

УДК 691.327.333

DOI: 10.15587/1729-4061.2015.47421

ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИЩИНОСТІЙКОСТІ ВАЖКИХ БЕТОНІВ ТА ПІНОБЕТОНІВ, АРМОВАНИХ ПОЛІПРОПІЛЕНОВОЮ ФІБРОЮ ДЛЯ ДОРОЖНЬОГО БУДІВНИЦТВА

С. Й. Солодкий

Доктор технічних наук,
професор, завідувач кафедри*

E-mail: s.solodkyy@ukr.net

В. О. Каганов

Кандидат технічних наук, доцент**

E-mail: kahanov@ukr.net

І. Б. Горніковська

Асистент**

E-mail: hornikovska@gmail.com

Ю. В. Турба

Асистент*

E-mail: yura_turba@ukr.net

*Кафедра автомобільних шляхів***

Кафедра будівельного виробництва*

***Національний університет

«Львівська політехніка»

вул. С. Бандери, 12, м. Львів, Україна, 79013

Проведено дослідження тріщиностійкості важкого бетону та пінобетону безавтоклавного тверднення, армованих та не армованих волокнами поліпропіленової фібри. Дослідження проводили за критеріями механіки руйнування з метою встановлення характеристик міцності і деформативності, а також силових і енергетичних показників тріщиностійкості досліджуваних бетонів. Встановлено, що армування важкого бетону та пінобетону безавтоклавного тверднення поліпропіленовою фіброю покращує (збільшує) міцнісні показники, силові та енергетичні характеристики тріщиностійкості бетонів, а особливо пінобетонів

Ключові слова: фібробетон, тріщиностійкість, механіка руйнувань, питома енерговитрати, в'язкість руйнування

Проведено исследование трещиностойкости тяжелого бетона и пенобетона безавтоклавного твердения, армированных и не армированных волокнами полипропиленовой фибры. Исследования проводили по критериям механики разрушения с целью установления характеристик прочности и деформативности, а также силовых и энергетических показателей трещиностойкости исследуемых бетонов. Установлено, что армирование тяжелого бетона и пенобетона безавтоклавного твердения полипропиленовой фиброй улучшает (увеличивает) прочностные показатели, силовые и энергетические характеристики трещиностойкости бетонов, особенно пенобетонов

Ключевые слова: фибробетон, трещиностойкость, механика разрушений, удельные энергозатраты, вязкость разрушения

1. Вступ

Сьогодні будівельній галузі характеризується стрімким зростанням застосування цементного бетону, який став основним матеріалом для різних видів капітального будівництва, в тому числі дорожнього. Розвиток дорожньої інфраструктури передбачає будівництво сучасних автомагістралей із високими транспортно-експлуатаційними характеристиками та є надзвичайно актуальним завданням для інтеграції України у Європейську спільноту.

В умовах значного приросту інтенсивності та вантажнонапруженості автомобільного руху виникає потреба будівництва дорожніх одягів підвищеної капітальності та довговічності, застосування сучасних будівельних матеріалів і технологій. Найбільш доступний та економічний спосіб, що не ускладнює загальноприйнятої технології виготовлення бетонних і залізобетонних конструкцій – це застосування якіс-

них заповнювачів, високоактивних цементів, низьких водоцементних відношень та дисперсне армування фібровими волокнами.

Проте, тріщиноутворення в бетоні є істотною проблемою дорожніх одягів із застосуванням матеріалів на порландцементі, що стримує їх широке впровадження у дорожнє будівництво. Найчастіше внутрішнє тріщиноутворення спричиняється усадкою свіжоукладеної бетонної суміші [1], що обумовлено процесами тверднення в початкові терміни і швидким випаровуванням води протягом перших 24 годин після укладання та ущільнення бетону. Зазвичай такі тріщини перетинають всю плиту і порушують цілісність конструкції ще до того періоду, коли бетон набуде проектної міцності.

Для компенсації таких недоліків бетону, як тріщиноутворення на ранній стадії формування структури, низька міцність на розтяг та висока ступінь крихкості руйнування, застосовують дисперсне армування ста-

левою, поліпропіленовою, скловолоконною або базальтовою фіброю, що рівномірно розподіляється в об'ємі бетонної матриці, забезпечуючи при цьому тривимірне зміцнення бетону.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Армування дисперсними волокнами дозволяє використовувати нові принципи проектування та методи виготовлення виробів, які базуються на тому, що матеріал і виріб створюються одночасно в рамках одного і того ж технологічного процесу. У результаті суміщення армуючих елементів і цементної матриці утворюється комплекс властивостей композиту, який не тільки включає початкові характеристики його вихідних компонентів, але й отримує певні якості, якими окремі компоненти не наділені. Зокрема, поява низької властивостей у композитах пов'язана з гетерогенною структурою, що обумовлює наявність великої поверхні розділу на контактні між волокнами та матрицею (рис. 1). Так, наявність межі розділу між армуючими елементами та матрицею істотно підвищує тріщиностійкість матеріалу. За даними [2], тріщиностійкість бетону при введенні 1–3 % волокон фібри підвищується в 1,2–3 рази, а в'язкість системи – більше ніж у 30 разів.

