

Б.Г. Демчина, І.І. Кархут, С.С. Була
 Національний університет “Львівська політехніка”,
 кафедра будівельних конструкцій та мостів
 79013, м. Львів, вул. С. Бандери, 12

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ТРІЩИНОУТВОРЕННЯ У БЕТОНІ ПРИ ДІЇ ТЕПЛОВОГО УДАРУ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ МЕТОДУ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ

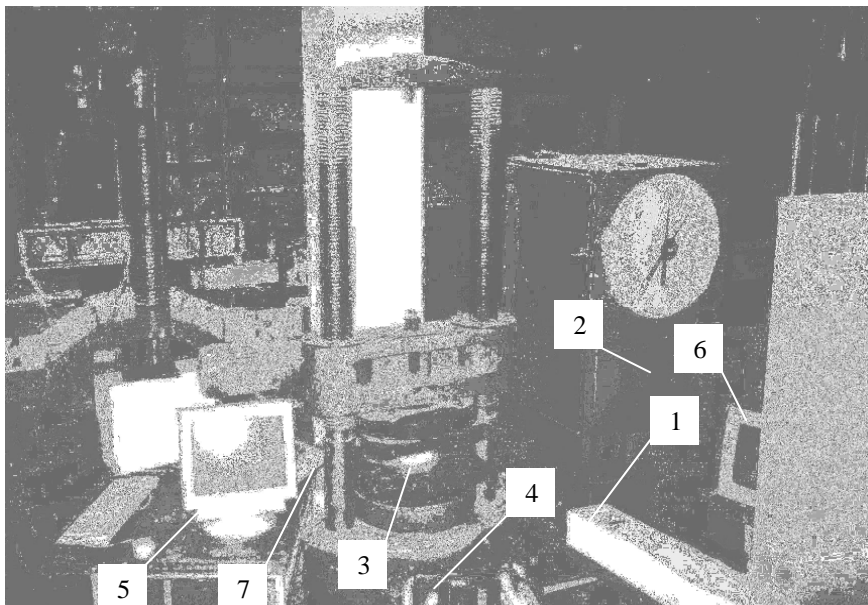
© Демчина Б.Г., Кархут І.І., Була С.С., 2007

Описано результати досліджень впливу теплового удару як короткотривалої дії на процеси тріщиноутворення у бетоні при різних рівнях попереднього навантаження за допомогою методу акустичної емісії.

The article describes results of investigations the influence of heat impact, as short-term act, on the crack-making processes in concrete under different loading levels by using the method of acoustic emission.

Постановка проблеми. Сьогодні існує достатня кількість досліджень процесів тріщиноутворення у бетоні при дії високих та підвищених температур. Лише незначна частина з них [1,2], незважаючи на переваги методу акустичної емісії (АЕ), проведена із його використанням. На основі кількісного аналізу параметрів випромінювання АЕ у цих [1,2] дослідженнях визначали момент зародження та процес розвитку тріщин. Проте ці результати стосуються випадку загального нагрівання при режимі, близькому до режиму нагрівання за стандартною температурною кривою пожежі. Процеси тріщиноутворення при дії теплового удару досліджувалися на багатьох конструкційних матеріалах [3,4], проте в існуючій літературі даних про його вплив на бетон не виявлено.

Експериментальні дослідження. Метою цих досліджень є вивчення за допомогою методу акустичної емісії процесів тріщиноутворення у бетоні на різних рівнях його попереднього навантаження при дії теплового удару. Для цього була запропоновано таку методику досліджень (рис. 1).



*Рис. 1. Випробування зразків-кубів на дію теплового удару:
 1 – джерело нагрівання (лазер); 2 – гідравлічний прес П-125; 3 – зразок;
 4 – інфрачервона камера; 5 – персональний комп’ютер (вимірювання температури);
 6 – те саме, (запис сигналів АЕ); 7 – термовимірювач ТТ-Ц101 М*

Зразки-куби (розмір 70x70x70 мм., клас бетону В25) завантажувалися осьюою силою до рівня $0.5R_m$ або $0.8R_m$. Не знімаючи навантаження, зразки піддавали тепловому удару за двома температурними режимами. Підйом температури відбувався від 20°C – 970°C (температурний режим №1) та від 20°C – 450°C (температурний режим №2) за 2–3с. Частиину зразків випробувували так само без попереднього навантаження. Під час випробування за допомогою програмно-технічного комплексу „АКЕМ” реєстрували сигнали акустичної емісії (АЕ), що виникали внаслідок дії теплового удару. Датчик (п’єзоперетворювач) програмно-технічного комплексу через шар мастики, що не спотворює чистоту сигналу, кріпили на гладку бокову поверхню зразка за допомогою джгуту. Сигнали АЕ записували на трьох стадіях випробувань: на кінцевому етапі навантаження осьюою силою, під час витримки та під час теплового удару.

