УДК 691.3

Солодкий С.Й., Русин Р.М.,
Гайванович Р.В., Поваляшко М.В.

ОЦІНКА ТРІЩИНОСТІЙКОСТІ ДОРОЖНІХ БЕТОНІВ ЗА КРИТЕРІЯМИ МЕХАНІКИ РУЙНУВАННЯ

Вступ. Інтеграція України в Європейську спільноту, виконання функцій транзитної держави, зростання інтенсивності і вантажонапруженості дорожнього руху вимагають побудови сучасних автомагістралей із капітальними типами дорожніх одягів. Більшою мірою вимогам часу, на нашу думку, відповідають автомобільні дороги з жорстким типом дорожнього одягу. До їх переваг перед нежорсткими дорожніми одягами можна віднести: майже в 2 рази більший строк експлуатації до капітального ремонту [1], можливість витримувати наднормативні навантаження, особливо, на грунтах земполотна з низькою несучою здатністю, стабільність показників міцності і деформативності при зміні температури, мінімальні експлуатаційні витрати тощо.

Проте такі недоліки жорстких дорожніх одягів, як повільний набір міцності, тріщиноутворення, що супроводжує процес твердіння шарів із використанням портландцементу, репродукція тріщин основи на покриття, незадовільні демпфуючі властивості, значні капіталовкладення при будівництві об'єктивно гальмують їх застосування в практиці дорожнього будівництва.

Постановка проблеми. Світовий досвід і прогрес у монолітному бетонуванні свідчать, що більшість наявних проблем можна вирішити шляхом застосування хімічних додатків поліфункціональної дії, безусадочних і швидкотверднучих цементів і цементів із пониженою екзотермією, влаштуванням відповідних шарів зносу.

Одним із напрямків отримання заданих властивостей бетону, що відповідають умовам експлуатації, є використання композиційних цементів. Різноманітність рецептурних рішень, можливість спрямованого структуроутворення обумовлюють широкий діапазон міцнісних і спеціальних властивостей таких цементів. Проте проблема тріщиностійкості матеріалів на основі композиційних цементів є недостатньо вивченою. Для ефективного застосування

нових матеріалів у конструктивних шарах дорожнього одягу і прогнозування їх довговічності необхідно оцінити параметри їх тріщиностійкості з позицій і за критеріями механіки руйнування.

Мета досліджень. Визначити фізико-механічні властивості, методами механіки руйнування силові та енергетичні характеристики тріщиностійкості матеріалів на основі композиційних модифікованих цементів для влаштування жорстких і з жорсткими прошарками дорожніх одягів. Здійснити порівняльний аналіз характеристик із аналогами на основі традиційного портландцементу.

Аналіз останніх досліджень. Початком системних досліджень параметрів тріщиностійкості бетонів за стандар-тизованою методикою можна вважати введення в дію ГОСТ 29167-91 [2]. Вагомий внесок в розвиток даного напрямку бетонознавства внесли Ю.В. Зайцев, Є.А.Гузєєв, С.М. Леонович, К.О. Пірадов, В.І. Шевченко та інші дослідники [3,4,5,6]. В результаті проведених досліджень запропонована принципово нова методика розрахунку бетонних і залізобетонних конструкцій за граничним станом по довговічності. Подальшу роботу в галузі застосування методів механіки руйнування рекомендовано проводити для бетонів на спеціальних в'яжучих і високоміцних бетонів із структурами, модифікованих на мікрорівні додатками, що хімічно взаємодіють із цементною матрицею [5]. В Україні дослідження тріщиностійкості композиційних матеріалів проводились в Одеський ДАБА під керівництвом проф. Вирового В.М. [7].

Вихідні матеріали і методи досліджень. Для приготування дорожніх бетонів використовували портландцемент і композиційні цементи на основі клінкеру ВАТ „Миколаївцемент". Останні згідно класифікації ДСТУ Б В.2.7-46-96 "Цементи загальнобудівельного призначення" за речовинним складом відносяться до V типу.

Композиційні цементи отримували шляхом сумісного помелу компонентів в заданих пропорціях в кульовому млині до питомої поверхні 410…430 $м^2$/кг (згідно ПМЦ-500). Склад та активності цементів для приготування цементогрунтів, піщаних і важких бетонів наведені в табл.1. Для активізації взаємодії в системах використовували хімічно чистий сульфат натрію в кількості 5% від маси цементу. Активатор вводили сумісно з водою затворення під час приготування суміші. Суміші готували в лопатевому змішувачі при часі перемішування 3-5 хв.

