

УДК 691.5

**Р. Юхим, канд. техн. наук;
Н. Івантишин, канд. техн. наук; А. Ліснічук**

Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАНУ

МІЦНІСТЬ НА РОЗТЯГ ТА СТИСК ФІБРОБЕТОНУ, АРМОВАНОГО БАЗАЛЬТОВОЮ ФІБРОЮ

Резюме. Досліджено міцність цементного каменю, дисперсно армованого базальтовою фіброю. Виготовлено дослідні зразки з різним об'ємним умістом фібри. Проведено експериментальні дослідження з метою встановлення впливу об'ємного вмісту фібри на міцність за розтягу та стиску композитного матеріалу. Відзначено значне зростання міцності на розтяг матеріалу зі збільшенням об'ємного вмісту армуючих волокон. Водночас міцність на стиск зменшується, що є несподіваним ефектом процесу армування цементної матриці.

Ключові слова: міцність, цементний камінь, базальтова фібра, фібробетон.

R. Yukhym, N. Ivantyshyn, A. Lisnichuk

COMPRESSIVE AND TENSILE STRENGTH OF REINFORCED CONCRETE WITH BASALT FIBER

Summary. Nowadays the more often usage of concrete under extreme operating conditions requires invariably improvement of its properties such as: crack, frost, shock resistance and resistance before dynamic loads. It can be realised by means of reinforcement with fibers from steel, polymer, glass, basalt etc. As it is known, the reinforcement of concrete with fibers the Young's modulus of which is higher than of matrix, contributes to increase of composite material strength. Among such fibers the basalt possesses high chemical and temperature resistance, as well as the necessary adhesion to concrete. In addition the basalt fiber has superior strength characteristics than concrete and steel.

The tensile and compressive strength of reinforced cement stone with basalt fibers has been investigated. For determination of material strength at tensile bending the samples with dimensions 40×40×160 mm have been used, and for determination of compressive strength – 40×40×40 mm. The recipe of preparation of the mortar and the formation from them samples was as follows: water-cement ratio for all mortar equals 0,4 with plasticizer Berament TB-1 in amount 0,04% by weight of cement. The fiber with length 12 mm and with diameter of its filament 18 ± 2 microns has been used in studies. Basalt fiber volume content in mortar was changed from 0 to 2% with increments of 0,25%. The mortar was stirred was formed for 5 min. until a homogeneous suspension, after that during 3 min. it was densed on a vibration table to remove air bubbles and reduce the number of pores.

The samples were tested after 28 days storage in the laboratory. With increase of fiber volume content in material the invariably enhance of its strength has been detected. It has been shown that for reinforcement concrete stone with fiber volume content 2% its compressive strength increases up in 2,22 times higher compared with the unreinforced material. At the same time the compressive strength with the addition of fiber decreases, which is an unexpected effect of reinforcing process cement matrix. We can suppose that this effect is associated with increase of porosity in process of mixture preparation from fine dispersed basalt fiber. For a final clarification the reason of this unexpected effect appropriate research will be performed in future.

Key words: strength, cement stone, basalt fiber, fiber-reinforced concrete.

Вступ. Одним із видів бетону, який набуває широкого застосування в будівельній практиці, є дискретно армований бетон (фібробетон). Його перевага перед класичним бетоном полягає в тому, що він дозволяє позбутися таких недоліків бетону, як низька міцність на розтяг та висока крихкість, розтріскування та великі усадки при твердінні [1–6]. Експериментальними методами та моделюванням складу спеціалісти намагаються домогтися оптимального вмісту армуючих волокон та хімічних добавок у бетоні, щоб отримати високу проектну міцність, тріщиностійкість, щільність,

однорідність, низьку водопотребу. Паралельно з цим зменшується пористість бетону, ймовірність розтріскування під час тверднення.

Найбільш вживаними фібрами, які використовують у промисловості є стальна, поліпропіленова, скляна та базальтова (рис.1).

