

ФОРМУВАННЯ МЕЗОСТРУКТУРИ ВИСОКОФУНКЦІОНАЛЬНИХ ДРІБНОЗЕРНИСТИХ БЕТОНІВ З ВИСОКОЮ МІЦНІСТЮ У РАНЬОМУ ВІЦІ

© Русин Б.Г., 2011

Показано вплив мезоструктури на міцність дрібнозернистих бетонів, досліджена можливість використання різних видів дрібних заповнювачів та проаналізовано їхній вплив на реологічні та фізико-механічні властивості високофункціональних бетонів з високою міцністю у ранньому віці.

Ключові слова: мезоструктура, високофункціональні дрібнозернисті бетони, поліфракційний дрібний заповнювач, технологічність, висока міцність у ранньому віці.

The article shows the influence of mesostructure on strength of High Performance fine-grained concrete, the possibility of using different types of fine aggregates and their influence on physical, mechanical and rheological properties in producing rapid hardening concretes with is investigated.

Key words: mesostructure, High Performance fine-grained concrete, polyfractional fine aggregate, manufacturability, rapid hardening concrete.

Вступ. Промисловість будівельних матеріалів та будівництво в усіх технічно розвинених країнах скеровані на розроблення ефективних матеріалів, використання яких є економічно доцільним та дає змогу скоротити енергетичні витрати сировини та ресурсів. Інтенсивний розвиток технології з кожним днем змінює уявлення про бетон, який був та надалі залишається найважливішим матеріалом в будівництві. Сьогодні особливо важливим та актуальним для будівельників є розроблення та впровадження бетонів нового покоління, сучасних будівельних технологій, що дає змогу істотно збільшити обсяги будівництва та втілити в життя найцікавіші архітектурні проекти. Підвищення міцності бетону пов'язане з додатковими виробничими витратами, але, як показують розрахунки, вони окуповуються і досягається позитивний ефект під час використання їх у будівництві. Цей ефект є значним під час використання швидкотверднучих бетонів, оскільки при цьому створюються найраціональніші умови для повної механізації і автоматизації процесів. Сьогодні виробництво бетону ґрунтується на глибокому вивченні процесів, що розкривають нові закономірності структуроутворення на різних рівнях: мікро-, мезо-, і макрорівні.

Постановка проблеми. Сучасні дослідження бетонів на гідравлічних в'язучих значною мірою пов'язані з необхідністю покращання їхніх експлуатаційних властивостей: технологічності приготування сумішей, високих ранньої та марочної міцностей та довговічності. Структура бетону загалом є головним визначальним чинником його основних фізико-механічних властивостей. Тому дослідження впливу дрібних заповнювачів на формування однорідної структури, досягнення високих показників міцності у ранні терміни тверднення та одержання високофункціонального бетону є надзвичайно актуальним. Залежності між структурою бетону і його властивостями є загальними закономірностями для усіх видів бетонів, складовими структурної теорії композиту. Встановивши ці закономірності, можна впливати на структуру бетону, формувати його властивості, що у підсумку забезпечить бетону задані технічні показники.

Аналіз останніх джерел і публікацій. Конструкційні матеріали штучного походження, призначені для забезпечення вимог сучасного будівництва, розробляються з урахуванням фундаментальних наук. Саме такий шлях визначає їхню ефективність та конкурентоспроможність. У матеріалознавстві такими основами виступають закономірності фізико-хімічних процесів, що визначають структуроутворення будівельних конгломератів.

Сьогодні конструкційним матеріалом, здатним виконувати комплекс найскладніших завдань у будівництві, є бетон. Виявлення нових властивостей складових таких систем на рівні енергетичного стану мікрочасток, а також поведінки системи на мезорівні, дало змогу сформулювати основні теоретичні положення тверднення цементних систем з урахуванням можливостей їх модифікування у напрямі забезпечення заданих властивостей [1].

