УДК 691.075.3/691.54+691.327.3

Пушкарьова К.К., Каверин К.О.

Київський національний університет будівництва та архітектури, м. Київ

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ФОРМУВАННЯ КОНТАКТНОЇ ЗОНИ «В'ЯЖУЧА РЕЧОВИНА – КЕРАМЗИТОВИЙ ГРАВІЙ» ТА ОЦІНКА ЇЇ ВПЛИВУ НА КІНЕТИКУ НАРОЩУВАННЯ МІЦНОСТІ ЛЕГКИХ БЕТОНІВ

У статті наведені результати дослідження контактної зони легкого керамзитобетону на основі портландцементу, модифікованого комплексною органо-кремнеземистою добавкою, та встановлено, що використання такої добавки сприяє збільшенню мікротвердості контактної зони «в'яжуча речовина – заповнювач», що позитивно відбивається на швидкості нарощування міцності легких бетонів у часі.

В статье приведены результаты исследования контактной зоны легкого керамзитобетона на основе портландцемента, модифицированного комплексной органо-кремнеземистой добавкой, и установлено, что использование такой добавки способствует увеличению микротвердости контактной зоны «вяжущее вещество - заполнитель», что положительно отражается на скорости наращивания прочности легких бетонов во времени.

The article has the research results of contact zone for lightweight concrete based on portland cement modified by a complex of organic-silica additives and was found that the use of such additives increases the microhardness contact zone "binder – aggregate" that positively affects the speed increasing strength of lightweight concrete in time.

Вступ

Багаторічний досвід використання високоміцних легких бетонів, враховуючи їх фізико-механічні та структурні особливості, дає підстави вважати такі матеріали найбільш перспективними для будівництва, оскільки головною перевагою їх є зниження маси бетону на 15-35%, порівняно з важкими бетонами на гранітному щебені, при збереженні або збільшенні міцності при стиску. Вирішальний вплив на властивості легкого бетону має не тільки його склад, але й особливості формування контактної зони «в'яжуча речовина – заповнювач». Тому в розвитку технології високоміцного легкого бетону актуальним є зниження витрати цементу і отримання однорідної структури матеріалу за

рахунок модифікації в'яжучої речовини та раціонально підібраного гранулометричного складу заповнювачів [1].

Основними передумовами синтезу міцності і довговічності високоміцних легких бетонів є більш повне використання потенційних можливостей портландцементу. В останні роки це зазвичай досягається застосуванням різних модифікуючих добавок, які сприяють отриманню високоякісної структури на нано- та мікрорівні [1, 2, 9 - 14].

Мета роботи

Метою роботи є дослідження контактної зони «в'яжуча речовина – керамзитовий гравій» в структурі легких бетонів, отриманих на основі портландцементу, модифікованого комплексною органо-кремнеземистою добавкою.

Методи дослідження

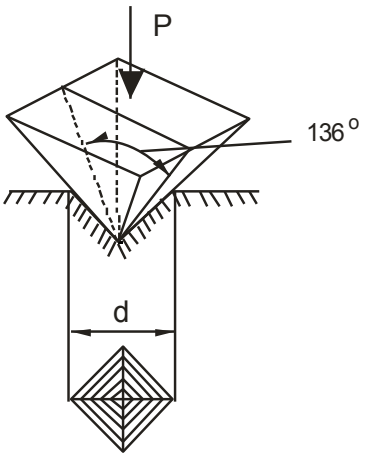
У дослідженнях використовували портландцемент ПЦ І-500Р, модифікований комплексною добавкою на основі полікарбоксилату (SikaPlast 555W) та кремнеземистого компонента на основі тонкомолотого трепелу Коноплянського родовища ($S_{пит}$=21300 $см^2/г$). Як дрібний заповнювач використано пісок дніпровський річковий кварцовий з модулем крупності $М_к$ = 1,28. В якості крупного заповнювача застосовано керамзитовий гравій ТОВ «Хмельницький завод керамзитового гравію» з насипною густиною 600 $кг/м^3$ (М600); марка за міцністю П125 (міцність при стискуванні у циліндрі 3,03 МПа).

Підбір складу бетону виконували розрахунково-експериментальним способом з урахуванням загально прийнятої методики отримання бетонів [3 - 4].