Як заповнювачі використовували щебінь фр. 5-20 мм кар'єру "Полонне" (Хмельницька область), Ясинецький кварцовий пісок (Львівська область) з модулем крупності 1,4.

Таблиця 1 - Склад та активності цементів

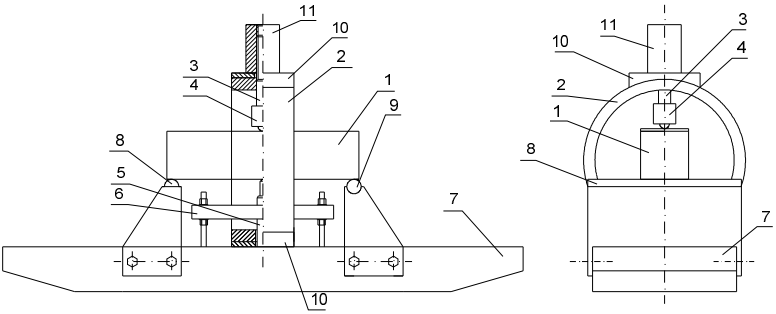
№ з/п	Вид цементу	Позначення	Компонентний склад, % за мас.					Активність, МПа, 28 діб	
			портланд-цементний клінкер	доменний гран. шлак	перліт	зола - виносу	активатор	згин	стиск
1	Композиційний -1	КЦ-1	50	15	35	-	Na_2SO_4	6,2 - 7,5	23,4 -31,0
2	Композиційний -2	КЦ-2	65	15	-	20	Na_2SO_4	6,8 - 8,4	27,3 -34,0
3	Портланд-цемент	ПЦ	95	-	-	-	5 (двоводний гіпс)	6,8 - 7,3	39,2 -42,0

Проектування складу важкого бетону здійснювали у відповідності до вимог [8] при сталій витраті цементу - 500 кг/м^3, та сталому В/Ц - 0,38. Для модифікації системи використовували пластифіктор Addiment BV3 звичайний з легким повітровтягувальним ефектом, який відноситься до класу лігносульфонатів технічних

Фізико-механічні властивості цементогрунтів і бетонів визначали шляхом випробувань зразків після тверднення в нормальних умовах у віці 28 діб згідно вимог чинних нормативних документів.

Для проведення досліджень тріщиностійкості матеріалів на кафедрі „Автомобільні шляхи" Національного університету „Львівська політехніка" була створена установка, яка забезпечує заданий режим руху тріщини. Схема і загальний вигляд механічної частини установки зображені на рис.1. Випробування зразків проводилося по схемі триточкового згину за допомогою 200 т гідравлічного пресу. Характеристики тріщиностійкості визначали у віці 180 діб при рівноважних механічних випробуваннях із записом повної діаграми F-V у відповідності до вимог [2]. Рівноважні

випробування на стадії локальної деформації зразка характеризуються забезпеченням адекватності зміни зовнішніх сил внутрішнім зусиллям матеріалу з відповідним статичним розвитком магістральної тріщини. При випробуваннях використовували зразки розміром 10х10х40 см із початковим надрізом висотою 4 см і шириною 0,2см.. Початкові надрізи створювали за допомогою ріжучого інструменту. Серія складалася з чотирьох зразків-близнят.



1 - зразок; 2 - силорозподільче кільце; 3 - шток; 4 - датчик зусиль (тензометр); 5 - датчик переміщення; 6 - кріплення датчика переміщень; 7 - станина; 8 - нерухомий шарнір; 9 - рухомий шарнір; 10 - фіксуючі накладки; 11 - фіксатор штока

