

## ДИСПЕРСНЕ АРМУВАННЯ СІРЧАНИХ БЕТОНІВ СКЛОВОЛОКНОМ ТА ЇХНЯ ВИТРИВАЛІСТЬ

© Брайченко С. П., Маргаль І. В., 2017

Дисперсне армування волокнами різного матеріалу та різної довжини дає змогу суттєво впливати на основні характеристики бетонів, зокрема збільшувати міцність на стиск і розтяг, ударну міцність, зносостійкість. Але якщо використання бетонів, армованих сталевією фіброю, вивчено достатньо, то армування бетонів іншими видами фібр, зокрема скляними, досліджено недостатньо. Те саме стосується і армування скловолокном спеціальних бетонів, де в'язучим є сірка, тобто сірчаних бетонів. Недоліками сірчаних бетонів є підвищена крихкість, мала ударна міцність і тріщино-стійкість. Введення в такий бетон скляної фібри підвищує його тріщиностійкість, знижує швидкість розповсюдження тріщин, підвищує витривалість сірчаного бетону. У статті викладено результати експериментальних досліджень витривалості сірчаних бетонів при багаторазово повторних навантаженнях. Показано, що дисперсне армування сірчаних бетонів скляною фіброю збільшує в'язкість руйнування і коефіцієнт витривалості цих бетонів. А використання модифікаторів сірки типу дициклопентадієну дає змогу покращити основні характеристики сірчаних склофібробетонів, зокрема витривалість при багаторазово повторних навантаженнях.

**Ключові слова:** дисперсне армування, скляна фібра, сірчаний бетон, склофібробетон, дициклопентадієн.

S. Braychenko, I. Marhal  
Lviv Polytechnic National University,  
Department of building production

## DISPERSE SULFUR CONCRETE REINFORCED WITH FIBERGLASS AND THEIR ENDURANCE

© Braychenko S., Marhal I., 2017

Disperse reinforcing fibers of different materials and different lengths can significantly effect the basic characteristics of concrete, including increasing compressive strength and tensile, impact strength, wear resistance. But if the use of concrete, steel fiber reinforced was studied enough, other types of concrete reinforcement fiber, particularly glass, was not investigated enough. The same applies to special fiberglass reinforcement concretes, where is sulfur is astringent, that is sulfur concrete. The disadvantages of sulfur concrete are increased brittleness, low impact strength and crack resistance. Putting glass fiber in a concrete increases its toughness fracture, reduces the speed propagation of cracks increases endurance of sulfur concrete. The article presents the results of experimental studies of endurance sulfur concrete under multiple repeated loads. It is shown that disperse sulfur concrete reinforcing by glass fiber increases the viscosity destruction and endurance factor of concrete. The use of sulfur modifiers such is dicyclopentadiene improves the basic characteristics of sulfur glass fiber concrete, particularly endurance at multiple repeated loads.

**Key words:** dispersed reinforcement, glass fiber, sulfur concrete, glassfiberconcrete, dicyclopentadien.

**Постановка проблеми.** Дисперсне армування основане на принципі розосереджено-направленого армування. Особливістю бетону, армованого дисперсною арматурою, є те, що він за усієї своєї неоднорідності має ізотропні, тобто однакові у всіх напрямках, властивості. При цьому зберігається асиметрія механічних властивостей, що полягає в залежності властивостей від знаку напруження, тобто границя міцності на стиск і на розтяг при дії сил по одній і тій же осі відрізняються в декілька разів.

Отже, дисперсно-армовані волокнами бетони, або фібробетони, є типовими композиційними матеріалами зі всіма характерними для них особливостями і властивостями.

Дисперсне армування бетону волокнами, крім підвищення міцності на розтяг, дозволяє збільшити міцність на стиск, ударну міцність, витривалість при багаторазово повторних навантаженнях, підвищує зносостійкість і морозостійкість. Волокна перешкоджають ранній появі тріщин, а при їх утворенні – розкриттю.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Сьогодні для фібробетонів найчастіше використовують три види армувальних матеріалів: фібри у вигляді коротких відрізків сталевго дроту, скляної та поліпропіленової фібри. Всі ці види фібр суттєво відрізняються за своїми властивостями і хімічною сумісністю з матрицями.

Ефективність роботи фібри в конструкціях великою мірою зумовлена ступенем її деформативності, тому запропоновано розділяти фібри на два типи – низькомодульні (найлонові, поліпропіленові) з характерним для них великим відносним видовженням при розриві та високомодульні (скляні, сталеві, вуглецеві). При армуванні бетону першим типом фібр зростає його ударна міцність (в'язкість), а другим типом – жорсткість, міцність на розтяг, опірність динамічним впливам.

Найефективнішими в конструкційному аспекті є високомодульні фібри, модуль пружності яких у 2–5 разів перевищує модуль пружності бетонних матриць. Низькомодульні синтетичні фібри характеризуються підвищеною деформативністю, причому модуль пружності таких фібр становить не більше ніж 0,25 від модуля пружності звичайних бетонів.

Найбільшу кількість досліджень присвячено вивченню питань дисперсного армування цементних бетонів сталевю фіброю, яка характеризується високим модулем пружності, добрим зчепленням з цементним каменем і хорошим збереженням у лужному середовищі цементного в'язучого. До недоліків сталевї фібри слід віднести її високу щільність, що втричі перевищує щільність скляної фібри; під дією зовнішнього середовища сталева фібра схильна до корозії, яка починається з кінців фібри, що часто виходять на поверхню виробу; не завжди забезпечується потрібне зчеплення фібр з цементною матрицею, що веде за собою використання фібр різного профілю, з анкерами на кінцях, з антикорозійним покриттям [1].