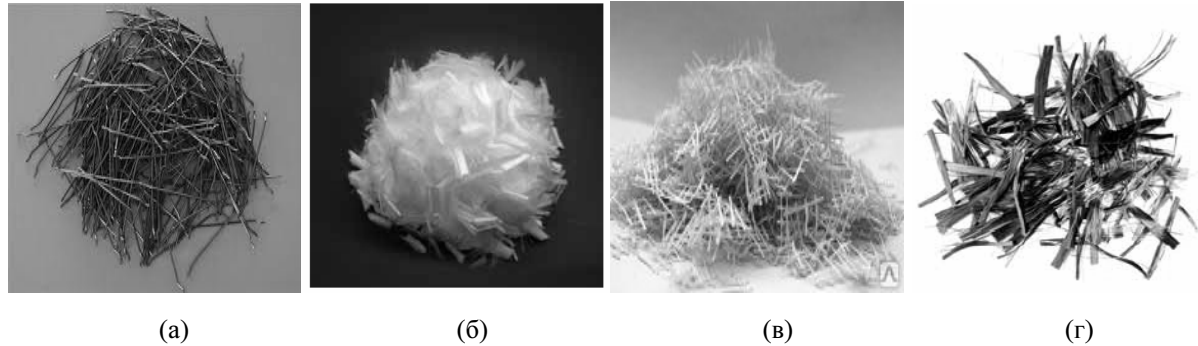


Рисунок 1. Фібра для армування: (а) стальна, (б) поліпропіленова, (в) скляна, (г) базальтова

Figure 1. Fiber for reinforcement: (a) steel, (b) polypropylene, (c) glass, (d) basalt

Стальна фібра не забезпечує необхідної однородності бетону, піддається корозії, що негативно відображається на довговічності бетону та міцнісних характеристиках. Скляна фібра з часом кородує за рахунок проходження реакції гідратації, її взаємодія з бетоном з часом нівелюється, що призводить до падіння згинної міцності та тріщиностійкості. В цьому відношенні кращими властивостями володіє базальт, який має вищу хімічну й температурну стійкість та високу адгезію з бетоном.

Метою роботи є встановлення впливу об'ємного вмісту базальтової фібри як армуючого матеріалу на міцність за розтягу та стиску композиту на основі бетонної матриці.

Зразки для випробувань

Для приготування розчинів використали такі матеріали:

- фібру базальтову виробництва ТОВ «Технобазальт-Інвест», інформацію про властивості якої наведено в табл. 1;
- портландцемент ПЦ ІІ/А-3-500 загальнобудівельного призначення ПАТ «Волинь-Цемент»;
- гіперпластифікатор на основі полікарбоксилату Verament ТВ-1.

Таблиця 1

Характеристики фібри

Назва фібри	Температура плавлення, °С	Щільність, г/см ³	Міцність на розрив, Мпа	Модуль пружності, ГПа
Базальтова	1500	2,65	1200	12

Мікроструктуру частинок цементу та фібри зображено на рис.2. Розмір мікрочастинок портландцементу (рис.2а) становить 5–50 мікрон, добре розвинена поверхня зерен. Поверхня частинок базальтової фібри (рис.1б) гладка, строго циліндричної форми діаметром 18±2 мікрон.

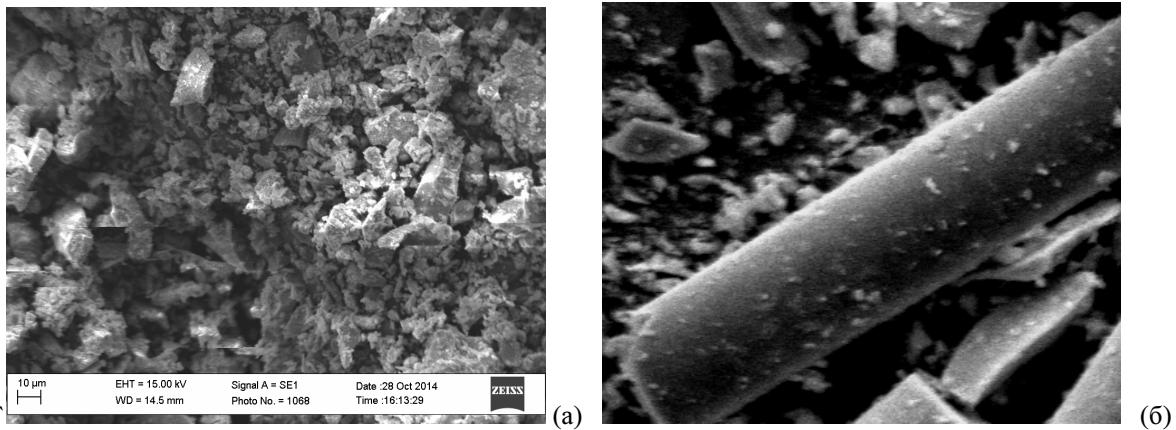


Рисунок 2. Фотографії мікрочастинок портланд цементу (а) та базальтової фібри (б)

Figure 2. Photos microparticles of Portland cement (a) and basalt fiber (b)

На основі наведених компонент виготовлені призматичні зразки розміром 40x40x160 мм для випробування на розтяг при згині (рис.3) та 40x40x40 мм – на стиск.