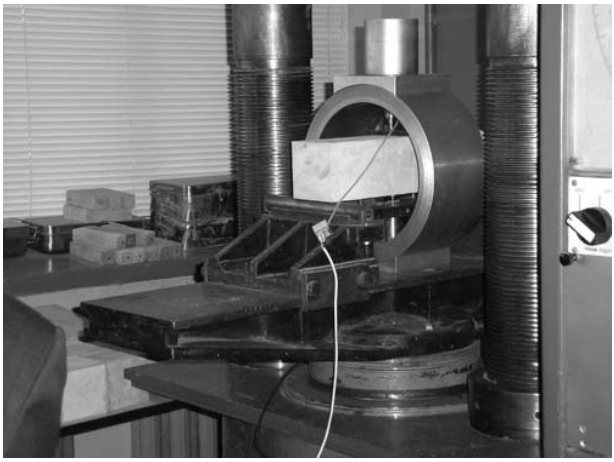
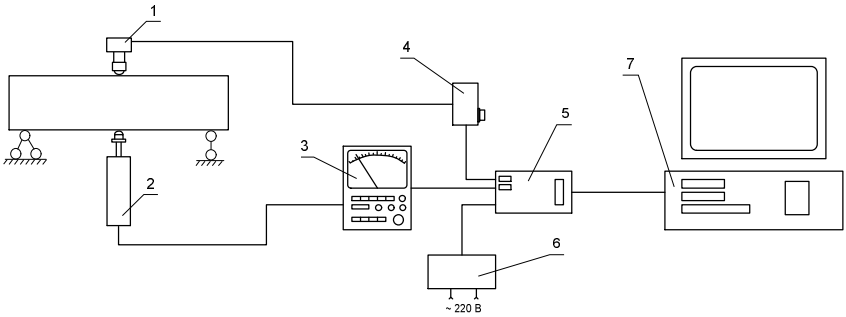


Рисунок 1 - Схема і загальний вигляд механічної частини випрбувальної установки для визначення параметрів тріщиностійкості

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



1 - датчик зусилля (тензометр); 2 - датчик переміщення індуктивного типу; 3 - підсилювач-перетворювач сигналу з датчика переміщення; 4 - резисторний міст; 5 - інтерфейсна плата (плата спряження); 6 - блок живлення; 7 - комп'ютер

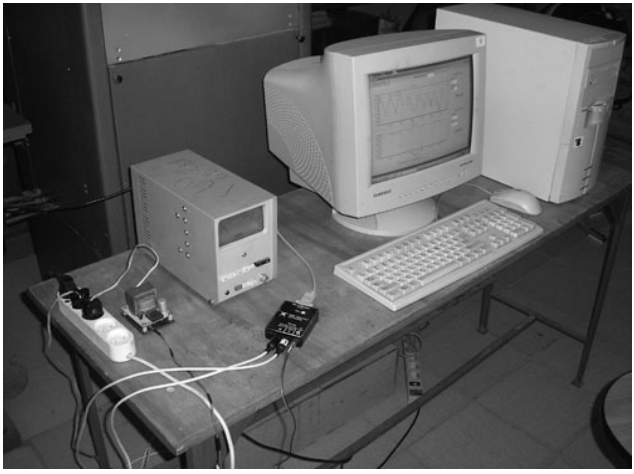


Рисунок 2 - Схема і загальний вигляд електронної частини установки для визначення параметрів тріщиностійкості

Фізичні характеристики сили і переміщення знімалися і перетворювалися в електричні сигнали за допомогою первинного вимірювального перетворювача згинальної сили (тензометра) та первинного вимірювального перетворювача деформацій згину (датчика індуктивного типу). Сигнали з первинних перетворювачів після попереднього підсилення подавалися на аналого-цифровий перетворювач електричних сигналів, який виконано у вигляді інтерфейсної плати спряження з комп'ютером. Блок-схема і загальний вигляд вимірювальної частини обладнання зображені на рис.2. Діаграма рівноважних випробувань F-V записувалась за допомогою комп'ютерної програми, розробленої НДЦ "Кристал" (м. Львів).

Результати досліджень

Проведені рівноважні механічні випробування зразків зі штучною тріщиною дали змогу отримати стабільний характер розвитку та просування магістральної тріщини аж до повного їх руйнування. Про це свідчать результати випробувань, наведені в таблицях 3,5,8, а також плавні, без зривів, спадаючі вітки повністю рівноважних діаграм деформування (рис.3-5).

Аналіз числових значень параметрів тріщиностійкості проводили з урахуванням двох стадій деформування і руйнування бетону: I - докритична стадія руйнування (до моменту початку руху магістральної тріщини) за параметрами W_m, W_i, G_i, J_i, K_i, K_c; II - закритична стадія руйнування (з моменту старту тріщини і до повного руйнування зразка) за параметрами W_l, G_F.