Фізико-механічні характеристики одержаних керамзитобетонів вивчені із залученням традиційних методик за діючими нормативними документами [5 - 7].

Електронно-мікроскопічні дослідження мікроструктури отриманого штучного каменю були проведені на мікроскопі РЕММА-102 та портативному мікроскопі Dino-Lite AM4113TS.

Мікротвердість контактної зони "в'яжуча речовина – заповнювач" визначали із застосуванням мікротвердоміра ПМТ-3 (рис.1, а). За цим методом твердість вимірювали шляхом вдавлення у зразок алмазного індентора під дією статичного навантаження *P* протягом часу витримки τ (рис.1, б). Число твердості визначали діленням прикладеного навантаження на умовну площу бокової поверхні отриманого відбитка. Даний спосіб випробування називається методом відновленого відбитку, коли розміри відбитку визначаються після зняття навантаження [8].



а) б)

Рис. 1 – Прилад ПМТ-3(а) та схема випробування мікротвердості (б) методом відновленого відбитку

Результати досліджень та їх обговорення

Підбір складу досліджувальних бетонів виконано враховуючи результати попередніх досліджень щодо модифікації портландцементної матриці органо-кремнеземистими добавками [9 - 14].

Для дослідження були використані легкі бетони, склади яких наведено в таблиці 1.

Таблиця 1.

Зміна міцності при стиску зразків керамзитобетону у часі

№ скаду	Склад керамзитобетонної суміші, кг/м^3					Міцність бетону при стисненні, МПа, після твердіння, діб					Середня густина бетону, кг/м^3
	Портландцемент ПЦ I-500Р, кг	Пісок кварцовий (Мк=1,21), кг	Керамзитовий гравій (М600) фракції 5-10, кг	Тонкомелений трепел, кг	Суперпластифікатор SikaPlast 555W (1,5%), кг	3	7	28	180	365	
№1	330	940	410	-	-	21,6	23,3	27,6	32,8	33,6	1853
№2	330	940	410	-	4,95	22,7	26,1	34,9	35,8	37,4	1858
№3	300	940	410	33	4,5	29,8	34,1	38,2	40,5	44,2	1859

Ефективність дії органо-кремнеземистої добавки досліджували з використанням цементних композицій різної складності структури, тобто випробування проводили з використанням цементного каменю, цементно-піщаного розчину та керамзитобетону. Результати досліджень наведені в таблиці 2.

Так введення комплексної добавки на основі полікарбоксилатного суперпластифікатора SikaPlast 555W в кількості 1,5% та меленого трепелу в кількості 10% до складу в'яжучих речовин забезпечує більш рівномірний набір міцності при стиску керамзитобетонів як на ранніх термінах твердіння, так і у більш пізніх. При переході від цементного каменю до бетону, при поступовому ускладненні структури, має місце зниження швидкості набору міцності у часі: для цементного каменю підвищення міцності на 28 та 365 добу становить 80 та 53% відповідно; для будівельного розчину — 54 та 59%; для бетону — 38,4 та 31,5% порівняно з міцністю контрольного складу. Це пояснюється збільшенням неоднорідності структури та зміною співвідношення «в'яжуча речовина – заповнювач».

Порівняння отриманих даних кінетики набору міцності штучного каменю з різним ступенем складності структури (тіста, розчину та бетону) дозволяє зафіксувати значний вплив взаємодії як дрібного, так і крупного заповнювача з цементним тістом.

Таблиця 2.

