

## **АРМУВАННЯ АРХІТЕКТУРНО-БУДІВЕЛЬНИХ ВИРОБІВ З КАМЕНЮ**

В практиці обробки природного каменю дуже часто трапляються ситуації, коли проект виконаний на прохання замовника не дозволяє забезпечити достатню міцність та жорсткість готового виробу. Дана проблема дуже гостро постає під час виготовлення таких елементів як кухонні поверхні, підвіконні плити, стільниці чи фасонні вироби. Якщо розглядати підвіконні плити чи стільниці, то складнощі під час їх виготовлення перш за все будуть пов'язані з нетиповим співвідношенням лінійних розмірів виробів даного типу, адже їх довжина значною мірою перевищує ширину, що вже має негативний вплив на значення жорсткості. У випадку з кухонними стільницями, додатковим каталізатором проблеми стає необхідність виконання технічних отворів для монтажу миючих поверхонь та кухонних приладів, що призводить до концентрації згинаючих навантажень в зоні вузьких ділянок виробу.

В окремих випадках, зустрічається проблема утворення тріщин на поверхні виробів з каменю під час їх експлуатації. Це є характерним для виробів, фіксація яких виконана за допомогою бетонних чи клейових сумішей, тобто вони мають жорсткий зв'язок з конструктивними елементами будинку, який з часом може осідати, і власне це осідання може стати причиною руйнування виробів. Відповідно, задля збереження можливості виготовлення складних виробів з природного каменю, які матимуть достатню міцність та жорсткість, і забезпечення високого ступеню їх надійності під час виконання монтажних і транспортних робіт доцільним буде розглянути можливість їх армування матеріалами різного типу.

Станом на сьогодні технологія армування виробів з каменю не є розповсюдженою і носить швидше теоретичний аніж практичний характер. Існує ряд досліджень присвячених даній тематиці, але цей процес не ідентифікується як стале поняття і за умов вітчизняного виробництва практично не використовується як елемент технологічної схеми виробництва.

Загалом можна виокремити декілька можливих варіантів виконання технології внутрішнього армування. Якщо розглядати порядок виконання дій при застосуванні цієї технології то він буде незмінним, а от змінними будуть елементи, що використовуються для армування та ряд лінійних параметрів для їх введення в площину виробу (товщина, довжина та глибина пропилю які будуть зумовлені лінійними параметрами як безпосередньо виробу так і матеріалу яким цей виріб армується) [1].

Власне одним з найтипівіших є виконання внутрішнього армування за допомогою сталевих стержнів. Зміцнення виробу за допомогою сталевих стержнів виконати досить просто, для цього потрібно: виконати проріз на нижній стороні виробу, ввести смужку сталевого стержня в проріз і повністю закрити стержень епоксидною. Потрібно зауважити, що в даному випадку, порушення технології призведе до протікання такої хімічної реакції як окиснення у дуже тісному просторі, наслідком чого може стати руйнування каменю від тиску, який буде зумовлений протіканням даної реакції.

Наразі досить активно оновлюється номенклатура виробів, які можуть бути застосовані для армування. Виходячи з аналізу ринку будівельної продукції, було зроблено висновок про можливість застосування композитних стержнів для армування виробів з каменю. Використання композитної арматури дозволить здешевити і полегшити процес армування та зменшити кінцеву вагу готового виробу.

Виходячи з тенденцій розвитку будівельної промисловості можна констатувати, що саме склопластиковий і базальтопластиковий типи композитної арматури набули найбільшого поширення, відповідно в подальшому увага акцентуватиметься саме на них.

Основні принципи застосування композитної арматури для армування виробів з каменю аналогічні принципам застосування сталеві арматури. Тому, в порівняльний аналіз склопластикової та базальтопластикової арматури закладені характеристики, які дозволять їм виступати альтернативою металевому армуванню, або спільно працювати з ним.

Одним з головним недоліків як склопластикової, так і базальтопластикової арматури (у порівнянні зі сталеві) є мала термостійкість. Волокна, які використовуються для виготовлення цих композитних матеріалів дуже жароміцні, проте сполучний пластиковий компонент не витримує впливу високих температур. Вогнестійкість базальтопластикової арматури становить близько 300 °С, а склопластикової – 150 °С. Відповідно вироби, армовані такими стержнями, мають невисоку стійкість до впливу пожеж.

Головною перевагою базальтопластикової арматури у порівнянні зі склопластикові є низьке значення водопоглинання та вкрай повільні процеси корозії волокна під впливом агресивного середовища. Механізм деградації скловолокна складний, основним руйнівним фактором є міграція активних хімічних агентів у поверхневому шарі і через тріщини поверхні скловолокна, тобто здатність до абсорбції води та водних розчинів. Процес різко прискорюється при циклічному змочуванні – осушенні та впливі циклів заморожування і відтаювання.

