

УДК 691.3

Чиженко Н.П.

ОЦІНКА ТРІЩИНОСТІЙКОСТІ МОДИФІКОВАНОГО ДОРОЖНЬОГО БЕТОНУ

Анотація. В статті наведено результати дослідження впливу комплексної добавки поліфункціональної дії на тріщиностійкість дорожнього бетону. Отримано силові та енергетичні характеристики тріщиностійкості дорожнього бетону.

Ключові слова: дорожній бетон, комплексні хімічні добавки, тріщиностійкість, структура.

Аннотация. В статье приведены результаты исследования влияния комплексной добавки полифункционального действия на трещиностойкость дорожного бетона. Получены силовые и энергетические характеристики трещиностойкости дорожного бетона.

Ключевые слова: дорожный бетон, комплексные химические добавки, трещиностойкость, структура.

Annotation. The article presents the results of research of influence of complex multifunctional additive effect on the crack of road concrete. Obtained power and energy parameters of fracture toughness of concrete road.

Keywords: concrete road, complex chemical additives, crack resistance, structure.

Постановка проблеми. Стрімке зростання інтенсивності руху (більше як у два рази за десять років) та навантаження на вісь (115...180 кН) викликає підвищені вимоги щодо якості автомобільних доріг. Світовий досвід будівництва і експлуатації автомобільних доріг вказує на те, що в сучасних умовах кращі показники довговічності і економічної ефективності мають дорожні одяги жорсткого типу.

До бетонного покриття доріг, яке працює в умовах складного напруженого стану під дією повторних динамічних навантажень від

автомобілів і агресивних впливів довкілля, висувуються особливі вимоги щодо фізико – механічних властивостей та тріщиностійкості.

Одним із методів підвищення тріщиностійкості бетону є модифікація його структури хімічними добавками поліфункціональної дії. Внаслідок формування відповідної порової структури із зменшеним вмістом капілярних пор, збільшенням сферичних, замкнених, рівномірно розподілених пор, що зумовлює збільшення в'язкості руйнування та енергетичних характеристик тріщиностійкості.

Мета роботи. Отримати силові та енергетичні характеристики тріщиностійкості дорожнього бетону методом механіки руйнування. Здійснити порівняльний аналіз характеристик контрольного складу та із оптимальним вмістом комплексної добавки поліфункціональної дії ШАГ [1, 2].

Об'єкт досліджень. Цементобетон з комплексною добавкою (B50 P1 F200 W10).

Механічні і деформативні властивості контрольного складу і з комплексною добавкою наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Механічні і деформативні властивості бетонів

	Міцність у віці 28 діб, МПа		$K=R_{btb}/R_b$	Модуль пружності, МПа	Модуль деформації, МПа
	стиск, R_b	згин, R_{btb}			
Контрольний склад	53,67	5,80	0,108	41110	34097
З вмістом добавки ШАГ	69,60	7,03	0,101	39405	34325

Існує чотири основні групи методів визначення тріщиностійкості бетонів:

- 1) непрямі методи оцінки за фізико – механічними властивостями;
- 2) методи безпосереднього оцінювання, що базуються на візуальному спостереженні за появою і розвитком тріщини;
- 3) методи, що базуються на моделюванні структури бетону;
- 4) методи механіки руйнування, які дозволяють отримати якісні і кількісні характеристики тріщиностійкості.

Дослідження тріщиностійкості даних складів дорожніх бетонів проводилися на кафедрі автомобільних шляхів Національного університету “Львівська політехніка” на установці, яка забезпечує контрольований режим

руху тріщини. Характеристики тріщиностійкості бетону визначали при рівноважних механічних випробуваннях із записом повної діаграми «навантаження- прогин» ($F-V$).

