ ЦЕМЕНТІВ

Стаття присвячена дослідженню впливу каолінітової глини на розвиток структури і властивостей шлаколуужних цементу білого кольору. Встановлено вплив каоліну на такі характеристики шлаколуужних цементів як міцність, терміни тужавлення, білість, тепловиділення, гідратні новоутворення, ступінь зв'язування вільного луку. У даній роботі автори показали можливість ефективного управління властивостями і структуроутворенням шлаколуужних цементів за рахунок використання комплексної добавки "каолін + портландцемент". Показано позитивний всебічний вплив добавки каоліну на властивості і розвиток структури шлаколуужних цементів не тільки в стандартні, а й в більш віддалені терміни твердіння.

Ключові слова: каолін, комплексна добавка, зв'язування вільного луку, структуроутворення, тепловиділення.

Актуальність проблеми. Так як для виробництва шлаколуужних цементів використовуються відходи промисловості, то це пов'язане з нестабільністю їх складу та енергетичного стану, що може призвести до нестабільності якості і кінцевого продукту [1, 2]. Тому виникла необхідність у розробці ефективних способів управління властивостями шлаколуужних цементів і матеріалів на їх основі, що, в кінцевому результаті, призвело до отримання цілої гама різноманітних видів композиційних (гібридних) луужно-активованих цементів [1, 3-9].

Одним з перспективних напрямків управління властивостями шлаколуужних цементів виявилось введення до його складу комплексних модифікуючих добавок, які складаються з глини різного складу і високоактивної добавки типу портландцементного клінкеру або речовин, що містять клінкерні мінерали [10]. У присутності глинистих речовин у складі новоутворень шлаколуужних цементів синтезуються не тільки низькоосновні гідросилікати кальцію, а й цеолітоподібні гідроалюмосилікати луужного, луужноземельного або змішаного типів. Уповільнення процесів структуроутворення в присутності глини може бути компенсовано введенням активної гідравлічної добавки типу клінкеру [10]. Таким чином, використання комплексної добавки складу "глина + клінкер" дозволяє вивести управління властивостями шлаколуужних в'язучих на якісно новий рівень.

Зокрема, це дозволило підвищити якість порової структури цементного каменю зсунувши баланс пор у бік збільшення частки мікропор, тим самим автоматично поліпшивши ряд таких цінних експлуатаційних характеристик, як водонепроникність, морозостійкість, хімічна стійкість, довговічність [1, 10].

Це також дозволило дуже ефективно використовувати шлаколуужні цементи з такою комплексною добавкою для іммобілізації радіоактивних відходів АЕС фіксуючи в цементній матриці найбільш фоноутворюючі радіоактивні елементи *Cs-134*, *Cs-137* і *Sr-90* за рахунок хімічного зв'язування їх у нерозчинні цеолітоподібні новоутворення типу поллцититу або стронцієвого шабазиту і за рахунок сорбційних властивостей глини, які значно посилюються в присутності луужного середовища [1, 10-11, 23].

Використання термічно оброблених (обпалених) глини дозволяє усунути загрозу появи і розвитку корозії в зоні контакту цементного каменю з заповнювачем, який містить хімічно активний *SiO₂* за рахунок формування в контактній зоні міцної оболонки, що забезпечує високу адгезію між цементним каменем і проблемним заповнювачем [12-14].

У ряді робіт вказується на перевагу використання необпалених, тобто менш активних глин у порівнянні з більш активними термічно обробленими. Це пояснюється необхідністю певного порядку і послідовності структуроутворюючих процесів. Так, наприклад, для отримання оптимальної структури шлаколужного цементного каменю необхідно щоб спочатку сформувався *CSH*-гель, потім *NASH*-гель, а далі здійснювалася їх взаємодія між собою [15]. Але цей порядок може бути порушений, якщо буде використана високоактивна глиноземиста добавка, наприклад метакаолін. Тому з цих міркувань краще замість метакаоліну використовувати менш активну глинистий добавку – каолін.

Крім того, одним з нових перспективних напрямків є використання каоліну для отримання білих і кольорових декоративних шлаколужних цементів [16], де встановлена оптимальна кількість цієї добавки, яка дорівнює 15%.

Роль каоліну в структуроутворенні шлаколужних в'язучих багато в чому недооцінена і вимагає більш ретельного дослідження. У виконаних раніше дослідженнях [17, 18] було недостатньо приділено уваги вивченню внутрішніх процесів на рівні фізико-хімічної взаємодії усіх компонентів в'язучої композиції між собою, які можуть суттєво впливати на рівень білизни і декоративність шлакощелочних цементів.

Виходячи з аналізу літературних даних і теоретичних передумов ціллю роботи є дослідження впливу каолінової глини на формування структури і властивостей шлаколужних цементів при кількості добавки каоліну в межах 0...20%.

Сировинні матеріали і методи досліджень. У дослідженнях у якості алюмосилікатних складових цементу був використаний доменний гранульований шлак, каолін і портландцемент. Хімічний склад шлаку, каоліну і портландцементу представлено у табл.1. Рентгенограма шлаку представлена на рис.1. Каолін повинен відповідати вимогам ГОСТ 19285-73.

Даний гранульований шлак відноситься до основних з $M_o = 1,11$ і представлений переважно склоподібної фазою, вміст якої становить 83%. Коефіцієнт якості шлаку $K_k = 1,49$ вказує, що він відноситься до шлаків з пониженою активністю.