Сучасні технології інтенсивних способів спорудження будівель вимагають розпалубку монолітних конструкцій у найкоротші терміни за достатньої якості самих конструкцій. Тому сьогодні для бетонних конструкцій різних інженерних споруд все частіше застосовуються так звані високофункціональні бетони – High Performance Concrete (HPC), що характеризуються високими експлуатаційними властивостями. Основними галузями використання таких бетонів є висотне будівництво, атомні електростанції, морські гідротехнічні споруди, мости та інженерні споруди, дорожні покриття монолітних і збірно-монолітних споруд, злітно-посадкові смуги аеродромів, стартові комплекси для космічних систем та інші спеціальні об'єкти [2].

Останнім часом в результаті різкого збільшення інтенсивності транспортних потоків, погіршення стану довкілля та дії агресивних середовищ (автомобільні викиди, паливно-мастильні матеріали, хімічні реагенти тощо) істотно збільшились навантаження на залізобетонні конструкції транспортних споруд, мостів, шляхопроводів, тунелів, що призводить до їх передчасного руйнування і вимагає постійного ремонту. Відомо [3], що вже після тривалої експлуатації в елементах залізобетонних мостів виникають місцеві руйнації захисного шару бетону з оголенням робочої арматури. Такого роду дефекти відновлюються здебільшого цементно-піщаним розчином, який характеризується недостатньо міцним зчепленням із бетоном конструкції й арматурою, що особливо помітно за динамічного впливу транспорту. Існуючі матеріали і технології ремонту залізобетонних конструкцій транспортних споруд дуже часто не відповідають вимогам та умовам експлуатації, а інколи дуже дорогі та передбачають використання матеріалів закордонного виробництва. Тому для здійснення якісного ремонту таких конструкцій потрібна розробка нових і вдосконалення традиційних матеріалів та технологій з метою підвищення їх експлуатаційних властивостей. Особливості умов ремонту й експлуатації залізобетонних конструкцій потребують використання спеціальних швидкотверднучих дрібнозернистих бетонних сумішей для відновлення захисного шару, що мають підвищені адгезійні властивості, інтенсивний набір ранньої міцності, високу водонепроникність, морозостійкість, а також низькі показники усадження і набухання. Бетонні суміші при цьому повинні бути доступними, технологічними й екологічно безпечними. Важливим є також використання місцевих матеріалів з метою підвищення якості ремонтних робіт і зниження їх вартості [3].

Дрібнозернисті бетони відрізняються від звичайних великозернистих вищим вмістом цементного каменю, меншою крупністю зерен, підвищеною пустотністю і питомою поверхнею заповнювача, зміною співвідношення між окремими фракціями. Уся еволюція удосконалення структури бетону з підвищенням його міцності пов'язана зі зменшенням розмірів великого заповнювача з 20–40 до 3–10 мм [4].

Як відомо [5], структура бетону загалом є головним та визначальним чинником його фізико-механічних властивостей. Структура бетону ущільнюється в процесі тверднення. Після приготування і ущільнення бетонної суміші в результаті гідратації цементу свіжовкладена суміш повільно набирає міцність, проте деякий час вона ще має здатність до значних пластичних деформацій. Після формування новоутворень починається перехід від коагуляційної структури до кристалізаційної зі швидким наростанням міцності. У процесі тверднення структура бетону ущільнюється. Тривалість періоду формування структури бетону і її властивості залежать від складу вихідних матеріалів. Визначальне значення має також тип в'язучого та наявність хімічних

добавок. Застосування швидкотверднучих цементів, прискорювачів тверднення, зменшення водоцементного відношення, підвищення жорсткості та температури бетонної суміші сприяє прискоренню процесів структуроутворення. Отже, поряд із вибором модифікуючих добавок чинником забезпечення високої міцності бетону є фракційний склад заповнювачів. Закономірності впливу цього чинника потребують вивчення, особливо з врахуванням можливостей вітчизняної сировинної бази [5].