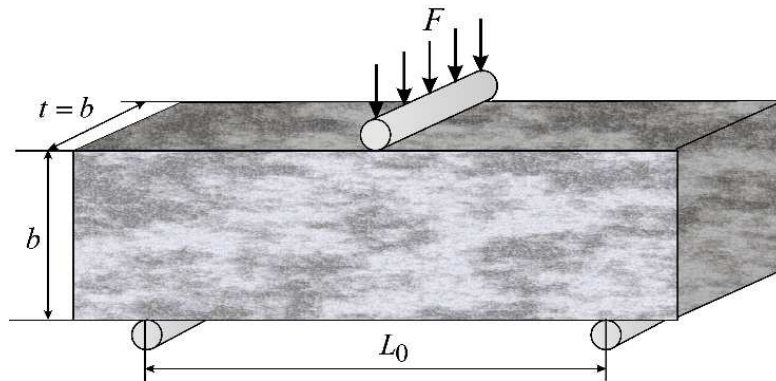


Рисунок 3. Схема триточкового згину призматичного зразка

Figure 3. The three-point bending scheme of prismatic specimens

Для приготування розчину брали водоцементне співвідношення 0,4 з пластифікатором у кількості 0,04% від маси цементу. В дослідженнях використовували фібру (ровінг) довжиною 12 мм, яка у неексплуатованому вигляді має вигляд пучків ниток (рис.1). Фібра при формуванні сухої суміші має низьку дисперсність. І лише наявність води в розчині дозволяє розщепити пучки та рівномірно розподілити нитки базальту в розчині. Подібні проблеми технологічного приготування фібробетонів відзначалися дослідниками багаторазово [1,2,5,8].

Розчин перемішували до отримання однорідної суспензії протягом 5 хв, після чого ще 3 хв ущільнювали на вібраційному столі з метою видалення повітряних бульбашок для зменшення кількості пор. Усі серії зразків до випробувань протягом 27 днів знаходились у лабораторних умовах.

Експериментальні дослідження характеристик міцності. Міцність на розтяг матеріалу визначали згідно зі схемою триточкового згину (рис.3). Для цієї схеми має місце залежність

$$R_{bt} = \frac{3F_c^* L_0}{2b^2 t}, \quad (1)$$

де F_C^* – навантаження, що руйнують зразок.

В результаті випробувань отримали величину руйнуючих навантажень (табл.2).

Таблиця 2

Міцність на розтяг при згині цементного каменю, армованого базальтовою фіброю

№ з/п	Об'ємний вміст фібри, %	Граничне навантаження при згині, кг	R_{bt} , МПа
1	0	265–300	6,21–7
2	0,25	295–320	6,91–7,5
3	0,5	320–355	7,5–8,32
4	0,75	380–420	8,9–9,84
5	1	430–450	10,1–10,54
6	1,5	495–530	11,6–12,42
7	2	560–670	13,12–15,7

Розкид даних експериментальних випроб не перевищував 10 %. Усі серії армованих зразків мали гладкий злам (рис.4), що підтверджує роботу фібри і цементного каменю як єдиного композитного матеріалу та високі адгезійні властивості базальтового волокна.

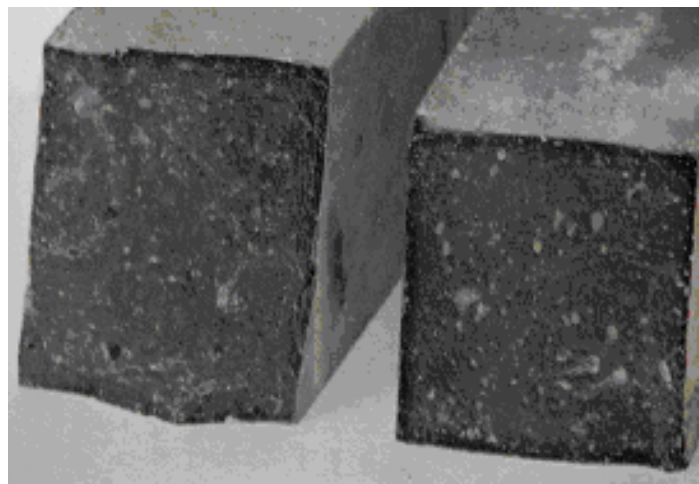


Рисунок 4. Поверхня зламу зразка з базальтовою фіброю

Figure 4. Surface of cracking sample with basalt fiber

Графік зміни міцності на розтяг при згині (рис.5) за наведеного об'ємного вмісту фібри практично лінійний, що може бути описано залежністю

$$R_{bt} = 3,9 \cdot V\% + 6,5,$$

де $V\%$ – об'ємний вміст базальтової фібри.

