

О.М. Пішійко¹, О.В. Громова¹

Вплив тепловиділення цементу на тріщиностійкість бетону масивних споруд

У даній статті досліджується вплив тепловиділення цементу на тріщиностійкість бетону масивних споруд, а також наведені шляхи для зменшення само розігріву бетону. Створення бетонів зі зниженою екзотермією досягається регулюванням тепловиділення цементу на стадії тверднення, що зменшує ризик виникнення деформацій (тріщиноутворення) при твердненні бетону масивних споруд транспортного призначення. Регулювання цього фактору на стадії виготовлення бетону дає змогу отримати бездефектний бетон, що підвищить довговічність споруди, зменшить витрати на утримання і поточні ремонти масивних транспортних споруд. Дослідження екзотермії цементів, що застосовуються для даної галузі, дозволить визначити шляхи її зменшення і проводити регулювання при застосуванні у масивних транспортних спорудах.

Ключові слова: тепловиділення, екзотермія цементу, тріщиноутворення, масивні споруди, бездефектний бетон

А.Н. Пішійко, Е.В. Громова

Влияние тепловыделения цемента на трещиностойкость бетона массивных сооружений

В данной статье исследуется влияние тепловыделения цемента на трещиностойкость бетона массивных сооружений, а также приведены пути для уменьшения же разогрева бетона. Создание низкотермичных бетонов достигается путем регулирования тепловыделения цемента на стадии твердения, что уменьшает риск возникновения деформаций (трещинообразования) при твердении бетона массивных сооружений транспортного назначения. Управление этим фактором на стадии изготовления бетона позволяет получить бездефектный бетон, что повысит долговечность сооружения, уменьшит расходы на его содержание и текущие ремонты. Исследование экзотермии цементов, применяемых для данной отрасли, позволит определить пути ее уменьшения и производить регулировку при использовании для массивных транспортных сооружений.

Ключевые слова: тепловыделение, экзотермия цемента, трещинообразование, массивные сооружения, бездефектный бетон

A. Pshinko, E. Gromova

The influence of heat dissipation cement on concrete crack formation of massive structures

In this paper the impact of heat dissipation on the fracture toughness of cement concrete massive structures, and are just ways to reduce warm-up concrete are investigated. Making concrete with low heat dissipation, achieved control of heat curing of cement on the stage, which reduces the risk of deformation (crack) in the solid massive concrete structures transport purposes. The regulation of this factor on the stage production of concrete allows to obtain defect-free concrete structures that increase of durability, reduce maintenance costs and routine repairs of massive transport structures. Research cements heat dissipation used for this field will identify ways to reduce spending and regulation by applying the bulk of transport structures.

Key words: heat dissipation, екзотермія цементу, тріщина, монолітне будівництво, дефект-вільний бетон

Проблема та її актуальність. Забезпечення монолітності масивних бетонних споруд, зокрема гідротехнічних, є одним з найбільш складних і відповідальних завдань, що стоять перед проектувальниками і будівельниками. Найчастіше тріщиноутворення в масивному бетоні носить термічний характер. Небезпека тріщиноутворення, таким чином, безпосередньо пов'язана із саморозігрівом бетону і посилюється при підвищенні розігрівання.

В роботах [1 - 3] вказується на значну роль тепловиділення цементу для процесу утворення цементного каменю та набору ним необхідної міцності. Особливий вплив процес тепловиділення має в масивних об'єктах, таких як гідротехнічні споруди (мости, дамби, тунелі та ін.). Це зумовлено значною товщею бетонних шарів і як наслідок, значним підвищенням температури (до 70...80 °C) ядра бетонного масиву. Через нерівномірний нагрів, викликаний процесом тепловиділення бетонна суміш може розшаровуватися, що негативно впливає на всі фізико-механічні властивості затверділого бетону, такі як міцність, стійкість до проникності рідин та газів, морозостійкість та ін. Тому процес тепловиділення цементу, особливо для відповідальних споруд на залізничному транспорті, має бути обов'язково визначеним і контрольованим.

Сучасні умови застосування монолітного залізобетону при зведенні транспортних споруд і вирішення важливої технічної і господарської проблеми по забезпеченню їх надійності і довговічності привели до необхідності проведення нових поетапних комплексних досліджень з детального вивчення широкого кола

термодинамічних і теплофізичних процесів, які супроводжують тверднення бетону і охоплюють весь цикл створення транспортного об'єкту, включаючи його проектування, будівництво і експлуатацію.