А. Цементогрунти

Витрату цементу прийнято 12 % мас. у відповідності до вимог [9] при оптимальній вологості 9 % мас. Зразки виготовлено методом вібропресування. Результати визначення фізико-механічних характеристик наведені у табл. 2.

Таблиця 2 - Фізико-механічні властивості цементогрунтів

Серія	Цемент	Міцність у віці 28 діб, МПа		$K = \frac{R_{btb}}{R_b}$	Модуль пружності, МПа	
		на стиск (R_b)	на розтяг при згині (R_{btb})		на стиск	на розтяг при згині
ЦГ-1	КЦ-1	8,46	2,90	0,34	20400	15270
ЦГ-2	КЦ-2	9,79	3,54	0,36	25120	18270
ЦГ-3	ПЦ	8,56	2,01	0,23	21330	16180

Аналіз даних табл.2 свідчить, що цементогрунти на основі КЦ серій ЦГ-1 і ЦГ-2 за показником міцності на розтяг при згині мають суттєву перевагу, відповідно на 44 і 76 %, над традиційним матеріалом (ЦГ-3). Значення показника анізотропності матеріалу К (відношення міцності на розтяг при згині до міцності на стиск) для цементогрунтів ЦГ-1 і ЦГ-2 майже однакові і в 1,5 рази більші, ніж в ЦГ-3. При цьому, міцності на стиск мають близьки значення з деякою перевагою у ЦГ-2. Аналогічна закономірність спостерігається і для значень модуля пружності. Дані результати свідчать про перевагу агезійних сил взаємодії над когезійними у цементогрунтів на основі КЦ і, більшою мірою, при використанні в їх складі золи-виносу. Вочевидь, це можна пояснити наявністю хімічної взаємодії між піском і цементним каменем і зміцненням контактних зон.

На рис. 3 представлені повністю рівноважні діаграми деформування (ПРДД) цементогрунтів. Результати підрахунку параметрів тріщиностійкості на основі ПРДД - в табл. 3.

Таблиця 3 - Параметри тріщиностійкості цементогрунтів

Серія	Силові та енергетичні характеристики тріщиностійкості								
	W_m, 10^{-2} Нм	W_e, 10^{-2} Нм	W_i, 10^{-2} Нм	W_l, 10^{-2} Нм	W_{ui}, 10^{-2} Нм	$G_{i,}$ Н/м	$G_{f,}$ Н/м	J_i, Н/м	K_i, МН/м$^{3/2}$
ЦГ-1	0,315	2,21	2,53	5,208	0,908	4,21	12,37	5,72	0,31
ЦГ-2	0,804	5,08	5,88	6,348	1,048	5,58	14,82	7,32	0,43
ЦГ-3	0,325	1,619	1,94	4,333	0,660	3,24	9,92	3,79	0,26

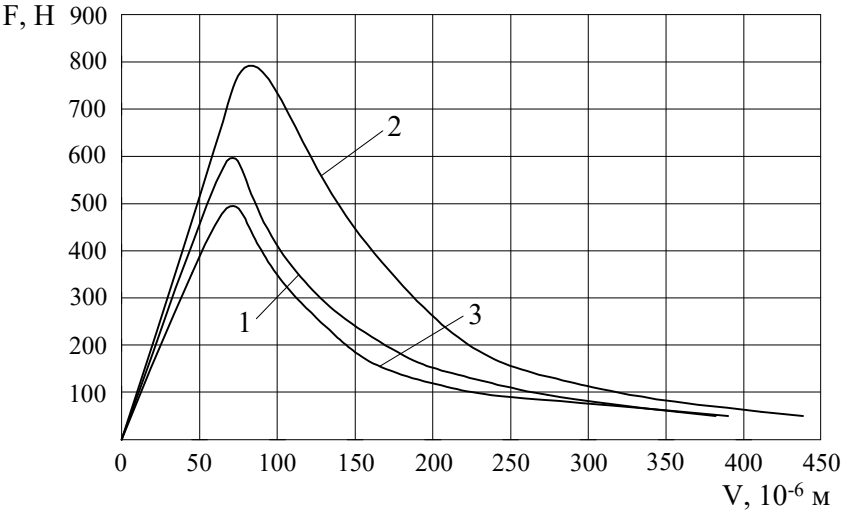


Рисунок 3 - Повні рівноважні діаграми деформування цементогрунтів 1 - ЦГ-1; 2 - ЦГ-2; 3 - ЦГ-3