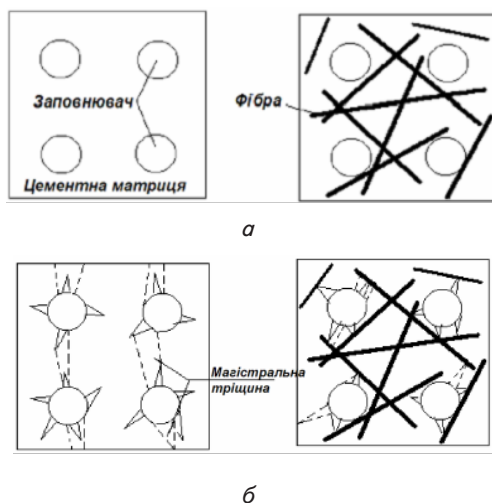


Рис. 1. Схеми, що ілюструють вплив дисперсної фібри на зміцнення бетону при навантаженні: а – до утворення тріщин; б – при наявності магістральних тріщин

Зазначаючи безпосереднього впливу транспортних навантажень і природно-кліматичних чинників, дорожній одяг працює у складніших експлуатаційних умовах, які не характерні для інших споруд. Найкраще в таких умовах може працювати бетонне покриття, підсилене дисперсним армуванням, яке має низку переваг над асфальтобетонним покриттям.

У відповідності до вимог чинних будівельних норм шари дорожнього одягу повинні не лише сприймати навантаження, а й впливати на зміну глибини промерзання земляного полотна. Глибина проникнення температури, що становить 0 °С, в ґрунт не завжди співпадає з глибиною промерзання, тобто, зазвичай, глибина промерзання ґрунту менша за глибину проникнення температури 0 °С. Під асфальтовим покриттям авто-

мобільних магістралей, автодоріг, міських вулиць та майданів глибина промерзання значно більша, ніж під трав'яним покривом, який взимку вкритий снігом.

Температурний режим ґрунту, що знаходиться під дорожнім полотном, формується під впливом двох основних факторів – сонячної радіації, що падає на поверхню та потоком радіогенного тепла земних надр. Сезонні та добові зміни інтенсивності сонячної радіації, температури зовнішнього повітря та інтенсивності випромінювання сонячної радіації впливають на зміну температури ґрунту. Вона, в залежності від конкретних ґрунтово-кліматично-гідрологічних умов, може коливатись в межах від кількох десятків сантиметрів до півтора метра вглиб ґрунту. Ґрунт на глибині нижче 10 м майже не підлягає впливу сезонного коливання температури.

На сьогоднішній день в Україні під час будівництва автодоріг з монолітними бетонними і асфальтобетонними покриттями використовують морозозахисний шар з крупно- і середньозернистих пісків (до 95 %). Незважаючи на це, така конструкція дорожнього одягу не гарантує захисту від здимань при промерзанні ґрунту під дорожнім одягом і від осідання в період його відтавання.

Дослідження та застосування різних теплоізоляційних матеріалів для застосування у дорожньому будівництві розпочалися ще у середині ХХ ст., оскільки проблема зниження величини промерзання земляного полотна дорожнього одягу була важлива для автомобільних доріг завжди.

Техніко-економічний аналіз будівництва дослідно-промислових ділянок в кінці ХХ ст. та на початку ХХІ ст. засвідчив, що конструктив дорожнього одягу цих ділянок виявився дешевшим, ніж конструктив із застосуванням будівельного піску в якості морозозахисного шару. В цілому, слід зауважити, що дорожній одяг є найвартіснішою частиною будівництва автомобільних доріг, при цьому витрати на його влаштування можуть сягати до 70 % від загальної вартості будівництва.

Вітчизняний та закордонний досвід будівництва автомобільних доріг довів ефективність застосування теплоізоляційних матеріалів в конструкції дорожнього одягу. В останні роки в Україні з'явився підвищений інтерес до використання безавтоклавного пінобетону не лише у будівництві житлових та громадських споруд, але і для застосування у дорожньому будівництві як сучасного та високоефективного теплоізоляційного матеріалу [3–21]. В конструкціях дорожнього одягу пінобетон може виконувати одразу дві функції – теплоізоляційного прошарку та для розподілення навантажень в масиві дорожнього одягу [2, 22].