Таблиця 1 – Склад сировинних матеріалів

Сировинні матеріали	Вміст оксидів, % мас.											M _o
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	FeO	Na ₂ O	MnO	TiO ₂	SO ₃	в.п.п.	Σ	
Дніпродзержинський доменний шлак	37,90	6,85	44,6	5,21	0,31	1,13	0,11	0,35	2,6	1,34	100,4	1,11
Портландцемент ОРС52,5 R	20,2	5,2	65,6	2,5	2,61	0,21	0,2	0,22	3,34	–	100,1	–
Глина каолінова	48,77	30,94	2,62	0,8	–	1,7	–	–	0,25	13,06	–	–

Мінералогічний склад (рис. 1) представлений геленітом $Ca_2Al_2SiO_7$ ($d = 0,286; 0,244; 0,241; 0,231; 0,176$ нм), мервинітом Ca_3MgSiO_8 ($d = 0,264; 0,190; 0,186; 0,164$ нм), ранкінітом $Ca_3Si_2O_7$ ($d = 0,385; 0,320; 0,302; 0,291; 0,273$ нм), ларнітом ($d = 0,28; 0,278; 0,302; 0,260$ нм) і невеликою кількістю кварцу ($d = 0,423; 0,333; 0,182; 0,155$ нм).

Ступінь помелу шлаку становила 4414 см²/г за Блейном. Шлак подрібнювався у млині з алубітовими (високоглиноземистими) мелючими тілами і футеровкою.

В якості лужного компонента шлаколужних цементів був використаний негігроскопичний метасилікат натрію п'ятиводний у вигляді порошку – $Na_2O \cdot SiO_2 \cdot 5H_2O$ і сода кальцинована безводна $Na_2O \cdot CO_3$.

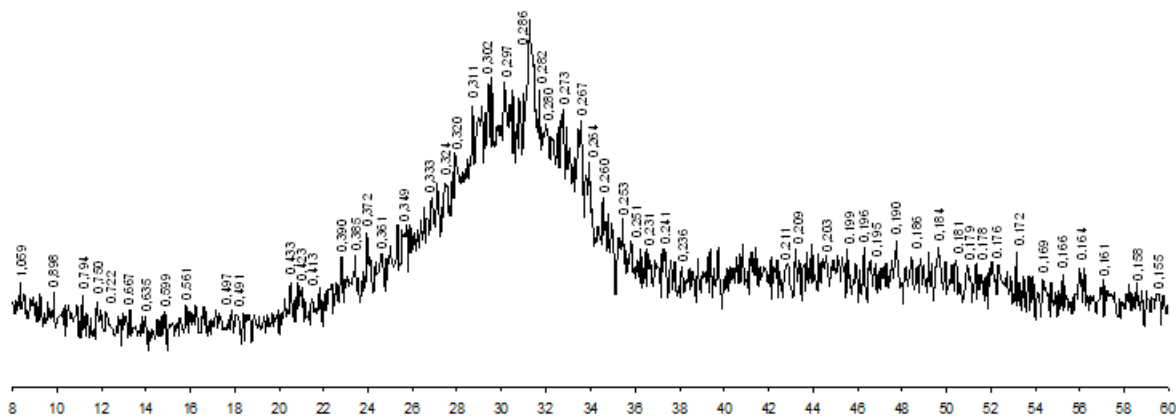


Рис.1. Рентгенограма Дніпродзержинського доменного гранульованого шлаку

В якості модифікуючої добавки використовувався портландцемент класу OPC 52,5 R з вмістом клінкеру 95%. Як вибілювальна добавка використовувався збагачений каолін класу КН-84 (ГОСТ 19285-73 Каолин обогащенный для производства бумаги и картона. Технические условия).

Приготування суміші виконувалося традиційним способом – шляхом замішування водою в'яжучої композиції «шлак + лужний компонент + добавки».

Фазовий склад речовин визначався за допомогою рентгенофазового аналізу порошковим методом з використанням дифрактометра. Ідентифікацію продуктів гідратації проводили з використанням бази даних PDF-2 Data Base (набори 1-50 плюс 70-88) з програмним модулем JCPDFWIN 2.1 (JCPDS-ICDD 2000).

Тепловиділення гідратованих цементних композицій визначалось за допомогою установки, принципова схема якої представлена на рис.2.

Особливістю установки є використання еталона моделі цементного тесту, в якому цемент замінений на тонкомолотий інертний матеріал, що має аналогічні характеристики по теплоємності. В якості такого матеріалу використаний тонкомолотий кварцовий пісок. Записані на приладі 7 дані в подальшому використовувалися для цифрової побудови температурної кривої тепловиділення на комп'ютері.

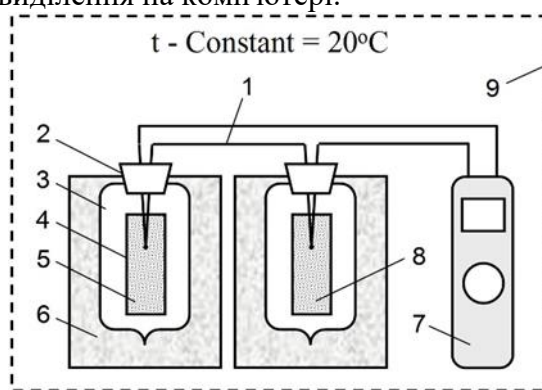


Рис.2. Схема установки для визначення теплоти гідратації цементу термосним методом:

1 – диференційна термопара; 2 – пробка; 3 – посудина Дюара; 4 – посудина для цементного тіста або розчину; 5 – цементне тісто або цементно-піщаний розчин; 6 – теплоізоляція; 7 – прилад для запису показників із заданою періодичністю; 8 – модель цементного тесту; 9 – замкнутий об'єм (термостат) з термостабілізованою температурою

Комплексний диференційно-термічний аналіз проводився на дериватографі Paulik-Erdey, MOM (Угорщина). Максимальна температура нагріву – 1000°C. Як еталон

порівняння використовувався прожарений технічний глинозем. Для ідентифікації використовувалися дані [19, 20].