Аналіз ПРДД (рис.3) та характеристик тріщиностійкості (табл.3) показує, що енерговитрати на мікротріщиноутворення W_m для ЦГ-1 і ЦГ-3 мають близькі значення і є у 2,5-2,6 рази меншими порівняняно з ЦГ-2. Ймовірно, цементогрунт на основі КЦ-2 характеризується меншою кількістю початкових дефектів структури, які є концентраторами внутрішніх напружень і причиною зародження і розвитку мікротріщин. Найвище значення енерговитрат на пружнє деформування W_e для ЦГ-2 свідчить про найбільше значення величини активних міжмолекулярних зв'язків. Питомі енерговитрати на статичне руйнування до моменту руху магістральної тріщини G_i для ЦГ-1 і ЦГ-2 є вищими у порівнянні з ЦГ-3 відповідно на 30 і 72 %.

Енергетичні показники локального статичного деформування в зоні магістральної тріщини W_l і G_f свідчать про перевагу цементогрунтів ЦГ-1 і ЦГ-2 над традиційним матеріалом із використанням портландцементу. Для показника W_l перевага складає 21-25 %, для G_f - 47-49 %.

Статичний критичний коефіцієнт інтенсивності напружень K_i (в'язкість руйнування) є інтегральним показником

тріщиностійкості. Найвище значення K_i знов же таки характерне для ЦГ-2 (0,43). Це у 1,4 рази перевищує аналогічне значення для ЦГ-1 і в 1,7 - для ЦГ-3.

Таким чином, цементогрунти на основі КЦ краще опираються зародженню і розвитку мікротріщин, а також руху макротріщини, ніж цементогрунт на основі традиційного портландцементу, що підтверджується значеннями силових та енергетичних характеристик тріщиностійкості.

Б. Піщані бетони

Фізико-механічні властивості і ПРДД досліджуваних піщаних бетонів наведені відповідно у табл.4 і на рис.5, параметри тріщиностійкості - у табл. 5.

Таблиця 4 - Фізико-механічні властивості піщаних бетонів

Серія	Цемент (за табл.1)	Міцність у віці 28 діб, МПа		$K = \frac{R_{btb}}{R_b}$	Модуль пружності, МПа	
		на стиск (R_b)	на розтяг при згині (R_{btb})		на стиск	на розтяг при згині
ПБ-1	КЦ-1	16,8	4,63	0,28	28961	22439
ПБ-2	КЦ-2	21,67	6,23	0,29	28329	21545
ПБ-3	ПЦ	27,31	4,37	0,17	30150	23895

Закономірності щодо абсолютних значень, співвідношень міцностей на згин і стиск, модулей пружності, виявлені для цементогрунтів, мають місце і для піщаних бетонів. Показник анізотропності бетонів на КЦ в 1,6-1,7 рази вище, ніж для бетону на основі портландцементу. Це свідчить про посилення ролі адгезійних сил в забезпеченні переваги при роботі піщаних бетонів на КЦ в умовах напружено-деформованого стану при згині.