Будівельні матеріали в конструкції дорожнього одягу розташовують по зменшенню міцності відповідно до загасання по глибині напруження від тимчасового навантаження. Проте, критичні значення параметрів напружено-деформованого стану за критеріями механіки руйнування слід було би визначати як для бетону, що застосовується для покриття, так і для пінобетону – теплоізоляційного прошарку.

Більшість дослідників дисперсного армування бетону приділяли увагу його підвищенням характеристикам міцності в порівнянні з неармуваними бетонами [1, 2, 9–11, 14, 15, 17]. Проте, цементні бетони можуть мати низьку тріщиностійкість та високу ступінь

крихкості руйнування. Та на сьогоднішній день ці характеристики досліджено в недостатній мірі [12], особливо для ніздроватих бетонів.

3. Мета та задачі дослідження

Метою даних досліджень є визначення ефективності дисперсного армування поліпропіленовою фіброю важкого бетону та пінобетону за критеріями механіки руйнування, в основу яких покладені критичні значення основних параметрів напружено-деформованого стану, а саме в'язкість руйнування та енергія руйнування.

Для досягнення поставленої мети були поставлені наступні задачі:

- заформувати серії дослідних зразків з бетону та фібробетону наступних видів: важкого бетону, пінобетону марок D 600, D 700, D 1200 за густиною;
- провести випробування дослідних серій зразків відповідно до діючої нормативної документації;
- опрацювати та проаналізувати отримані результати досліджень.

4. Матеріали та методи експериментальних досліджень тріщиностійкості бетонів та пінобетонів

Виготовлення і випробування бетонних зразків дослідних партій було здійснено у відповідності до вимог діючих нормативних документів України. Кожна серія бетонних зразків складалась з 6-ти кубів розміром 100×100×100 мм та 4-ох призм розміром 100×100×400 мм.

Характеристики тріщиностійкості бетонів визначались при рівноважних механічних випробуваннях призм з наперед створеною тріщиною нормального відриву за схемою триточкового згину із записом повної діаграми навантаження-прогин (F-V) на спеціальній випробувальній установці [12] у віці 2 місяці. Загальний вигляд установки представлено на рис. 2, схема вимірювальної частини установки – на рис. 3, схема випробувань зразка-призми на згин із ініційованою тріщиною нормального відриву – на рис. 4.



Рис. 2. Загальний вигляд випробувальної установки

За результатами випробувань було побудовано діаграми стану матеріалу та розрахований комплекс силових та енергетичних характеристик тріщиностійкості важких бетонів та пінобетонів.

Міцність бетону на розтяг при згині розраховували на основі значень максимального навантаження за діаграмою (рис. 5, 6). Міцність бетону на стиск

визначалась у відповідності до вимог національних стандартів.

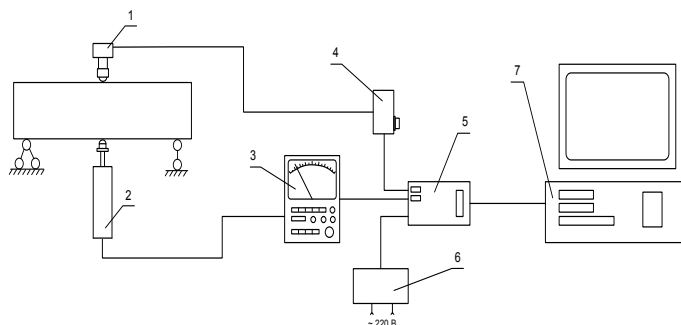


Рис. 3. Схема вимірювальної частини установки для визначення характеристик тріщиностійкості: 1 – давач зусилля (тензометр); 2 – давач переміщення індуктивного типу; 3 – підсилювач-перетворювач сигналу з давача переміщення; 4 – резисторний міст; 5 – інтерфейсна плата; 6 – блок живлення; 7 – комп'ютер

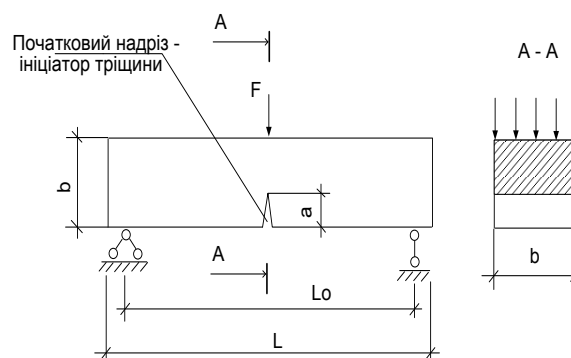


Рис. 4. Схема випробувань зразка-призми на згин з ініційованою тріщиною нормального відриву: a – довжина початкового надрізу, м; b, L, L₀ – розміри зразка, м; F – навантаження на зразок, кН

При виготовленні важких бетонних сумішей використали матеріали:

- портландцемент ПЦ П/А-Ш-500 загально-будівельного призначення;
- дрібний заповнювач – кварцовий пісок з модулем крупності $M_{кр}=1,29$ та щебеневий відсів фракції 1,25–5,0 мм;
- крупний заповнювач – гранітний щебінь фракції 5–31,5 мм;

Склад суміші заповнювачів проектували за методом абсолютних об'ємів з неперервною гранулометриєю.


