УДК 691.327:666.973.6

МІКРОТРІЩИНОУТВОРЕННЯ ТА КОЕФІЦІЄНТ ІНТЕНСИВНОСТІ НАПРУЖЕНЬ КЕРАМЗИТОБЕТОНУ НА БАГАТОКОМПОНЕНТНОМУ В'ЯЖУЧОМУ

Кравченко С.А., к.т.н., доцент,
Постернак О.О., к.т.н., доцент,
Одеська державна академія будівництва та архітектури
ckogasa@yandex.ua

Анотація. Наведено результати експериментального дослідження мікротріщиноутворення та коефіцієнта інтенсивності напруження дослідних зразків з керамзитобетону на багатокомпонентному в'яжучому і кварцовому піску. Наведено оптимальні склади конструкційно-теплоізоляційного керамзитобетону на багатокомпонентному в'яжучому. Описується методика експериментальних досліджень, параметри дослідних зразків з описом технології їх виготовлення, результати випробувань основних зразків і їх аналіз, а також обсяг, цілі і результати випробувань допоміжних зразків. В процесі випробувань вимірювалися поздовжні та поперечні деформації зразків, значення навантажень тріщиноутворення, ширина розкриття тріщин, величини руйнівних навантажень. Проведені експериментальні дослідження меж мікротріщиноутворення та коефіцієнта інтенсивності напруження зразків з керамзитобетону на багатокомпонентному в'яжучому, дозволили виявити характерні особливості їх напружено-деформованого стану, визначити верхню і нижню межу тріщиноутворення, деформативність та величину руйнівного навантаження експериментальних зразків.

Ключові слова: керамзитобетон, в'яжуче, мікротріщиноутворення, коефіцієнт інтенсивності напруження.

МИКРОТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЕ И КОЭФФИЦИЕНТ ИНТЕНСИВНОСТИ НАПРЯЖЕНИЙ КЕРАМЗИТОБЕТОНА НА МНОГОКОМПОНЕНТНОМ ВЯЖУЩЕМ

Кравченко С.А., к.т.н., доцент,
Постернак А.А., к.т.н., доцент,
Одесская государственная академия строительства и архитектуры
ckogasa@yandex.ua

Аннотация. Приведены результаты экспериментального исследования микротрещинообразования и коэффициента интенсивности напряжения опытных образцов из керамзитобетона на многокомпонентном вяжущем и кварцевом песке. Приведены оптимальные составы конструкционно-теплоизоляционного керамзитобетона на многокомпонентном вяжущем. Описывается методика экспериментальных исследований, параметры опытных образцов с описанием технологии их изготовления, результаты испытаний основных образцов и их анализ, а также объем, цели и результаты испытаний вспомогательных образцов. В процессе испытаний измерялись продольные и поперечные деформации образцов, значения нагрузок трещинообразования, величины разрушающих нагрузок. Проведеные экспериментальные исследования границ микротрещинообразования и коэффициента интенсивности напряжений образцов из керамзитобетона на многокомпонентном вяжущем, позволили выявить характерные особенности их напряженно-деформированного состояния, определить верхнюю и нижнюю границу трещинообразования, деформативность и величины разрушающей нагрузки экспериментальных образцов.

Ключевые слова: керамзитобетон, вяжущее, микротрещинообразование, коэффициент интенсивности напряжений.

MICROCRACKING AND COEFFICIENT OF TENSION INTENSITY OF EXPANDED CLAY LIGHTWEIGHT CONCRETE ON MULTICOMPONENT BINDING

Kravchenko S.A., PhD., Assistant Professor,
Posternak A.A., PhD., Assistant Professor,
Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture
ckogasa@yandex.ua

Abstract. The results of experimental research of microcracking and coefficient of tension intensity of experimental patterns from expanded clay lightweight concrete on multi-component binding and quartz sand are given. Optimal compositions of construction and heat insulation expanded clay lightweight concrete on multi-component binding are presented. Methodology of experimental researches, parameters of experimental patterns with the description of the technology of their production, results of basic patterns tests and their analysis, and also volume, aims and results of auxiliary standards tests are described. In the process of tests the longitudinal and transversal deformations of patterns, value of crack appearance loading, size of the destroying loading were measured. Conducted experimental researches of the limits of microcracking and coefficient of tension intensity of patterns from expanded clay lightweight concrete on multi-component binding allowed to find the characteristic features of their tensely-deformed state, to define the high and lower boundary of crack appearance, deformability and size of the destroying loading of experimental patterns.

