

*Р.В. Пархоменко, канд. техн. наук, доцент, Р.С. Яковчук
(Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)*

ТРИЩИНОСТІЙКОСТЬ БЕТОНУ ПІСЛЯ ВПЛИВУ ВИСОКИХ ТЕМПЕРАТУР

В статті обґрунтована необхідність застосування методів механіки руйнування для дослідження тріщиностійкості бетону після впливу високих температур. Наведені результати дослідження тріщиностійкості зразків бетону, що зазнали впливу температур від 200°C до 800°C. Представлено значення силових та енергетичних характеристик в'язкості руйнування, міцності при стиску та повністю рівноважні діаграми деформування зразків бетону після нагрівання їх до температур 200°C, 400°C, 600°C та 800°C. Побудовані усереднені повністю рівноважні діаграми деформування зразків бетону для зазначених температур

Ключові слова: тріщина, тріщиностійкість, енерговитрати, повністю рівноважні діаграми деформування коефіцієнт інтенсивності напружень (КІН).

Вступ. В Україні щорічно виникають десятки тисяч пожеж в будівлях. Так у 2010 році вогнем знищено і пошкоджено 22284 будівлі і споруди, у 2009 – 21840, у 2008 – 20984, у 2007 – 23108. Однією із основних вимог до споруд [1] є дотримання вимог пожежної безпеки, а саме: збереження несучої здатності конструкцій протягом визначеного часу; обмеження поширення вогню та диму в споруді, а також на сусідні споруди і прилеглі території; забезпечення евакуації людей із споруди або їх рятування в інший спосіб; забезпечення безпеки рятувальних команд. В [1] зазначено, що за умов належної експлуатації споруд основні вимоги до них повинні виконуватися протягом обґрунтованого строку служби споруд з урахуванням передбачуваних впливів. У 2008 році в Україні набрали чинності ДБН В.1.2-7-2008 «Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Основні вимоги до будівель і споруд. Пожежна безпека» [2]. Ці норми устанавлюють основні положення та вимоги до виробів, будівель і споруд щодо забезпечення пожежної безпеки, визначеної у [1]. Там також зазначено, що основна вимога повинна виконуватись з прийнятною вірогідністю протягом економічно обґрунтованого терміну експлуатації об'єкта.

Проблема. Існуюча система технічної діагностики не дає змоги виконувати довгострокове прогнозування поведінки будівельних конструкцій після пожеж. Тому проблема дослідження будівельних конструкцій, які зазнали впливу високих температур, щодо можливостей подальшої їх експлуатації залишається досить актуальною.

Оскільки бетонні конструкції схильні переважно до руйнування через поширення дефектів типу тріщин, то для їх дослідження після впливу високих температур пропонується використати метод визначення в'язкості руйнування бетону. В роботі [3] проведено огляд наукових публікацій останніх років щодо використання методів механіки руйнування для дослідження процесів зародження та поширення тріщин в бетонних конструкціях до критичного рівня, а також визначення оптимальних критеріїв тріщиностійкості для оцінки довговічності бетону.

Основна частина. Для проведення досліджень тріщиностійкості бетону за методикою [4] використали дослідну установку, яка забезпечує контрольований режим руху тріщини (рис.1).

Сама методика дослідження тріщиностійкості бетону, з урахуванням нагрівання зразків до високих температур, детально описана в роботі [5]. Згідно з вимогами ГОСТ 10180 [6], було виготовлено 20 дослідних зразків-призм, з розрахунку – 4 зразки на кожне значення температури: 20°C, 200°C, 400°C, 600°C, 800°C.

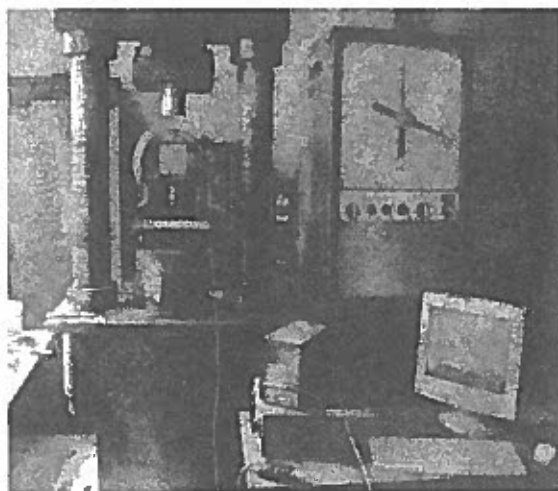


Рис. 1. Загальний вигляд випробувальної установки

На рис. 2 – 6 представлені отримані повністю рівноважні діаграми деформування зразків бетонів для всіх серій.