При виготовленні пінобетонних сумішей безавтоклавного тверднення використовували наступні будівельні матеріали:

- портландцемент ПЦ- I 500 загальнобудівельного призначення;
- пісок кварцовий ВАТ „Кар'єроуправління” Яворівського р-ну Львівської області з модулем крупності $M_{кр}=1,18$;
- піноутворююча добавка Centripor SK 100 виробництва MC-Vauchemie (Німеччина).

Для армування важких та ніздроватих бетонів використовували поліпропіленову фібру, інформація про яку наведена в табл. 1.

Таблиця 1

Технічні характеристики фібри

Фізико-механічні властивості поліпропіленової фібри	Величина	Фото
Лінійна густина	2–3 dtex	
Діаметр	18–20 мкм	
Довжина	12 мм	
Питома вага	0,91 т/м ³	
Модуль Юнга	3000 Н/мм ²	
Міцність на розрив	300 Н/мм ² (3000 МПа)	
Температура розм'якчення	160 °С	
Колір	білий, прозорий	
Розхід	0,6–0,9 кг/м ³	
Кількість мікрОВОЛОКОН	375 млн.шт./м ³ бетону	
Хімічна стійкість	стійка до всіх кислот, лугів та розчинників	

5. Результати досліджень характеристик міцності, деформативності та тріщиностійкості важких бетонів та пінобетонів армованих поліпропіленовою фіброю

Результати дослідження характеристик міцності та деформативності наведені в табл. 2. Діаграми стану досліджуваних важких та ніздрюватих бетонів приведено на рис. 5, 6.

Міцності на стиск важких армованих та неармованих бетонів практично однакові. В той час у пінобетонах, армованих дисперсними волокнами, міцність при стиску більша, що обумовлено зміцненням міжпорових перегородок.

Проте міцність на стиск не є основною характеристикою фібробетонів. Наявність дисперсного армування проявляється у показниках міцності на розтяг при згині (одна з основних завдань дисперсного армування – підвищення міцності на розтяг при згині), де в армованих бетонах вони значно вищі порівняно з неармованими зразками у всіх досліджуваних серіях. Відсутність фібри у важкому бетоні та пінобетоні значною мірою посилює їх крихкий характер руйнування.

Таблиця 2

Показники міцності та деформативності досліджуваних бетонів

Позначення серії	Середня густина бетону, кг/м ³	Наявність фібри у складі бетону	Міцність на стиск, R _b , МПа	Міцність на розтяг при згині, R _{tb} , МПа	Критерій крихкості, X _{tb} = (G _f E _{tb} /R _t b ₂) × 10 ⁻³ м
D600ф	600	+	1,74	0,44	139
D600	600	-	1,62	0,36	121
D700ф	700	+	1,90	0,60	225
D700	700	-	1,81	0,40	215
D1200ф	1200	+	8,50	1,64	258
D1200	1200	-	7,87	1,46	105
Б _ф	2400	+	62,2	10,80	342
Б	2400	-	58,4	5,10	85

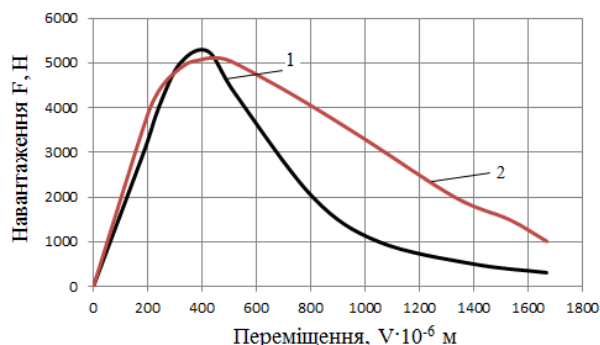


Рис. 5. Діаграми стану важкого бетону серій: 1 – бетон серії Б; 2 – бетон серії Б_ф

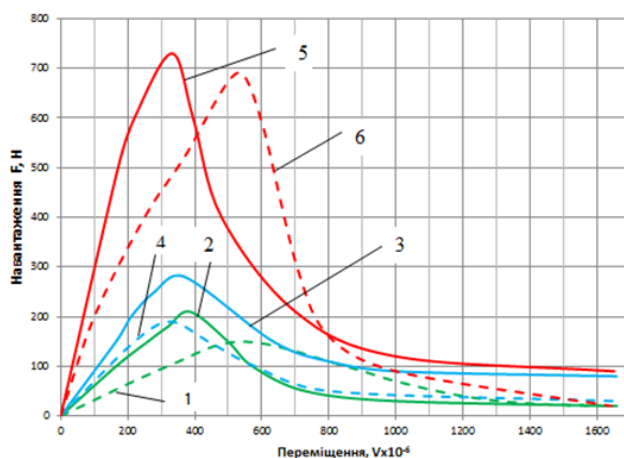


Рис. 6. Діаграми стану пінобетонів серій: 1 – пінобетон серії D600ф; 2 – пінобетон серії D600; 3 – пінобетон серії D700ф; 4 – пінобетон серії D700; 5 – пінобетон серії D1200ф; 6 – пінобетон серії D1200