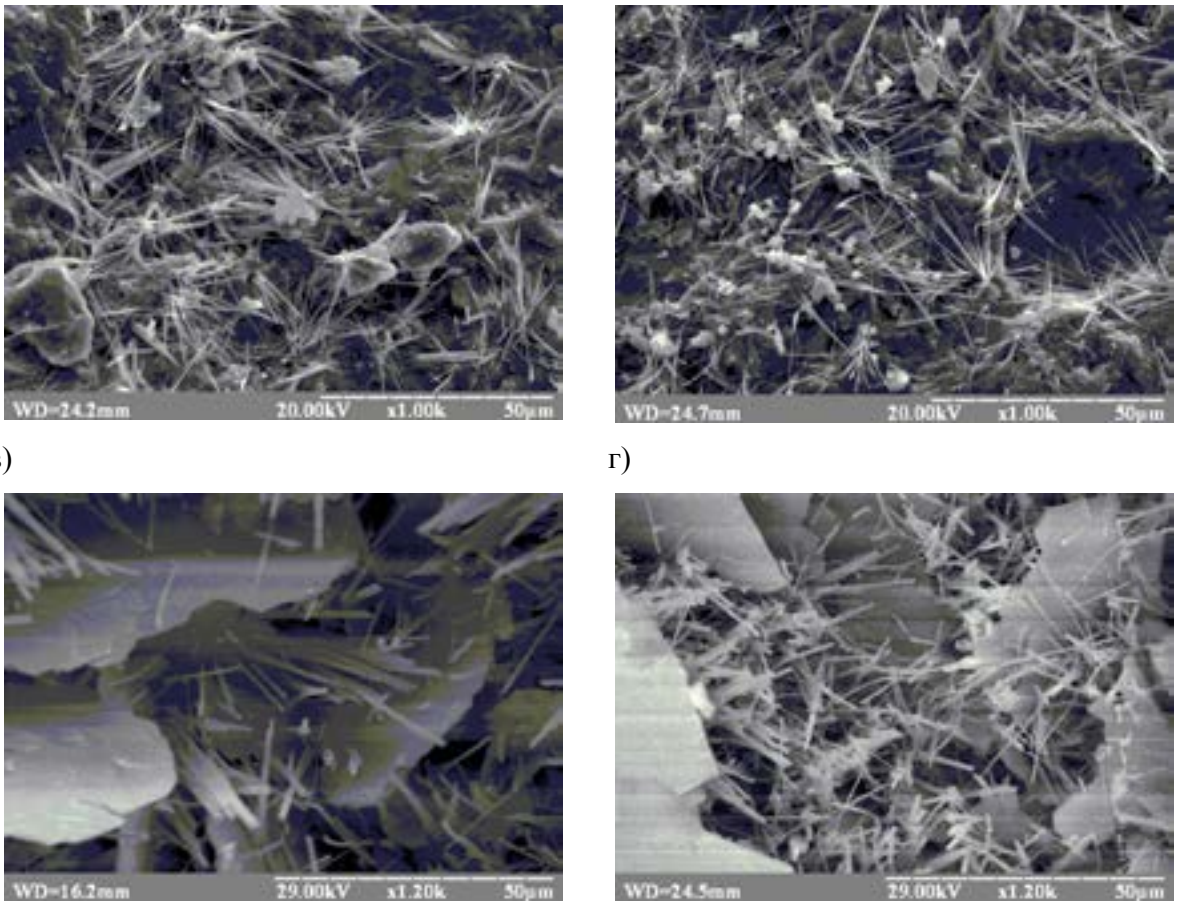
Кінетика зміни міцності при стиску цементного тіста, цементно-піщаного розчину та керамзитобетону на основі портландцементу, модифікованого комплексною органо-кремнеземистою добавкою

Вид штучного каменю	Наявність добавок у складі цементних композицій	Міцність при стиску, МПа, штучного каменю, після твердіння, діб	
		28	365
штучний камінь	без добавок	56,1	79,5
	з комплексною органо-кремнеземистою добавкою	101,1	121,9
цементно-піщаний розчин	без добавок	52,1	59,3
	з комплексною органо-кремнеземистою добавкою	80,4	94,7
керамзитобетон	без добавок	27,6	33,6
	з комплексною органо-кремнеземистою добавкою	38,2	44,2

Модифікація портландцементних в'яжучих систем комплексною органо-кремнеземистою добавкою, що містить полікарбоксилатний суперпластифікатор SikaPlast 555W (1,5%) та мелений трепел Коноплянського родовища (10%), сприяє більш інтенсивному формуванню гідратних новоутворень, представлених переважно низькоосновними гідросилікатами кальцію, плазолітом та гідрогранатами (рис.2), які сприяють мікроармуванню цементного каменю, зміцнюючи при цьому його структуру та

покращуючи зчеплення із заповнювачем, що є однією з передумов отримання довговічного легкого бетону з підвищеними експлуатаційними характеристиками [11, 12].

