

УДК 539.375: 687.7

СТАТИЧНА ТА ВТОМНА МІЦНІСТЬ БАЗАЛЬТОВОЇ АРМАТУРИ

М. М. ГВОЗДЮК¹, І. П. БАБЯК², Т. В. ГЕМБАРА³, Р. Б. КОСТИВ¹

¹ Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів;

² Державний дорожній науково-дослідний інститут ім. М. П. Шульгіна, Київ;

³ Національний університет "Львівська політехніка"

Визначено характеристики статичної і втомної міцності базальтової арматури номінальним діаметром 4; 6; 8; 10 і 12 mm за статичного та циклічного розтягів зразків. Зокрема, встановлено межу витривалості σ_N на базі випробувань N , яка дорівнює $2 \cdot 10^6$ cycles.

Ключові слова: базальтові волокна, полімерні композиційні матеріали, критичні напруження, база випробувань, межа витривалості.

Науково-технічний прогрес значною мірою визначається використанням нових конструкційних матеріалів з наперед заданими властивостями. До таких матеріалів належать композити, перевагою яких є мала вага за високої питомої міцності та жорсткості, стійкість до впливу агресивних середовищ, підвищена живучість тощо. Тому на сьогодні особливо актуальними є дослідження міцності та надійності композитів як повноцінних або кращих замінників традиційних матеріалів у багатьох галузях промисловості.

У світовій практиці поряд із традиційною сталевією арматурою використовують композитну базальтову арматуру, яку виготовляють із неперервного базальтового волокна і полімерної матриці. Базальтові волокна отримують із однокомпонентної дешевої сировини за одностадійною технологією. Найкращою сировиною для виробництва нового класу екологічно чистих волокон з унікальними властивостями є гірські породи – базальти. Базальтова арматура характеризується високою міцністю за розтягу ($\sigma_B \approx 1100$ МПа), корозійною тривкістю і низькою теплопровідністю. Технічні характеристики дають змогу застосовувати її у промислово-цивільному будівництві (поверхневі шари бетонних плит), а також для підсилення споруд, які працюють в умовах пришвидшеної корозії сталевієї арматури і бетону (мостові переходи, причали, сухі доки, зміцнення бетонуванням берегової смуги). Заміна сталевієї арматури в елементах залізобетонних конструкцій базальтовою, суттєво зменшує їх вартість і призводить до значної економії металу. Однак властивості базальтової арматури ще недостатньо вивчені. Зважаючи на це, мета роботи – визначити характеристики статичної і втомної міцності зразків, виготовлених із базальтової арматури різних геометричних розмірів за статичного та циклічного розтягів. Зокрема, побудували криві Велера та встановили межі витривалості (σ_N) на заданій базі випробувань (N).

Матеріали та зразки. Для експериментальних досліджень Державний дорожній науково-дослідний інститут ім. М. П. Шульгіна надав арматурні прутки періодичного профілю виду А, номінальним діаметром $d = 4; 6; 8; 10$ і 12 mm, завдовжки 1 m (рис. 1а), які виготовлені згідно з технічними умовами [1].

Щоб визначити міцність базальтової арматури за статичного розтягу, зразки виготовляли згідно з нормативним документом [2]. Довжину робочої частини зразка l_0 приймали рівною 200 ± 1 mm. Втомні випробування арматури виконували на зразках з довжиною робочої частини кратною п'яти її діаметрам відповідно до нормативних рекомендацій [3, 4].

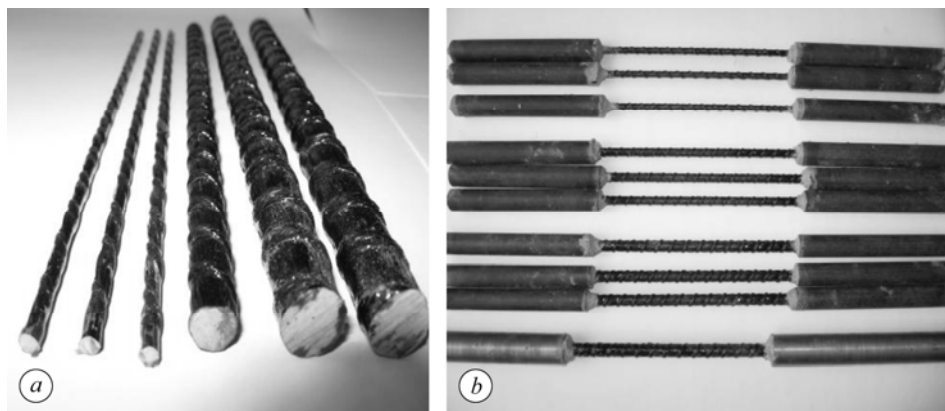


Рис. 1. Базальтова арматура (а) та зразки з неї (b).

