

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ФРАКЦІЇ НАПОВНЮВАЧА НА МОРОЗОСТІЙКІСТЬ ПУЦОЛАНОВОЇ КОМПОЗИЦІЇ

TO THE QUESTION OF PREDICTING THE HARDENING OF COMPOSITIONS OF LIGHT CARBONATE SLAG CONCRETE

Назаренко О.М. к.т.н., доц. ORCID: 0000-0003-3738-1129, Березовська А.О., асп. ORCID: 0009-0004-5503-5283, Залєвський В.І., асп. ORCID: 0000-0002-4670-0577, Іщенко О.Л., ст.викл, ORCID: 0000-0002-4152-6135, Клітній О.Г., асп, ORCID: 0000-0002-6600-4733. (Національний університет «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя)

Nazarenko O.M. Ph.D., Assoc. ORCID: 0000-0003-3738-1129, Berezovska A.O., postgraduate student ORCID: 0009-0004-5503-5283, Zalievskiy V.I. postgraduate student ORCID: 0000-0002-4670-0577, Ischenko O.L., postgraduate student , ORCID: 0000-0002-4152-6135, Klytniy O.G., postgraduate student ORCID: 0000-0002-6600-4733(Zaporizhia Polytechnic National University, Zaporizhia)

Карбонатношлакові пресовані матеріали, як цементний камінь та інші капілярно-пористі тіла, можуть містити, крім вільної деяку кількість слабо зв'язаної води, яка утримується силами фізико-хімічної природи, але випаровується зі зразка при температурах до 105°C. При цій температурі зі зразків випаровується не тільки капілярна і адсорбційна волога, яка може міститися в невеликих кількостях між зернами порошку, але і в основному вода пухких кристаллогідратів, тобто слабо хімічно пов'язана вода. Випаровується потак, незв'язана в процесі твердіння в'язучого, утворює в бетоні дві групи. Пір часу, різко різняться за розмірами: капілярні пори і пори гелю, мають дуже малі розміри (від 15×10^{-8} до 40×10^{-8} см). Капілярні пори, розташовані між агрегатами частинок гелю, в тисячі разів більший за пори гелю. Вони сприяють вбиранню та міграції води, яка замерзає у них за нормальних умов охолодження. Тому капілярні пори виглядають як основний дефект структури пресованого матеріалу. Цементний гель при повній гідратації утримує близько 0,25 води, що знаходиться в порах гелю (вважаючи масою цементу). Об'єм капілярних пор (1), найбільший в перший момент після пресування і буде дорівнювати обсягу води в в'язучому (В). У міру твердіння карбонатношлакового в'язучого капілярні пори заповнюються продуктами гідратації, їх об'єм зменшується і складатиме: $V_1 = V - 0,5 \text{ Ц}$

Carbonate slag pressed materials, such as cement stone and other capillary-porous bodies, may contain, in addition to free, a certain amount of loosely bound water, which is retained by the forces of physical and chemical nature, but evaporates from the sample at temperatures up to 105°C. At this temperature, not only capillary and adsorption moisture, which can be contained in small amounts between the powder grains, evaporates from the samples, but also mostly water of loose crystal hydrates, that is, weakly chemically bound water. Evaporated flux, unbound in the process of hardening of the binder, forms two groups in the concrete. Pores vary dramatically in size: capillary pores and gel pores are very small in size (from 15×10^{-8} to 40×10^{-8} cm). Capillary pores, located between aggregates of gel particles, are thousands of times larger than gel pores. They contribute to the absorption and migration of water, which freezes in them under normal cooling conditions. Therefore, capillary pores appear as the main defect in the structure of the pressed material. When fully hydrated, the cement gel holds about 0.25% of the water in the pores of the gel (considering the mass of cement). The volume of capillary pores (1), the largest at the first moment after pressing, will be equal to the volume of water in the binder (B). As the carbonate slag binder hardens, the capillary pores are filled with hydration products, their volume decreases and will be: $VI = B - 0.5 \Pi$

Ключові слова: формування матеріалу, випробування, термомодернізація будівлі, мікрокремнезем, впусчення, методологія, твердіння, розрахунок, морозостійкість, індукційний період
material formation, testing, thermal modernization of the building, microsilica, swelling, methodology, hardening, calculation, frost resistance, induction period.