а) б)



в) г)

Рис. 2 – Фотографії (х1200) мікроструктури цементного каменю, модифікованого комплексною органо-кремнеземистою добавкою, що містить полікарбоксилатний суперпластифікатор SikaPlast 555W і мелений трепел Коноплянського родовища після 28 (а, б) та 365 (в, г) діб твердіння.

Для більш детального вивчення впливу добавки на формування міцності штучного каменю різного ступеня складності структури було вивчено контактну зону “в’яжуча композиція – заповнювач” на зразках бетону після 1 року твердіння, який отримано на основі бездобавочних портландцементних в’яжучих систем та систем, модифікованих комплексною органо-кремнеземистою добавкою. Дослідження проводили за допомогою електронно-мікроскопічного аналізу, результати представлені на рис. 3 - 4.

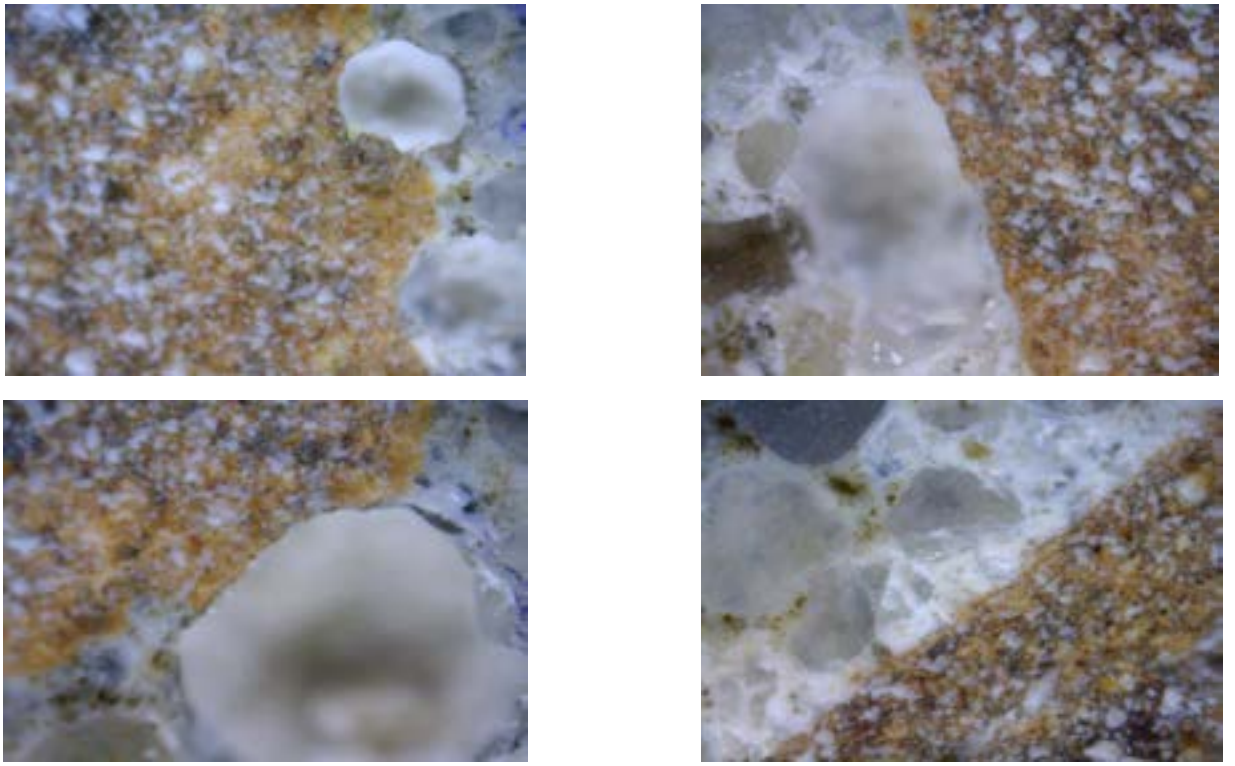


Рис. 3 – Фотографії (х500) макроструктури контактної зони “в’яжуча речовина - заповнювач” керамзитобетонів на основі портландцементу (контрольний склад)