Модифіковані дрібнозернисті бетони передбачають оптимізацію структури бетону на мікро-, мезо- та макрорівнях, тобто оптимізацію структури цементного каменю, розчину та бетону, а також технології їх виготовлення. Дрібнозернисті бетони застосовуються під час ремонту та виготовлення несучих елементів бетонних і залізобетонних конструкцій, фундаментів під устаткування під час будівництва злітно-посадкових смуг аеродромів, паркінгів для вантажівок тощо. Для підсилення колон нижніх поверхів використовують спеціальні дрібнозернисті бетони класу В40 і вище. Такі бетони повинні забезпечувати необхідну технологічність та міцність, корозійну стійкість, низьку стиранисть [6].

Мета роботи – встановити закономірності формування мезоструктури високофункціональних бетонів з високою міцністю у ранньому віці та дослідити їх вплив на реологічні та фізико-механічні властивості.

Методи досліджень і матеріали. Як вихідні матеріали під час проведення експериментальних досліджень використано портландцемент МРЗ польського виробництва з такими показниками: питома поверхня $S_{\text{пит}}=625 \text{ м}^2/\text{кг}$, залишок на ситі № 008 – 1 %, початок тужавіння – 2 год 5 хв, кінець – 4 год 35 хв. Як дрібні заповнювачі використовували кварцовий пісок Ясинецького родовища Львівської області з модулем крупності $M_{\text{кр}} = 1,47$, середньою густиною – $1420 \text{ кг}/\text{м}^3$, пустотністю – 42 %, істинною густиною – $2,61 \text{ г}/\text{см}^3$, вмістом пилюватих та глинистих домішок – 1,4 %; стандартний пісок згідно з ДСТУ Б В.2.7-189-2009 та поліфракційний пісок (EN 196-1).

Результати досліджень. Мезоструктура – структура розчинової частини бетону, яка формується зернами піску, в'язучого та наповнювачів. Вона визначається такими параметрами, як зерновий склад дрібного заповнювача, дисперсність наповнювачів, природа цих матеріалів (щільні, пористі, штучні чи природні), їх кількість в системі, вміст води замішування. Відомо [5], що частинки одного розміру в ущільненому стані утворюють структуру з пустотністю 25–50 %. При цьому забезпечується утворення найщільнішої структури.

Очевидно, що неоднорідність зернового складу за правильного підбору фракцій і їх кількісного співвідношення забезпечує високу міцність за однакової витрати в'язучого та може сприяти зменшенню його витрати за однакової міцності. З цією метою було проведено багато досліджень, які пояснюють потребу в поліфракційній системі наповнювачів, що дає змогу створити максимально однорідну структуру бетону. Під час дослідження мезоструктури були використані три види різних дрібних заповнювачів. Фракційний склад пісків, які використовували під час проведення досліджень, показано на рис. 1.

Дослідженнями реологічних властивостей бетонних сумішей встановлено, що рухливість змінюється залежно від гранулометрії дрібного заповнювача (рис. 3). Так, використання ясинецького піску дає змогу отримувати розплив стандартного конуса, що становить 125 мм, тоді як використання стандартного піску (ДСТУ Б. В.2.7-189-2009) та поліфракційного піску (EN 196-1) забезпечує зростання розпливів відповідно до 205 та 237 мм за В/Ц=0,5.

Результати фізико-механічних випробувань дрібнозернистого бетону на ясинецькому піску свідчать (таблиця), що його міцність у нормальних умовах зростає в усі терміни тверднення. Так, міцність такого бетону через 1 та 2 доби на 2–5 % більша, ніж бетону, виготовленого на основі поліфракційного заповнювача, і становить 12,0 та 23,7 МПа відповідно. Проведеними експериментальними дослідженнями встановлено, що через 7 та 28 діб тверднення у нормальних умовах з використанням у складі дрібнозернистого бетону поліфракційного дрібного заповнювача

досягається зростання міцності до 37,1 та 52,6 МПа відповідно, що на 15–25 % вище порівняно з бетоном на ясинецькому піску. Це дає змогу вважати бетон на поліфракційному піску швидкотверднучим. Під час застосування стандартного піску (ДСТУ Б В.2.7-189-2009) спостерігається найнижчий набір міцності в усі терміни тверднення.

