

УДК 666.974.

**Драплюк М.В., к.т.н., ОДАБА, м. Одеса,
Пилипенко В.М., к.т.н., ЧНТУ, м. Чернігів**

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧОЇ ТЕХНОЛОГІЇ МОДИФІКОВАНОГО БЕТОНУ З ДИМПФУЮЧИМИ КОМПОНЕНТАМИ

Доведена доцільність введення до складу цементної системи бетону компонентів, що демпфують, з метою зниження усадкових напружень у процесі тверднення бетону. Встановлено, що прояв факторів, що визначають механізм демпфування цементного каменя й бетону, залежить від двох параметрів демпфуючого компонента: його твердості і розміру. Розраховані значення усадкових напружень у сполученні з відомими експериментальними даними з релаксації напружень цементного каменя й бетону, а також отримані дані прямих вимірів усадкових напружень дозволили провести наступну оцінку впливу цього фактора на фізико-механічні характеристики бетону.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: бетон, сухе формування, міцність, цементна матриця, компоненти, що демпфують

Вступ. Сучасний стан підприємств збірного залізобетону, а також підвищення вартості енергоносіїв, технологічна операція теплової обробки залізобетонних виробів у заводських умовах є неефективною і збитковою. Як показує практика, на більшості підприємств збірного залізобетону України параметри теплової обробки не дотримуються. Одержання проектної міцності бетону виробів досягається за рахунок підвищеної витрати цементу високих марок при низьких водоцементних відношеннях, а також за рахунок витримування виробів у пропарювальній камері протягом доби і довше, що в комплексі є економічно невиправданим. Основним недоліком впливу теплової обробки є збільшення дефектності структури бетону, розвиток мікротріщиноутворення з ростом внутрішніх напружень Крім того, ві-

домо, що у цементній матриці пропареного бетону розвиваються температурні деформації, що призводить до підвищення пористості і, як наслідок, до зниження експлуатаційних властивостей матеріалу.

Цементна матриця – носій міцності бетону – містить пори різних розмірів, які істотно знижують міцнісні властивості бетону. Значне розходження цементної матриці й заповнювачів бетону за міцнісними і пружними характеристиками визначається такими обставинами: щільні заповнювачі важких бетонів, у т.ч. кварцовий пісок, не мають ідеальної сумісності з традиційною цементною матрицею, що має модуль пружності $(8...20) \cdot 10^3$ МПа, у силу своєї високої твердості (модуль пружності до 105 МПа), що призводить до значних усадкових напружень при твердненні.

Дефектність структури бетону складається з дефектності цементної матриці, обумовленої розмірністю кристалів і контактів у кристалогідратному зростку, мікротріщинами термомеханічної і усадкової природи, а також недосконалістю контактного шару між цементним каменем і заповнювачем.

Виходячи з цих положень і на підставі проведених експериментів визначена **мета досліджень**, яка полягає в оптимізації структури бетону шляхом введення до складу цементної системи маложорстких компонентів демпфуючої дії, що дозволить підвищити міцність бетону при розтягу, тріщиностійкість, ударну стійкість і довговічність.

Виклад основного матеріалу. Як відомо з [1, 2], кристалогідратний зросток являє собою хаотично орієнтовану, багато разів статично невизначену структуру, що складається з нерівномісних і різнорозмірних кристалів, що зрослися у місцях контактів, в яких вже на стадії гідратаційного тверднення можливі деструктивні процеси, які обумовлені усадковими напруженнями. Це підтверджується саморуйнуванням зразків цементу впродовж експериментальних досліджень.

Виникаючі внутрішні напруження знижують граничну розтяжність цементного каменя й призводять до утворення тріщин при незначній кількості

циклів позмінного навантаження.

Дотепер не існує єдиної думки про те, які з відзначених дефектів структури в більшому або меншому ступені впливають на міцність цементного каменя й бетону, хоча більшість дослідників віддає перевагу тріщинам усадкової природи [3, 4]. Особливості структури бетону вимагають пошуку шляхів зниження її дефектності в умовах зростаючих вимог до експлуатаційних характеристик споруд транспортних комунікацій. У зв'язку з цим необхідно переглянути традиційно сформульоване уявлення про те, що неоднорідність матеріалу відноситься тільки до його негативних властивостей.

Однією з таких властивостей є здатність окремих елементів структури бетону гальмувати розвиток тріщин, що можливо за певних умов. Одним з перших на можливість ефективного гальмування зростаючих тріщин у бетоні зернами заповнювача, порами, пустотами й мікротріщинами вказав Дж. Глюклих [5]. За допомогою поняття «властивості, чутливої до структури» автор теоретично довів і експериментально підтвердив підвищення міцності при стиску й розтягу при згині цементного каменя при введенні в нього міцного й з розвинутою поверхнею заповнювача.