У результаті застосування АЕ було отримано зміну кількості (N) та енергії (E) (рис. 2, а) сигналів (рис. 2, б), коефіцієнта K_p (рис. 3) АЕ під час випробувань. На рис. 2, 3 подані дані для вибірових зразків із кожної серії.

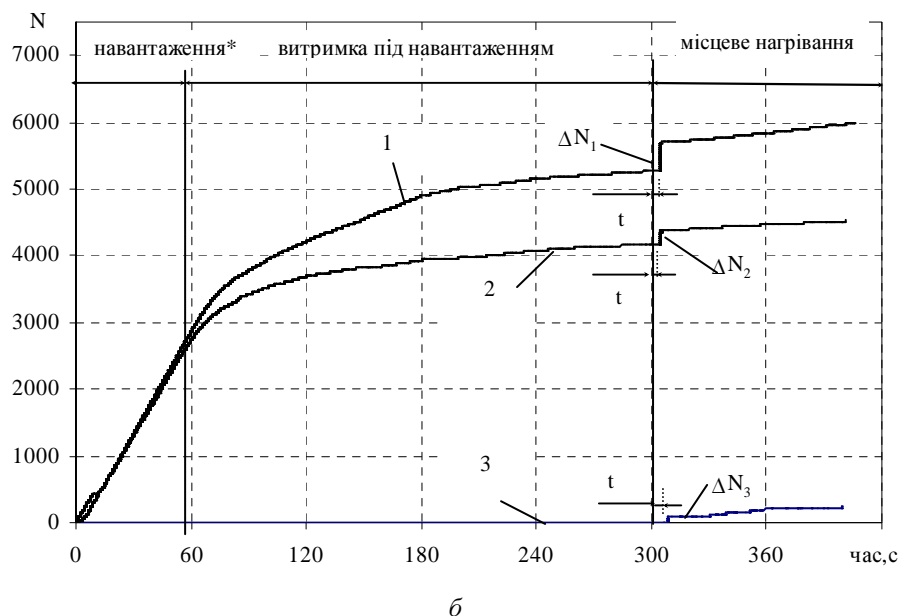
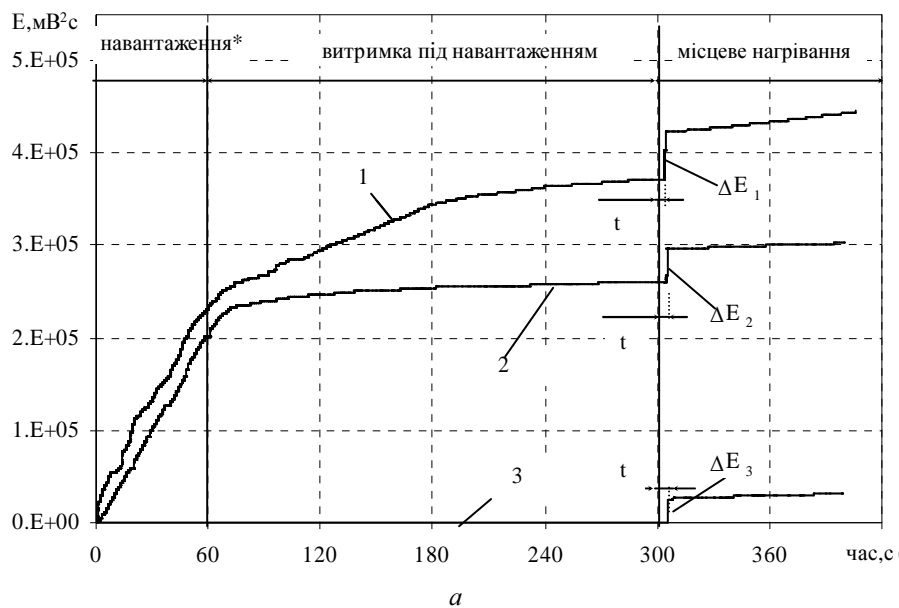
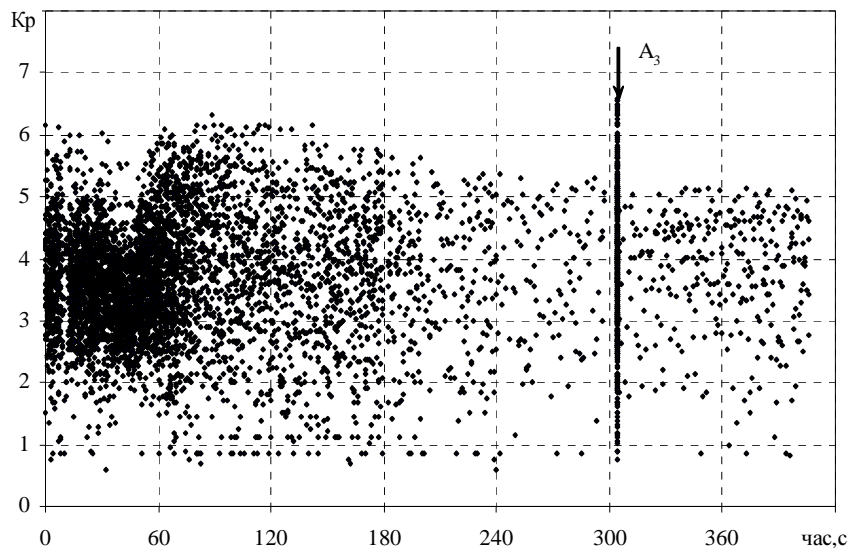
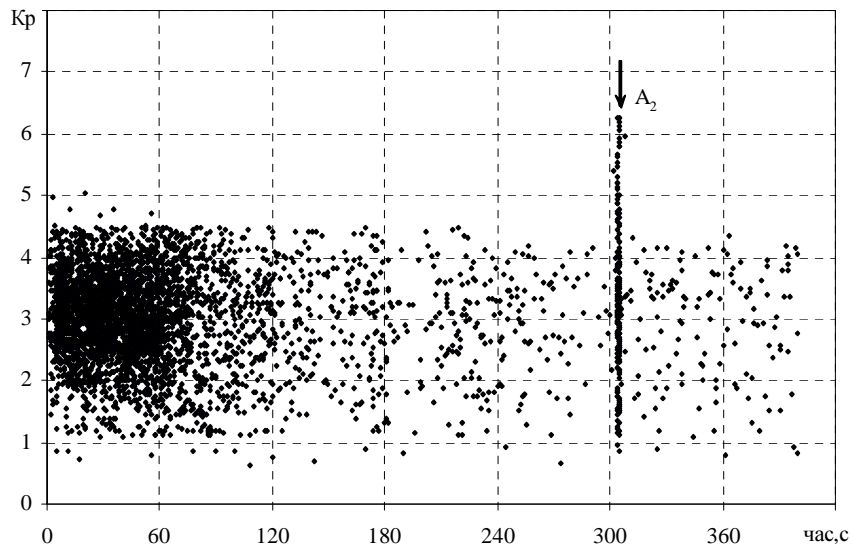


