

ВПЛИВ МОРОЗНОЇ ДЕСТРУКЦІЇ НА ТРІЩИНОСТІЙКІСТЬ ДОРОЖНЬОГО БЕТОНУ

© Солодкий С.Й., Ковальчик П.І., 2013

Наведено результати дослідження тріщиностійкості бетонів за критеріями механіки руйнування після циклічного заморожування та відтаювання.

Ключові слова: морозостійкість, тріщиностійкість, механіка руйнувань, повністю рівноважні діаграми деформування бетону.

This article presents the results of the study crack concrete after exposure to cycles of freezing and thawing on the criteria of fracture mechanics.

Key words: resistance to frost, crack, mechanics of destruction, in whole equilibrium diagrams of deformation of concrete.

Вступ

Однією з причин руйнування бетонних покриттів автомобільних доріг є агресивні природно-кліматичні умови експлуатації, і насамперед морозна деструкція разом з дією хімічних анти-ожеледних реагентів, які застосовуються для боротьби із зимовою ожеледдю. При цьому бетон покриття зазнає інтенсивного руйнування від багаторазового заморожування та відтаювання за насичення його водними розчинами солей. Особливе значення мають зміни погодно-кліматичних умов, що супроводжуються переходом температури повітря через 0 °С. Такі переходи викликають появу напружень розтягу в його структурі. Критерієм довговічності бетонних покриттів є не тільки зміна міцності за циклічного заморожування і відтаювання, але й зміна тріщиностійкості, що пов'язана із зародженням і поширенням тріщин у структурі бетону.

Мета досліджень та постановка проблеми

З позицій механіки руйнування вплив багаторазового заморожування та відтаювання бетону на характеристики тріщиностійкості досліджено недостатньо, тому метою роботи є дослідження впливу чинника морозної деструкції шляхом заморожування-відтаювання бетону на його тріщиностійкість, а саме: питомі енерговитрати на руйнування та критичні коефіцієнти інтенсивності напружень.

Сировинні матеріали і методи досліджень

Експериментальні зразки кубів і призм виготовляли з бетонної суміші, для приготування якої використовували матеріали:

- портландцемент ПЦ І-500 загальнобудівельного призначення ПАТ "Івано-Франківськцемент";
- заповнювачі: дрібний заповнювач – пісок Ясницького кар'єру Львівської області з модулем крупності 1,29; крупний заповнювач – гранітний щебінь кар'єру "Полонне" Хмельницької області;
- пластифікатор для товарного бетону Liquol BV 18 С фірми "BASF".

Номинальний склад бетонної суміші базової серії: Ц : П : Щ = 1:2,23:3,19 за В/Ц=0,44 і витрати цементу – 350 кг/м³. Склад суміші заповнювачів проектували згідно з європейським стандартом EN 480-1 з неперервною гранулометриєю. Усього виготовлено чотири серії зразків, кожна з яких складається з чотирьох призм розмірами 0,10x0,10x0,40м та трьох кубів – розміром 0,10 м.

Бетонні зразки зберігали у камері нормального тверднення протягом 28 діб, решта часу до випробувань – у повітряно-сухих умовах в лабораторії за температури повітря t=18 °С ± 3 °С і

відносної вологості – $W=70\%$ ($\pm 5\%$). Для циклічного заморожування-відтаювання бетону використовували кліматичну термокамеру ІЛКА TV1000.

Бетонні зразки призми і куби насичували 5 % водним розчином солей і заморожували до температури мінус $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ і витримували 2,5 год за прискороною методикою згідно з нормами [3, 4]. Серії М-5, М-10, М-20 пройшли відповідно 5, 10 і 20 циклів заморожування-відтаювання, після чого їх випробовували на міцність та тріщиностійкість.

Крім того, серія зразків бетону (П) протягом 27 місяців знаходились у природних умовах під дією погодно-кліматичних чинників без впливу транспортного навантаження. Температура повітря за літній період коливалась від 9 до $+33\text{ }^{\circ}\text{C}$, а за зимовий період коливалась від -28 до $+7\text{ }^{\circ}\text{C}$ та вологість в літній період – від 29 до 100 % і в зимовий період – від 20 до 100 %, а кількість переходів температури повітря через $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ – 51 раз.

Досліджуваний бетон базової серії випробовували на: міцність на стиск кубів [2], показники тріщиностійкості за схемою триточкового згину призми із початковим надрізом заввишки 0,04 м і завширшки 0,002 м. Початкові надрізи створювали за допомогою ріжучого інструмента [6].

Характеристики тріщиностійкості бетонів визначали під час рівноважних механічних випробовувань із записом повної діаграми навантаження-прогин ($F-V$) на випробувальній установці [6] (рис. 1) Під час рівноважних випробувань зразки навантажували безперервно до їх розділення на частини з фіксацією повної діаграми стану матеріалу $F-V$.