В табл. 3 приведено силові та енергетичні характеристики тріщиностійкості досліджуваних бетонів та пінобетонів армованих та неармованих волокнами поліпропіленової фібри. Порівняльні графіки питомих енерговитрат при статичному руйнуванні приведено на рис. 7, а діаграми порівняння критичних коефіцієнтів інтенсивності напружень K_I (в'язкість руйнування) приведено на рис. 8.

Таблиця 3

Силові та енергетичні характеристики тріщиностійкості бетонів

Серія бетону	W _h , 10 ⁻² Н·м	W _h , 10 ⁻² Н·м	G _f , Дж/м ²	G _F , Дж/м ²	G _{св} , Дж/м ²	J _h , Дж/м ²	K _I , МПа ^{1/2}	K _{св} , МПа ^{1/2}
D600ф	4,63	6,29	7,71	16,75	0,91	4,61	0,04	0,01
D600	11,56	4,47	19,27	15,73	0,42	15,17	0,04	0
D700ф	5,98	15,32	9,97	33,25	3,38	6,15	0,05	0,03
D700	3,40	8,40	5,67	18,40	1,04	3,49	0,03	0,01
D1200ф	16,67	25,62	27,78	53,40	12,08	22,48	0,18	0,12
D1200	20,60	15,81	34,33	52,99	1,27	21,14	0,12	0,02
Б _ф	156,34	379,60	260,57	745,22	73,01	204,83	0,99	0,63
Б	135,99	205,74	226,62	482,51	118,47	157,48	0,95	0,74

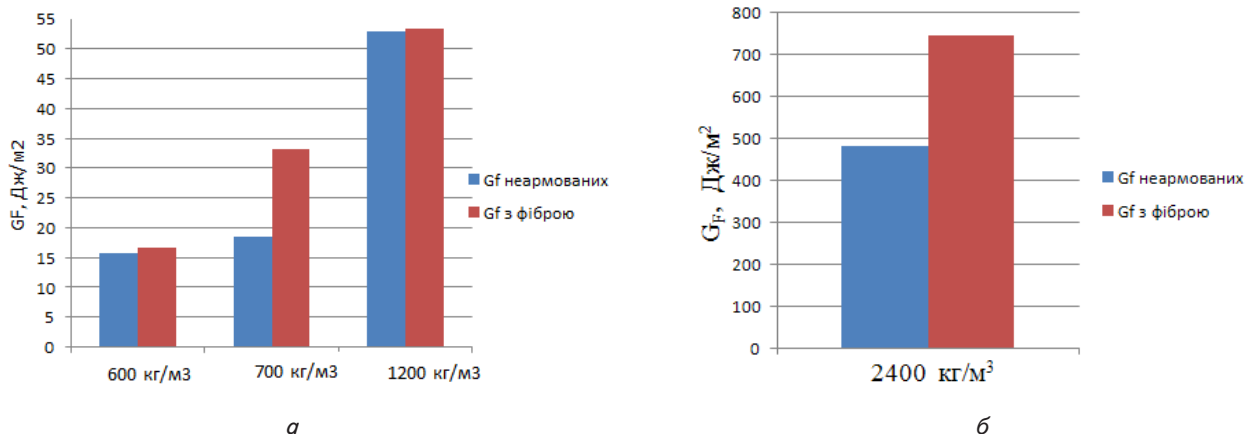


Рис. 7. Порівняльні графіки питомих енерговитрат при статичному руйнуванні G_f : а – пінобетонів; б – важких бетонів