Розподіл елементів у зразках визначався за допомогою растрового скануючого електронного мікроскопа з мікроаналізатором РЕМА 102-02.

Результати досліджень та обговорення. Міцність. На рис.3 проілюстрована залежність міцності шлаколузних цементів від вмісту в них добавки каоліну.

Встановлено, що присутність 2,5...5% каоліну практично не впливає на активність у стандартні терміни. Збільшення вмісту каоліну від 5 до 10% збільшує водопотребу цементного тіста з 23% до 24%, скорочує терміни тужавлення з 54 хв. до 45 хв., уповільнює набір міцності у початкові терміни твердіння і активність у 28-добовому віці з 56,7 до 52,8 МПа.

Введення добавки клінкеру в оптимальній кількості дозволило усунути цей недолік і підвищити рівень прийнятної кількості каоліну у шлаколузному цементі до 15%. Так, наприклад, якщо міцність шлаколузного цементу без добавок на 28 добу складала 56,7 МПа, з добавкою 15% каоліну – 49 МПа, то при додаванні 2% портландцементу у присутності 15% каоліну міцність у стандартні строки зросла до 54,3 МПа. Збільшення кількості добавки каоліну до 20% знижує міцність до 44,9 МПа і не є прийнятною.

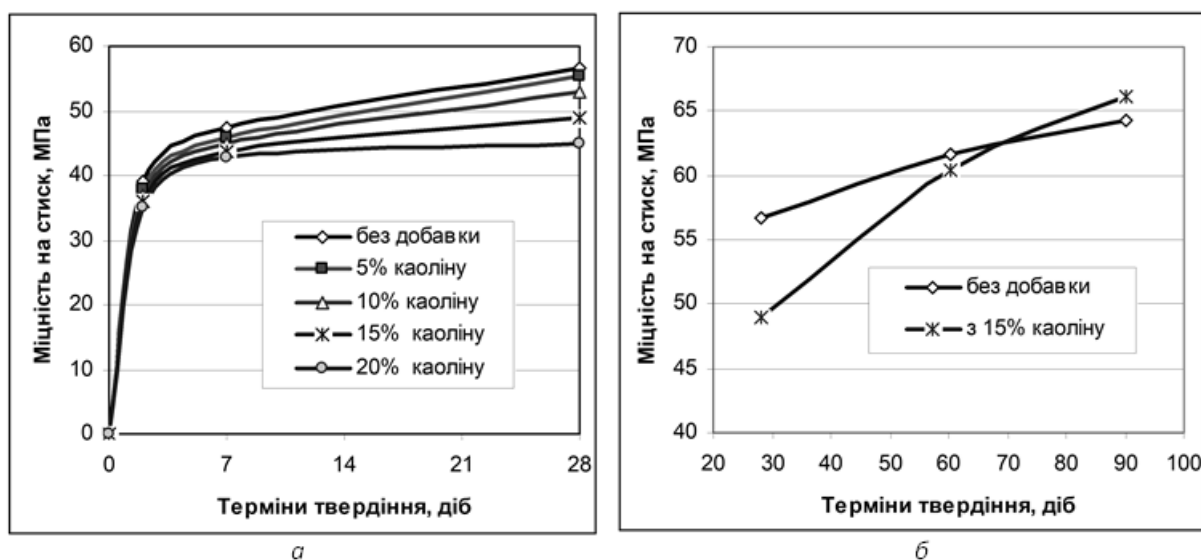


Рис. 3. Залежність міцності шлаколузних цементів від вмісту в них каоліну: а – у стандартні строки; б – у більш віддаленні строки

Слід також відмітити швидку динаміку набору міцності усіма складами незалежно від вмісту в них добавки каоліну. Так, усі склади через 7 дів мали міцність, яка складала 83,6...95,5% від міцності через 28 дів (рис. 3, а).

Оскільки частина лугу зв'язується каоліном, стандартна міцність зразків, активованих лугом, трохи нижча (на 7...12%) у порівнянні зі зразками, виготовленими з цементів без добавки. Однак через 6...9 місяців ця різниця зникає і досягається більш висока міцність за рахунок поглиблення процесів гідратації, синтезу гідратів низькоосновних силікатів кальцію, синтезу аналогів цеоліту й польового шпату та відсутності деструктивних процесів (рис.3, б).

Використання в якості лужного компоненту замість метасилікату натрію кальцинованої соди знижує марочність цементів з М400...М500 до М300...М400.

Строки тужавлення. З рис.4 видно, що збільшення вмісту каоліну у шлаколузній композиції до 10% призводить до скорочення термінів початку тужавлення. Але подальше збільшення кількості добавки каоліну збільшує строки тужавлення.

Можливо, що 10% – це деяка максимальна кількість каоліну, який здатен активно взаємодіяти з лужним компонентом на ранніх стадіях структуроутворення (до 1...2 годин).

Надлишковий каолін (понад 10%) у даний проміжок часу уже є баластом і резервом для взаємодії у більш віддаленні терміни.

Введення добавки портландцементу у оптимальній кількості дещо скорочує строки тужавлення (рис.4).