Рис. 1. Загальний вигляд випробувальної установки

Експериментальні результати

1. Випробування зразків в лабораторних умовах

Результати дослідження зміни міцності бетонів на стиск наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Міцність на стиск досліджуваних бетонів

Позначення серії	Кількість циклів випробування за прискороною методикою	Кількість циклів випробування за методом безпосереднього заморожування	Міцність на стиск, R_b , МПа	Втрата міцності на стиск Δ , %	Втрата маси, %
Б (базова)	-	-	58,40	-	-
М-5	5	100	46,20	21	1,2
М-10	10	150	35,05	40	1,3
М-20	20	200	31,53	46	1,4
П	-	-	45,28	32	-

Як свідчить аналіз даних табл. 1, бетонні зразки під впливом морозної деструкції втрачають міцність на стиск та масу. Серія М-5, що пройшла п'ять циклів заморожування-відтаювання

втратила 21 % міцності на стиск і 1,2 % маси від базової серії, серія М-10 – втрати 40 % міцності та 1,3 % маси та серія М-20 – втрати становлять 46 % міцності та 1,4 % маси.

Повністю рівноважні діаграми деформування (ПРДД) досліджуваних бетонів показано на рис. 2, а силові та енергетичні характеристики бетонів наведено в табл. 2.

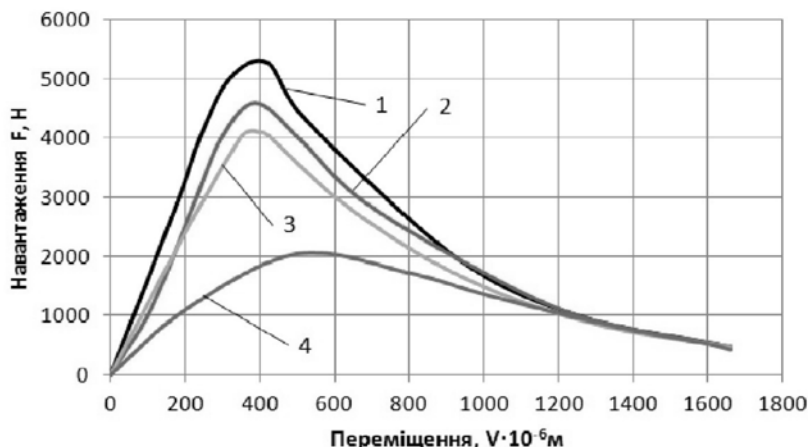


Рис. 2. ПРДД базового та бетонів після циклів заморожування і відтаювання:
1 – базова; 2 – після 5 циклів; 3 – після 10 циклів; 4 – після 20 циклів

Таблиця 2

Силові та енергетичні характеристики тріщиностійкості досліджуваних бетонів

Позначення серії	W_i , 10^{-2} Нм	W_l , 10^{-2} Нм	G_i , Дж/м ²	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}
Б	125,16	252,69	208,60	563,96	118,47	138,80	0,96	0,73
М-5	93,81	247,25	156,36	522,29	74,77	101,77	0,83	0,58
М-10	85,03	227,51	141,72	488,54	72,17	87,56	0,71	0,51
М-20	42,30	147,84	70,50	278,05	37,49	38,85	0,33	0,24
П	127,40	235,99	212,33	551,70	43,52	133,88	0,81	0,37

Граничне навантаження для базової серії становить 5260 Н, для серій М-5, М-10 і М-20 – 4600, 4130 і 2050 Н відповідно, за прогинів призм, близьких за значенням, принципово відрізняються прогини зразків бетону серії М-20 – 500×10^{-6} м, що у 1,18 раза більше від базової серії. Аналіз загального вигляду ПРДД досліджуваних бетонів (рис. 2) дає змогу зробити такі висновки: конфігурація висхідних гілок діаграм для бетонів серії М-5 і М-10 майже збігається з дещо нижчим значенням критичного навантаження для бетону серії М-10, принципово відрізняється висхідна гілка діаграми для бетонів серії М-20, граничне навантаження на 60 % менше від базової серії.

Витрати енергії на стадії мікротріщиноутворення та формування кінцевої зони магістральної тріщини (W_m) для базової серії у 1,85 і 2,63 і 2,19 раза перевищує відповідні значення для серій М-5 і М-10 і М-20.

Значення загальних енерговитрат на докритичне деформування (W_i) для базового бетону становить $136,05 \times 10^{-2}$ Нм, що у 1,45 і 1,60 і 3,22 раза більше, ніж у бетонів серії М-5, М-10, М-20.

Витрати енергії на локальне статичне деформування у зоні магістральної тріщини (W_l) для серій М-5, М-10 і М-20 становить $247,25 \times 10^{-2}$, $227,51 \times 10^{-2}$, $147,84 \times 10^{-2}$ Нм відповідно, що становить 98, 90 і 59 % від базової серії.

Питомі витрати енергії на початок статичного руйнування (G_i) для базової серії бетону становить 208,60 Дж/м², а для бетонів серії М-5, М-10, М-20 дорівнює 156,36, 141,72, 70,50 Дж/м² відповідно, що у 1,33 і 1,47 і 2,96 раза менше, ніж у базової серії бетону.