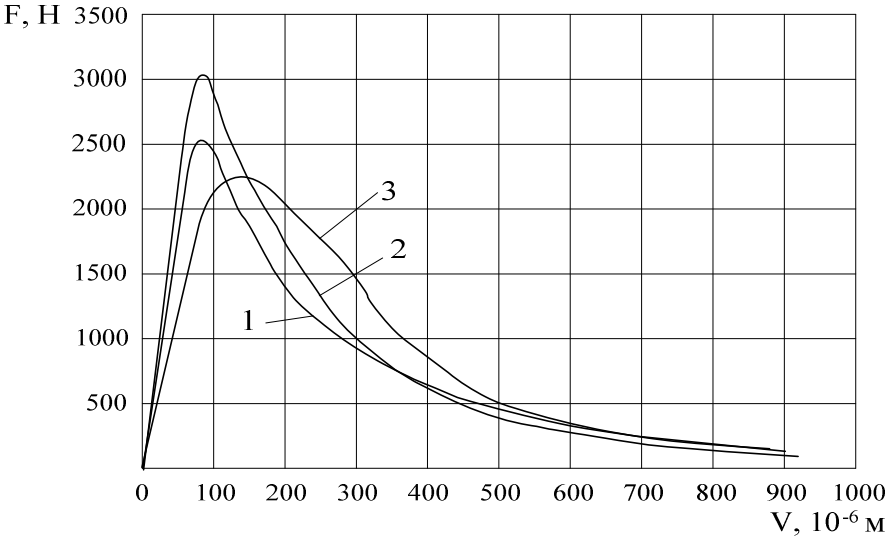


Рисунок 4 - Повні рівноважні діаграми деформування піщаних бетонів 1 - ПБ-1, 2 - ПБ-2, 3 - ПБ-3

Таблиця 5 -Параметри тріщиностійкості піщаних бетонів

Серія	Силові та енергетичні характеристики тріщиностійкості								
	W_m, 10^{-2} Нм	W_e, 10^{-2} Нм	W_i, 10^{-2} Нм	W_l, 10^{-2} Нм	W_{ui}, 10^{-2} Нм	$G_{i,}$ Н/м	$G_{f,}$ Н/м	J_i, Н/м	K_i, МН/м$^{3/2}$
ПБ-1	5,05	10,06	15,11	63,51	4,72	25,17	122,60	33,07	0,49
ПБ-2	5,13	11,25	16,38	59,60	5,57	27,30	118,07	36,60	0,56
ПБ-3	8,80	9,94	18,74	60,91	4,91	31,23	118,08	39,42	0,48

По мірі наповнення цементної матриці дрібним заповнювачем тенденція однозначної переваги за показниками тріщиностійкості матеріалів на основі КЦ нівелюється і для деяких характеристик проявляється на користь традиційного в'яжучого. Так, наприклад, за величиною пружних енерговитрат на деформування в докритичній стадії W_e, питомих енерговитрат на статичне руйнування G_f і критичного коефіцієнту інтенсивності напружень K_i перевагу мають піщані бетони на основі КЦ. При цьому, відсутня явно виражена перевага за усіма показниками

одного з композиційних цементів. За показниками енерговитрат на мікротріщиноутворення W_m, питомих енерговитрат на статичне руйнування до моменту руху магістральної тріщини G_i і пов'язаного з ними статичного джей-інтегралу J_i перевага на боці піщаного бетону на портландцементі. Питомі ефективні енерговитрати на статичне руйнування G_f мають однакові значення для бетонів серій ПБ-2 і ПБ-3 і є на 4% більшими для бетону на основі КЦ-1 з використанням перліту. Наведені результати кореспондуються із формою ПРДД для досліджуваних бетонів із меншою крутістю обох віток діаграми для бетону на портландцементі.

На основі аналізу результатів можна зробити припущення про послаблення ролі цементної матриці у забезпеченні високого рівня показників тріщиностійкості піщаних бетонів (як це мало місце в цементогрунтах на основі КЦ) та про зростання ролі дрібного заповнювача у формуванні первинного поля напружень і деформацій і подальшій їх трансформації під впливом навантаження.

В. Важкі бетони

Склади бетонів були запроектовані за результатами реалізації факторного експерименту [10] та вирішення задачі оптимізації витрати модифікатору, вмісту пластифікатору та коефіцієнту розсунення зерен щебеню за критерієм максимальної міцності бетону на розтяг при згині [11] (табл.6). До математичної моделі задачі були залучені обмеження, що враховували умови вкладання бетонних сумішей та напружено-деформований стан бетонів у дорожній конструкції.

Таблиця 6 - Склади важких бетонів

Серія	Витрата матеріалу, кг/м^3							
	Цемент (за табл.1)			Заповнювачі		Вода	Na_2SO_4	Addiment BV3
	КЦ-1	КЦ-2	ПЦ	Пісок	Щебінь			
Б-1	500	-	-	581	1109	190	27,3	2,2
Б-2	-	500	-	663	1026	190	24,6	3,0
Б-3			500	663	1026	190	-	2,5

Таблиця 7 - Фізико-механічні властивості важких бетонів

Серія	Цемент (за табл.1)	Міцність у віці 28 діб, МПа		$K = \frac{R_{btb}}{R_b}$	Модуль пружності, МПа	
		на стиск (R_b)	на розтяг при згині (R_{btb})		на стиск	на розтяг при згині
Б-1	КЦ-1	39,5	7,62	0,19	33831	22154
Б-2	КЦ-2	46,3	8,01	0,17	38775	26360
Б-3	ПЦ	66,5	7,68	0,12	41121	30092