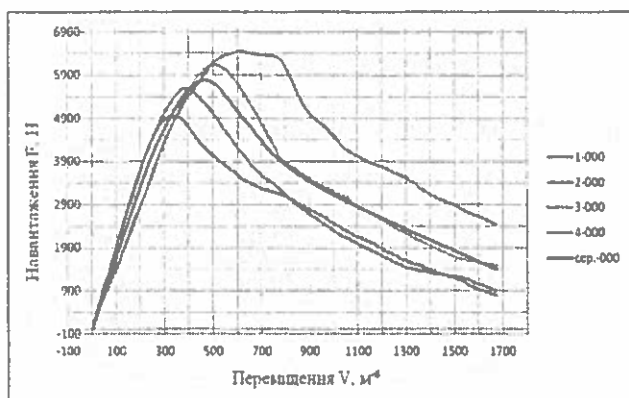


Рис.2. Повністю рівноважні діаграми деформування зразків бетону базової серії «000» – 20 °С

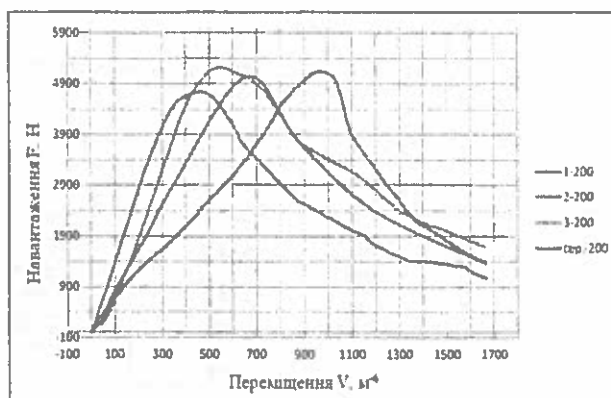


Рис.3. Повністю рівноважні діаграми деформування зразків бетону серії «200» – 200 °С

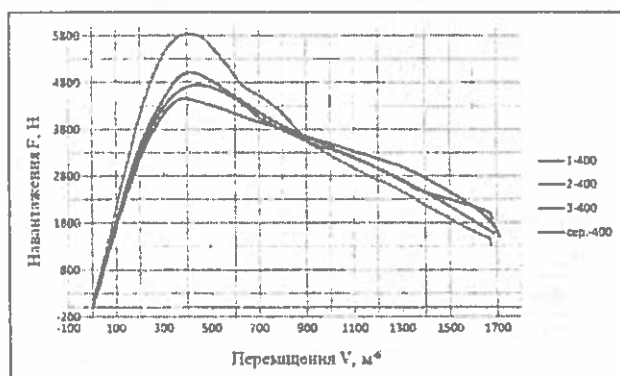


Рис.4. Повністю рівноважні діаграми деформування зразків бетону серії «400» – 400 °С

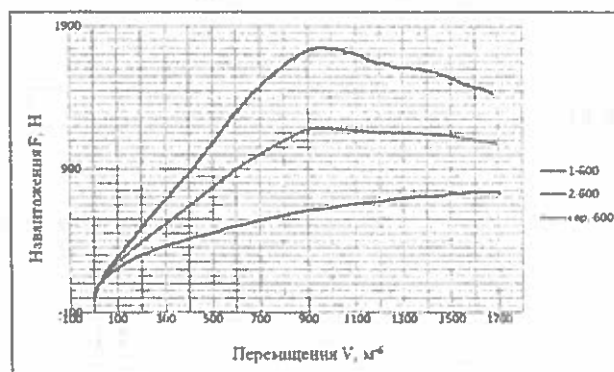


Рис.5. Повністю рівноважні діаграми деформування зразків бетону серії «600» – 600 °С

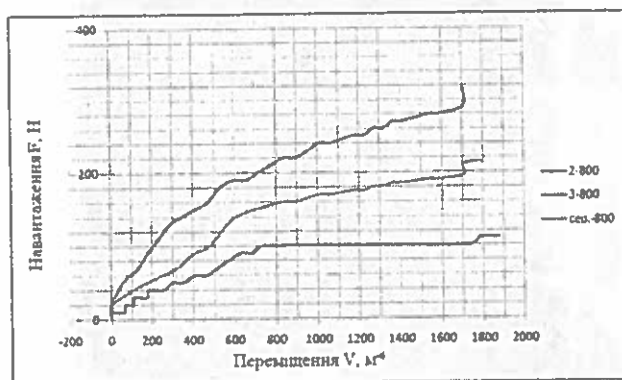


Рис.6. Повністю рівноважні діаграми деформування зразків бетону серії «800» – 800 °С

Розрахунковим шляхом визначені енерговитрати на окремі етапи деформування і руйнування зразка, а також значення силових і енергетичних характеристик тріщиностійкості (табл. 1), також зразки випробувані на міцність при стиску (табл.2).