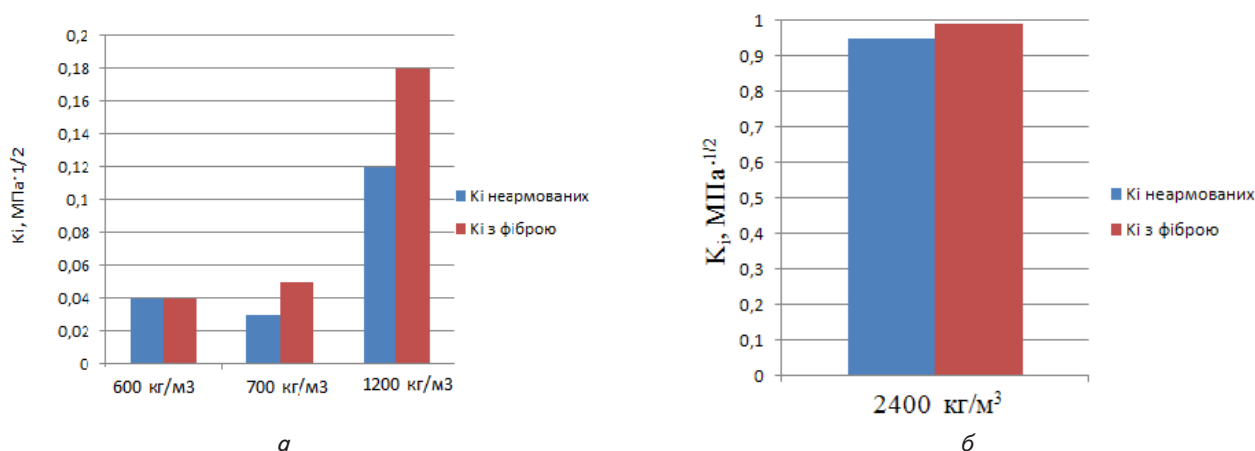


Рис. 8. Діаграми порівняння критичних коефіцієнтів інтенсивності напружень K_i (в'язкість руйнування): а – ніздрюватих бетонів; б – важких бетонів

6. Обговорення результатів доцільності армування бетонів та пінобетонів волокнами поліпропіленової фібри

Проведені експериментальні дослідження показали, що введення до складу важких бетонів та пінобетонів волокон поліпропіленової фібри веде до підвищення показників тріщиностійкості, що досліджуються за критеріями механіки руйнування.

Аналіз діаграм стану досліджуваних важких та ніздрюватих бетонів (рис. 5, 6) показує значну перевагу в армуванні поліпропіленовою фіброю пінобетону з густиною 600 кг/м^3 (D600ф) в докритичній стадії деформування – до появи макротріщини. В інших випадках армування фіброю на даній стадії призводить до менш значного приросту питомих енерговитрат на статичне деформування до моменту початку руху магістральної тріщини (G_f).

Позитивний та головний армуючий ефект від введення поліпропіленової фібри спостерігався в закритичній стадії руйнування – фібра стримує процес руйнування зразків з моменту розвитку магістральної тріщини (з моменту, коли вже прикладено максимальне руйнівне навантаження) і до повної його дефрагментації. Показник що характеризує даний ефект – питомі енерговитрати на статичне руйнування, G_f (табл. 3, рис. 7). G_f вищі у всіх серіях бетонів

з дисперсним армуванням, на відміну від неармованих бетонів та пінобетонів. Найефективніше це проявилось у важких бетонах та ніздрюватих бетонах з густиною 700 кг/м^3 (в 1,5 та 1,8 рази відповідно вищі показники на відміну від неармованих бетонів. В серіях D600ф та D1200ф ці показники також мають вищі значення у серіях зразків з дисперсним армуванням, але різниця у значеннях є дещо меншою.

Критичний коефіцієнт інтенсивності напружень – в'язкість руйнування, K_i (табл. 3, рис. 8), в армованих бетонах серій D700ф та D1200ф, Фб вища за аналогічні неармовані серії відповідно в 1,7, 1,5 та 1,04 рази. При густині пінобетону 600 кг/м^3 ця величина є однаково незмінною.

З метою подальшого широкого застосування бетонів та пінобетонів (у якості теплоізоляційного прошарку) в конструктиві автомобільних доріг виникає необхідність зі значною імовірністю прогнозувати поведінку цих матеріалів під дією навантаження. Для цього на основі отриманих результатів шляхом застосування математичного апарату (апроксимації та інших методів математичного аналізу) планується отримати емпіричну залежність, яка зі значною імовірністю дозволить визначити в залежності від густини пінобетону та заданого допустимого значення перемищення граничну величину навантаження, що може витримати матеріал в конструкції дорожнього одягу.

7. Висновки

В результаті проведеного випробування дослідних серій зразків та аналізу отриманих результатів встановлено, що армування важкого бетону та пінобетону безавтоклавного тверднення поліпропіленовою фіброю підвищує міцнісні показники, силові та енергетичні характеристики тріщиностійкості бетонів. Доцільність армування пінобетону волокнами поліпропіленової фібри спостерігається як на докритичній стадії деформування, так і при сформованій магістральній тріщині у закритичній стадії руйнування бетону, що проявляються у досягненні руйнування при вищих значеннях прикладеного навантаження та отриманих деформаціях до та після розвитку магістральної тріщини.

Позитивний ефект дисперсного армування важких цементних дорожніх бетонів проявляється, також, у підвищенні міцності на розтяг при згині в середньому на 22 % та ефективності роботи бетону в закритичній стадії, коли в процес утворення та розвитку існуючих тріщин вступають фіброві волокна, які перешкоджають і гальмують даний процес.