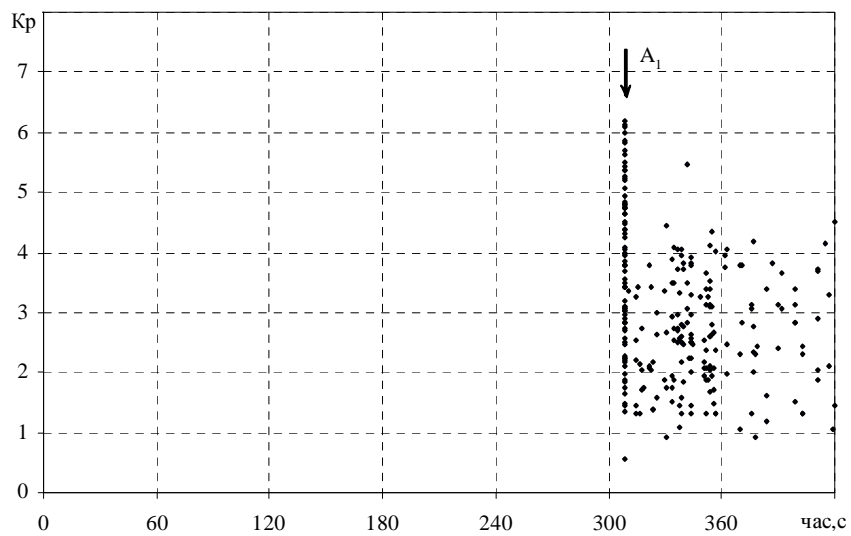
Рис. 2. Результати записів сигналів АЕ для бетонного зразка при дії теплового удару: а – залежність нагромадження енергії сигналів АЕ (E); б – залежність нагромадження кількості сигналів АЕ (N); ΔN – зміна кількості акустичних сигналів; ΔE – зміна енергії акустичних сигналів; * – кінцева стадія навантаження; 1 - $\eta=0.8R_m$ (серія КТ 7.1); 2 - $\eta=0.5R_m$ (серія КТ 7.2); 3 - $\eta=0 R_m$ (серія КТ 7.3)



a



б



в

Рис. 3. Залежність коефіцієнта K_p для бетонного зразка при дії теплового удару:
a – $\eta = 0.8R_m$ (серія КТ 7.1); *б* – $\eta = 0.5R_m$ (серія КТ 7.2); *в* – $\eta = 0 R_m$ (серія КТ 7.3)

Всі результати експериментів з використанням методу АЕ зведено у таблицю.

Результати експериментальних досліджень з використанням методу АЕ

| № серії | $\eta = \sigma / R_m$ | Параметри АЕ | | | | | | | |
|---------|-----------------------|--------------|-----------------------|---------------------------------|-----------------------|-----------|-----------------------|---------------------------------|-----------------------|
| | | марка | Kp ^{max} (А) | $\Delta E, \text{мВ}^2\text{с}$ | $\Delta N, \text{од}$ | марка | Kp ^{max} (А) | $\Delta E, \text{мВ}^2\text{с}$ | $\Delta N, \text{од}$ |
| | | | | | | | | | |
| I | 0.8 | КТ 7.1 | 6.53 | 47670 | 313 | КТ 8.1 | 6.09 | 25350 | 148 |
| | | | 6.45 | 55265 | 366 | | 6.16 | 27600 | 165 |
| | | | 6.61 | 59685 | 420 | | 6.21 | 29750 | 182 |
| II | 0.5 | КТ 7.2 | 6.25 | 33400 | 179 | КТ 8.2 | 4.78 | 17350 | 75 |
| | | | 6.3 | 29130 | 157 | | 4.67 | 15500 | 49 |
| | | | 6.33 | 38580 | 229 | | 4.42 | 12650 | 88 |
| III | 0 | КТ 7.3 | 6.15 | 24280 | 92 | КТ 8.3 | 3.34 | 6750 | 20 |
| | | | 6 | 22780 | 78 | | 2.95 | 3520 | 15 |
| | | | 6.2 | 26750 | 110 | | 3.21 | 5250 | 45 |

Згідно з [3], руйнування на поверхні зразка при тепловому ударі відбувається при значних стискувальних температурних поверхневих напруженнях шляхом викришування в результаті поперечної деформації або при зсуві внаслідок дії максимальних дотичних напружень.

На рис. 4 зображено розподіл розрахункових дотичних напружень по центральній осі симетрії ділянки нагрівання при двох температурних режимах. Під час нагрівання за температурним режимом №1 впродовж перших секунд теплового удару в деяких зразках спостерігалось відколонування поверхневого шару бетону в межах ділянки нагрівання. В цей час (див. рис. 4, а) максимальні дотичні напруження перевищують граничні значення на глибині 0.7 см від поверхні зразка, що приводить до зсуву цього поверхневого шару відносно іншого. З часом нагрівання значення цих напружень зменшується. Як видно з рис. 4, б, при нагріванні за температурним режимом №2 максимальні дотичні напруження не досягають граничних значень. Відколів бетону візуально теж не спостерігалось.