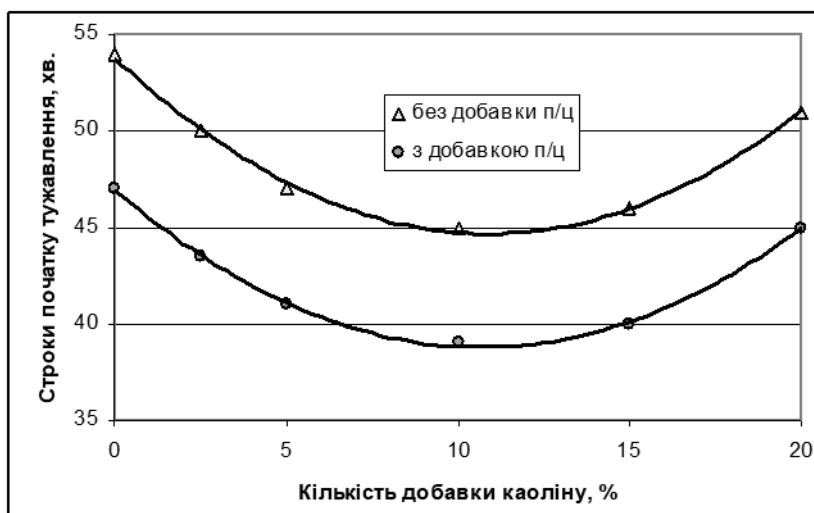


Рис.4. Залежність строків початку тужавлення від кількості добавки каоліну і добавки портландцементу у в'язучій системі «шлак + каолін + добавки + мета- силікат натрію»

Оптимальна кількість портландцементного клінкеру залежить від основності шлаку і визначається за емпіричною формулою [21]:

$$D_{kl} = -10M_b + 13, \%$$

де D_{kl} – оптимальна кількість добавки клінкеру, %; M_b – модуль основності шлаку.

Враховуючи, що основність шлаку дорівнює $M_b = 1,11$, оптимальна кількість добавки клінкеру складе 1,9%. А з врахуванням 95% клінкеру у портландцементі кількість добавки портландцементу складе $1,9/0,95 = 2\%$.

Тепловиділення. На рис.5 представлені криві тепловиділення шлаколузних цементів залежно від вмісту в них каоліну.

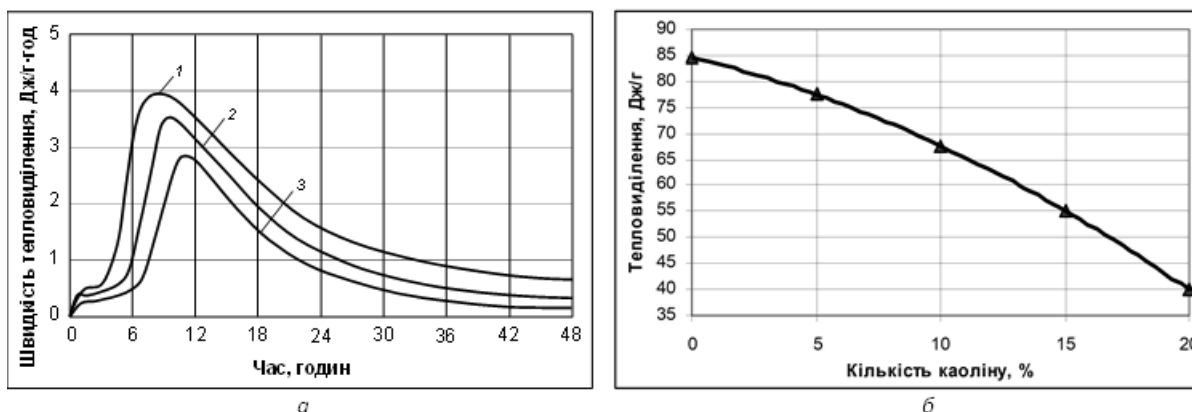


Рис.5. Тепловиділення шлаколузних цементних композицій:

а – швидкість тепловиділення; б – тепловиділення; лужний компонент – метасилікат натрію (10%); 1 – без добавки каоліну; 2 – з добавкою 10% каоліну; 3 – з добавкою 20% каоліну

При замішуванні шлаколузних в'язучих композицій водою практично відразу починається тепловиділення, природа якого пов'язана з хемосорбційними процесами,

розчиненням (диспергуванням) шлакового скла з утворенням лужних колоїдних золів, спонтанним їх коагулюванням і формуванням структури в'язучої системи.

Видно, що по мірі введення добавки каоліну тепловиділення в'язучої композиції знижується (рис.5, б), а максимальні піки тепловиділення, у порівнянні зі складом без добавки, зміщуються з 8 годин до 11 годин (рис.5, а). Загальне тепловиділення знижується більш ніж у два рази – з 84,2 Дж/г (без добавки) до 40,0 Дж/г (з добавкою 20% каоліну). Це відбувається, по-перше, за рахунок зменшення частки шлаку у композиції і, по-друге, за рахунок часткового зв'язування лугу каоліном.

Дослідження фазового складу в'язучої композиції «шлак + каолін + метасилікат натрію». Залежно від ступеня білості білий клінкерний портландцемент ділиться на три сорти: I \geq 80%, II \geq 75%, III \geq 70%. [22].

Виходячи з того, що 15% добавки каоліну це та кількість, що забезпечує той рівень білості шлаколуужних цементів 70,5% [16], який дозволяє їх класифікувати як білі цементи і при цьому забезпечує достатньо високу міцність (особливо з оптимальною кількістю добавки портландцементу) приймаємо кількість добавки каоліну в 15% як базову у подальших дослідженнях структуроутворення білих шлаколуужних цементів.