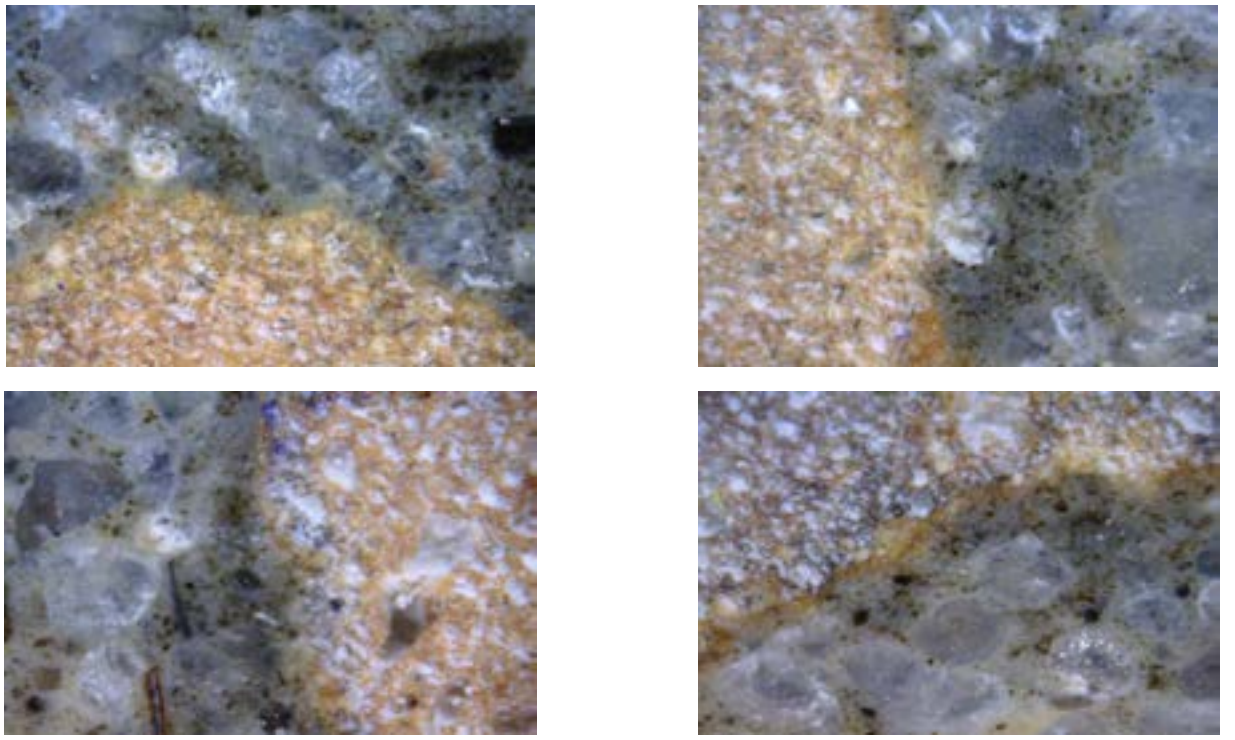


Рис. 4 - Фотографії (х500) макроструктури контактної зони “в’яжуча речовина - заповнювач” керамзитобетонів на основі портландцементу, модифікованого комплексною органо-кремнеземистою добавкою

Встановлено, що в структурі керамзитобетону на основі портландцементу, що не містить комплексної органо-кремнеземистої добавки, можна спостерігати чітку лінію контакту на границі “в’яжуча речовина – заповнювач” (рис. 3). Введення комплексної добавки призводить до стирання цієї лінії контакту та сприяє більш інтенсивному зрощуванню зерен заповнювача з цементним каменем, що обумовлює зниження кількості макропор на межі “в’яжуча речовина – заповнювач” (рис. 4), порівняно з бездобавочним складом.

Наявність у структурі керамзитового гравію ізольованих закритих та відкритих пор сприяє проникненню (за рахунок ефекту самовакуумування) портландцементного тіста в структуру керамзиту, внаслідок чого відбувається взаємодія між алюмосилікатною складовою керамзиту та продуктами гідратації портландцементу, що сприяє формуванню більш міцної контактної зони. При цьому, вірогідно, в складі новоутворень, крім низькоосновних гідросилікатів кальцію, будуть присутні також гідроалюмосилікати, наприклад гідрогеленіт.

Ефективність модифікації портландцементних композицій комплексною органо-кремнеземистою добавкою визначається характером зміни мікротвердості контактної зони: “в’яжуча речовина - заповнювач”, результати визначення якої наведено на рис. 5.