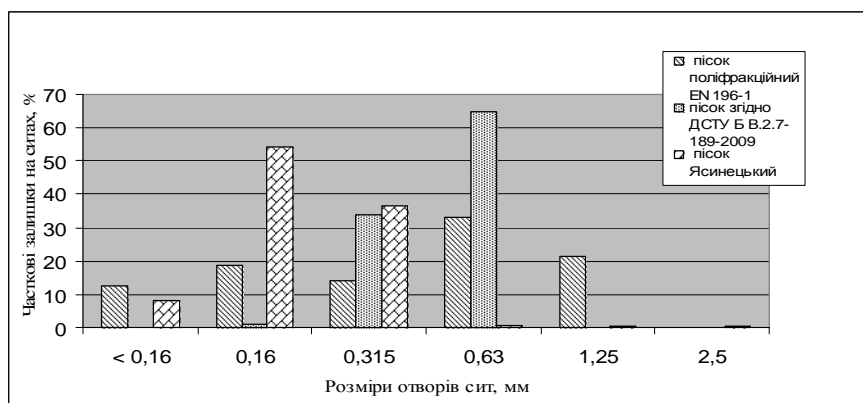


Рис. 1. Фракційний склад дрібних заповнювачів

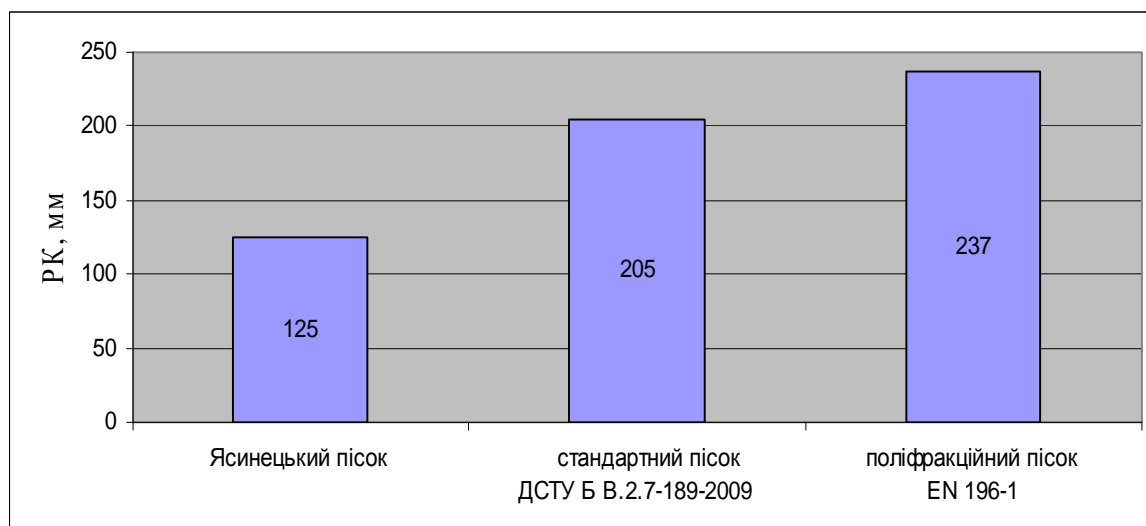


Рис. 2. Реологічні властивості дрібнозернистих бетонних сумішей під час використання різних типів дрібних заповнювачів

Вплив дрібного заповнювача на фізико-механічні властивості дрібнозернистих бетонів