Fig. 1. Basalt reinforcement (a) and specimens (b).

Для забезпечення надійного кріплення зразків у клинових затискачах розривної машини розроблено спосіб виготовлення їх захватних частин. Кінці арматурних стрижнів встановлювали у товстостінні сталеві втулки довжиною 150 mm і діаметром 24 mm, з внутрішньою різьбою M18. Центрування осей досліджуваних зразків відносно твірної втулок забезпечували різьбові опірні шайби вкручені на їх вході і виході. Внутрішній діаметр отворів опірних шайб відповідав зовнішньому діаметру досліджуваної арматури. Далі через отвір $\varnothing 5$ mm на боковій поверхні втулки її внутрішній об'єм примусово заповнювали епоксидним клейовим розчином Sikadur-30, який після повної полімеризації за температури $60 \dots 65^\circ\text{C}$ утворював міцне з'єднання втулки зі зразком (рис. 1b).

Для зменшення затрат на підготовку зразків базальтової арматури $d = 4; 6; 8$ і 10 mm за статичних та втомних випробувань їхні захватні частини виготовляли зі стандартної півдюймової сталеві труби. Довжина сталеві втулки з внутрішньою різьбою M16 становила 150 mm.

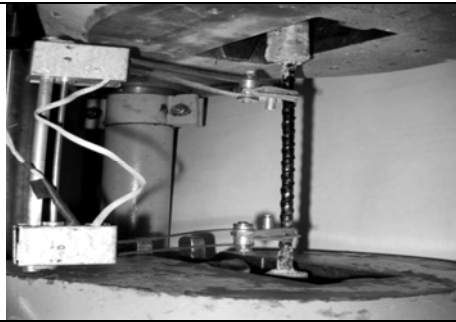
У зразках $d = 12$ mm використали сталеву трубу діаметром 3/4" завдовжки 200 mm з внутрішньою різьбовою поверхнею M18.

Визначення міцності базальтової арматури за статичного розтягу. Експериментальні дослідження для визначення границі текучості, тимчасового опору, модуля пружності та відносного видовження після розриву виконували у лабораторних умовах за $T = 20^\circ\text{C}$ на сертифікованій універсальній розривній машині EUS-20, згідно з рекомендаціями [2, 5]. Випробували розтягом по шість зразків кожного діаметра арматури. Зразки фіксували у клинових затискачах розривної машини, які забезпечували їх симетричне навантаження (рис. 2).

Швидкість переміщення рухомої траверси становила 5 mm/min. Під час експерименту навантаження реєстрували штатним динамометром розривної машини, а видовження робочої частини зразка – тензометром переміщення. Сигнали від динамометра та тензометра записували за допомогою комп'ютера і будували діаграму руйнування у координатах “навантаження P –абсолютне видовження зразка Δl ”.

Рис. 2. Зразок у затискачах розривної машини.

Fig. 2. A specimen in grips of the tensile-testing machine.



Типові діаграми руйнування базальтової арматури різних діаметрів показані на рис. 3.

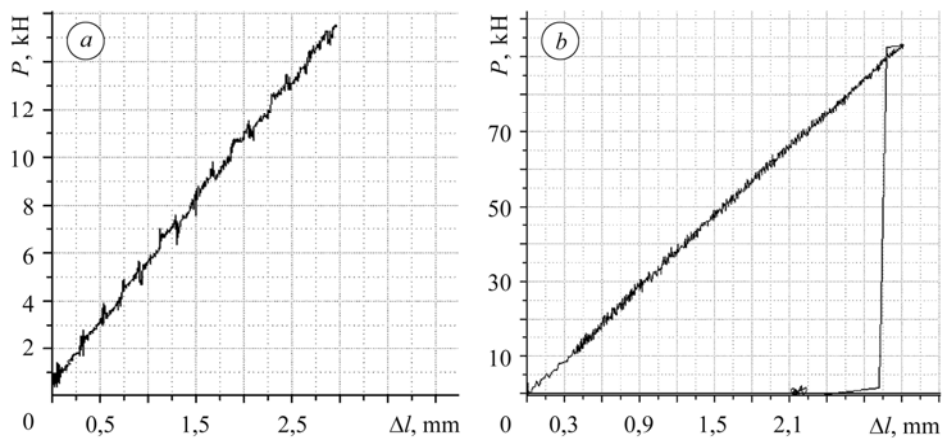


Рис. 3. Діаграма руйнування базальтової арматури діаметром 6 (a) і 10 mm (b).