Keywords: expanded clay lightweight concrete, binding, microcrack appearance, coefficient of tension intensity.

Вступ. Одним з найважливіших напрямків науково-технічного прогресу в області залізобетонних конструкцій є застосування легких бетонів в житлово-промисловому і сільськогосподарському будівництві. Це дозволяє знизити вагу огороджувальних конструкцій і конструкцій покриття і перекриття на 35%, витрати сталі – на 10%, трудові витрати – на 20%.

Бетони на пористих заповнювачах мають в порівнянні з важкими бетонами ряд позитивних особливостей, таких як знижена щільність і теплопровідність, підвищене зчеплення цементно-піщаного розчину із заповнювачем, висока тріщиностійкість, істотно підвищені рівні меж мікротріщиноутворення [1, 2].

Комплексне використання легких бетонів дає можливість вирішити проблеми енергоресурсозбереження при будівництві і технічному обслуговуванні будівель та інженерних споруд, підвищити їх надійність, довговічність і безпеку при експлуатації.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. За останній час накопилося багато досліджень деформативності легких бетонів і конструкцій на їх основі, наведені в роботах М.А. Ахматова, Є.М Бабіча, В.М. Вирового, Б.С. Комісаренко, Р.Л. Маіляна, Камаля М.Р. Маді, С.В. Зінченко, І.А. Столевича, В.Г. Суханова, А.І. Костюка, О.Б. Пірадова та ін.

На сучасному рівні при вивченні деформативності значний внесок у розвиток бетонів з використанням шлаку і золи внесли О.В. Гончікова, К.О. Пірадов, Л.Й. Дворкін, О.Л. Дворкін, А.Г. Зоткін, М.Ю. Лещінський, А.В. Каляскін та інші, але в основному питання дослідження деформативності розглядаються для важких бетонів.

Мета і завдання. Метою роботи було проведення експериментальних досліджень впливу факторів складу керамзитобетону на багатокомпонентному в'яжучому на мікротріщиноутворення та коефіцієнт інтенсивності напруження. Для досягнення поставленої цілі вирішувалися наступні завдання:

– визначити нижню та верхню межу мікротріщиноутворення у конструкційно-теплоізоляційному керамзитобетоні на багатокомпонентному в'яжучому;

– виявити появу відтворення тріщини по надрізу для визначення коефіцієнта інтенсивності напружень у конструкційно-теплоізоляційному керамзитобетоні на

багатокомпонентному в'яжучому.

Об’єкти і методи дослідження. Об'єктами досліджень були дослідні зразки – куби і призми. Методами дослідження – використання попереднього досвіду у визначені мікротріщиноутворення та коефіцієнта інтенсивності напруження, які включали в себе визначення верхньої та нижньої межі тріщиноутворення згідно чинних норм.

Результати досліджень. В Одеській державній академії будівництва та архітектури розроблена технологія малоцементних бетонів. В основі технології лежить застосування чотирикомпонентного в'яжучого, до складу якого, крім портландцементу і меленого негашеного вапна, входять також активна мінеральна добавка (зола-виносу) та гіпс [3].

Матеріали, які були використані в дослідженнях, мали наступні характеристики:

– керамзитовий гравій 5…10 мм, не фракціонований Куліндоровського індустріального концерну «Інто-Буд», марки за насипною щільністю М 600, умовною міцністю в циліндрі, рівної 2,8…3,0 МПа;

– пісок кварцевий Кременчуцького кар'єру;

– цемент М 400 Криворіжського заводу – ДСТУ Б В.2.7-112-2002;

– зола-виносу Ладижинської ТЕЦ – ГОСТ 25818-91;

– вапно негашене Куліндоровського заводу, вміст активного окису кальцію CaO-75%;

– гіпс будівельний – ДСТУ Б В.2.7-104-2000;

– суперпластифікатор С-3 – ТУ-2481-001-51831493-00.

