

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ ГРУБОГО БАЗАЛЬТОВОГО ВОЛОКНА У БУДІВЛЯХ І СПОРУДАХ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

В цій роботі розглянуто питання застосування композиційних матеріалів на основі базальтових волокон та пінобетонної та цементно-піщаної матриці. Наведені основні залежності, що визначають умови сумісної роботи та характеру руйнування матриці та волокон.

The implementation of composite materials made with basalt fiber, foam concrete and cement matrix was considered in this work. Main dependencies which define conditions of joint work and destruction characteristics of matrix and fiber were described here.

За свідченнями учасників АТО, одним із негативних факторів, що діє під час обстрілів захисних споруд артилерією та стрілецькою зброєю, є поранення особового складу кулями та осколками, що зривають, та уламками виколотого бетону. Одним з можливих методів боротьби з цим явищем може бути застосування багат шарового покриття сховищ зсередини. Таке покриття повинно мати як жорсткі, так і поглинаючі шари, при цьому жорсткий шар повинен мати підвищену ударну в'язкість. Така сукупність необхідних властивостей дозволяє пригадати дещо вже забутий базальтофібробетон, дослідженнями якого в свій час займався автор в складі науково-дослідної лабораторії кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій КНУБА (КИСИ) [1]. Нажаль, подальші дослідження та впровадження отриманих результатів були зупинені на початку 90-х років з фінансових причин.

Одним з факторів, що об'єктивно стримували спроби реанімувати впровадження базальтофібробетону, була досить висока енергоємність виробництва базальтових волокон, що разом із зростанням цін на енергоносії зменшувало комерційну привабливість проекту. Однак в наш час, завдяки

зусиллям фахівців різних країн вирішені питання економічної рентабельності промислового виробництва базальтових волокон.

З волокон, що протистоять впливу лужного середовища твердіючого цементу, можна виділити графітові, поліамідні та базальтові. Найбільш ефективним в якості фібрової арматури є використання базальтових волокон.

В Україні є одне з кращих в світі Берестовецьке родовище базальтів, придатних для виготовлення різноманітних базальтових волокон.

Широке розповсюдження отримали базальтові волокна діаметром 5 - 25 мкм, що використовуються як ізоляційний матеріал. Спроби застосувати їх в якості армуючого матеріалу не мали успіху через низьку стійкість в лужному середовищі та відсутності прийнятної технології введення в матрицю.

Що більшим є діаметр волокна (понад 200 мкм), тим вони довші, тому необхідно забезпечити достатнє анкерування фібр. В цьому випадку унеможливується рівномірний розподіл волокон в матриці, а також використання фібробетону для виготовлення тонкостінних конструкцій.

Таким чином, діаметр волокон повинен бути в межах 40 -- 200 мкм. Це добре узгоджується з даними досліджень [2] про підвищення корозійної стійкості скловолокна і базальтових фібр при збільшенні діаметру до 300 мкм (подальше збільшення діаметру волокон значно понижує їх міцність). Кожне волокно може бути обірвано або висмикнуто, чи може виколоти бетон, а руйнування внаслідок розриву волокон відбудеться при

$$\frac{l_c}{d_v} \geq \frac{R_{\vartheta,m}}{2\tau_m} \quad (1)$$

де l_c – критична довжина волокна, d_v – діаметр волокна, $R_{\vartheta,m}$ – середня міцність волокна, τ_m – міцність зчеплення фібр з бетоном. [6]

Волокна, що застосовуються на даний час для армування бетонів, мають високу міцність до розриву (2000 -- 3000 МПа), тому для максимально ефективного використання міцності армуючих фібр визначальною є величина l_c/d_v , що залежить як від адгезії цементного каменю до волокна, так і від когезії самого цементного каменю.