Згідно з даними рентгенофазового і диференційно-термографічного аналізу (рис. 6, рис. 7), фазовий склад гідратних новоутворень композиції "шлак + каолін + метасилікат натрію" представлений тоберморит-гелем ($d - 0,305; 0,28; 0,18$ нм), $CSH(B)$ ($d - 0,304; 0,28; 0,180$ нм), тоберморитом ($d - 0,333; 0,307; 0,297; 0,286; 0,214; 0,201; 0,182$ нм), кальцитом ($d - 0,385; 0,303; 0,249; 0,228; 0,209; 0,192$ нм), слабкими дифракціями анальциму ($d - 3,43; 2,92; 0,286; 0,272; 2,52; 1,74$ нм) і гідронефеліну ($d - 0,467; 0,435; 0,407; 0,385; 0,369; 0,343; 0,297; 0,283; 0,259$ нм). Кількість анальциму и гідронефеліну, згідно з [1], з часом постійно буде збільшуватися. Фази шлаку, що не прореагували, представлені геленітом ($d - 0,286; 0,242; 0,228$ нм) і кварцом ($d - 0,424; 0,333; 0,183$ нм). Дифракції ($d - 0,435; 0,417; 0,385; 0,357; 0,309; 0,234$ нм) належать каолініту.

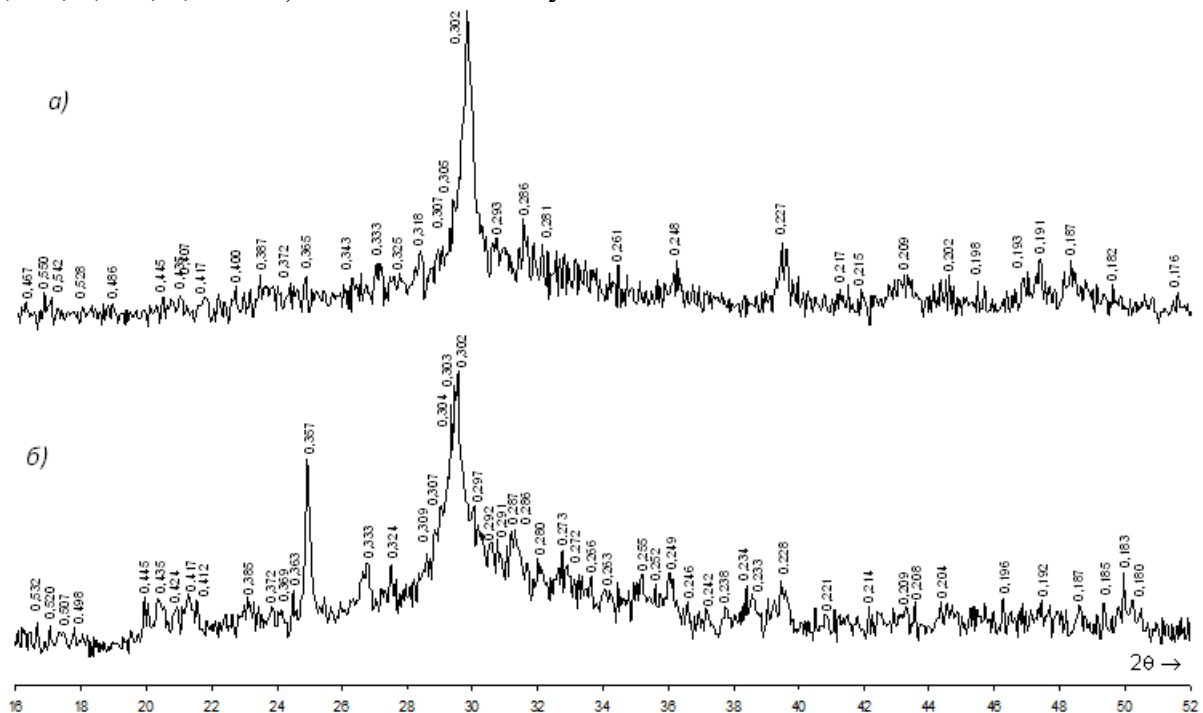


Рис.6. Рентгенограми шлаколуужних цементів у віці 28 діб:

а – композиція «шлак + метасилікат натрію»; б – композиція «шлак + каолін (15%) + метасилікат натрію»

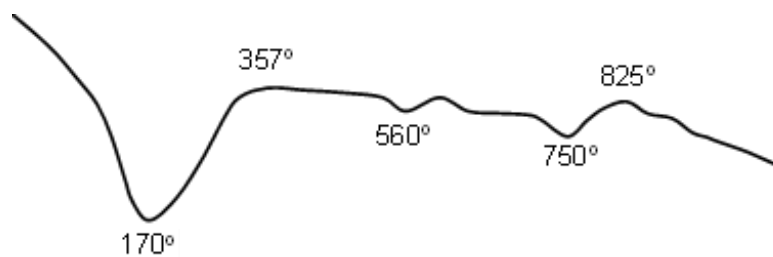


Рис. 7. Криві ДТА в'язучої композиції «шлак + каолін (15%) + метасилікат натрію» у віці 28 діб

Ендопіки на кривій ДТА при температурі 170°C вказують на втрату фізично зв'язаної води, а при 560°C – на дегідратацію каоліну. Остаточна дегідратація низькоосновних гідросилікатів кальцію з переходом їх в *CS* (воластоніт) фіксується ендопіком при 750°C. Екзопік при температурі 825°C може вказувати на рекристалізацію *CSH(B)* і тобермориту з ізоморфним заміщенням Si^{4+} на Al^{3+} .

Дослідження ступеню зв'язування вільного луку в композиції «шлак + каолін + метасилікат натрію». За допомогою растрового скануючого електронного мікроскопу з мікроаналізатором був виконаний аналіз розподілу елементів і оксидів у центрі зразка (у трьох точках) і на його поверхні (у трьох точках). Отримані дані в центрі зразка і на поверхні усереднювалися.