На підставі отриманих залежностей у проведених раніше дослідженнях [4-6], а також виходячи з вимог [7], що пред'являються до легких бетонів, були призначені оптимальні склади керамзитобетону на багатокомпонентному в'яжучому і кварцовому піску, які наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Оптимальні склади керамзитобетону на багатокомпонентному в'яжучому

Проектна міцність, МПа	Агрегатно-структурний чинник, r	Витрата матеріалів на 1 м^3 бетону							
		Цемент, кг/м^3	Вапно, кг/м^3	Зола, кг/м^3	Керамзит, кг/м^3	Пісок, кг/м^3	Гіпс, кг/м^3	С-3, %	Вода, л
10	0,5	100	110	100	495	500	25	0,3	205
12,5	0,3	110	150	105	460	210	25	0,3	225
15	0,3	150	125	145	475	215	25	0,3	235
20	0,3	200	105	190	455	205	25	0,3	220
25	0,3	220	150	200	460	200	25	0,3	230

Дослідження з визначення меж мікротріщиноутворення у керамзитобетону на багатокомпонентному в'яжучому зводилися до побудови діаграми стану бетону, вираженої кривої зміни часу проходження ультразвукових коливань в бетоні. Визначення нижньої R_T^0 та верхньої R_T^v меж області мікротріщиноутворення конструкційних бетонів проводилося ультразвуковим методом відповідно до методики [8] за допомогою приладу УК-10ПМС паралельно з визначенням їх міцністних та деформативних характеристик. Вимірювання часу проходження ультразвукових імпульсів τ_σ через дослідний зразок з ростом навантаження проводилося в перпендикулярному і діагональному по відношенню до напрямку осьового стиску. У першому випадку ультразвукові щупи встановлювалися на протилежних гранях зразка точно один проти одного і показання приладу знімали при трьох положеннях щупів: зверху, в середині і внизу зразка. У другому випадку щупи встановлювали також на протилежних гранях зразка, один зверху, інший – внизу зразка. Таким чином, охоплювалась велика область одновісного напруженого стану бетонної призми.

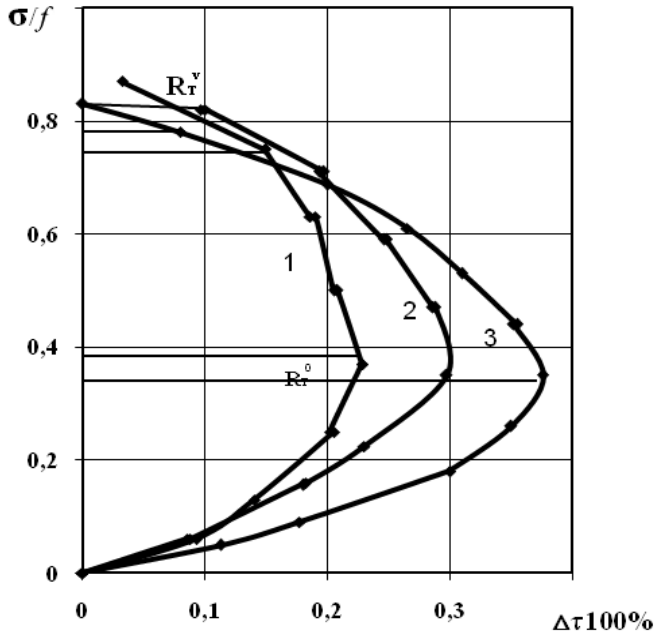

Рис. 1. Залежність приростів часу проходження ультразвукового імпульсу від рівнів напруг осьового стиску:
$1 - f = 6МПа; 2 - f = 8МПа; 3 - f = 10МПа.$

На рис 1. наведено результати досліджень залежності часу проходження ультразвукових імпульсів від рівнів напружень осьового стиску. На цьому рисунку видно процеси ущільнення матеріалу (про це свідчить зменшення часу проходження імпульсу). Межі R_T^0 відповідає найменший час проходження ультразвуку через зразок. Далі відбувається розущільнення, розвиток мікроруйнувань (вище межі R_T^0) і наступне інтенсивне їх розвиття. Перетин кривої з віссю ординат R_T^v відповідає верхній межі мікротріщиноутворення і відображає суттєві зміни напруженого і деформативного стану матеріалу під навантаженням. Межа R_T^v виділяється, коли мікроруйнування починають переважати над процесами ущільнення.