Таблиця 1

Силові та енергетичні характеристики тріщиностійкості бетонів

серія	$W_m \cdot 10^{-2}$, Дж	$W_e \cdot 10^{-2}$, Дж	$W_l \cdot 10^{-2}$, Дж	$W_{ui} \cdot 10^{-2}$, Дж	$W_{ce} \cdot 10^{-2}$, Дж	G_f , Дж/м ²
000	4,92	46,61	221,59	3,79	24,50	85,90
200	3,75	56,42	200,55	4,37	23,39	100,28
400	2,47	42,15	196,46	4,78	20,66	73,94
600	0,61	4,96	0,86	2,55	0	9,28
800	0,32	1,04	0	0,52	0	2,27

серія	G_f , Дж/м ²	G_{ce} , Дж/м ²	J_i , Дж/м ²	K_i , МПа·м ^{1/2}	K_c , МПа·м ^{1/2}
000	447,00	40,83	92,18	0,72	0,497
200	428,28	38,98	107,56	0,63	0,40
400	397,69	34,43	81,91	0,61	0,41
600	9,70	0	13,54	0,06	0
800	1,74	0	3,30	0,01	0

Таблиця 2

Результати випробувань зразків на міцність при стиску

№ зразка	Міцність на стиск, МПа				
	000	200	400	600	800
1	29,4	24,1	28,5	13,5	5,7
2	30,2	29,7	27,8	11,8	5,2
3	28,8	26,4	30,1	10,1	5,5
4	30,8	27,6	28,2	11,7	6,0

На рис. 7 представлені отримані усереднені повністю рівноважні діаграми деформування бетонів для всіх серій.

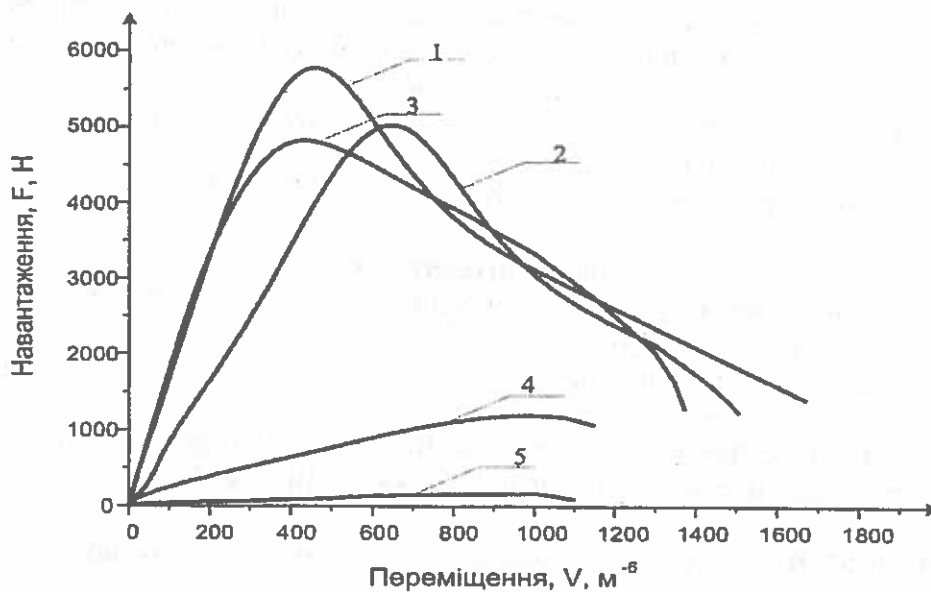


Рис. 7. Усереднені повністю рівноважні діаграми деформування бетонів:
1 – 000, 2 – 200, 3 – 400, 4 – 600, 5 – 800

Висновки. 1. З підвищенням температури бетону показники тріщиностійкості, міцності на стиск, граничні прогини, що відповідають моменту дефрагментації бетону, зменшуються порівняно з бетоном нормального твердіння (серія «000»). Причиною цього можна вважати утворення мікротріщин внаслідок виникнення градієнтів деформацій і напружень на границях поділу фаз і компонентів бетону з причини різних значень коефіцієнта лінійного температурного розширення компонентів бетону. Із збільшенням температури теплового впливу інтенсивність цих процесів поглиблюється.