Аналіз розподілу елементів у зразку складу "шлак + каолін (15%) + метасилікат натрію" в центрі і на його поверхні показує, що присутність каоліну позитивно впливає на ступінь зв'язування вільного луку у нерозчинні гідратні новоутворення (рис.8, рис.6).

Каолін має слабкі кислотні властивості і тому в лужному середовищі значно підвищує свою катіонообмінну здатність [23].

Так, кількість $Na_2O = 22,02\%$ у центрі зразка і $14,2\%$ на поверхні зразка вказує на відсутність масопереносу вільного луку з центру на периферію. Це може означати, що у центрі зразка йде досить активне хімічне зв'язування луку в гідроалюмосилікатні новоутворення типу анальциму і гідронефеліну, що підтверджується рентгенофазовим аналізом (рис.6) і що значно знижує ризики появи вицвітів.

Наявність $CO_2 = 3,6\%$ у центрі зразка і $9,72\%$ на периферії може свідчити про карбонізацію кальцієвих гідратних новоутворень з ефектом додаткового вибілювання зразка по поверхні.

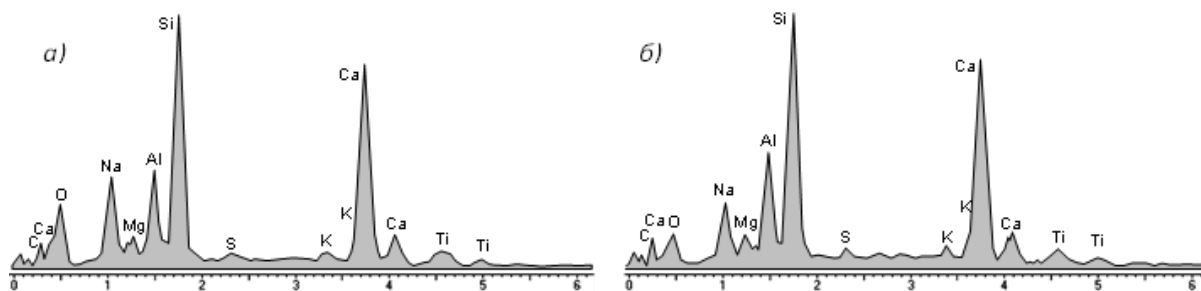


Рис. 8. Розподіл елементів у зразку цементного тіста складу «шлак + каолін (15%) + метасилікат натрію»: а – у центрі зразка; б – на поверхні зразка

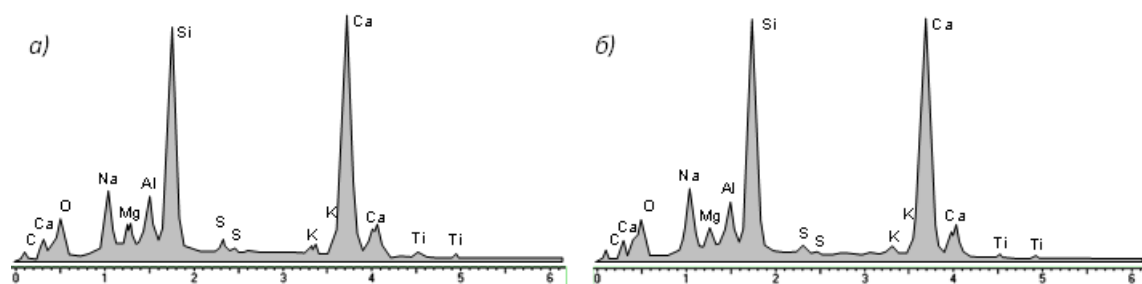


Рис. 9. Розподіл елементів у зразку цементного тіста складу «шлак + метасилікат натрію»: а – у центрі зразка; б – на поверхні зразка

Розподіл елементів у шлаколужному цементному камені без добавок представлено на рис. 9. Присутність 17,7% Na_2O у центрі зразка і 19,9% Na_2O на поверхні зразка вказує на відносно невеликий ризик появи вицвітів.

Висновки:

1. У роботі досліджена роль каолінової глини в розвитку структури і властивостей шлаколужного цементу білого кольору.
2. Показано, що введення до складу цементу каолінової глини у кількості 5...10% за масою збільшує водопотребу з 23% до 24%, скорочує терміни початку тужавлення з 48 хв. до 45 хв., уповільнює набір міцності у початкові терміни твердіння і активність у 28-добовому віці з 56,7 до 50,4 МПа.
3. З підвищенням кількості глини до 20% за масою терміни початку тужавлення зростають до 51 хв.
4. Введення глини до 20% також сприяє зменшенню тепловиділення з 84,2 Дж/г до 40 Дж/г.
5. Кількість введеної глини суттєво впливає на міцність цементу, яка із збільшенням її кількості до 15% за масою зменшується у 28-добовому віці з 56,7 МПа до 49 МПа, але через 90 діб вона перевищує контрольну міцність без добавки і складає 67,5 МПа.
6. Дослідження процесів структуроутворення показало, що введення каолінової глини до складу шлаколужного цементу інтенсифікує зв'язування вільних лугів у цеолітоподібні гідратні новоутворення типу анальциму і гідронефеліну.
7. Для інтенсифікації процесів структуроутворення, особливо на початкових стадіях, продемонстрована ефективність введення до складу шлаколужних цементів до 2% за масою добавки портландцементу.