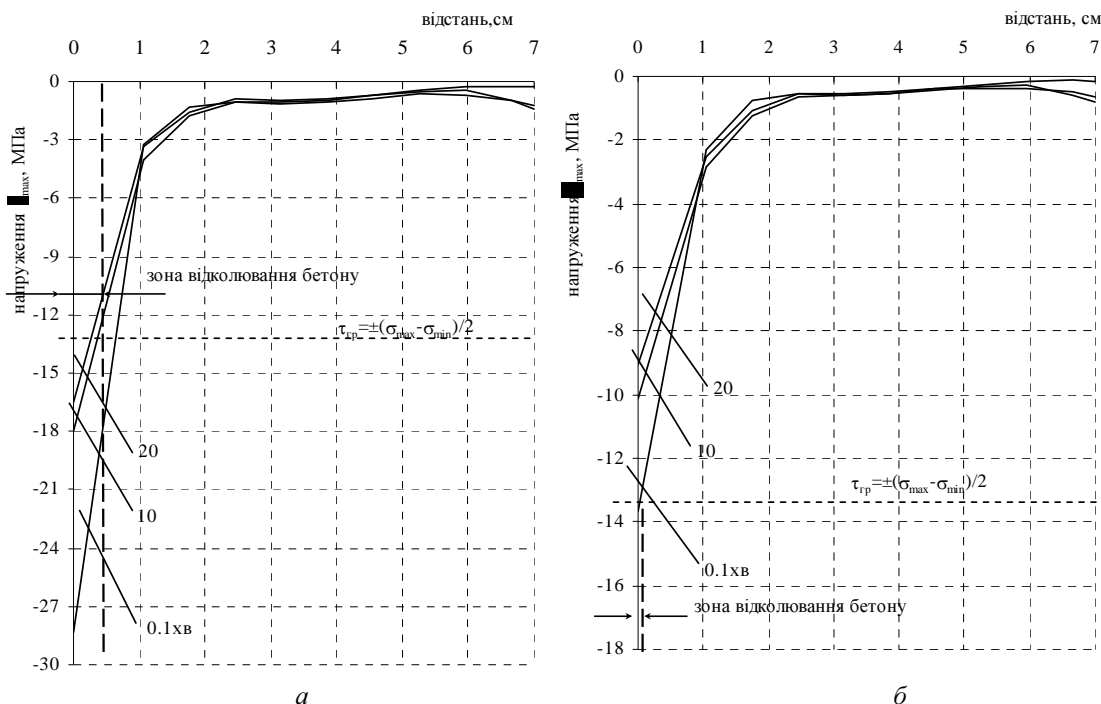


Рис. 4. Розподіл дотичних напружень τ -1 по осі симетрії ділянки нагрівання:
а – температурний режим №1; б – температурний режим №2

Після аналізу отриманих результатів можна сверджувати:

– тепловий удар за температурним режимом №1 спричиняє утворення макротріщини (свідченням чого є й відшарування бетону) при всіх рівнях попереднього навантаження. Про це

свідчать різкий приріст енергії (ΔE), кількості (ΔN) акустичних сигналів (див. рис. 2) та перевищення коефіцієнтом $K_p > 6$ [5] порогу утворення макротріщин (див. т.А рис. 3, а, б, в.).

– отримані за допомогою АЕ експериментальні результати підтверджуються розрахунковими значеннями температурних дотичних напружень. На рис. 4, а видно зону, де максимальні дотичні температурні напруження перевищують граничні значення, в результаті чого відбувається відколювання бетону. Візуальний огляд зразків після дії теплового удару показав, що глибина зони відколювання є близькою до розрахункових значень;

– величина приросту ΔE , ΔN , та K_p^{\max} пропорційно збільшується з рівнем попереднього навантаження η бетону. Максимальне значення коефіцієнта K_p^{\max} в т.А становить 6.20, 6.33, 6.61 для рівня $\eta = 0R_m, 0.5R_m, 0.8R_m$ відповідно. Приріст енергії сигналу ΔE коливається в межах 22780 мВ²с (при $0R_m$) до 59685 мВ²с (при $0.8R_m$). Кількість сигналів ΔN в т.А змінилася в діапазоні (78÷420) од. при (0÷0.8) R_m відповідно. Зростання значень параметрів АЕ із зростанням рівня навантаження є закономірним і пояснюється збільшенням негативного впливу теплового удару у разі збільшення рівня попереднього навантаження бетону. Про це також свідчить і збільшення кута нахилу кривих 1 та 2 у разі подальшого місцевого нагрівання із збільшенням рівня попереднього навантаження (див. рис. 2 – “місцеве нагрівання”).