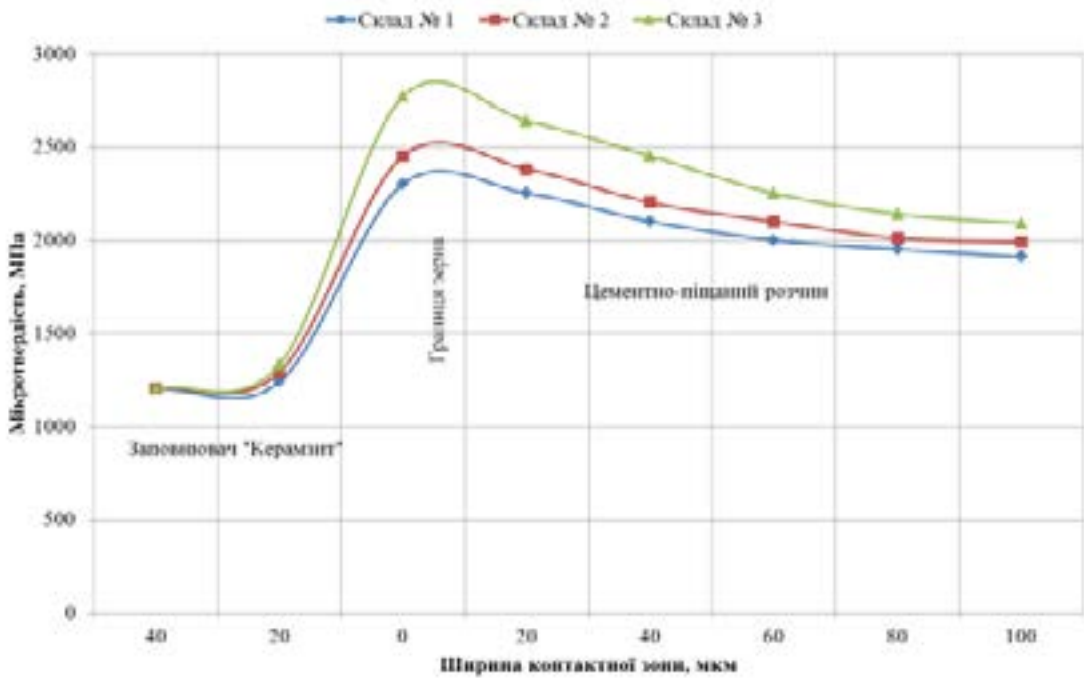


Рис. 5 – Зміна мікротвердості контактної зони «в’яжуча речовина – заповнювач» для керамзитобетонів: № 1 – контрольний склад; № 2 – модифікований суперпластифікатором SikaPlast 555W; № 3 – модифікований комплексною органо-кремнеземистою добавкою на основі суперпластифікатора SikaPlast 555W та меленого трепелу Коноплянського родовища

Аналіз отриманих даних свідчить, що мікротвердість дослідженого зразка керамзитобетону на основі немодифікованого портландцементу на ділянці шириною 20мкм від умовної границі зерна заповнювача плавно збільшується від 1300 МПа (заповнювач) до 2100…2300 МПа (цементний камінь), що на 20% більше мікротвердості каменя розчинної частини бетону (рис. 5, склад №1).

Модифікація керамзитобетону добавкою суперпластифікатора SikaPlast 555W (рис. 5, склад №2) збільшує мікротвердість на границі із заповнювачем до 2450 МПа, що на 24% більше мікротвердості аналогічної зони контрольного складу.

При введені комплексної органо-кремнеземистої добавки до складу керамзитобетону (рис. 5, склад № 3) значення мікротвердості на умовній границі зерна заповнювача досягає 2770 МПа, що на 32% більше мікротвердості цементного каменю на умовній границі зерна та на 19% більше мікротвердості цементно-піщаного розчину в міжзерновому просторі порівняно з контрольним складом. Міцність при стиску такого модифікованого керамзитобетону зростає на 25…30%, порівняно з бездобавочним складом керамзитобетону.

Таким чином, проведеними дослідженнями вивчено особливості формування мікро-, мезо- і макроструктури керамзитобетону при модифікації комплексною органо-мінеральною добавкою, що забезпечує створення високоміцних легких керамзитобетонів з покращеними експлуатаційними властивостями.