Рівноважні механічні випробування на стадії локальної деформації зразка характеризуються забезпеченням адекватності зміни зовнішніх сил внутрішнім зусиллям матеріалу з відповідним статичним розвитком магістральної тріщини. Навантаження розподіляється між пружно-деформованим сталевим кільцем і бетонним зразком пропорційно до їхньої жорсткості. Під час кожного одиничного дискретного просування тріщини у зразку зменшується жорсткість у перерізі з перерозподілом навантаження між пружним пристроєм і зразком. Рівноважні випробування зразків із штучною тріщиною дають змогу зупиняти завантаження на будь-якій стадії поширення макротріщини, а також отримати стабільний характер розвитку та просування магістральної тріщини аж до повного їх руйнування. Про це свідчать плавніспадні вітки повністю рівноважних діаграм деформування (ПРДД). Важливою перевагою концепції рівноважних випробувань є те, що розраховані за ПРДД енергетичні та силові характеристики руйнування бетону інваріантні до умов випробувань [1].

Випробування зразків проводилися за схемою триточкового згину за допомогою 200-тонного гідравлічного пресу. Загальний вигляд випробувальної установки наведено на рис. 1. та схему випробування - рис.2.

При рівноважних випробуваннях зразки навантажували безперервно до їх розділення на частини з фіксацією повної діаграми стану матеріалу $F-V$. Перед початком випробувань проводили два цикли навантаження та розвантаження зразків до навантаження, що становить 10 % очікуваного максимального.

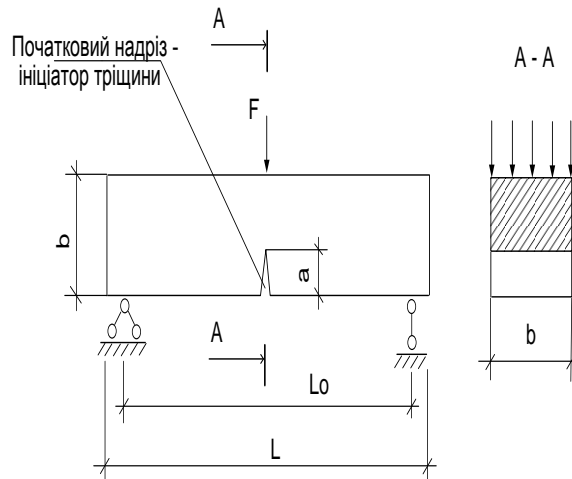
При випробуваннях використовували зразки розміром $0,10 \times 0,10 \times 0,40$ м із початковим надрізом висотою $0,04$ м і шириною $0,002$ м (рис. 2).

Початкові надрізи створювали за допомогою ріжучого інструменту. Кожна серія складалася з чотирьох зразків.

Аналіз характеристик тріщиностійкості було проведено із врахуванням двох стадій деформування і руйнування дорожнього бетону: I – докритична стадія руйнування (до моменту початку руху магістральної тріщини) за параметрами W_m, W_i, G_i, J_i, K_i ; II – закритична стадія руйнування (з моменту старту тріщини і до повного руйнування зразка) за параметрами W_l, G_F, K_c . [3, 4].



Рисунок 1 – Загальний вигляд випробувальної установки



a – довжина початкового надрізу, м; b, L, L_0 – розміри зразка, м; F – навантаження на зразок, кН

Рисунок 2 – Схема випробувань зразка-призми на згин із ініційованою тріщиною нормального відриву

На рис.3 представлені ПРДД дорожніх бетонів контрольного складу (зразки серії К) та з вмістом комплексної добавки ШАГ (зразки серії D), а результати розрахунку на їх основі параметрів тріщиностійкості наведено в табл. 2.

Аналіз першого етапу деформування (зростаюча вітка на діаграмі) на рис. 3 показує, що витрати енергії на стадії мікротріщиноутворення і формування кінцевої зони магістральної тріщини бетону (W_m) серії Dc становить 15,48 Нм і перевищує відповідні значення для бетонів серії Kc на 29%. Енерговитрати на пружне деформування бетону (W_e) серії Dc - 68,09 Нм, що перевищує значення для бетонів серії Kc на 20 %. Тобто зразки серії Dc характеризуються більшим опором мікротріщиноутворенню.

Питомі витрати енергії на статичне руйнування до моменту початку руху магістральної тріщини бетонів (G_i) серії Dc мають на 22 % вище значення за Kc. Статичний J – інтеграл, що характеризує роботу пластичної деформації та руйнування в околі вершини магістральної тріщини, для бетону серії Dc має більше значення порівняно з бетоном серії Kc на 23 %. Величина статичного критичного коефіцієнту інтенсивності напружень (K_{Ic}) у зразків серії Dc вище на 15 %.