– подальше місцеве нагрівання після дії теплового удару супроводжується процесами мікротріщиноутворення. Виникнення мікротріщин спричинене руйнуванням структури бетону внаслідок перевищення граничних напружень стиску в поверхневих шарах та видалення порової води під час нагрівання. Процес утворення мікротріщин підтверджується незначним збільшенням кута нахилу кривих 1,2,3 на етапі місцевого нагрівання порівняно з етапом витримки (див. рис. 2) та зменшенням коефіцієнта K_p до значень 4.2÷5.2 (рис. 3, а, б, в), що відповідають рівню мікротріщиноутворення;

– при експериментальних дослідженнях було зафіксовано розбіжність в часі між початком нагрівання та моментом утворення макротріщини $t \sim 3$ с. (рис. 2, 3). Це може бути пояснено затримкою прогрівання поверхневого шару, що пов'язана випаровуванням фізично та хімічно зв'язаної води, що є в бетоні. Подібне явище було зафіксоване у дослідженнях Б.Г. Демчини [1] при охолодженні нагрітих кубиків водою;

– при тепловому ударі за температурним режимом №2 при $\eta = 0R_m, 0.5R_m$ було зафіксоване лише мікротріщиноутворення ($K_p^{\max} = 3.34$ при $\eta = 0R_m$, $K_p^{\max} = 4.78$ при $\eta = 0.5R_m$). Ці явища підтверджуються розрахунковими значеннями температурних дотичних напружень (рис. 4, б). Приріст енергії сигналів коливався в межах $\Delta E = 3520 \div 17350$ мВ²с, зміна кількості акустичних сигналів – $\Delta N = 15 \div 88$ од. Збільшення попереднього навантаження до $\eta = 0.8R_m$ призвело до появи макротріщини $K_p^{\max} = 6.21$. Залежності накопичення параметрів АЕ є схожими якісно при обох температурних режимах. Відмінність полягає у кількісних значеннях параметрів АЕ (див. таблицю);

– схема поверхневого тріщиноутворення в обох випадках мала хаотичний характер, більшість тріщин концентрувалося навколо границі нагріву. Руйнування бетонних зразків поступово зростаючим навантаженням супроводжувалося відколюванням поверхневого шару бетону під дією нагрівання. Після нагрівання за температурним режимом №1 ці процеси проходили більш виражено;

– картина тріщиноутворення при дії теплового удару у експериментальних зразках відповідає положенням, викладених у праці Я.Б. Фрідмана [3], що стосувалися дослідження матеріалів на дію теплового удару;

– дослідження показали, що застосування методу АЕ дало можливість якісно та кількісно оцінити вплив теплового удару на процеси тріщиноутворення в бетоні. Тому є необхідність продовження застосування цього методу в подальших дослідженнях.

1. Демчина Б.Г. Застосування акустичної емісії у випробуваннях бетонних кубиків на дію навантаження, високих температур та охолодження водою. // Вісник ДУ “Львівська політехніка”, “Теорія і практика будівництва”, 1998. – №360. – С.52–61. 2. Демчина Б.Г., Філоненко С.Ф., Романюк І.М. Вивчення поведінки бетону при дії високих температур з допомогою акустичної емісії // Будівельні конструкції. Міжвідомчий науково-технічний збірник – К.: НДІБК, 1999. – Вип. 50. – С.328. 3. Прочность и деформация в неравномерных температурных полях. Сборник трудов / Под ред. Я.Б. Фридмана – М.: Издательство, 1962. – 143с. 4. Сеницын А.П. Расчет конструкций на тепловой удар. – М.: Стройиздат, 1971.– 230с. 5. Сташук П.М. Удосконалення визначення тріщиностійкості залізобетонних конструкцій методом акустичної емісії. Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.23.01 // Нац. ун-т “Львівська політехніка”, 2003.