Таблиця 8 - Параметри тріщиностійкості бетонів

Серія	Силові та енергетичні характеристики тріщиностійкості								
	$W_{m_2}10^{-}$, Нм	W_e10^{-2}, Нм	W_i10^{-2}, Нм	W_l10^{-2}, Нм	$W_{ui}10^{-}$, Нм	$G_{i,}$ Н/м	$G_{f,}$ Н/м	J_i, Н/м	K_i, МН/м$^{3/2}$
Б-1	25,67	8,13	33,80	76,43	4,02	56,33	140,94	49,62	1,099
Б-2	16,56	6,93	23,49	56,96	3,43	39,15	106,48	33,43	1,006
Б-3	16,43	7,36	23,79	64,11	3,64	39,65	119,12	33,57	1,097

На рис.5 представлені ПРДД бетонів, а результати підрахунку на їх основі параметрів тріщиностійкості наведені в табл. 8.

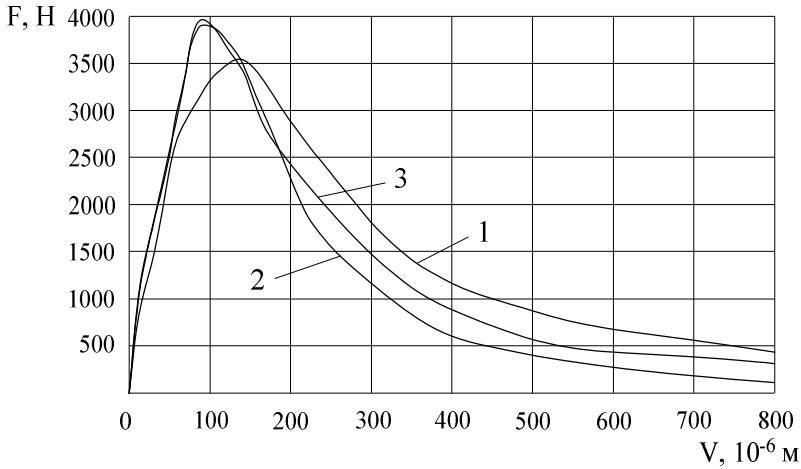


Рисунок 5 - Повністю рівноважні діаграми деформування важких бетонів: 1 - Б-1; 2 - Б-2; 3 - Б-3

Аналіз першого етапу деформування (зростаюча вітка на діаграмі) показує, що витрати енергії на стадії мікротріщиноутворення і формування кінцевої зони магістральної тріщини бетону серії Б-1 склали W_m=25,67 Нм і перевищують відповідні значення для бетонів серій Б-2 і Б-3 на 55%. Це свідчить про те, що бетон серії Б-1 найкраще опирається дисипативним процесам розвитку та злиття мікротріщин. Енерговитрати на пружне деформування бетону серії Б-1 склали W_e=8,13 Нм, що перевищує значення для бетонів серії Б-2 і Б-3 відповідно на 17 і 12%. Таким чином, бетон серії Б-1 характеризується більшими опором мікротріщиноутворенню.

Питомі витрати енергії на статичне руйнування до моменту початку руху магістральної тріщини бетонів (G_i) серій Б-2 і Б-3 практично не відрізняються, а для бетону серії Б-1 мають на 40% вище значення. Статичний J-інтеграл, що характеризує роботу пластичної деформації та руйнування, а також поле напружень та деформацій біля вершини магістральної тріщини перед початком її руху, для бетону серії Б-1 має більше значення порівняно з бетоном серій Б-2 і Б-3 на 47 %. Таким чином, для бетону серії Б-1 характерним є значне збільшення здатності опиратися утворенню тріщин. При цьому, величини статичного критичного коефіцієнту інтенсивності напружень K_i мають майже однакові значення для бетонів усіх серій у зв'язку з перевагою у значеннях модуля пружності для бетонів серій Б-2 і Б-3.