Доцільність застосування того чи іншого типу композитної арматури значною мірою буде залежати від механічних властивостей, які вона забезпечуватиме. За умов армування каменю, головними зусиллями, які виникатимуть під час транспортування, монтування та експлуатації виробів – будуть саме згинаючі зусилля, тому вирішальним в даному аспекті є дослідження саме таких параметрів як згинальне напруження та модуль пружності за розтягом, визначення яких виконувалось експериментальним шляхом.

Дослідження стійкості композитної арматури різного типу до згинальних навантажень виконувалось за умови її розміщення у зразках типу «плита» виготовлених з гранодіориту Покостівського родовища. Виготовлення зразків виконувалось у відповідності до вимог встановлених національним стандартом України ДСТУ Б EN 12057:2007 «Вироби з природного каменю. Модульна плитка. Вимоги». У відповідності до даного стандарту разки повинні мати гладку рівну поверхню без здуттів, сколів, тріщин, раковин та інших видимих дефектів. У загальних випадках рекомендується випробовувати п'ять зразків, а для анізотропних матеріалів по п'ять зразків для кожного з головних напрямів, відповідно було підготовано 10 зразків розміром 1000×200×30 мм. Лінійні розміри зразків відповідали вимогам вище описаного стандарту, відхилення по довжині і ширині не перевищувало ±1% від величини даних параметрів, значення похибки товщини зразків знаходилось у діапазоні ±1,5 мм, а похибки площинності та перпендикулярності зразків знаходились в межах 0,15% [2].

Кожен зі зразків зміцнювався за допомогою арматури різного типу. Власне, було застосовано склопластикову арматуру марки Rebar та базальтопластикову марки Polyarm (табл. 1).

В обох випадках застосовувались арматурні стержні діаметром 12 мм, з спіралью наклеєною навивкою. В якості фіксуєної суміші було використано термоактивну епоксидну смолу «CHS-Ероху-619» та прозорий згущувач «TELALIT 0492» тієї ж компанії. Компоненти для приготування фіксуєної суміші змішувались у пропорції 32 гр. згущувача на 100 гр. смоли. Роботи зі змішування проводились при кімнатній температурі. Тривалість застигання даної суміші становить 48 годин. Після двох днів полімеризації суміш повністю переходить у крихий стан. Після семи днів з моменту утворення суміші вона набуває початкової міцності, а через два тижні, при середній температурі в +25°C суміш остаточно полімеризується та набуває максимального значення міцності. Перед початком механічних досліджень зразки витримувались впродовж двох тижнів [3].

Таблиця 1

Порівняльна характеристика склопластикової та базальтопластикової арматури марок Rebar та Polyarm

№ з/п	Найменування параметрів	Од. виміру	Значення для:	
			склопластикової арматури	базальтопластикової арматури
1	Типорозмір	мм	12	12
2	Тип навивки	-	спіральна наклеєна	спіральна наклеєна
3	Межа міцності	МПа	600 - 1200	700 - 1300
4	Модуль еластичності	МПа	45000	60000
5	Відносне видовження	%	2,2	2,5
6	Щільність	т/м <sup>3</sup>	1,9	2,0
7	Діапазон робочих температур	°C	від -60 до +150	від -260 до 300

Випробування зразків на міцність виконувалось у відповідності до вимог Національного стандарту України ДСТУ Б EN 12372:2011 (EN 12372:2006, IDT) «Методи випробувань природного каменю. Визначення границі міцності на згин під концентрованим навантаженням» [4].

Під час виконання дослідження застосовувався гідравлічний прес. Встановлення зразків в робочій зоні пресу виконувалось на підкладках, після чого визначався геометричний центр, до якого і прикладалось навантаження. Підставки на яких розміщувались зразки виставлялись таким чином, щоб їх середня лінія знаходилась на відстані 50 мм (±1 мм) від краю зразка.

Однією з важливих умов під час проведення даного дослідження є забезпечення рівномірної швидкості відносного руху навантажувального наконечника гідравлічного пресу. Швидкість відносного переміщення навантажувального наконечника зазвичай приведена в нормативно-технічній документації на матеріал, але для матеріалу, використовуваного в рамках дослідження ці значення відсутні, отож їх було визначено за допомогою наступної формули:

$$V = 0,01 \frac{l^2}{6h}, \text{ мм/хв} \quad (1)$$

де: l – відстань між опорами, мм; h – товщина зразка, мм.

У всіх без винятку випадках випробування продовжувались до руйнування зразка, при цьому визначалось значення величини максимально прикладеного навантаження і прогину. Для визначення величини прогину позаду заготовки було розміщено координаційну сітку, по якій і вираховувалась величина прогину в момент максимально навантаження.