2. Повністю рівноважні діаграми деформування (ПРДД) бетону серії «200» свідчать про падіння модуля пружності бетону порівняно з базовою серією у 1,5 раза, водночас на 21% зростають енерговитрати на пружне деформування (W_e) і значення загальних енерговитрат на докритичне деформування (W_i) на 16% порівняно з бетоном базової серії. В закритичній стадії деформування за показником значення роботи на локальне руйнування в зоні макротріщини (W_1) бетон серії «200» незначно поступається бетону базової серії. Це пов'язано із істотним збільшенням абсциси точки зламу діаграми до 630×10^{-6} м порівняно з 440×10^{-6} м у бетону базової серії при незначній зміні її ординати. Вочевидь, зменшується розклинюючий ефект внаслідок видалення вільної і капілярно зв'язаної води. Деструктивний вплив температури 200°C на структуру бетону не є істотно небезпечним, що підтверджується падінням значень статичного критичного КІН і критичного КІН відповідно на 12% і 19% порівняно з бетоном базової серії. Це кореспондується із зниженням приблизно на 20% міцності бетону на стиск.

3. Бетон, що зазнав теплового впливу за температури 400°C (серія «400»), відновлює свої пружні властивості до рівня бетону базової серії. Конфігурація ПРДД майже повторює ПРДД базової серії із зменшенням ординати точки зламу приблизно на 1000 Н. Це можна пояснити видаленням вільної, капілярно зв'язаної, адсорбційної і частково хімічно зв'язаної води кристалогідратів завдяки чому відбувається своєрідний «випал» бетону. Проте інтенсивне тріщиноутворення на поверхнях поділу фаз і компонентів бетону обумовлює подальше зниження показників тріщиностійкості, граничного прогину і міцності бетону. Завдяки відновленню модуля пружності значення критичних коефіцієнтів інтенсивності напружень знаходяться на рівні бетону серії «200».

4. Для бетону серії «600» якісно змінюється конфігурація діаграми деформування – відсутня спадна вітка, а отже бетон не працює в закритичній стадії деформування. В момент утворення макротріщини бетон руйнується шляхом миттєвої дефрагментації. Тому темпера-

туру 600°C з точки зору подальшої експлуатації бетонних конструкцій можна вважати критичною, за якої бетон вже практично не чинить опору розвиткові тріщин ($K_i = 0,06$), а його міцність на стиск зменшується більше ніж в три рази.

5. Вплив на бетон температурою 800°C повністю руйнує структуру бетону, що підтверджується асимптотичним наближенням висхідної вітки діаграми до осі абсцис, наближенням енергетичних і силових характеристик тріщиностійкості і міцності бетону на стиск до нуля.

Список літератури:

1. Технічний регламент будівельних виробів, будівель і споруд/Затв. постановою Кабінету Міністрів України від 20.12.2006 р. № 1764.
2. ДБН В.1.2-7:2008. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Основні вимоги до будівель і споруд. Пожежна безпека.
3. Пархоменко Р.В., Яковчук Р.С., Вировий В.М. Зміна тріщиностійкості бетонних конструкцій після впливу високих температур//Вісник ОДАБА. – Вип. №39, частина 2. – Одеса, 2010. – С.141-145.
4. ГОСТ 29167-91 Бетоны. Методы определения характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении.
5. Яковчук Р.С. Методика оцінювання тріщиностійкості бетону після впливу високих температур//Зб. наук. пр. – Львів:ЛДУ БЖД, 2011. – №18. – С.170-177.
6. ГОСТ 10180-90 Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам.

Р.В.Пархоменко, Р.С.Яковчук

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ БЕТОНА ПОСЛЕ ВЛИЯНИЯ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР

В статье приведены результаты исследования трещиностойкости образцов бетона, подвергшихся воздействию температур от 200°C до 800°C. Представлены значения силовых и энергетических характеристик вязкости разрушения и полностью равновесные диаграммы деформирования образцов бетона после нагревания их до температур 200°C, 400°C, 600°C и 800°C. Построены усредненные полностью равновесные диаграммы деформирования образцов бетона для указанных температур

Ключевые слова: трещина, трещиностойкость, энергозатраты, полностью равновесные диаграммы деформирования.

R.V. Parkhomenko, R.S. Yakovchuk

FRACTURE STRENGTH OF CONCRETE UNDER THE INFLUENCE OF HIGH TEMPERATURES

The article provides the investigation results of fracture strength of concrete samples under the influence of temperature 200°- 800°C. The figures of power and energy characteristics of destruction toughness and completely equal diagrams of concrete samples deformation during their heating to 200°C, 400°C, 600°C and 800°C are considered. The averaged and completely equal diagrams of concrete samples deformation are oriented for previously mentioned temperatures.

Key words: fracture, fracture strength, energy consumption, completely equal diagrams of deformation.