Відносне вимірювання часу проходження ультразвукових імпульсів через бетон $\Delta\tau$ визначали за формулою:

$$\Delta\tau = (\tau_\sigma - \tau_0)/\tau_0, \quad (1)$$

де τ_σ – час проходження ультразвукових імпульсів через бетон при напруженні σ;

τ_0 – те ж, до початку прикладання навантаження.

Рівні напружень, що відповідають нижній та верхній межам мікротріщиноутворення бетонів на багатокомпонентному в'яжучому, вище значень ніж для важкого бетону. Зі збільшенням міцності (класу) досліджуваних бетонів, спостерігається підвищення зазначених параметричних рівнів, подібні з звичайним керамзитобетоном.

Таким чином, підвищення меж мікротріщиноутворення керамзитобетонів на багатокомпонентному в'яжучому порівняно із звичайним керамзитобетоном можна пояснити по-перше, особливостями структури даного бетону за рахунок наявності пористого заповнювача і наповнювача, по-друге, підвищеною міцністю зчеплення багатокомпонентного в'яжучого з заповнювачем.

Позитивним фактором є також і зближення показників пружних властивостей.

Одним з найважливіших елементів підвищення якості несучих стінових конструкцій заводського виготовлення є оптимізація складу бетону, спрямована на підвищення його тріщиностійкості. Для експериментального визначення критичного коефіцієнта інтенсивності напруження використовували два види зразків: балочні зразки з надрізом і куби з надрізом у відповідності з ДСТУ Б В. 2.7-227:2009 [9].

Дослідження коефіцієнта інтенсивності напруження у керамзитобетоні на багатокомпонентному в'яжучому проводилося на зразках кубах 10×10×10 см з надрізами і балочках 10×10×40 см з надрізами, які випробовувалися за схемою триточкового згину відповідно до ДСТУ Б В.2.7-227:2009 [9]. Випробовували зразки на гідравлічному пресі ПГ-50, навантажуючи їх малим навантаженням до появи відтворення тріщини по надрізу.

Руйнування всіх зразків проходило по тріщині, що утворилася від надрізу. Характер руйнування був як для звичайного легкого бетону – поверхня руйнування проходила і по розчину, і по зернам заповнювача, тобто мало місце руйнування типу «матриця-заповнювач», коли тріщина перерізає матрицю і заповнювач [10]. Руйнування зразка – куба було таким же, як і для балкового зразка.

Обробка результатів експерименту здійснювалась за формулами:

– для балкового зразка:

$$k_{IC} = \frac{3F_{cr}L}{2bh_{nt}^2}\ell^{1/2}(1-\ell/h)^2[1{,}93-3{,}07(\ell/h)+14{,}53(\ell/h)^2-25{,}11(\ell/h)^3+25{,}8(\ell/h)^4]. \quad (2)$$

– для зразка- куба:

$$k_{IC} = \frac{F_{cr}}{bh^{1/2}}[18{,}3\left(\frac{\ell}{b}\right)^{1/2}-430\left(\frac{\ell}{b}\right)^{3/2}+3445\left(\frac{\ell}{b}\right)^{5/2}-11076\left(\frac{\ell}{b}\right)^{7/2}+12967\left(\frac{\ell}{b}\right)^{9/2}]. \quad (3)$$

де: L – проліт балочки; ℓ – довжина розрізу (у проведених дослідах була 0,01-0,03 м); b – ширина зразка; h – висота перерізу зразка (за винятком довжини надрізу, $h_{nt}=(h-\ell)$ для балкового зразка).