Fig. 3. Fracture diagram of basalt reinforcement of diameter 6 (a) and 10 mm (b).

Здебільшого руйнування зразків починалося із розриву та відшарування поперечної нитки (джгута), що створює періодичний профіль, а також окремих волокон у поверхневому шарі робочої частини базальтової арматури. Зі збільшенням навантаження відбувалося інтенсивне руйнування волокон по периметру та товщині стрижня. Розрив волокон переважно супроводжувався повздовжнім відшаруванням із розпушенням базальтових волокон (рис. 4a).

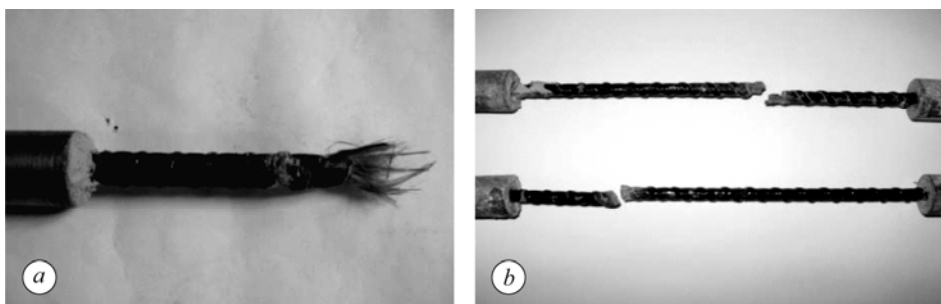


Рис. 4. Зруйновані зразки арматури з розпушенням базальтових волокон (a) та без нього (b).

Fig. 4. View of failed reinforcement specimens with basalt fibres loosening (a) and without it (b).

Однак декілька стрижнів розірвалися майже перпендикулярно до повздовжніх армувальних волокон без розпушення (рис. 4b).

Обробляли результати експерименту та визначали міцнісні параметри базальтової арматури (P_{\max} , σ_B , E_H , δ) відповідно до нормативних документів [2, 5].

Усереднені значення результатів випробувань статичним розтягом арматурних зразків подані у таблиці, де P_{\max} – максимальне зусилля руйнування; σ_T – границя текучості за розтягу; σ_B – границя міцності (тимчасовий опір) матеріалу; E_H – модуль пружності (початковий); δ – відносне видовження зразка.

Результати випробувань статичним розтягом арматурних зразків

d	l_0	Δl	P_{\max} , kN	σ_T	σ_B	E_H	δ , %
				МПа			
4,06	139	3,05	14,28	876	1103	47905	2,18
6,18	140	3,05	33,20	860	1105	48932	2,13
8,26	141	3,00	60,25	842	1124	44755	2,12
10,40	140	2,95	90,73	824	1068	46125	2,10
12,48	140	2,60	122,16	806	999	45378	1,88

Визначення межі витривалості базальтової арматури. Експериментальні дослідження з визначення втомної міцності базальтової арматури здійснювали у лабораторних умовах за $T = 20^\circ\text{C}$, згідно з нормативними документами [3, 4], на гідравлічному сертифікованому пульсаторі EUS-20 за асиметричного циклу навантаження. Діаграма втоми або крива Велера дає уяву про опір втомному руйнуванню досліджуваного матеріалу. Її будують за результатами випробувань п'яти та більше зразків за різних напружень σ з однаковими частотою, формою циклу і коефіцієнтом асиметрії $R = P_{\min}/P_{\max}$. Діаграма втоми має специфічний асимптотичний характер із виходом її нижньої частини на такий рівень напружень, за якого зразок не руйнується. Вказане максимальне напруження σ_N , що відповідає заданій базі випробувань N , є межею витривалості матеріалу. Діаграми втоми, здебільшого, не будують у координатах “ σ -lgN”.



Рис. 5. Втомне руйнування зразка.

Fig. 5. Specimen fatigue fracture.

Криві втоми базальтової арматури будували для п'яти типорозмірів арматурних стрижнів номінальним діаметром 4; 6; 8; 10 і 12 mm. Випробували по шість зразків кожного діаметра на шести рівнях напружень. База випробувань N дорівнювала $2 \cdot 10^6$ cycles. Напруження визначали на основі аналізу попередніх випробувань. Найвищий рівень напружень вибирали так, щоб

усі зразки за цього напруження руйнувалися швидше базового числа циклів. У цьому випадку $N > 5 \cdot 10^3$ cycles. Решту рівнів рівномірно розподіляли між максимальним і мінімальним напруженнями. Зразки закріплювали у затискачах гідравлічного пульсатора EUS-20. Для циклічного навантаження зразка спочатку задавали мінімальне P_{\min} , а потім максимальне P_{\max} зусилля. Під час експерименту контролювали P_{\min} і P_{\max} циклічне навантаження, а також за допомогою лічильника пульсатора реєстрували загальну кількість циклів до руйнування зразка. Випробувували за циклічного розтягу, асиметрії циклу навантаження $R = 0,33$ та частоти навантаження $f = 10$ Hz.