Подяка. Автори висловлюють подяку Міністерству освіти і науки України за фінансову підтримку проекту (реєстраційний № 1020U001010), який виконується за рахунок бюджетного фінансування в 2021...2022 рр.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Кривенко П.В., Рунова Р.Ф., Саницкий М.А., Руденко І.І. Щелочные цементы : монография. Киев: Основа, 2015. 448 с.
2. Глуховский В.Д. Избранные труды. Київ: Будівельник, 1992. 208 с.
3. Кривенко П.В., Гоц В.И., Пушкарева Е.К., Ковальчук О.Ю. Цементы и бетоны на основе топливных зол и шлаков : монография. Киев: ООО ИПК «Экспресс-Полиграф», 2012. 258 с.
4. Bernal S.A.; Provis J.L.; Rose V.T. Evolution of binder structure in sodium silicate-activated slag-metakaolin blends. Cement & Concrete Composites. 2011 Vol.33, № 1. P.46-54.
5. Bernal S.A.; Rodriguez E.D.; Mejia de Gutierrez, Ruby. Mechanical and thermal characterization of

REFERENCES:

1. Krivenko P.V., Runova R.F., Sanickij M.A., Rudenko I.I. Shchelochnye cementy : monografiya. Kiev: Osnova, 2015. 448 s.
2. Gluhovskij V.D. Izbrannye trudy. Kiiv: Budivel'nik, 1992. 208 s.
3. Krivenko P.V., Goc V.I., Pushkareva E.K., Koval'chuk O.Yu. Cementy i betony na osnove toplivnyh zol i shlakov : monografiya. Kiev: ООО ИПК «Ekspress-Poligraf», 2012. 258 s.
4. Bernal S.A.; Provis J.L.; Rose V.T. Evolution of binder structure in sodium silicate-activated slag-metakaolin blends. Cement & Concrete Composites. 2011 Vol.33, № 1. P.46-54.
5. Bernal S.A.; Rodriguez E.D.; Mejia de Gutierrez, Ruby. Mechanical and thermal characterization of

- geopolymers based on silicate-activated metakaolin/slag blends. *Journal of materials science*. 2011. Vol. 46, № 16. P. 5477-5486.
6. Bernal S.A.; Provis J.L. Modification of phase evolution in alkali-activated blast furnace slag by the incorporation of fly ash. Ismail, Idawati. *Cement & Concrete Composites*. 2014. Vol. 45. P. 125-135.
 7. Lecomte I; Liegeois M; Rutmont A. Synthesis and characterization of new inorganic polymeric composites based on kaolin or white clay and on ground-granulated blast furnace slag. *Journal of materials research*. 2003. Vol. 18. №11. P. 2571- 2579.
 8. Liu Yiquan; Zhu Weiping; Yang En-Hua. Alkali-activated ground granulated blast-furnace slag incorporating incinerator fly ash as a potential binder. *Construction and building materials*. 2016. Vol. 112. P.1005-1012.
 9. Pradip N., Kumar S. P. Effect of GGBFS on setting, workability and early strength properties of fly ash geopolymer concrete cured in ambient. *Construction and building materials*. 2014. Vol. 66. P. 163-171.
 10. Кривенко П.В. Специальные шлакощелочные цементы. Киев: Будівельник, 1992. 192 с.
 11. Кривенко П.В., Гелевера А.Г., Петропавловский О.Н. Научные основы экологически безопасной иммобилизации радиоактивных отходов. Матеріали науково-практичної конференції «Проблеми поводження з радіоактивними відходами в Україні». X Міжнародний виставковий форум «Технології захисту – 2011». Київ, 2011. С. 60-67.
 12. Кривенко П.В., Гелевера О.Г., Ковальчук О.Ю. Вплив складу лужних цементів на лужну корозію заповнювачів з активним кремнеземом. Науковий вісник будівництва. Харків: ХНУБА, 2019. Т. 98. № 4. с. 224-230.
 13. Kovalchuk O., Gelevera O., Ivanychko V. Studying the influence of metakaolin on self-healing processes in the contact-zone structure of concretes based on the alkali-activated Portland cement. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. *Technology organic and inorganic substances*. 2019. p.33-40.
 14. Zhenguo Shi, Caijun Shi, Jian Zhang, Shu Wan, Zuhua Zhang, Zhihua Ou. Alkali-silica reaction in waterglass-activated slag mortars incorporating fly ash and metakaolin. *Cement and Concrete Research*. 2018. Vol. 108. p. 10-19. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.03.02>
 15. Krivenko P., Petropavlovskiy O., Kovalchuk O. A comparative study on the influence of metakaolin and kaolin additives on properties and structure of the alkali-activated slag cement and concrete. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 1. № 6-91. p. 33-39. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.119624>.
 6. Bernal S.A.; Provis J.L. Modification of phase evolution in alkali-activated blast furnace slag by the incorporation of fly ash. Ismail, Idawati. *Cement & Concrete Composites*. 2014. Vol. 45. P. 125-135.
 7. Lecomte I; Liegeois M; Rutmont A. Synthesis and characterization of new inorganic polymeric composites based on kaolin or white clay and on ground-granulated blast furnace slag. *Journal of materials research*. 2003. Vol. 18. №11. P. 2571- 2579.
 8. Liu Yiquan; Zhu Weiping; Yang En-Hua. Alkali-activated ground granulated blast-furnace slag incorporating incinerator fly ash as a potential binder. *Construction and building materials*. 2016. Vol. 112. P.1005-1012.
 9. Pradip N., Kumar S. P. Effect of GGBFS on setting, workability and early strength properties of fly ash geopolymer concrete cured in ambient. *Construction and building materials*. 2014. Vol. 66. P. 163-171.
 10. Krivenko P.V. Special'nye shlakoshchelochnye cementy. Kiev: Budivel'nik, 1992. 192 с.
 11. Krivenko P.V., Gelevera A.G., Petropavlovskij O.N. Nauchnye osnovy ekologicheski bezopasnoj immobilizacii radioaktivnyh othodov. Materiali naukovo-praktichnoї konferencії «Problemi povodzhennya z radioaktivnimi vidhodami v Ukraїni». H Mizhnarodnij vistavkovij forum «Tekhnologii zahistu – 2011». Kiїv, 2011. С. 60-67.
 12. Krivenko P.V., Gelevera O.G., Koval'chuk O.Yu. Vpliv skladu luzhnih cementiv na luzhnu koroziyu zapovnyuvachiv z aktivnim kremnezemom. *Naukovij visnik budivnictva*. Harkiv: HNUBA, 2019. Т. 98. № 4. с. 224-230.
 13. Kovalchuk O., Gelevera O., Ivanychko V. Studying the influence of metakaolin on self-healing processes in the contact-zone structure of concretes based on the alkali-activated Portland cement. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. *Technology organic and inorganic substances*. 2019. p.33-40.
 14. Zhenguo Shi, Caijun Shi, Jian Zhang, Shu Wan, Zuhua Zhang, Zhihua Ou. Alkali-silica reaction in waterglass-activated slag mortars incorporating fly ash and metakaolin. *Cement and Concrete Research*. 2018. Vol. 108. p. 10-19. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.03.02>
 15. Krivenko P., Petropavlovskiy O., Kovalchuk O. A comparative study on the influence of metakaolin and kaolin additives on properties and structure of the alkali-activated slag cement and concrete. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 1. № 6-91. p. 33-39. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.119624>.