Вид дрібного заповнювача	В/Ц	Границя міцності за стиску/згину (МПа), через діб			
		1	2	7	28
Поліфракційний пісок (EN 196-1)	0,50	<u>10,9</u> 1,1	<u>21,5</u> 2,0	<u>37,1</u> 3,7	<u>52,6</u> 5,4
Пісок згідно з ДСТУ Б В.2.7-189-2009	0,50	<u>9,8</u> 1,0	<u>17,6</u> 1,8	<u>26,8</u> 2,4	<u>38,3</u> 4,0
Ясинецький пісок	0,50	<u>12,0</u> 1,1	<u>23,7</u> 2,2	<u>36,5</u> 3,3	<u>48,3</u> 4,8

Отже, використання поліфракціонного піску під час виготовлення швидкотверднучих дрібнозернистих бетонів створює можливість отримання щільної мезоструктури, що, своєю чергою, визначає необхідні будівельно-технічні властивості таких матеріалів. За рахунок використання швидкотверднучих цементів типу MPZ створюється можливість отримання технологічних швидкотверднучих високофункціональних бетонів з високою ранньою та марочною міцністю.

Висновок. Встановлення закономірностей формування мезоструктури швидкотверднучих високофункціональних бетонів з високою міцністю у ранньому віці дає змогу одержати вищі показники міцності за стиску та згину порівняно зі звичайними бетонами, підвищити водонепроникність і стійкість бетону до агресивних впливів. Крім того, такі композити характеризуються нижчими значеннями усадкових деформацій під час тверднення і меншим коефіцієнтом температурного розширення. Це дасть змогу запобігти виникненню усадкових тріщин і відшаруванню бетону відремонтованої ділянки від бетону конструкції, що експлуатується, а також забезпечити довговічність відновлених ділянок. З метою одержання найекономічніших складів бетону для залізобетонних конструкцій доцільно використовувати матеріали вітчизняного виробництва.

1. Рунова Р.Ф., Гоц В.І., Саницький М.А. та ін. *Конструкційні матеріали нового покоління та технології їх впровадження в будівництво* / – К.: УВПК „ЕксОб”, 2008. – 360 с. 2. Jamroz J. *Beton i jego technologie*. – Warszawa: Wydawnictwo naukowe Pwn, 2000. – 486 s. 3. Бугаєвський С.О / автореф. дис. ...канд. техн. наук: 05.23.03.; Харк. держ. автомоб.-дорож. техн. ун-т. — Х., 1999. – 18 с. 4. Зайченко Н.М. *Высокопрочные тонкозернистые бетоны с комплексно модифицированной микроструктурой* / Н.М. Зайченко: монографія. – Макеевка: ДонНАСА, 2009. – 207 с. 5. Рунова Р.Ф., Носовський Ю.Л. / *Технологія модифікованих будівельних розчинів: підручник* / КНУБіА, 2007 – С. 44. 6. Русин Б.Г. *Модифіковані безгіпсові портландцементи для високофункціональних бетонів* / Б.Г. Русин, М.А. Саницький, О.Я. Шийко // *Вісник НУ “Львівська політехніка” “Теорія і практика будівництва”*. – 2010. – № 662. – С. 316–320.

УДК 624.21.012

В.Ю. Сало, І.Ю. Думич

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра автомобільних шляхів

ОЦІНКА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗБІРНО- МОНОЛІТНИХ НЕРОЗРІЗНИХ ПРОГОНОВИХ БУДОВ АВТОДОРОЖНИХ МОСТІВ

© Сало В.Ю., Думич І.Ю., 2011

Наведено техніко-економічні показники збірно-монолітних багатопрогонових нерозрізних мостів з попередньо напруженими стиками.

Ключові слова: збірно-монолітні конструкції, попередньо напружені стики, сумісна робота складових частин балки, економічна ефективність.

Technical and economic parameters multi-span longitudinal reinforced concrete bridges with prestressed joints are presented in the article.

Key words: multi-span constructions, prestressed joints, compatible work of component parts of beam, economic efficiency.

Вступ. Одним з найважливіших напрямів технічного прогресу у будівництві є врахування і якнайповніше використання специфічних властивостей матеріалів, які використовуються для створення конструкцій. Перспективним є застосування ефективних конструкцій, що уможлиблю-