Величина згинального напруження при навантаженні заготовки може бути визначена як:

$$\sigma_z = \frac{M}{W}, \text{ МПа} \quad (2)$$

де: M – згинальний момент, Н·мм; W – момент опору поперечного перерізу зразка, мм<sup>3</sup>.

Згинальний момент визначається як:

$$M = \frac{Fl}{4}, \text{ Н} \cdot \text{мм} \quad (3)$$

де: F – згинальне навантаження прикладене до зразка, Н; l – відстань між опорами, мм.

Величина моменту опору поперечного перерізу зразка обчислюватиметься як:

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6}, \text{ мм}^3 \quad (4)$$

де: b – ширина зразка, мм; h – товщина зразка, мм.

Підставивши формули 3 і 4 у формулу 1 одержимо:

$$\sigma_z = \frac{3Fl}{2b \cdot h^2}, \text{ МПа} \quad (5)$$

Значення модулю пружності при згині визначатиметься як:

$$E_{зг} = \frac{l^2 F}{4b \cdot h^2 \cdot z} \quad (6)$$

де:  $z$  – максимальне значення прогину зразка, мм.

Результати одержані в ході виконання вимірювань, та результати розрахунку згинального напруження і модулю пружності за розтягом при армуванні виробів з каменю за допомогою склопластикових та базальтопластикових стержнів наведені в таблиці 2.

Загалом застосування композитної арматури задля зміцнення виробів з каменю можна вважати доцільним. Найбільш оптимальним з технічної точки зору є застосування саме базальтопластикової арматури, оскільки вона дозволяє збільшити стійкість виробу до згинальних навантажень та характеризується меншим значенням модуля пружності при згині (тобто сприяє збільшенню жорсткості виробу), що в загальному забезпечує більш тривалий період експлуатації виробу.

Таблиця 2

Результати дослідження і розрахунків

№	Найменування показників	Од. вим.	Поз.	Одержані результати					Сер. знач.	
				Зр. 1	Зр. 2	Зр. 3	Зр. 4	Зр. 5		
1	Прикладене зусилля	АСП*	Н	F	840	843	924	922	912	888,2
		АБП**	Н		994	931	1005	1002	1008	988
2	Розміри зразків	довжина	мм	l	900					
		ширина	мм	b	200					
		товщина	мм	h	30					
3	Значення прогину	АСП	мм	z	7	9	7	5	9	7,4
		АБП	мм		7	12	12	8	7	9,2
4	Згинальне навант.	АСП	МПа	$\sigma_z$	6,30	6,32	6,93	6,92	6,84	6,66
		АБП	МПа		7,46	6,98	7,54	7,52	7,56	7,41
5	Модуль пружності при згині	АСП	МПа	$E_{зг}$	4050,0	3161,3	4455,0	6223,5	3420,0	4262,0
		АБП	МПа		4792,5	2618,4	2826,6	4227,2	4860,0	3864,9

\*АСП – зразки армовані склопластиковими стержнями

\*\*АБП – зразки армовані базальтопластиковими стержнями

Однією з головних переваг базальтопластикової арматури у порівнянні з склопластиковою є висока корозійна стійкість. Якщо ж порівнювати ці два типи арматури з економічної точки зору, то найкращою альтернативою металевому армуванню буде саме склопластикове, адже при майже в двічі меншій вартості у порівнянні з базальтопластиковим, воно забезпечує практично аналогічні показники міцності армованого виробу. З технологічної точки зору, доцільнішим є застосування базальтопластикової арматури, адже у порівнянні зі склопластиковою вона забезпечує більше на 11,2% значення стійкості виробу до згинальних навантажень (7,41 МПа проти 6,66 МПа) та менше на 9,3% значення модулю пружності при згинанні (3864,9 МПа проти 4262,0 МПа) що має позитивний ефект на жорсткість виробу.

#### Список літератури:

1. I. Fayala, O. Limam, I. Stefanou. Experimental and numerical analysis of reinforced stone block masonry beams using GFRP reinforcement. Composite Structures, Elsevier. 2016. No. 15(2). P. 994–1006.
2. ДСТУ Б EN 12057:2007. Вироби з природного каменю. Модульні плити. Вимоги. Київ, 2007.
3. Застосування композитних матеріалів для армування архітектурно-будівельних виробів з каменю / В. Котенко та ін. ВІСТІ Донецького гірничого інституту. 2021. 2 (49). С. 26–36.
4. ДСТУ Б EN 12372:2011. Методи випробування природного каменю. Визначення границі міцності при згині під концентрованим навантаженням. Київ, 2012.