2018. Vol. 1. № 6-91. p. 33-39. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.119624>.
16. Кривенко П.В., Ковальчук О.Ю. Управління декоративними властивостями лужних цементів. Науковий вісник будівництва. Харків: ХНУБА, 2019. Т. 2. №2 (96). с. 280-285. <https://doi.org/10.29295/2311-7257-2019-96-2-280-285>.
 17. Kovalchuk O. Yu. Research of carbonization of alkaline concretes. Collection "Building materials, products and sanitary ware". Kyiv: Research Institute of Building Materials and Products, 2014. 52. p. 19-24.
 18. Kryvenko P., Sanytsky M., Kropyvnytska T., Kotiv R. Decorative multi-component Alkali Activated Cements for restoration and finishing works. Advanced Materials Research. Trans Tech Publications, Switzerland, 2014. 897. p. 45-48. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.897.45>
 19. Lothenbach B., Durdzinski P., De Weerd K. Thermogravimetric analysis. A Practical Guide to Microstructural Analysis of Cementitious Materials. 2015. P. 177-212. <https://doi.org/10.1201/b19074-6>
 20. Жданов С.П. Синтетические цеолиты. CRC Press, 1990. 679 с.
 21. Гелевера А.Г. Быстротвердеющие и особобыстротвердеющие высокопрочные шлакощелочные вяжущие и бетоны на их основе: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05. Киев, 1986. 20 с.
 22. ГОСТ 965-89. Портландцементы белые. ТУ.
 23. Караваев Т.А. Водно-дисперсионные фарбы: товарознавча оцінка: монографія. К.: Київський нац. торг.-екон. ун-т, 2015. 288 с.
 16. Krivenko P.V., Koval'chuk O.Yu. Upravlinnya dekorativnimi vlastivostyami luzhnikh cementiv. Naukovij visnik budivnictva. Harkiv: HNUBA, 2019. T. 2. №2 (96). с. 280-285. <https://doi.org/10.29295/2311-7257-2019-96-2-280-285>.
 17. Kovalchuk O. Yu. Research of carbonization of alkaline concretes. Collection "Building materials, products and sanitary ware". Kyiv: Research Institute of Building Materials and Products, 2014. 52. p. 19-24.
 18. Kryvenko P., Sanytsky M., Kropyvnytska T., Kotiv R. Decorative multi-component Alkali Activated Cements for restoration and finishing works. Advanced Materials Research. Trans Tech Publications, Switzerland, 2014. 897. p. 45-48. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.897.45>
 19. Lothenbach B., Durdzinski P., De Weerd K. Thermogravimetric analysis. A Practical Guide to Microstructural Analysis of Cementitious Materials. 2015. P. 177-212. <https://doi.org/10.1201/b19074-6>
 20. Zhdanov S.P. Sinteticheskie ceolity. CRC Press, 1990. 679 с.
 21. Gelevera A.G. Bystrotverdeyushchie i osobobystrotverdeyushchie vysokoprochnye shlakoshe-lochnye vyazhushchie i betony na ih osnove: Avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.23.05. Kiev, 1986. 20 с.
 22. GOST 965-89. Portlancementy belye. TU.
 23. Karavaev T.A. Vodno-dispersijni farbi: tovaroznavcha ocinka: monografiya. K.: Kiiv'skij nac. torg.-ekon. un-t, 2015. 288 с.

Krivenko P.V., Gelevera O.G., Rogozina N.V. INFLUENCE OF KAOLINITE CLAY ON THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF ALKALINE CEMENTS. The article is devoted to the study of the influence of kaolinite clay on the development of the structure and properties of white slag-alkali cement. The effect of kaolin on such characteristics of slag-alkaline cements as strength, setting time, whiteness, heat release, hydration neoplasms, and the degree of free alkali binding has been established. In this work, the authors have shown the possibility of effective control of the properties and structure formation of slag-alkaline cements through the use of a complex additive "kaolin + Portland cement". The positive all-round influence of the addition of kaolin on the properties and development of the structure of slag-alkaline cements is shown not only in standard, but also in more distant periods of hardening.

Keywords: kaolin, complex additive, free alkali binding, structure formation, heat release.