Втомне руйнування зразка базальтової арматури показано на рис. 5. Руйнувалися зразки так само, як і за статичного навантаження: відшарування джгута поперечної обв'язки з одночасним розривом повздовжніх волокон у поверхневих шарах базальтової арматури.

Обробляли результати експерименту, будували криві Велера та визначали межу витривалості відповідно до нормативних рекомендацій [3, 4]. За результатами експериментальних досліджень побудовано криві втоми для різних типорозмірів базальтової арматури (рис. 6) і встановлено межу витривалості: $\sigma_N = 315 \dots 330$ МПа.

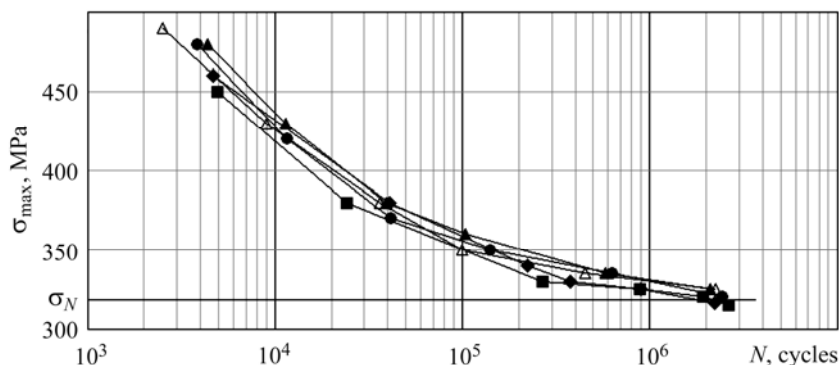


Рис. 6. Діаграма Велера для базальтової арматури:
 Δ – \varnothing 4 mm; \bullet – \varnothing 6; \blacktriangle – \varnothing 8; \blacklozenge – \varnothing 10; \blacksquare – \varnothing 12 mm.

Fig. 6. Weller curve for basalt reinforcement:
 Δ – \varnothing 4 mm; \bullet – \varnothing 6; \blacktriangle – \varnothing 8; \blacklozenge – \varnothing 10; \blacksquare – \varnothing 12 mm.

ВИСНОВКИ

Визначено напруження руйнування розтягом зразків базальтової арматури діаметром 4...12 mm ($\sigma_B \sim 1080$ МПа), що відповідає границі міцності сталеві арматури класу А-1000. Відносне видовження базальтової арматури δ знаходиться в межах від 1,9 до 2,2%, і співмірне із δ арматури класу А-1000, що дорівнює 2,0%. Втомна міцність базальтової арматури діаметром 4...12 mm на базі випробувань $2 \cdot 10^6$ cycles змінюється в межах від 315 до 330 МПа, тобто $\sigma_N \sim 0,3\sigma_B$.

РЕЗЮМЕ. Определены характеристики статической и усталостной прочности базальтовой арматуры номинальным диаметром 4; 6; 8; 10 и 12 mm при статическом и циклическом растяжении образцов. Установлено границы выносливости σ_N на базе испытаний N , равной $2 \cdot 10^6$ cycles.

SUMMARY. Characteristics of static and fatigue strength of basalt reinforcement of diameter 4; 6; 8; 10 and 12 mm were evaluated under static and cyclic tension of specimens. The ultimate strength σ_N on the testing base N , equal to $2 \cdot 10^6$ cycles was established.

1. ТУ У В.2.7-25.2-34323267-001:2009. Арматура неметалева композитна базальтова періодичного профілю. – К., 2009. – 13 с.
2. ГОСТ 12004-81. Сталь арматурная. Методы испытания на растяжение. – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 15 с.
3. ГОСТ 25.502-79. Методы механических испытаний металлов. Методы испытаний на усталость. – М.: Изд-во стандартов, 1979. – 32 с.
4. ДСТУ 4042-2001. Прокат арматурний. Методи випробувань на втому. – К.: Держстандарт України, 2001. – 22 с.
5. Тарнопольский Ю. М., Кинцис Т. Я. Методы статических испытаний армированных пластиков. – М.: Химия, 1975. – 262 с.

Одержано 08.04.2013