Із збільшенням густини пінобетонів спостерігається в прямо пропорційній залежності характер зростання питомих енерговитрат на статичне руйнування.

При введенні поліпропіленової фібри до складу бетонів та пінобетонів головний ефект спостерігався в закритичній стадії руйнування – фібра стримує процес руйнування зразків з моменту розвитку магістральної тріщини (з моменту, коли вже прикладено максимальне руйнівне навантаження) і до повної його дефрагментації. Показник що характеризує даний ефект – питомі енерговитрати на статичне руйнування, G_F , вищий у всіх серіях бетонів з дисперсним армуванням, на відмінну від неармованих бетонів та пінобетонів. Найефективніше це проявилось у важких бетонах та піздрюватих бетонах з густиною 700 кг/м^3 (в 1,5 та 1,8 рази відповідно вищі показники на відміну від неармованих бетонів).

Граничні деформації, при яких відбувається дефрагментація зразків перевищують $1600 \times 10^{-6} \text{ м}$ та приблизно однакові для усіх зразків.

Аналіз докритичної та закритичної стадій руйнування пінобетону показує перевагу пінобетону армованого фіброю: значення енерговитрат на пружне деформування (W_e) та загальних енерговитрат на локальне статичне деформування в зоні магістральної тріщини (W_i) у 1,39 рази перевищують показники неармованого пінобетону.

Введення до складу пінобетону волокон поліпропіленової фібри веде до зростання в'язкості руйнування (K_i) та критичного коефіцієнта інтенсивності напружень (K_c).

Література

1. Дорошенко, О. Ю. Фіробетон – ефективний матеріал для транспортного будівництва [Текст] / О. Ю. Дорошенко, Ю. М. Дорошенко, Н. П. Чиженко // Автошляховик України. – № 6. – 2006. – С. 29–32.
2. Каганов, В. О. Тріщиностійкість пінобетонів безавтоклавного виробництва [Текст] / В. О. Каганов, І. Б. Горніковська // Збірник матеріалів VIII науково-практичного семінару «Структура, властивості та склад бетону». – Рівне: НУВГП, 2013. – С. 179–185.
3. Постернак, И. М. Конструкционно-теплоизоляционный неавтоклавный пенобетон в конструкциях и изделиях [Текст]: зб. наук. праць / И. М. Постернак, А. И. Костюк, С. А. Постернак, А. А. Постернак // Вісник ДонДАБА. – Макіївка, 2004. – Вип. 3 (45). – С. 89–92.
4. Моргун, Л. В. Эффективность применения фибропенобетона в современном строительстве [Текст] / Л. В. Моргун // Строительные материалы. – 2002. – № 3. – С. 16–17.
5. Сви́нарев, А. В. Опыт применения монолитного пенобетона при строительстве и реконструкции зданий и сооружений [Текст] / А. В. Сви́нарев, В. В. Тысячук // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. – Белгород, 2003. – № 4. – С. 62–66.
6. Богатина, А. Ю. Фибропенобетон для перекрытий каркасных зданий [Текст] / А. Ю. Богатина, Л. В. Моргун // Промышленное и гражданское строительство. – 2005. – № 2. – С. 34–35.
7. Лундышев, И. А. Комплексное применение монолитного пенобетона при строительстве в труднодоступных районах добычи энергоресурсов [Текст] / И. А. Лундышев // Инженерно-строительный журнал. – 2009. – № 4. – С. 16–20.
8. Кобидзе, Т. Е. Технология устройства теплоизоляционного основания из легкого пенобетона монолитной укладки [Текст] / Т. Е. Кобидзе, В. Ф. Коровяков, С. В. Листов, С. А. Самбровский // Строительные материалы. – 2005. – № 3. – С. 60–62.
9. Пухаренко, Ю. В. Свойства и перспективы применения ячеистого фибробетона [Текст] / Ю. В. Пухаренко // Популярное бетоноведение. – С.Петербург, 2006. – № 4. – С. 50–53.
10. Мартынов, В. И. Исследование структуры и свойств пенобетона. [Текст] / В. И. Мартынов, Д. А. Орлов, Е. В. Мартынов // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – Одеса: Місто Майстрів, 2006. – № 23. – С. 195–202.
11. Талантова, К. В. Эксплуатационные характеристики сталефибробетонных конструкций для дорожного строительства. [Текст] / К. В. Талантова, Н. М. Михеев, С. В. Толстенов, Л. А. Хвоинский // Бетон и железобетон в Украине. – 2002. – № 3. – С. 6–8.
12. Solodky, S. Y. Crack resistance of concrete, reinforced with fiber of different types [Text] / S. Y. Solodky, Y. V. Turba. – Weimar: Ibausil, 2012. – P. 2–0561–2–0567.
13. Солодкий, С. Й. Тріщиностійкість бетонів на модифікованих цементах. [Текст]: монографія / С. Й. Солодкий. – Л.: НУ “ЛП”, 2008. – 144 с.
14. Mydin, M. A. O. Mechanical properties of foamed concrete exposed to high temperatures [Text] / M. A. O. Mydin, Y. C. Wang // Construction and Building Materials. – 2012. – Vol. 26, № 1. – P. 638–654. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2011.06.067