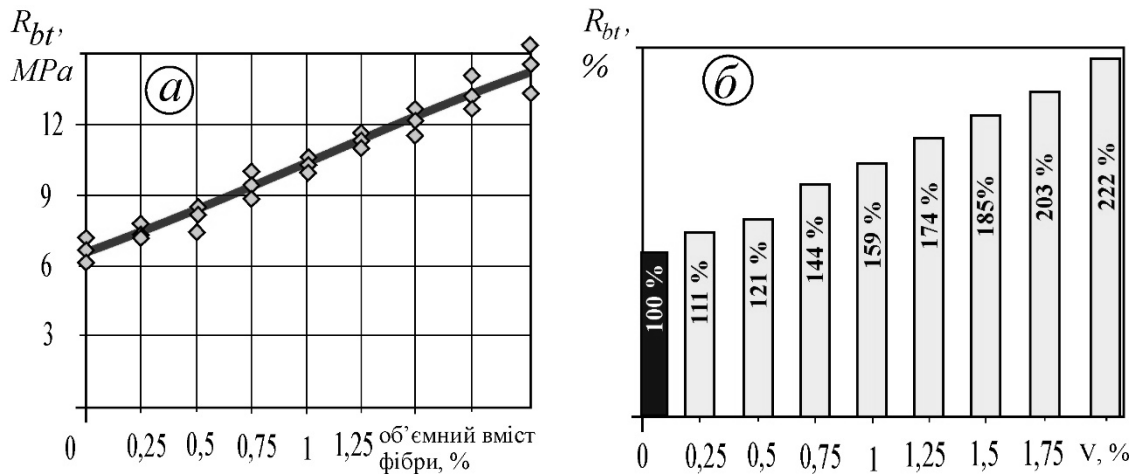


Рисунок 5. Міцність на розтяг цементного каменю, армованого базальтовою фіброю (а), та ступінь зміцнення від армування (в %) (б)

Figure 5. Tensile strength of reinforced cement with basalt fiber (a) and degree of strengthening (in %) (b)

З рис.5 випливає, що опір руйнуванню за умов розтягу при армуванні базальтовою фіброю монотонно зростає в межах об'ємного вмісту фібри до 2% від вмісту цементу. З наведених даних (рис.5б) випливає, що міцність композиту на розтяг при 2% фібри зростає на 122% у порівнянні з базовим неармованим матеріалом. Результати експериментальних досліджень кубикової міцності на стиск та руйнуючі напруження наведено у табл.3.

Таблиця 3

Міцність на стиск армованого цементного каменю

№ з/п	Об'ємний вміст фібри, %	Граничне навантаження при стиску, кг	R_b , МПа
1	0	8000	50
2	0,25	7680	48
3	0,5	7230	45,2
4	0,75	6785	42,4
5	1	6270	39,2
6	1,5	5760	36
7	2	5185	32.4

За даними табл.3 побудовано залежність міцності на стиск армованого цементного каменю R_b від об'ємного вмісту базальтових волокон (рис.6). Із залежності бачимо, що наявність армуючих волокон у цементній матриці знижує міцність на стиск композиту. Для максимально армованого (2% фібри) матеріалу міцність становить 65% від неармованого.