Мета роботи – визначити фактори, що впливають на тепловиділення бетону масивних споруд для ефективного управління процесом твердіння для зменшення тріщиноутворення бетону.

Масивними бетонними спорудами називають такі, поперечні розміри яких перевищують 2,5 м. Ступінь масивності бетонних і залізобетонних конструкцій характеризується модулем поверхні – M_n [1 - 4], що є відношенням сумарної площі охолоджуваних поверхонь конструкцій до її об'єму:

$$M_n = \sum_{i=1}^n F_i / V, \text{ м}^2/\text{м}^3. \quad (1)$$

Розподіл температур в бетонному масиві (температурні поля) і поля виникаючої температурної напруги обумовлюються наступними чинниками:

- конструктивними особливостями споруди (розміри і форма, умови затискання);
- теплообміном із зовнішнім середовищем; властивостями бетону, тобто його теплопровідністю, теплоємністю, температурним розширенням, граничною розтяжністю, тепловиділенням і ін.

Перші два чинники (конструктивні особливості і теплообмін) враховуються в розрахунках термонапруженого стану для кожного конкретного випадку. Про вплив властивостей бетону на термічну тріщиностійкість можна сказати наступне.

Коефіцієнт теплопровідності λ і питома теплоємність c_γ визначають температуропровідність бетону

$$a = \frac{\lambda}{c_\gamma} \quad (2)$$

Від останньої величини залежить швидкість вирівнювання температури в бетоні. Коефіцієнт температуропровідності λ для різних бетонів може змінюватися від $2,2 \cdot 10^3$ до $4,5 \cdot 10^3 \text{ м}^2/\text{год}$. Його збільшення загалом сприятливо позначається на тріщиностійкості бетонних масивів, проте значення цього чинника порівняно невелике.

Величина коефіцієнта температурного розширення бетону знаходиться в межах $(0,8..1,2) \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. Зменшення цього коефіціє-

енту підвищує тріщиностійкість бетонних масивів і тому є бажаним.

Разом з тепловиділенням велике значення має і така характеристика бетону, як його гранична розтяжність: чим вище гранична розтяжність, тим більшою тріщиностійкістю володіє бетон в конструкціях. Якби зі зменшенням тепловиділення спостерігалось пропорційне зниження величини граничної розтяжності бетону, то заходи по зменшенню тепловиділення бетону не приводили б до підвищення тріщиностійкості масивів. Більш того, в деяких випадках (коли термонапружений стан обумовлений також зниженням температури навколишнього середовища) ці заходи викликали б негативний ефект. Оскільки зменшення тепловиділення бетону приводить лише до незначного зниження його граничної розтяжності, зниження теплового ефекту виявляється корисним.

Для оцінки бетону як матеріалу можна рекомендувати безрозмірну величину – критерій термічної тріщиностійкості [5]

$$K_T = \frac{\varepsilon_{gr} c \gamma}{Q \alpha}, \quad (3)$$

де ε_{gr} – величина граничної розтяжності бетону;

c – питома теплоємність бетону, ккал/кг⁰С;

γ – середня густина бетону, кг/м³;

Q – тепловиділення бетону, ккал/м³;

α – коефіцієнт лінійного температурного розширення бетону, ⁰С⁻¹

Слід мати на увазі, що величини, що входять в цю формулу, повинні відноситися до одного і того ж терміну і однакових умов твердіння бетону.

Відмітимо, що величина $\frac{Q \alpha}{c \gamma}$ є не що інше, як найбільше

можливе відносне видовження матеріалу (бетону), яке спостерігається в результаті тепловиділення. Тому для встановлення тріщиностійкості бетону, як матеріалу належить порівнювати останню величину з величиною граничної деформації характерною для даного бетону.

У тому випадку, коли бетонний елемент характеризується рівномірним розподілом температури і може вільно деформуватися в ньому не виникатиме термічна напруга. Проте вони неминуче з'являться, якщо температура в різних точках бетонного елемента

виявиться неоднаковою. При цьому можливість появи тріщин в бетоні буде тим менше, чим більше для нього буде величина K_T . Якщо ж бетонний елемент буде в тій чи іншій мірі обмежений в своїх деформаціях (через конструктивні особливості), то навіть у разі рівномірного за всім обсягом розігрівання бетону в елементі неодмінно виникнуть термічні напруги. І в цьому випадку небезпека тріщиноутворення залежатиме від величини K_T бетону.