Уперше теоретичне обґрунтування принципу «слабкої поверхні» (згодом названого «елементом, що демпфує») стосовно до бетону дано П.Г. Комоховим [6]. Механізм гальмування процесів руйнування бетону визначається присутністю в ньому «слабких» пружно-в'язких і шаруватих включень, що знижують локальні напруження й гасять енергію росту тріщин. До подібних включень відносять гідросилікати й гідроксид кальцію, а також добавки полімерів, названі «демпфуючими». Крім того, в'язкими каталізаторами крихкого руйнування бетону є замкнуті повітряні пори, які, з одного боку, знижують ефективний перетин матеріалу, з іншого боку - здатні перерозподілити локальні напруження в бетоні серед його компонентів з різною пружністю.

Відмітними ознаками демпфуючих компонентів є їхні знижені жорсткісні характеристики, які обумовлені високою пористістю матеріалу. Введення в бетон таких добавок, що знижують концентрацію

напружень на межі розділу фаз з різними пружними характеристиками, істотно зменшує розмах коливань і границі змін максимальної й мінімальної деформації й напружень у процесі руйнування бетону.

За П.Г. Комоховим, механізм дії демпфуючих компонентів полягає в тому, що на шляху зростаючої тріщини виникає енергетичний гаситель у вигляді мікровключення. Таке включення не здатне віддавати отриману енергію, витрачену на його деформування. Тим самим зменшується енергія росту тріщини й релаксують напруження в її вершині. Наявність у структурі бетону пружно-в'язких включень — компонентів демпфуючої дії як релаксаторів внутрішніх напружень і енергетичних гасителів тріщин - забезпечує підвищення міцності, тріщиностійкості й морозостійкості бетону.

На підставі проведеного аналізу досліджень Ю.М. Баженова, А.А. Гвоздєва та Ю.В. Зайцева визначені наступні аспекти впливу структури бетону на його динамічну міцність.

1. З підвищенням пружно-пластичних властивостей бетону його міцність при динамічному навантаженні зростає.

2. З підвищенням однорідності бетону (застосуванням близьких за властивостями матеріалів) рівномірність вторинного поля напружень зростає за рахунок зниження концентрації напружень на межі «заповнювач - цементний камінь». У цьому випадку знижується ймовірність руйнування за механізмом «слабкої ланки».

3. Початкові дефекти в структурі бетону (особливо мікротріщини) значно більше впливають на динамічну, ніж на статичну міцність бетону через зменшення можливостей перерозподілу напружень через запізнювання мікропластичних деформацій.

4. Оскільки в переважній більшості випадків руйнування бетону починається від контактного шару, то підвищення початкової дефектності останнього різко знижує динамічну міцність бетону.

Виходячи із загальних принципів регулювання структурно-механічної неоднорідності матеріалів, позитивний вплив демпфуючих компонентів на структуру бетону і його фізико-механічні характеристики визначається трьома факторами: на стадії струк-

туроутворення - зниженням усадкових напружень, у т.ч. найнебезпечніших напружень відриву на межі «заповнювач – цементний камінь» і розтягуючих напружень у цементному камені; при навантаженні, заморожуванні й відтаванні - вирівнюванням напружень у структурі бетону й перерозподілом їх серед компонентів бетону з різною пружністю; гальмуванням росту й гасінням тріщин.

Встановлено, що прояв факторів, що визначають механізм демпфування цементного каменя й бетону, залежить від двох параметрів демпфуючого компонента: його твердості (модуля пружності) і розміру (дисперсності).

Експерименти з вимірювання усадкових напружень проводили на зразках-кубиках з модифікованої цементної системи й цементно-піщаного розчину розмірами $7 \times 7 \times 7$ і $10 \times 10 \times 10$ см, у які заформовувалися датчики тиску. Отримані дані про абсолютні рівні усадкових напружень і досліджений вплив твердості кварцового піску на значення напружень.

Розраховані значення усадкових напружень у сполученні з відомими експериментальними даними з релаксації напружень цементного каменя й бетону, а також отримані дані прямих вимірів усадкових напружень дозволили провести наступну оцінку впливу цього фактора на фізико-механічні характеристики бетону.

1. У цементно-піщаному розчині на кварцовому піску внаслідок усадки цементного каменя розвиваються внутрішні напруження двох типів: радіальні напруження, нормальні до поверхні заповнювача, і тангенціальні напруження розтягу в цементному камені. На відміну від тангенціальних, радіальні напруження залежно від концентрації щільних заповнювачів можуть бути стискаючі або розтягуючі.

2. При низькому насиченні заповнювачем найнебезпечніші за своєю природою усадкові напруження відриву на межі з заповнювачем відсутні. Слід очікувати, що в цьому інтервалі вмісту заповнювача характеристика зчеплення заповнювача із цементним каменем незначно впливатиме на міцність і довговічність розчину й бетону.

3. В області технологічно ефективних за витратою цементу насичень у структурі розчину, що твердне, на щільному піску роз-

виваються небезпечні за величиною напруження відриву. Розрахунки, виконані з урахуванням розвитку лінійної усадки й збільшення модуля пружності цементної матриці в процесі тверднення розчину, а також фактора релаксації напружень, показали, що рівень напружень відриву на межі «заповнювач - цементний камінь» в області насичень 0,6 – 0,7 становить 2...7 МПа, що перевищує міцність зчеплення звичайного цементного каменя й заповнювача.