Значення ключового силового критерію тріщиностійкості – в'язкості руйнування (статичного критичного коефіцієнта інтенсивності напружень K_i) для зразків серій М-5 і М-10 і М-20 становить 86 і 74 і 34 % від базової серії Б. Критичні коефіцієнти інтенсивності напружень (K_C) для зразків

серій М-5 і М-10 і М-20 становить 79 і 70 і 33 % від базової серії Б. Інтенсивне зменшення показників в'язкості руйнування і критичного коефіцієнта інтенсивності напружень спостерігається для бетону серії М-20.

Повністю рівноважні діаграми деформування (ПРДД) досліджуваних бетонів серії П зображено на рис. 3, а силові та енергетичні характеристики бетонів подано у табл. 2.

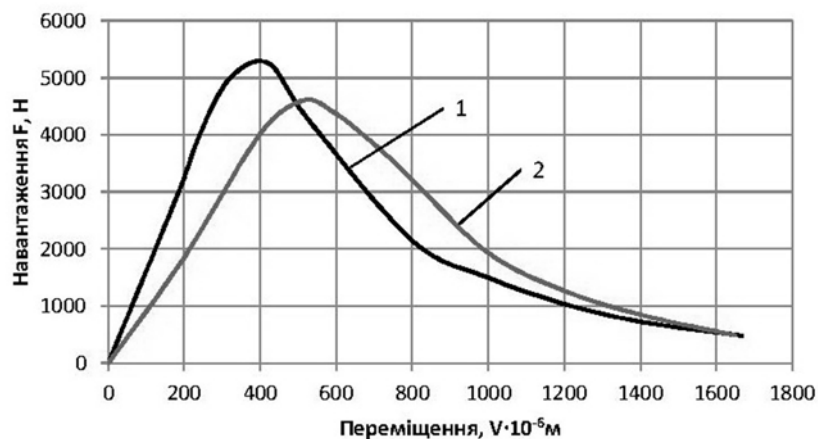


Рис. 3. ПРДД базового та бетону після 27 місяців в погодно-кліматичних умовах:
1 – базова; 2 – після 27 місяців у погодно-кліматичних умовах

Граничне навантаження для базової серії становить 5260 Н, для серії П – 4610, за прогинів призм 422×10^{-6} і 513×10^{-6} відповідно. Проаналізований загальний вигляд ПРДД досліджуваних бетонів (рис. 3).

Витрати енергії на стадії мікротріщиноутворення та формування кінцевої зони магістральної тріщини (W_m) для базової серії у 1,3 разу перевищує серію бетону П, яка 27 місяців знаходилась під дією погодно-кліматичних чинників. Значення ключового силового критерію тріщиностійкості – в'язкості руйнування (статичного критичного коефіцієнта інтенсивності напружень K_c) для зразків серій П становить 84 % стосовно базової серії Б. Критичні коефіцієнти інтенсивності напружень (K_c) для зразків серій П становлять 51 % стосовно базової серії Б.

Висновки:

1. Морозна деструкція і природно-кліматичні чинники зменшують тріщиностійкість бетону навіть без прикладення транспортного навантаження.
2. Вплив морозної деструкції із збільшенням циклів заморожування-відтаювання зумовлює зменшення міцності бетону на стиск до 46 %, а також втрати маси бетону до 1,4 %. Основна втрата міцності припадає на перші 10 циклів.
3. За дії циклічного заморожування-відтаювання до 10 циклів за температури -50 °С, що відповідає 150 циклам безпосереднього заморожування до -15 °С, спостерігається спад показників тріщиностійкості на 20–30 %, за збільшення циклів до 20 (200 за методом безпосереднього заморожування) відбувається інтенсивний спад модуля пружності і характеристик тріщиностійкості в 2,5 разу. Це дає змогу зробити висновок, що морозна тріщиностійкість бетону повинна бути забезпечена на рівні марки F200.

1. Шейкин А.Е., Добищ Л.М. Цементные бетоны высокой морозостойкости. – М., 1980.
2. ГОСТ 10180-90. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. – М.: Стандартинформ, 2006 – С. 30.
3. ДСТУ Б В.2.7-47-96. Бетоны. Методы определения морозостойкости. – М.: НИИЖБ. 1996. – С. 3–10.
4. ДСТУ Б В.2.7-49-96. Бетоны. Прискорені методи визначення морозостійкості при багаторазовому заморожуванні та відтаюванні. – М.: НИИЖБ, 1996. – С. 4–5.
5. ГОСТ 29167-91. Бетоны. Методы определения характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении. – М.: Госстандарт, 1991. – 35 с.
6. Солодкий С.Й. Тріщиностійкість бетонів на модифікованих цементах: монографія. – Львів: Вид-во Нац. ун-ту “Львівська політехніка”, 2008. – С. 144.