Величина критерію термічної тріщиностійкості дозволяє проводити порівняння різних бетонів між собою по їх здатності протистояти утворенню тріщин термічного характеру. Проте тільки за величиною K_T ще не можна судити про тріщиностійкість конструкції в цілому. Надійність конструкції в цьому відношенні повинна перевірятися технічним розрахунком. Аналогічним чином оцінюється і така властивість бетону, як міцність. Дійсно, за величиною межі міцності можна лише порівнювати різні бетони між собою, для висновків ж про міцність конструкції в цілому потрібно провести відповідні розрахунки.

Для забезпечення належної якості бетону в масивних спорудах і запобігання утворення тріщин вельми важливо приймати належні заходи по зменшенню саморозігріву бетону [6, 7].

До способів, що застосовуються для зменшення саморозігріву бетону і перепаду температур в бетонних масивах, відносять наступні:

- а) використання цементів з низьким або помірним тепловиділенням;
- б) застосування добавок до цементу;
- в) зниження витрати цементу на 1 м^3 бетону;
- г) попереднє охолодження матеріалів для приготування бетонної суміші (зокрема, введення роздробленого льоду в бетонозмішувач);
- д) охолодження бетонних блоків шляхом поливання холодною водою;
- е) раннє зняття опалубки у випадках, підтверджених розрахунком;
- ж) охолодження водою, що пропускається за системою труб, укладених в бетоні;
- з) скорочення темпів нарощування бетонної кладки по висоті блоків;
- і) виробництво бетонних робіт по графіку, що передбачає інтенсивне бетонування в холодний час року (наприклад, восени або весною).

Перераховані способи можуть застосовуватися як порізно так і комбіновано, в різних поєднаннях один з одним. Проте найбільш ефективним конструктивним заходом є регулювання

температури бетонної кладки за допомогою трубного охолодження.

Висновки. При визначенні тріщиностійкості конструкцій слід враховувати як характеристики бетону (величина K_T), так і умови роботи конструкцій, тобто ступінь затискання елементів і розподіл температури в них. Для прогнозування тепловиділення при гідратації цементу та визначення ефективності шляхів зниження рівня розігріву бетону потрібна постановка досліджень даного процесу на складах бетону із застосовуваними сьогодні модифікаторами різного механізму дії [4]. Враховуючи, що кінетика тепловиділення відображає кінетичні закономірності процесу гідратації цементу, отриманий експериментальний матеріал дає також підставу робити передбачення про повноту використання потенціалу цементу.

Summary. In determining crack resistance structures should be considered as a characteristic of concrete (K_T value) and the conditions of the structures, degree of clamping elements and temperature distribution in them. To predict the heat of hydration of cement in and measure by reducing warm-up concrete needs setting to study the process of concrete today with applicable modifications different mechanism of action. Given that the kinetics of heat reflecting kinetic regularities of cement hydration obtained experimental data also provides a basis to make predictions about the completeness potential use of cement.

1. Мчедлов-Петросян О.П., Ушеров-Маршак А.В., Урженко А.М. Тепло-выделение при твердении вяжущих веществ и бетонов. – М.: Стройиздат, 1984. – 225 с.
2. Дворкін Л.Й., Скрипник І.Г. Фізико-хімічні і фізичні методи дослідження будівельних матеріалів: Навчальний посібник. – Рівне: НУВГП, 2006. – 220 с.
3. Запорожец И.Д., Окроков С.Д., Парийский А.А. Тепловыделение бетона. – Ленинград-Москва: Издательство литературы по строительству, 1966. – 306 с.
4. Изотов В.С. Химические добавки для модификации бетона: монография / В.С. Изотов, Ю.А. Соколова. – М.: Казанский Государственный архитектурно-строительный университет: Издательство «Палеотип», 2006. – 244 с.
5. Кузнецова Т.В., Кудряшов И.В., Тимашев В.В. Физическая химия вяжущих материалов. – М.: Высш. шк., 1989. – 384 с.
6. Мчедлов-Петросян О.П. Химия неорганических строительных материалов. – М.: Стройиздат, 1988. – 304 с.

7. *Шифрин С.А.* Теплофизические основы формирования потребительских свойств конструктивных элементов транспортных сооружений из монолитного и сборного железобетона : Автореф. дис... докт. техн. наук: 05.23.05 / Шифрин Семен Аронович; Научно-исследовательский институт транспортного строительства (ОАО ЦНИИС). – М.; 2007. – 44 с.