15. Fukang, D. Mechanical properties and energy-saving effect of polypropylene fiber foam concrete [Text] / D. Fukang // Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology. – 2013. – Vol. 6, № 11. – P. 2012–2018.
16. Richard, A. O. A Qualitative Study of Green Building Indexes Rating of Lightweight Foam Concrete [Text] / A. O. Richard, M. B. Ramli // Journal of Sustainable Development. – 2011. – Vol. 4, № 5. – P. 188–195. doi: 10.5539/jsd.v4n5p188
17. Zhukov, A. D. Foam concrete reinforcement by basalt fibres [Text] / A. D. Zhukov, V. A. Rudnitskaya // Vestnik MGSU. – 2012. – № 6. – P. 83–87.
18. Roads and car parks on foam concrete [Text]. – CROW, 2003. – 80 p.
19. Dhir, R. K. Use of foamed concrete in construction [Text] / R. K. Dhir, M. D. Newlands, A. McCarthy // Proceedings of the International conference held at the University of Dundee, Scotland, UK on 5 July 2005. – London: Thomas Telford, 2005. – 174 p. doi: 10.1680/uofcic.34068
20. Dolton, B. Cellular Concrete: Engineering and Technological Advancement for Construction in Cold Climates [Text] / B. Dolton, C. Hannah // The 2006 Annual General Conference of the Canadian Society for Civil Engineering, Calgary, Alberta, Canada, May 23–26, 2006. – P. GC-125-1–GC-125-11.
21. Lytvyniak, O. Kombinacje połączenia tradycyjnych i energooszczędnych materiałów w konstrukcjach nowoczesnych budynków [Text] / O. Lytvyniak, B. Demchyna, B. Ordon-Beska // Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym. – Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, 2013. – № 1 (11). – P. 82–89.
22. Fedorowicz, L. Modelowanie zachowania pianobetonu w konstrukcjach warstwowych współpracujących z podłożem gruntowym [Text] / L. Fedorowicz, M. Kadela, Ł. Bednarski // Zeszyty naukowe wyższej szkoły technicznej w Katowicach. – 2014. – № 6. – P. 73–81.

Був розроблений новий спосіб отримання композиційного матеріалу на основі низькосортних глин та доломіту. Виявлено, що глино-доломітові композиційні матеріали після випалу набирають достатню міцність за рахунок утворення силікатів, алюмосилікатів і алюмініатів кальцію і магнію, які при подальшому їх твердінні у водних умовах проявляють в'язучі властивості, гідратуються з утворенням гідратних з'єднань, що призводить до значного підвищення міцності композиції

Ключові слова: композиційний матеріал, глина, доломіт, гідратні з'єднання, твердіння

Был разработан новый способ получения композиционного материала на основе низкосортных глин и доломита. Виявлено, что глино-доломитовые композиционные материалы после обжига набирают достаточную прочность за счет образования силикатов, алюмосиликатов и алюминатов кальция и магния, которые при последующем их твердении в водных условиях проявляют вязущие свойства, гидратируются с образованием гидратных соединений, приводящих к значительному повышению прочности композиции

Ключевые слова: композиционный материал, глина, доломит, гидратные соединения, твердения

УДК 691.419

DOI: 10.15587/1729-4061.2015.48352

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРО- ОБРАЗОВАНИЯ МОДИФИЦИРОВАННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

И. Н. Ширинзаде

Доктор технических наук, профессор*

E-mail: i.shirinzade@azmiu.edu.az

И. Г. Мамедова

Ассистент*

*Кафедра строительных материалов

Азербайджанский

архитектурно-строительный университет

ул. А. Султанова, 5,

г. Баку, Азербайджан, AZE1073

E-mail: irade.memmedova61@bk.ru

1. Введение

Промышленность строительных материалов является огромным потребителем энергетических и сырьевых ресурсов. В настоящее время в строительной индустрии, а также в других отраслях, вследствие резкого увеличения цены энергоносителей, стоимость

традиционных строительных материалов устойчиво растет. В связи с этим, ясно видится необходимость изыскания иных, не требующих дорогостоящей технологической обработки материалов, т.е. переход на ресурсные и энергосберегающие технологии.

При резкой ограниченности природных ресурсов и жестких нормативах охраны окружающей среды резко