Співвідношення l/d_v в умовах нормального перемішування волокон в бетонній матриці традиційними методами повинно бути не більшим за 100 - 150. Тоді із залежності (1) випливає, що:

$$\frac{R_{\vartheta,m}}{2\tau_m} < 300 \quad (2)$$

Міцність цементного каменю марки 500 на зріз становить 5,0 МПа, і незалежно від можливостей підвищення адгезії бетону до волокна (застосування покриттів, профілювання тощо) його когезія визначає максимальну ефективну міцність волокон.

$$R_{\vartheta,m} \leq 300 * 5 = 1500 \text{ МПа}$$

Відповідно, за таких умов застосування волокон з міцністю до розриву, що перевищує 1500 МПа, недоцільно.

За результатами досліджень, наведеними в роботі [5], міцність зчеплення волокон з цементним каменем сягає 1,6 - 2,3 МПа. Тоді з (2) отримаємо:

$$R_{\vartheta,m} \leq 300 * 2,3 = 690 \text{ МПа}$$

Таким чином, міцність армуючих волокон для забезпечення їх ефективного використання може не перевищувати 690 МПа.

Враховуючи викладені міркування, а також високу стійкість базальтових волокон до лужного середовища, необмеженість природних запасів сировини (вміст в земній корі - 98%) і низьку стійкість, доходимо до висновку, що грубі базальтові волокна (діаметром 50 - 200 мкм) найбільш відповідають тим вимогам, які пред'являються фібровій арматурі.

Базальтові волокна отримують шляхом дроблення і подальшого плавлення природного базальту в печах підприємств з виготовлення мінеральної вати. З печі розплав опиняється у виготовлювальній частині (фідері), звідки крізь фільтри у вигляді струменів - в дуттьові головки, де за допомогою стиснутого повітря витягується в волокна певного діаметру. На виході з камери волокноосадження волокна можуть дробитися відповідно до заданих розмірів.

Основні характеристики грубого базальтового волокна наступні: міцність до розриву 150 - 350 МПа; щільність 2740 кг/м³; модуль пружності 80 - 100 ГПа; максимальне відносне подовження (1,0 - 3,0) x 10⁻³.

Властивості фібробетону в більшості випадків залежать від способу його отримання. В роботі [9] приводиться порівнювальний аналіз методів отримання склофібробетону. Найефективніші методи напилення з точки зору міцностних характеристик композита - всмоктування та екструзії. Порівняно з традиційним методом формування (перемішування в змішувачі та лиття в форму) міцностні характеристики композита, отриманого таким методом, в 2 - 3 рази вищі. Значення цих характеристик істотно змінювалося зі збільшенням довжини фібр на інтервалі 0,5 - 30 мм і майже не змінювалось при подальшому збільшенні.

Армування бетону грубими волокнами з крихких матеріалів відрізняється від армування тонкими мінеральними або металічними фібрами. Зі збільшенням діаметру з 10 до 100-150 мкм їх питома поверхня зменшується в 10 разів, а жорсткість збільшується в 1000 разів. Через це значно збільшується стійкість волокон в середовищі цементного каменю, проте підвищується нерівномірність розподілення фібр в об'ємі, що спричинює зниження міцності матеріалу з огляду на появу послаблених зон. Тому для отримання задовільних міцностних показників необхідно значно збільшити кількість волокна, що додається. Окрім того, слід враховувати, що фібри, що мають підвищену жорсткість не повинні піддаватися великим згинальним та зсувним навантаженням в процесі введення в бетонну матрицю.

Отже, перемішування в змішувачі, пресування, лиття під тиском, екструзія та інші способи непридатні для отримання виробів з бетонів, армованих грубими базальтовими волокнами.

Значного зниження в'язкості матриці, яке дозволить здійснювати її армування грубими базальтовими волокнами довжиною 30 - 40 мм (до 20% від маси інших компонентів) при знижених водо-цементних відношеннях (0,26 - 0,4) і без використання поверхнево-активних речовин можна досягнути

застосуванням віброекструзійного способу формування [3]. Цей спосіб забезпечує рівномірне введення волокон в бетонну матрицю зі збереженням довжини фібр, достатньої із умови забезпечення анкерування ($l = 30 - 40$ мм). Водо-цементне відношення в композиціях з різним співвідношенням компонентів змінюється при забезпеченні постійною (оптимальною) в'язкістю суміші, обумовленою максимальною зручністю укладки і міцністю матеріалу.