Аналіз здатності бетону опиратися розвитку тріщин (спадаюча вітка) виконувався за параметрами W_l, G_F. Витрати енергії на локальне статичне деформування в зоні магістральної тріщини W_l бетону серії Б-1 є більшими в 1,3 рази порівняно з серією Б-2 і в 1,2 - з серією Б-3. Питомі ефективні витрати енергії на статичне руйнування бетону G_F серії Б-1 становлять 140,94 Н/м, що вище аналогічного показника бетонів серії Б-2 в 1,3 рази та бетонів серії Б-3 в 1,2 рази. Отже встановлено, що здатність бетону опиратися розвитку макротріщин для серії Б-1 вища, ніж в бетонах серії Б-2 та Б-3. Це узгоджується з формою спадаючої вітки кривої для бетону серії Б-1, яка характеризується меншою крутістю.

Таким чином, можна констатувати, що бетон серії Б-1 на основі КЦ-1(з використанням перліту) за показниками тріщиностійкості має перевагу перед бетонами на портландцементі і КЦ-2 (з використанням золи-виносу), показники тріщиностійкості яких мають близькі значення.

Висновки

1. На основі проведених досліджень можна зробити висновок, що за ключовим показником якості дорожніх бетонів - міцністю на розтяг при згині та характеристиками тріщиностійкості матеріали на основі композиційних цементів не поступаються аналогам на портландцементі, а на окремих етапах деформування краще чинять опір зародженню, розвитку мікротріщин і розповсюдженню макротріщин, що підтверджується значеннями силових та енергетичних критеріїв механіки руйнування. Це, вочевидь, пов'язано з особливостями структури матеріалів, які обумовлені використанням модифікованих композиційних цементів.

2. Цементогрунти, піщані і важкі бетони на основі лужноактивованих композиційних цементів можна рекомендувати до впровадження при будівництві жорстких та з жорсткими прошарками дорожніх одягів.

3. З мірою накопичення експериментальних даних доцільно внести корективи в розрахунок жорстких і з жорсткими прошарками дорожніх одягів, які б враховували інваріантні константи тріщиностійкості бетонів.

Література

1. ВБН Г.1-218-050-2001. Міжремонтні строки експлуатації дорожніх одягів та покриттів на автомобільних дорогах загального користування.

2. ГОСТ 29167-91 Бетоны. Методы определения характеристик трещиностойкости при статическом нагружении.

3. Разрушение бетона и его долговечность / Е.А Гузеев, С.Н. Леонович, А.Ф. Милованов, К.А. Пирадов, Л.А. Сейланов / Под ред. Е.А. Гузеева. - Мн.: Редакция журнала "Тыдзень", 1997. - 170 с.

4. Зайцев Ю.В., Сахи Д.М., Пирадов К.А. Механика разрушения бетонов различной макроструктуры / М.: МГОУ, 2002. - 225с.

5. Леонович С.Н. Трещиностойкость и долговечность бетонных и железобетонных элементов в терминах силовых и энергетических критериев механики разрушения. Мн.: Редакция журнала “Тыдзень”, 1999. - 265 с

6. Расчет бетонных и железобетонных конструкций на основе методов механики разрушения / К.А. Пирадов, А.Б. Пирадов, Г.З. Иосебашвили, Л.А. Кахиани / Под ред. К.А. Пирадова. - Тбилиси: Мецниереба, 1999. - 250 с

7. Композиционные строительные материалы и конструкции пониженной материалоемкости / В.И. Соломатов, В.Н. Выровой, В.С., Дорофеев, А.В.Сиренко. - К.:Будивельнык, 1991. - 144с.

8. ВБН В.2.3-218-008-97. Проектування і будівництво жорстких та з жорсткими прошарками дорожніх одягів. - К.: Міністерство транспорту України, Державна корпорація по будівництву, ремонту і утриманню автомобільних доріг “Укравтодор”, 1997. - 218 с.

9. ВБН В.2.3-218-002-95 "Проектування і будівництво основ та покриттів автомобільних доріг із кам'яних матеріалів, промислових відходів і грунтів, укріплених цементом",

10. Солодкий С. Й., Русин Р. М. Факторний експеримент в технології дорожніх бетонів на основі композиційних модифікованих цементів // Будівництво України. - 2004. - № 3.

11. Солодкий С. Й., Русин Р. М. Оптимізація рецептурно-технологічних параметрів бетону для дорожнього будівництва на основі модифікованих композиційних цементів цементів // Будівництво України. - 2004. - № 4.