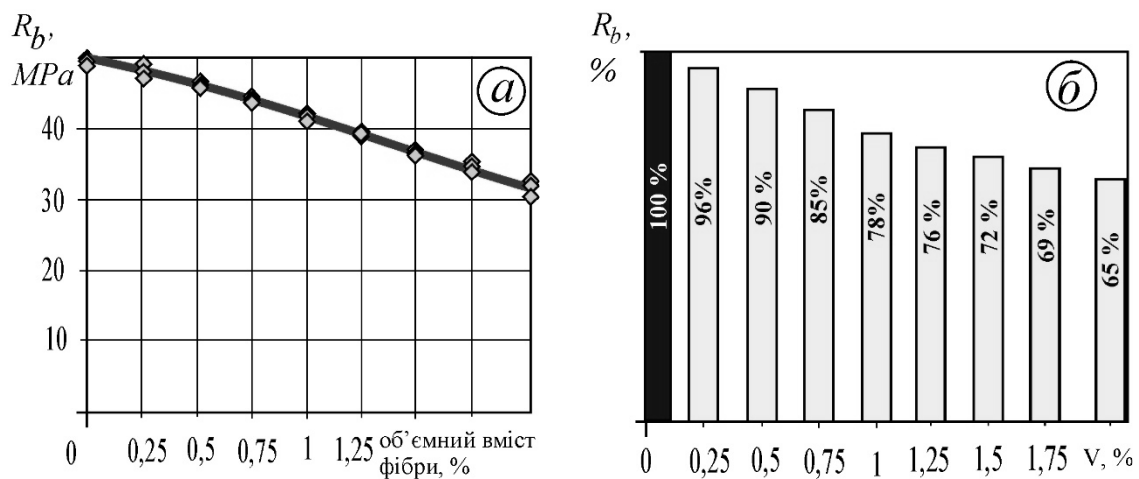


Рисунок 6. Міцність на стиск армованого цементного каменю (а), та ступінь зміцнення від армування (в %) (б)

Figure 6. Compressive strength of reinforced cement (a) and degree of strengthening (in %) (b)

Висновки. Армування базальтовою фіброю призводить до росту міцності цементного каменю за умов розтягу. Зокрема, міцність зростає в 2,22 рази при вмісті армуючих волокон 2% у порівнянні з неармованим цементним каменем. Водночас міцність на стиск зі зростанням кількості армуючих волокон має тенденцію до зменшення. Це досить неочікуваний результат, оскільки і модуль пружності E і, особливо, міцність базальту суттєво вищі від відповідних характеристик матриці – цементного каменю. На нашу думку, така аномалія міцності може бути пов'язана зі збільшенням пористості матеріалу при введенні мікрОВОЛОКОН базальту. Саме пори, як відомо, є основними дефектами, що визначають відривний характер руйнування при стиску крихких матеріалів, якими і є бетони та фібробетони.

Conclusions. The reinforcement basalt fiber leads to increase of cement mortar strength under conditions of tension. In particular, the strength increases up in 2,22 times, when the volume content of reinforcing fibers equals 2% compared to the clean cement stone. However, compressive strength with increasing number of reinforcing fibers tends to decrease. This is unexpected result, since the Young's modulus E and especially the basalt strength are much higher than relevant characteristics of the matrix – cement stone. We can suppose that this anomaly strength may be associated with increase in the porosity of the material, when we add basalt micro fibre. As it is known the pores are the main defects that determine the detachable fracture of brittle materials under compression, such as the concrete and fibre reinforced concretes.

Список використаної літератури

1. Рабинович, Ф.Н. Дисперсно армированные бетоны [Текст] / Ф.Н. Рабинович. – М.: Стройиздат, 1989. – 174 с.
2. Рабинович, Ф.Н. Композиты на основе дисперсно армированных бетонов. Вопросы теории проектирования, технология, конструкции: монография [Текст] / Ф.Н. Рабинович. – М.: Издательство АСВ, 2004. – 560 с.

3. Баженов, Ю.М. Модифицированные высококачественные бетоны [Текст] / Ю.М. Баженов, В.С. Демьянова, В.И. Калашников // Научное издание. – М.: Издательство АСВ, 2006. – 368 с.
4. Барашиков, А.Я. Проектування базальтофібробетонних конструкцій з заданим рівнем надійності [Текст] / А.Я. Барашиков, О.М. Постернак // Ресурсоеконом. матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. пр. – 2012. – Вип.24. – С.3–9.
5. Васильовская, Н.Г. Цементные композиции, дисперсно-армированные базальтовой фиброй [Текст] / Н.Г. Васильовская, И.Г. Енджиевская, И.Г. Калугин // Вестник ТГАСУ. – 2011. – №3.
6. Tehmina, A. Mechanical Properties of High-performance Concrete Reinforced with Basalt Fibers [Text] / Tehmina Ayuba, Nasir Shafiq, M. Fadhil Nuruddina Procedia Engineering – V.77. – 2014. – P.131–139.
7. Дьяков, К.В. Особенности технологии приготовления магниального базальтофибробетона [Текст] / К.В. Дьяков // Бетон и железобетон. – 2007. – №3. – С.18–19.
8. Новицкий, А.Г. Аспекты применения базальтовой фибры для армирования бетонов [Текст] / А.Г. Новицкий, М.В. Ефремов // Сборник «Строительный материалы, изделия и санитарная техника». – 2010, №36. – С.22–26.
9. ГОСТ 10180-90. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам.

Отримано 26.02.2015