Вступ. Пригнічення більшості будівельних матеріалів, таких як бетон, кераміка, ґрунти, деревина є капілярно-пористою, з розвиненою структурою пор. Таким є і карбонатношлаковий пресований композиційний матеріал. Для прогнозування різних технологічних властивостей будівельних матеріалів необхідно дослідження їх пористої структури. Під звичайним простором [135] прийнято вважати всі його несплошності, незайняті твердою фазою вихідних компонентів і новоутворень. За прийнятих зовнішніх умов у певний момент часу для конкретного матеріалу параметри норового простору є величиною постійної та незалежної від способу їх визначення. Серед різних методів дослідження пористої структури велику групу складають тепломасообмінні пристрої.

Аналіз останніх досліджень. Розробка новітніх матеріалів будівельних площадок на регіональному рівні є стратегічним напрямом поширення будівельної галузі в Україні та економіки регіонів в цілому.

Формування матриці нових наноматеріалів ускладнює точну кількісну оцінку тривалості індукційного періоду технології. Особливості виконання

технологічного процесу потребує кваліфікаційної оцінки сировинної бази та точність виготовлення напівфабрикату на кожній стадії відповідно до технологічної карти.

На підставі експериментів можна вважати, що тривалість індукційного періоду для конкретного виду шлаку залежить від В/Ш - відносини, температури твердіння, тонкощі помелу. Вода у малих кількостях грає роль ефективного мінералізатора, збільшуючи пересичення міжчасткового розчину та підвищуючи концентрацію попередніх частинок у розчині. При підвищенні водозмісту з'являється значний індукційний період.

Дослідження, які проводили вчені А.П.Приходько, Н.В.Шпирько, А.А.Салей, Ю.Л.Савін, Л.І.Дворкін, О.В.Безусьак, О.М.Бордюженко, Н.С.Сторчай, О.М.Назаренко, А.О.Березовська показали, що можливості виробництва розвиваються, та поширюються по регіонам, залежно від виробничих можливостей.

Об'єктивними критеріями оцінки довговічності будівельних матеріалів та конструкцій є їх поведінка в реальних умовах при тривалій експлуатації, мінливість структури та властивостей матеріалів, кількість та розміри дефектів та пошкоджень, що дозволяють проаналізувати причини їх виникнення та врахувати при розробці та виробництві аналогічних матеріалів. Довговічність будівельних матеріалів та конструкцій визначається міцністю, тріщиностійкістю і жорсткістю, для конструкцій і виробів, що працюють у зовнішніх умовах - повітростійкість і морозостійкість - основою, які забезпечують тривалий опір багаторазовим деформаціям та напругам. Шляхами становлення довговічності карбонатношлакових композицій є: правильний вибір марки матеріалу за його призначенням та створення щільної та однорідної структури.

До основних факторів, що визначають морозостійкість пресованих виробів, відносяться : початкове водоцементне (водошлакове) відношення ; склад та умови твердіння матеріалу, його вік на момент заморожування; структурна щільність, наявність, вид та кількість поверхнево-активних добавок, що пластифікують і повітря забирають.

Здатність матеріалу протистояти руйнуванню при багаторазовому заморожуванні та відтаванні у насиченому водою стані пояснюється присутністю в його структурі резервних пір, не заповнених водою, в яких віджимається частина води в процесі заморожування під дією тиску - зростаючих кристалів льоду [42,43].

Водошлакове співвідношення надає значний вплив на морозостійкість беззлужних шлакових матеріалів, так як є одним з найбільш важливих факторів, що визначають параметри структури та порового простору. Зі збільшенням В/Ш – відношення зростає як загальний обсяг відкритих пір, доступного водонасичення, так і середній розмір пір, що знижує морозостійкість матеріалу. При високих значеннях В/Ш - відношення рівних 0,4-7-0,5 середній розмір капілярів у пшаківих бетонах перевищує середній

розмір пір в цементних матеріалах при тому В/Ц, т.к. ступень гідратації та кількість зв'язаної води у шлаків нижче, ніж у цементу, нормативні терміни твердіння. Тому пори не можуть до 28-ми добовому віку повністю заповнені продуктами гідратації шлаку та остаються пов'язаними один з одним, утворюючи безперервну систему капілярів. Шлакові бетони з такою будовою порового простору характеризуються високою проникністю, в них складніше утворити деякий обсяг резервних пір. Ці матеріали мають підвищене водопоглинання і більшість води у яких при заморожуванні перетворюється на лід, руйнуючи при цьому зразок.

Введення добавок - один з найбільш ефективних факторів, підвищуючі морозостійкість шлакових бетонів. Позитивний вплив на морозостійкість надають суперпластифікатори та повітрозтягуючі добавки, які мають пластифікуючу дію, знижують обсяг капілярних пір, в яких утворюється лід і підвищують обсяг резервних пір. Можна вважати, що для сильно пластичних сумішей на основі шлаків дія цих добавок буде більш ефективною.