Аналіз здатності бетону опиратися розвитку тріщин (спадаюча вітка) проводилася за параметрами W_L, G_F, K_{Ic} . Витрати енергії на локальне статичне

деформування в зоні магістральної тріщини (W_L) для бетону серії Dc становить 221,44 Нм, а для серії зразків Kc - 211,88 Нм.

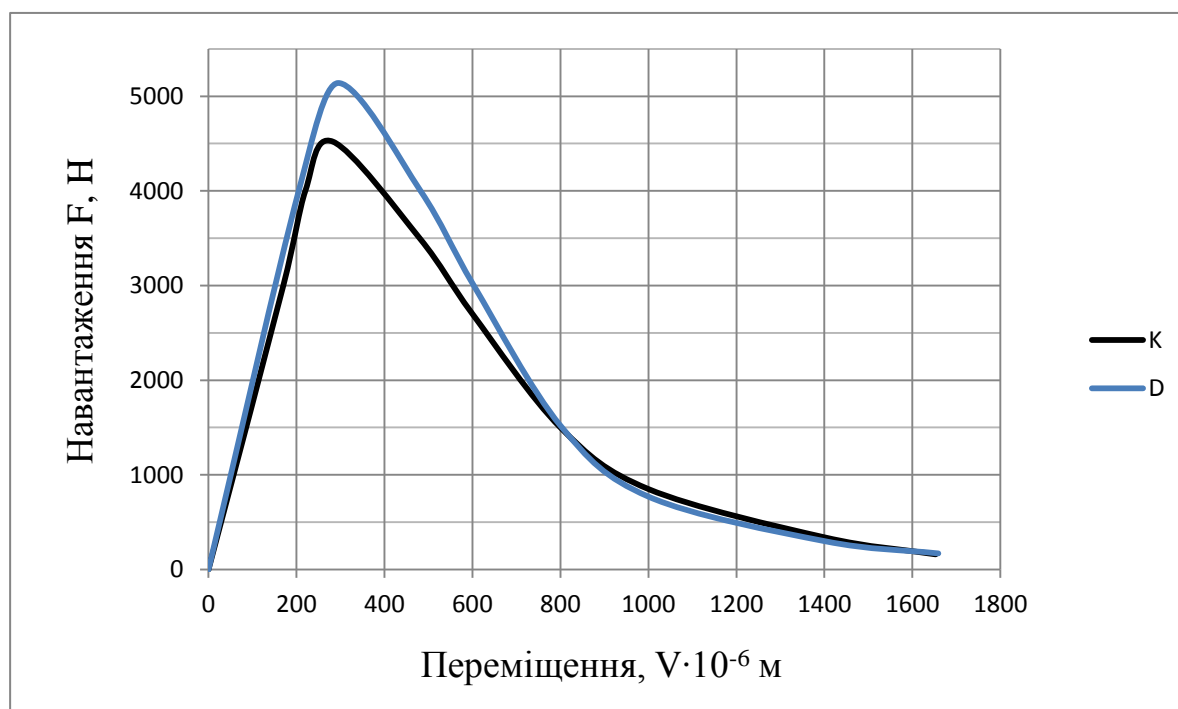


Рисунок 3 - Діаграми стану бетонів серії Kі D (усереднені)