Висновок. Щільні заповнювачі важких бетонів, у т.ч. кварцовий пісок, не мають ідеальної сумісності із цементною матрицею в силу своєї жорсткості (модуль пружності 40000...70700 МПа), що призводить до значних усадкових напружень у процесі тверднення та, як результат цього, появи й розвитку тріщин. Для зниження впливу цього явища на експлуатаційні характеристики бетону необхідно вводити до складу цементної системи бетону демпфуючі компоненти.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Формирование и генезис микроструктуры цементного камня / [Шпынова Л.Г., Синенькая В.И., Чих В.И. и др.]; под ред. Шпынова Л.Г. – Львов: Вища школа. Изд-во при Львовскомун-те, 1975. – 160 с.
2. Механизм и долговечность действия некоторых добавок на свойства портландцемента / [Шпынова Л.Г., Никонец И.И., Мельник М.В., Мельник С.К.] - Изв. вузов. Сер. Химия и химическая технология. – 1979. – Т. 22. – Вып. 3. – С. 344-349.
3. Чоговадзе Д.В. Исследование процесса разрушения цементного камня и раствора методом рентгенокиносъемки / Чоговадзе Д.В. // Бетон и железобетон. – 1994. - № 7. – С. 26-29.
4. Гвоздев А.А. Прочность, структурные изменения и деформации бетона / Гвоздев А.А. // НИИЖБ Госстроя СССР. – М.: Стройиздат, 1987. – 299 с.
5. Glucklich J. the Strength of Concrete as a Composite Material / Glucklich J. // Mech. Beh. / Mater. Pros. Int. Conf. Mech. Behav. Mater. – Kyoto. – 1981. – Vol. 4. – P. 104-112.
6. Комохов П.Г. Механико-технологические основы торможения процесса разрушения бетонов ускоренного твердения. / Комохов П.Г. – Л.: Стройиздат, 1979. – 357 с.

АННОТАЦИЯ

Доказана целесообразность введения в состав цементной системы бетона компонентов, которые демпфируют, с целью снижения усадочных напряжений в процессе твердения бетона. Установлено, что проявление факторов, определяющих механизм демпфирования цементного камня и бетона, зависит от двух параметров демпфирующего компонента: его упругости и размера. Рассчитанные значения усадочных напряжений в сочетании с известными экспериментальными данными по релаксации напряжений цементного камня и бетона, а также полученные данные прямых измерений усадочных напряжений позволили провести следующую оценку влияния этого фактора на физико-механические характеристики бетона.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: бетон, сухое формование, прочность, цементная матрица, кристаллогидратный сросток, структура бетона, водонасыщение.

ANNOTATION

The expediency introduction of the system of cement concrete components, damping factor, to reduce shrinkage stresses in the hardening concrete. Established that the expression of factors that determine the damping mechanism of cement stone and concrete, depends on two parameters damping component: its firmness and size. Estimated value of shrinkage stress in combination with known experimental data from stress relaxation cement stone and concrete, as well as the data of direct measurements of shrinkage stress was allowed to hold the next assessment of the impact of this factor on the physical and mechanical properties of concrete.

Keywords: concrete, drymolding, strength, cement matrix, damping components, crystalline-hydrate joint.

УДК 620.179.680

Горда О.В., к.т.н., доц., Пузько О.О., асп., КНУБА, м. Київ

ДОСЛІДЖЕННЯ СУМІЖНИХ ДЕФЕКТІВ НА ЦИФРОВОМУ ЗОБРАЖЕННІ ДЕФЕКТУ ТИПУ «ТРІЩИНА»

Актуальність проведених досліджень обумовлена необхідністю розробки методів неруйнівного контролю технічного стану будівель та споруд серед яких важливе місце займає візуальний контроль. Розглядається поняття суміжної області, як одного з елементів дефекту типу тріщина. Проведений аналіз представлення суміжних дефектів магістральної тріщини на цифровому зображенні в оптичному діапазоні на металах та сплавах, їх типи, природа походження та вплив на виникнення та розвиток дефекту типу "тріщина".

КЛЮЧОВІ СЛОВА: цифрове зображення, дефект типу "тріщина", елементи дефекту, суміжна область, корозія, колірний простір.

Актуальність та аналіз проблеми.

Новітні апаратні засоби візуального спостереження дають змогу ефективно використовувати оптичні методи на основі цифрових зображень, для моніторингу процесу будівництва та технічного стану будівель та споруд. Дефект типу «тріщина» (ДТТ) може представляти собою небезпечну загрозу для ОБ в залежності від його локалізації та ступеню розвитку, який значною мірою визначається геометричними характеристиками тріщини [5]. Такі характеристики тріщини, як ширина, протяжність, розкриття, а також місце розташування і ступінь захищеності від зовнішніх впливів дозволяють визначити чи є дійсно пошкодження і ступінь його небезпечності.

Необхідно зазначити, що процес формування та розвитку ДТТ, супроводжується таким побічним ефектом, як наявність суміжних дефектів різної природи та типу (рис.1), який може значною мірою сприяти послабленню матеріалу в місці виникнення ДТТ і приводити до загострення пошкодження.