У процесі твердіння шлаку на початковому етапі формування структури матеріалу вода утворює в шлаковому тесті систему взаємо пов'язаних капілярних пір, безладно розташованих по всьому об'єму матеріалу. З часом в умовах гідратації, що триває шлакова капілярна пористість каменю зменшується, так як об'єм, займаний продуктами гідратації шлаку разом з порами між кристалом новоутвореннями (порами гелю) приблизно вдвічі більше абсолютного обсягу негідратованого шлаку. При досягненні високої ступені гідратації шлаку, що досягається зазвичай через 180+360 діб твердіння система взаємопов'язаних капілярних пір стають умовно дискретними, тобто пори в шлаковому камені, раніше представлені у вигляді простору, що розходяться один з одним, виявляються роз'єднаними шлаковим гелем, що так само має пори, але істотно менших розмірів. З утворенням подібної структури шлакового каменю проникність матеріалу результат зменшується. Подібна будова норového простору в карбонатношлаковому камені немає, якщо частка шлаку мала, а частка карбонатного висока, навіть при низьких початкових водошлакових відносинах (В/Ш). Розрахунки показують, що лише за рівних вагових частках шлаку і карбонатного наповнювача, коли В/Ш не перевищує 0,05 та підвищених тисках пресування до 40 МПа можливе заповнення капілярного простору шлаковим гелем.

Умови та тривалість твердіння зразка впливають на морозостійкість, змінюючи ступінь гідратації в'язучого та структурного простору. При сприятливих тривалих умовах твердіння, що виключають використання - води з матеріалу, особливо на початковому етапі формування його структури, досягається високий ступінь гідратації шлаку та в шлаковому камені утворюється система резервних пір. Зі збільшенням тривалості матеріалу до 180-360 діб, як показали дослідження, ступінь гідратації підвищувалась.

Зростає і кількість зв'язаної води збільшується з 8+9% (через 28 діб) до 14+15%. Умови тривалої гідратації шлаку підвищили морозостійкість зразків у 2,5 рази. При зростанні ступеня гідратації шлаку зменшилася його пористість і, ймовірно, одночасно збільшився обсяг резервних пір. Введення лужних активаторів суттєво підвищує ступінь гідратації шлакових мінералів та знижує водошлакове відношення через пластифікуючу дію електролітів.

Морозостійкість шлаколужних бетонів зливої структури надзвичайно висока.

Напівсухе пресування дає хорошу упаковку частинок матеріалу, то є практично виключає макро- і мікродефекти в яких може накопичуватися вода. При пресуванні карбонатношлакових композицій береться низьке В/Ш - відношення, що не перевищує 0,06+0,08, і яке змінює структуру порового простору. Порівняно з вібраційною формою загальний обсяг відкритих пір, доступних водонасичення, знижується. Це призводить до підвищення морозостійкості матеріалу.

В результаті хімічної контракції обсяг шлакового каменю зменшується, але меншою мірою, ніж цементного, внаслідок нижчого вмісту алюмінатної та алюмоферитної фази. Після того як у шлаковому камені сформується жорсткий кристалічний каркас, усадкові деформації, обумовлені хімічною контракцією, виявляються меншою мірою, ніж у цементному камені.

Утворення в шлаковому камені в процесі пресування великих пір від недопресування виробів, які залишаються незаповненими водою, визначає формування умовно дискретної системи пір і капілярів. Ці пори з боків не можуть бути блокованими гелем і можуть запобігати водою навіть в умовах водного твердіння. Отже, повітряні пори, утворюючи внаслідок хімічної контракції, стають резервними тільки за умови пресування при високих тисках, якщо ці тончайні пори компактної упаковки дисперсних частинок поєднуються з іншими подібними порами і капілярами, а також із зовнішнім середовищем тільки через пори гелю.

Під дією гідростатичного тиску водний розчин може переміщатися в резервні пори, що унеможливорює виникнення і зростання розтягуючих напруг у кристалічному зростку шлакового каменю. Руйнування бетону в насиченому водою стані при багаторазовому заморожуванні та відтаванні настає лише тоді, коли всі резервні пори будуть заповнені водою або льодом, що утворився при її замерзанні. Відсоткове співвідношення компонентів в'язучого та заповнювачів та результати експериментів наведено у таблиці 1.