Таблиця 2 - Силкові та енергетичні характеристики тріщиностійкості бетонів

Тип та № з/п зразкі в	$W_m \cdot 10^{-2}$, Н·м (S _{0TCH} А)	$W_e \cdot 10^{-2}$, Н·м (S _{ACH})	$W_i \cdot 10^{-2}$, Н·м (S _{0TCH})	$W_L \cdot 10^{-2}$, Н·м (S _{HCCK})	$W_{ш} \cdot 10^{-2}$, Н·м (S _{0Cu} М)	$W_{CE} \cdot 10^{-2}$, Н·м (S _{0TCH} ·X'O)	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}
K1	5,49	52,58	58,07	194,24	26,04	11,44	82,95	352,59	16,35	45,75	0,63	0,28
K2	22,10	58,95	81,05	216,09	29,20	38,79	115,79	392,91	55,41	74,08	0,78	0,54
K3	24,79	47,28	72,07	201,04	23,41	42,91	102,95	354,74	61,31	69,51	0,69	0,54
K4	1,68	67,39	69,07	238,54	33,37	22,39	98,67	437,04	31,98	50,99	0,72	0,41
Kc	12,04	56,69	68,73	211,88	28,07	25,76	98,18	383,66	36,79	58,08	0,70	0,43
Ka	13,51	56,55	70,06	212,48	28,01	28,88	100,09	384,32	41,26	60,08	0,71	0,44
D2	37,89	72,96	110,84	231,98	36,13	70,37	158,35	435,62	100,53	106,73	0,97	0,77
D3	3,51	63,94	67,45	235,98	31,67	19,14	96,35	428,45	27,34	51,12	0,66	0,35
D4	5,29	67,49	72,78	189,16	33,42	6,38	103,97	366,63	9,12	56,22	0,77	0,23
Dc	15,48	68,09	83,58	221,44	33,72	27,95	119,39	413,62	39,93	71,22	0,80	0,46
Da	15,56	68,13	83,69	219,04	33,74	31,96	119,56	410,24	45,66	71,36	0,80	0,45

Примітка: Kc, Dc – це дані на основі усередненої діаграми; Ka, Da – середні арифметичні дані на основі отриманих результатів розрахунків.

Питомі ефективні витрати енергії на статичне руйнування бетону (G_F) серії Dc становить 413,62 Дж/м², а для серії Kc - 383,66 Дж/м². Це узгоджується

з конфігурацією спадної вітки діаграми (рис. 3). За показником в'язкості руйнування з урахуванням закритичної стадії деформування (K_c) незначну перевагу зберігає бетон серії Dc. Отже, здатність бетону опиратися розвитку макротріщин для серії Dc вища ніж у бетонах серії Kc.

Висновки

На основі проведених досліджень можна зробити висновок, що розроблена комплексна добавка поліфункціональної дії ШАГ покращує ключеві показниками якості дорожнього бетону – міцність на розтяг при згині та характеристики тріщиностійкості бетону:

1. Зростання ординати точки зламу діаграми свідчить про більшу міцність на розтяг при згині і більші енерговитрати в докритичній стадії деформування до моменту зрушування макротріщини;
2. Більша площа діаграми під спадною віткою свідчить про більші можливості бетону серії D чинити опір поширенню макротріщини.
3. Граничний прогин (точка дефрагментації) практично однакові у серій K і D.

За енергетичними показниками тріщиностійкості (робота і питома енергія) і силовими показниками (критичні коефіцієнти інтенсивності напружень) перевагу має бетон із вмістом комплексної добавки. Це, вочевидь, пов'язано із особливостями впливу комплексної добавки на мікро- і макропоказників бетону.

Література

1. Чистяков В.В. Модифицированные цементобетоны для покрытия дорог / А.Г.Шургая, Ю.М.Дорошенко, Н.П. Чиженко // Строительные материалы, изделия и санитарная техника. – 2012. – Вып. № 43. – С. 212.
2. Гамеляк І.П. Порівняння сучасних добавок для високоміцного дорожнього бетону / А.Г. Шургая, Я.М. Якименко, Н.П. Чиженко, О.А. Карпюк // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво – 2014. - Випуск 92 - С. 38 – 49.
2. Солодкий С.Й. Тріщиностійкість бетонів на модифікованих цементах: Монографія / С.Й. Солодкий. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2008.– 144 с.
4. ДСТУ Б В.2.7 – 227:2009 Бетони. Методи визначення характеристик тріщиностійкості (в'язкості руйнування) при статичному навантаженні. – М.: Київ, Мінрегіонбуд України, 2010. – 23 с.

Рецензенти:

Мішутін А.В., д-р техн. наук, Одеська державна академія будівництва і архітектури.
Нагайчук В.М., канд. техн. наук, ДП "ДерждорНДІ".

Reviewers:

Mishutin A.V., Dr. Tech. Sci., Odessa State Academy of Construction and Architecture.
Nahaichuk V.M. Cand. Eng. Sci. (Ph.D.), "DerzhdorNDI".

Стаття надійшла до редакції: **13.07.2016 р.**