Висновки

Досліджена кінетика нарощування міцності цементного каменю, цементно-піщаного розчину, керамзитобетону та показано, що підвищення міцності пов’язано як з формуванням низькоосновних гідросилікатів, так і зі збільшенням міцності контактної зони, що забезпечується щільним зчепленням та зрощуванням заповнювача з в’яжучою речовиною за рахунок проникнення її в поровий простір зерна заповнювача, внаслідок чого збільшується спільна ширина контактної зони, а мікротвердість досягає значень 2770 МПа, які на 32% перевищують аналогічні показники для контрольного складу бетону.

Перелік посилань

1. Баженов Ю.М. Модифицированные высококачественные бетоны [Текст] / Ю.М., Баженов, В.С. Демьянова, В.И. Калашников. – М.: АСВ, 2006. – 380 с.

2. Ризван С. А. Роль минеральных добавок в высококачественных цементных системах [Текст] /С.А. Ризван, Т.А. Байер // Бетон и железобетон - пути развития: Научные труды II Всероссийской (Международной) конференции по бетону и железобетону. - М.: Дипак, 205. - Т.3. - С. 727 - 732.

3. ДСТУ Б В.2.7-215:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Правила підбору складу [Текст]. – Чинний від 2009-12-22. – Київ: Укрархбудінформ, 2010. – 14 с. – (Державний стандарт України).

4. Дворкін Л.Й. Випробування бетонів і будівельних розчинів. Проектування їх складів [Текст]: навчальний посібник / Дворкін Л.Й., Гоц В.І, Дворкін О.Л. — К.: Основа, 2014. – 304 с.

5. ДСТУ Б В.2.7-176:2008 (EN 206-1:2000, NEQ). Будівельні матеріали. Суміші бетонні та бетон. Загальні технічні умови [Текст]. – Чинний від 2010-04-01. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. – 109 с. – Державний стандарт України.

6. ДСТУ Б В.2.7-214:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками [Текст]. – Чинний від 2009-12-22. – Київ: ДП «Укрархбудінформ», 2010. – 36 с. – Державний стандарт України.

7. Лещинский М.Ю. Испытания бетона [Текст] / Лещинский М.Ю. —М.: Стройиздат, 1980. - 360 с.

8. Колмаков А.Г. Методы измерения твердости [Текст]: справочное издание / Колмаков А.Г., Терентьев В.Ф., Бамеров М.Б. — М.: Интермет Инжиниринг, 2000. – 128 с.

9. Пушкарьова, К. К. Дослідження впливу органо-кремнеземистих добавок на міцність цементних композицій [Текст] / К. К. Пушкарьова, К. О. Каверин // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – 2014. – № 57. – С. 371–379.

10. Пушкарьова К.К. Дослідження сумісності дії складових органо-кремнеземистої добавки та їх вплив на процеси структуроутворення цементного каменю / Пушкарьова К.К., Каверин К.О. // Збірник наукових праць «Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди». Випуск 31 – 2015. Рівне – С. 322 - 329.

11. Pushkarova, K. K. Research of high-strength cement compositions modified by complex organic-silica additives [Text] / K. K. Pushkarova, K. O. Kaverin, D. O. Kalantaevsky // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. - 2015. - Vol. 5, Issue 5 (77). - P. 42-51. doi: 10.15587/1729-4061.2015.51836

12. Пушкарьова К.К. Особливості модифікації цементної матриці для отримання високоміцних легких керамзитобетонів / Пушкарьова К.К., Гончар О.А., Каверин К.О. // Зб. наук. праць «Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка», № 52. – 2014. – С. 43 - 48.

13. Каверин К.О. Високоміцні легкі керамзитобетони, модифіковані полікарбоксилатними суперпластифікаторами / Каверин К.О. // Зб. наук. праць «Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка» № 56 (ISSN 2413-7693) – 2015. Київ – С. 47 - 54.

14. Пушкарьова К.К. Використання високоміцних керамзитобетонів в каркасно-монолітному будівництві / Пушкарьова К.К., Каверин К.О. // Збірник наукових праць

«Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди» Випуск 33(ISBN 966-7447-21-9) – 2016. Рівне – С. 75 - 83.