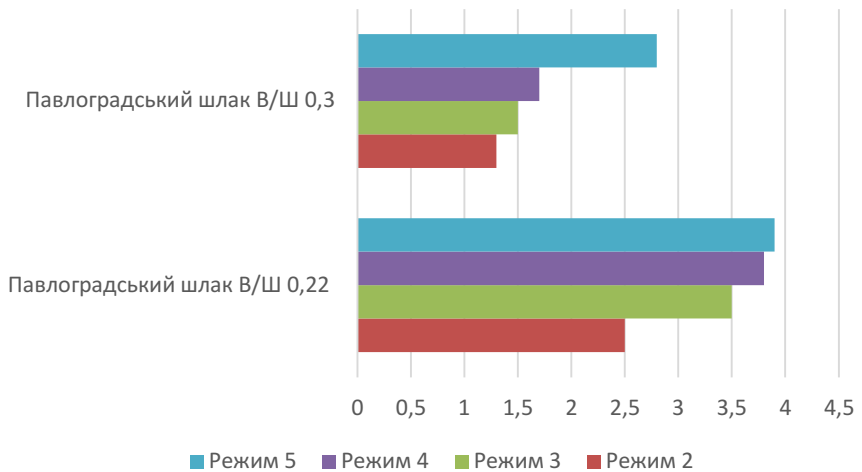


Рис. 1. Сорбційне зволоження карбонатно шлакового матеріалу від В/Ш - відношення:

1,1' - Павлоградський шлак, відповідно при В/Ш = 0,22 та 0,30;

Впливає з результатів випробування морозостійкості:

- низьколужні карбонатношлакові в'язучі невисокої марки (М-125) мають морозостійкість не нижче 100 циклів поперемінного заморожування-відтавання;
- добавка порошкоподібної глини в кількості 4+5% суттєво підвищує марку за морозостійкістю, а міцність на проміжних стадіях випробувань немає тенденції до зменшення. Це диктує застосування добавок глини в сировинні суміші для підвищення марки виробів по морозостійкості каркаса; до 60% призводить до підвищення морозостійкості до марки більше Р-200;
- наповнення карбонатношлакового в'язучого дрібним заповнювачем фракції 0+5мм знижує морозостійкість пресувань, проте карбонатний пісок має перевагу в порівнянні з кварцовим. Ймовірно, це можна пояснити більшою адгезією карбонатношлакового в'язучого до поверхні кальциту, що підтверджується результатами міцності зчеплення в'язучого поверхнею кальциту та кварцу. Проте досягнута марка по морозостійкості Р50+Р75 для карбонатношлакових виробів відповідає вимогам - ГОСТ 7484-78 за цим показником до стінових матеріалів;
- порівняння морозостійкості зразків на цементному та карбонатношлаковому в'язучому при рівних частках заповнювача свідчить про близьких їх значеннях;

Таблиця 1

Характеристика складів та марка зразків по морозостійкості

№ п/п	Склад композицій співвідношення компонентів масових % від маси композиції в'язучого					Водошлакове співвідношення	Міцність при стиску Кстиск, МПа,	Марка по морозостійкості
	шлак	Цement	Вапняк	Глина	Луґа			
1	18,1/22,0	-	72,8/80,0	-	2,3/2,6	0,6	-	F100
2	18,4/21,0	-	68,8/78,0	4,8/5,2	10,9/12,8	0,6	12,8	F150
3	52,8/61,0	-	38,2/41,0	-	10,9/12,8	0,2	31,9	F200
4	15,3/51,4	-	14,2/52,6	-	10,8/12,6	0,026	-	F75
5	14,5/52,8	-	14,6/51,6	-	0,8/2,4	0,028		F100

Висновки

1. Водопоглинання суттєво зменшується із зменшенням кількості води замішування суміші, з введенням до складу суперпластифікатора та при введенні до складу композиційного в'язучого глини;
2. Карбонатношлакові в'язучі невисоких марок (М-125) мають морозостійкість не нижче 100 циклів, добавка порошкоподібної глини підвищує марку за морозостійкістю до 60%, введення в систему дрібнозернистого наповнювача знижує морозостійкість пресування;
3. Перехід на вібропресування не знижує показників міцності на оптимальних складах, за рахунок підвищення пористості, але суттєво знижує модуль стискаємості. При введенні в карбонатношлакове в'язуче дрібнозернистого наповнювача фізично збільшується тріщиностійкість матеріалу.

1. Алексеенко А.Е., Мурашко Л.Д., Николаенко В.Г. Влияние режима тепловлажностной обработки на свойства шлакощелочного мелкозернистого бетона. // Строительные материалы и конструкции. – Строительные материалы. - 1989.- №9.- с.27-28. Киев : Будівельник, 1987. -№2-с.33.