Основні дані (усереднені з 6 зразків кожного складу) за геометричними розмірами зразків, значенням руйнуючого (критичного) навантаження і отримані значення k_{IC}, разом з значенням міцності на розтяг f_{ctd} отримані розколом решти частин зразка наведені в табл. 2.

Таблиця 2 – Результати випробувань балочок і кубів з надрізом

Проектна міцність, МПа	F_{cr}, МН	L, м	h, м	b, м	k_{IC} МН/м$^{3/2}$	f_{ctd}, МПа
1	2	3	4	5	6	7
		Зразки - балочки				
10	0,0016	0,4	0,102	0,101	0,275	0,83
12,5	0,0015				0,268	0,9
15	0,0013				0,257	0,87
		Зразки-куби				
10	0,0012	0,101	0,102	0,101	0,134	-
12,5	0,0028				0,181	-
15	0,0025				0,168	-

Як видно на рис. 2. для балкового зразка зміна агрегатно-структурного чинника в бетонній суміші впливає на тріщиностійкість незначно. Для зразків-кубів зміна агрегатно-структурного чинника в бетонній суміші впливає на тріщиностійкість більш помітно, ніж у випадку випробування балок. Сама залежність тріщиностійкості від змісту агрегатно-структурного чинника носить складний «хвильовий» характер. Разом з тим, можна констатувати, що збільшення агрегатно-структурного чинника (зокрема дрібного заповнювача) призводить до зниження тріщиностійкості, а його зменшення – до зростання тріщиностійкості.

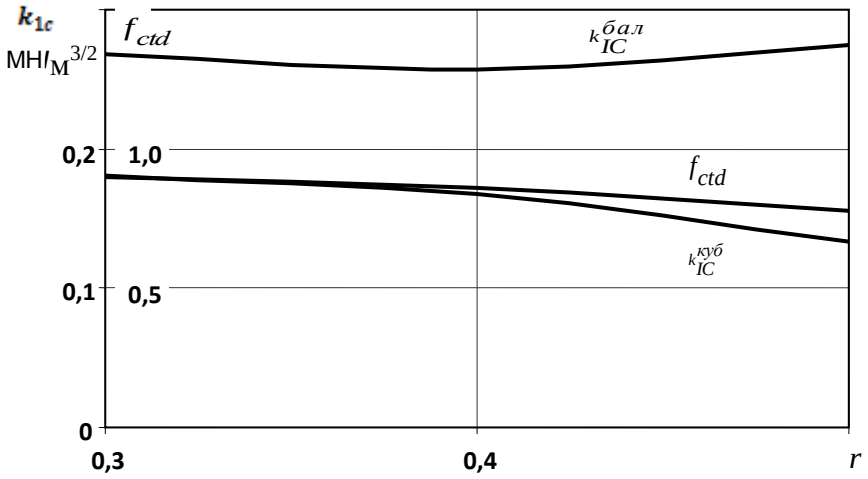

Рис. 2. Графік зміни характеристик бетону від агрегатно-структурного чинника

Аналіз результатів також показує, що спостерігається тісна кореляція між величиною міцності на розтяг f_{ctd} і критичним коефіцієнтом інтенсивності напруження k_{IC}. Отримані результати – залежність між цими двома величинами – показана на рис. 3. Як видно, всі експериментальні точки задовільно апроксимуються залежністю:

$$k_{IC} = \alpha R_{bt} \tag{4}$$

де $\alpha = 0{,}265 м^{1/2}$ – величина характеризує кут нахилу апроксимуючої прямої.

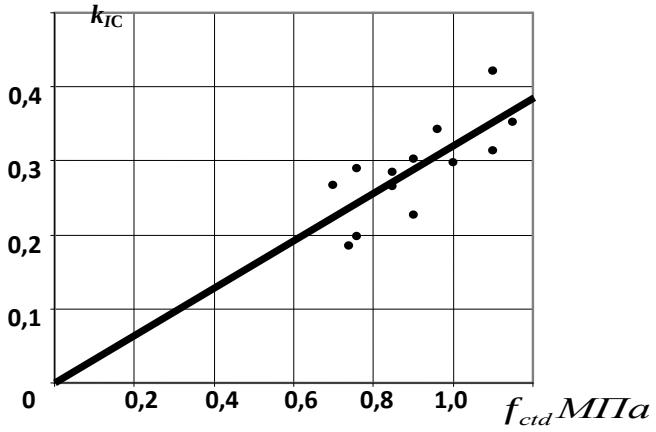

Рис. 3. Залежність k_{IC} від міцності бетону на розтяг

Висновки та перспективи подальших досліджень:

1. Підвищені межі мікротріщиноутворення дозволяють рекомендувати розроблений керамзитобетон на багатокомпонентному в'яжучому для конструкцій, розрахованих на спільний вплив силових факторів і несприятливих впливів зовнішнього середовища.

2. Область напруженого стану, що знаходиться в межах мікроруйнувань, має принципове значення для оцінки багатьох важливих процесів деформування та міцності бетону. Виявлено, що найбільш ефективні по міцності і тріщиностійкості склади бетонів з найбільшим вмістом наповнювача і заповнювача, які слід рекомендувати для виготовлення конструкцій.

3. Наведені у статті склади керамзитобетону на багатокомпонентному в'яжучому можуть бути рекомендовані для виготовлення конструкцій, з урахуванням дотримання технології їх виготовлення.

4. Представлені результати досліджень мікротріщиноутворення являються початковою ланкою визначення основних властивостей керамзитобетону на багатокомпонентному в'яжучому і потребують подальшого вивчення впливу мікротріщиноутворення та коефіцієнта інтенсивності напруження на роботу конструкцій з цього бетону.

Література

1. Бабич Е.М. Конструкции из лёгких бетонов на пористых заполнителях [учеб. пособие для вузов по специальности «Пром. и гражд. стр-во»] / Евгений Михайлович Бабич. – Киев: Вищ. шк., 1988. – 206 с.

2. Столевич А.С. Керамзитобетон на карбонатном песке в конструкциях жилых и общественных зданий / А.С. Столевич, А.И Костюк, Е.В. Светличная // Обзорная информация: Сер. конструкции жилых и общественных зданий // Технология индустриального домостроения. – М.: ВНИИТАГ Госкомархитектуры, 1990. – Вып.1. – 56 с.

3. Столевич А.С. Конструкционные лёгкие бетоны / А.С. Столевич, С.В. Макаров, И.А Столевич, К.М. Мади, С.А Кравченко // Вісник ОДАБА : зб. наук. праць. – Одеса, 2006. – вип.21. – С. 246-255.

4. Камаль Мади. Исследования керамзитобетона на многокомпонентном вяжущем / Мади Камаль, С.А. Кравченко, А.С. Столевич // Вісник ОДАБА : зб. наук. праць. – Одеса, 2005. – вип.17. – С. 101-105.

5. Дорофеев В.С. Влияние факторов состава на физико-механические свойства керамзитобетона на многокомпонентном вяжущем / В.С. Дорофеев, И.А. Столевич, С.В. Зинченко, С.А. Кравченко, А.С. Столевич // Вісник ОДАБА: зб. наук. праць. – Одеса, 2009. – вип.34. – С. 92-102.

6. Кравченко С.А. Свойства керамзитобетона на многокомпонентном вяжущем / С.А. Кравченко, И.А. Столевич, А.И. Костюк, А.С. Столевич // Науково-технічний збірник «Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди». – Рівне, 2011. – вип.21. – С. 32-37.

7. Рекомендации по проектированию составов и технологии производства конструктивного лёгкого бетона для несущих конструкций крупнопанельных зданий / ЦНИИЭП. – М., 1982. – 56с.

8. Методические рекомендации по определению механических характеристик бетонов при кратковременном и длительном нагружении / НИИЖБ. – М., 1984. – 48 с.

9. ДСТУ Б В.2.7-227:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення характеристик тріщиностійкості (в'язкості руйнування) при статичному навантаженні. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – 23 с.

10. Пирадов К.А. Теоретические и экспериментальные основы механики разрушения бетона и железобетона / К. А. Пирадов. – Тбилиси, 1998. – 355 с.

Стаття надійшла 1.02.2018