В результаті експериментальних досліджень міцності і деформативності базальтофіробетону виявлено, що при введенні в мілкозернистий бетон грубих базальтових волокон: міцність на стискання збільшується на 30 - 40%, на осьове розтягнення - в 3 - 4 рази; граничний стиск збільшується на 50 - 70%, гранична розтягненість - в 2 - 2,5 рази; ударна в'язкість композита підвищується в 3 - 4 рази; деформації вільної усадки та повзучості при стисканні знижуються на 20 - 40%, при розтягненні - в 3 - 4 рази.

Допущення про направлене орієнтування більшої частини волокон вздовж потоку бетонної суміші в процесі формування та обумовленої цим анізотропії не підтвердилося.

Всі наведені данні дозволяють відповідально стверджувати, що використання мілко зернистого бетону, армованого січеним базальтовим волокном в якості твердого шару багат шарової панелі можливе та ефективне. Відносно внутрішнього, поглинаючого шару, найкращою пропозицією, на наш погляд, є застосування пінобетону, армованого базальтовим волокном. Армовані піноблоки відрізняються високим опором до ударних навантажень, негорючістю й стійкістю до вібрації. Базальтова фібра поліпшує технологічні параметри виготовлення пінобетону, перетворюючись у своєрідний каркас, який не дає піні осісти. Як наслідок, піноблоки, армовані базальтовою фіброю, дозволяють знизити загальну вагу будівельних конструкцій, трудозатрати.

Клейовий шар базальтофіробетонного складу виконує роль зчіплюючого шару між жорстким та поглинаючим шаром завдяки високим когезійним

(зчіплюючим) властивостям матеріалу, обумовлені тим, що зовнішня поверхня пінобетону складається з великої кількості розрізаних бульбашок.

Висновок

Застосування багат шарових композиційних панелей для внутрішнього облицювання спеціальних споруд знижує вірогідність враження людей від рикошету та уламків бетону. Наявність Берестовецького родовища базальтів придатних для виготовлення базальтових волокон та успіхи сучасних енергозберігальних технологій дозволяє зробити виготовлення композиційних матеріалів армованих базальтовим волокном можливим та економічно доцільним.

Література

1. *Барашиков А. Я., Доброхлос Н. И., Колбаско Э. Б.* Влияние фибрового армирования базальтовыми волокнами на прочность и надежность строительных конструкций // Надежность и долговечность машин и сооружений. - 1987.- Вып. 12.
2. *Вильдавский Ю.М.* Исследование физико-математических свойств стеклопластиковой арматуры и некоторых особенностей её работы в изгибаемых бетонных элементах: Автореф. дис. ... канд. дис. тех. наук. - М., 1968.- 22 с.
3. *Андреев И.А., Лукач Ю.Е., Магазий П.Н.* Об опыте виброэкструзионного формирования бетона, армированного грубыми базальтовыми волокнами. – К., 1984 – 9 с.- Рукопись деп. в УкрНИИТИ, №785-84 Деп.
4. *Завицкис Я.А., Кравинскис В.К.* Определение упругих постоянных бетона с хаотически ориентированным дисперсным армированием // Неразрушающие методы испытаний строительных материалов и конструкций.- 1974.- Вып. 1.- С. 65-68.
5. *Максимов А.Н.* Фибробетон, армированный волокнами минеральной ваты // Фибробетон и его применение в строительстве.- М.: НИИ бетона и железобетона, 1979.- С. 46-51
6. *Романов В.П., Вылежгин В.П.* Структура армирования и механические свойства фибробетона// Дисперсно-армированные бетоны и конструкции из них.- Рига: Лат.Ин-т науч. и тех.информ., 1975.- С. 133-136
7. *Majumdar A. I., Nurce R. W.* Glass fibre reinforced cement // Mater. Sci. and Eng. – 1974. -15.- P. 107-127.