Alekseenko A.E., Murashko L.D., Nykolaenko V.H. Vlyianyе rezhymа teplovlazhnostnoy obrabotky na svoystva shlakoshchelochnoho melkozernystoho betona. // Stroytelnye materyaly y konstruksyy. – Stroytelnye materyaly. - 1989.- №9.- s.27-28. Kyev : Budivelnik, 1987. -№2-s.ZZ.

2. Арбузова Т.Б., Сухов В.Ю. Безавтоклавные стеновые материалы на основе местного сырья.// Вопросы планировки и застройки городов: Тезисы докладов 1-междун. научно-практической конференции - Пенза, 1994.- с. 23-25.

Arbuzova T.B., Sukhov V.Iu. Bezavtoklavnye stenovyye materyaly na osnove mestnoho syrya.// Voprosy planirovki y zastroyki horodov: Tezysy dokladov 1-mezhdun. nauchno-praktycheskoi konferentsyy - Penza, 1994.- s. 23-25.

3. Бабков В.В., Полак А.Ф., Комохов П.Г. Аспекты долговечности цементного камня // Цемент. - 1988. - №3. - с.14-16.

Babkov V.V., Polak A.F., Komokhov P.H. Aspekty dolhovechnosti tsementnoho kamnia // Tsement. - 1988. - №3. - s.14-16.

4. Баженов Ю.М. Бетоны XX I века / Ресурсо- и энергосберегающие технологии строительных материалов, изделий и конструкций: Материалы международной конференции - Белгород, 1995. - с.3-5.

Vazhenov Yu.M. Betonny XX I veka / Resurso- y enerhosberehaiushchye tekhnolohyy stroytelnykh materyalov, yzdelyi y konstruktsyi: Materyaly mezhhdunarodnoi konferentsyy - Belhorod, 1995. - s.3-5.

5. Баррер Р. Гидротермальная химия цеолитов: перевод с англ. - М.: Мир, 1985. - 424с.

Barrer R. Hydrotermalnaia khymia tseolytov: perevod s anhl. - M.: Myr, 1985. -424s.

6. Безрук В.М. Теоретические основы укрепления грунтов цементами. - М.: Автотрансиздат. - 1956.- 124с.

Bezruk V.M. Teoretycheskye osnovy ukrepleniya hruntov tsementamy. - M.: Avtotransyzdat. - 1956.- 124s.

7. Береговой А.М., Калашников В.И., Викторова О.Л. Ограждающие конструкции из бетонов для энергоэффективных зданий.// Вопросы планировки и застройки городов: Тезисы докладов П-междун. научно-практической конференции - Пенза, 1995.-с. 105-107.

Berehovoі A.M., Kalashnykov V.Y., Vyktorova O.L. Ohrzhdaіushchye konstruktsyy yz betonov dlia energoіeffektyvnykh zdaniy.// Voprosy planyrovyky y zastryіky horodov: Tezysy dokladov P-mezhdun. nauchno-praktycheskoі konferentsyy - Penza, 1995.-s. 105-107.

8. Березовська А.О.// Моделювання морозостійкості композиції легкого карбонатно шлакового бетону // С.М.Боровіков, О.М. Назаренко, В.І.Залевський, О.О.Ліфаненков, В.Я.Гарбар. НУВГП, Рівне, 2023, 44 вип. С.3-11.

Berezovska A.O.// Modeliuvannia morozostiіkosti kompozytsii lehkoho karbonatno shlakovoho betonu // S.M.Borovikov, O.M. Nazarenko, V.I.Zalievskiy, O.O.Lifanenko, V.Ia.Harbar. NUVHP, Rivne, 2023, 44 vyp. S.3-11.

9. Назаренко О.М.// Актуалізація розробки технологічного процесу використання техногенних відходів в будівельному виробництві // С.І.Ломовацький, А.О.Березовська, О.С.Іщенко, М.В.Кулік, Н.С.Сторчай. НУВГП, Рівне, 2022, 44 вип. С.68-76.

Nazarenko O.M.// Aktualizatsiia rozrobky tekhnolohichnoho protsesu vykorystannia tekhnohennykh vidkhodiv v budivelnomu vyrobnytstvi // S.I.Lomovatskyi, A.O.Berezovska, O.S.Ishchenko, M.V.Kulik, N.S.Storchai. NUVHP, Rivne, 2022, 44 vyp. S.68-76.