За деякими фізико-механічними показниками заслуговує на увагу армування цементних бетонів скловолокном. Волокна діаметром 8–10 мкм за міцністю відповідають високовуглецевому холоднотягнутому дроту і є в 3,5 рази легшими за нього. Досить важливим є те, що запаси сировини для виробництва скловолокна практично невичерпні.

Однак широке впровадження склофіробетону ускладнене тим, що скловолокно в лужному середовищі твердого цементу схильне до інтенсивної корозії, і конструкції на основі цементу і скловолокна є недовговічними [2]. Тому з портландцементом використовують не звичайне скловолокно, а лугостійке, або звичайне, на поверхню якого нанесено спеціальне полімерне лугостійке покриття. Але все це призводить до збільшення вартості матеріалу.

Тому актуальним видається застосування звичайного скловолокна для бетонів, середовище яких є неагресивним відносно нього. До таких бетонів належать сірчані бетони, де в'язучим є сірка, яка за своєю природою є інертною до скловолокна.

**Формування цілі статті.** Обґрунтувати та дослідити дисперсне армування сірчанних бетонів скляними фібрами і його вплив на витривалість таких бетонів за багаторазово повторних навантажень.

**Виклад основного матеріалу.** Недоліками сірчаного бетону є підвищена крихкість, низькі ударна міцність, тріщиностійкість і термостійкість. Введення в такий бетон хімічно інертної

скляної фібри підвищує його тріщиностійкість, збільшуючи момент тріщиноутворення, знижує швидкість розповсюдження тріщин, підвищує витривалість бетону за багаторазових навантажень. Ще більшого ефекту досягають при модифікації сірки добавками, які її пластифікують і переводять в полімерний стан. Коефіцієнт витривалості модифікованого сірчаного бетону виявився значно більшим, ніж немодифікованого, – 0,52. Це можна пояснити зниженим модулем пружності та збільшеною границею міцності на розтяг при згині. Модифікування сірки призводить до зниження внутрішніх напружень та зменшення кількості перенапружених мікрообластей у структурі бетону, що підвищує границю витривалості бетону. Полімерсірчаний бетон характеризується широким діапазоном деформативності, високою міцністю на розтяг, і його властивості можна регулювати залежно від виду і вмісту модифікаторів [3]. Це наглядно видно на повних діаграмах рівноважного деформування (рис. 1).

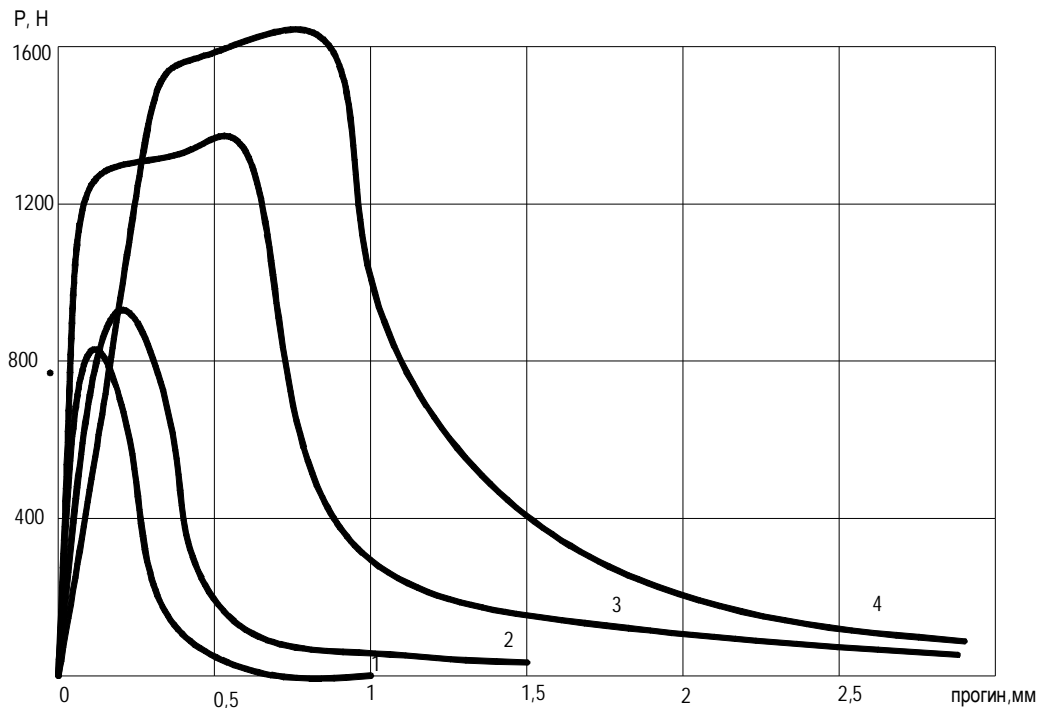


Рис. 1. Діаграма повного рівноважного деформування сірчаного бетону і сірчаного склофібробетону при згині: 1 – сірчаний бетон (матриця); 2 – те саме, що модифікований 5 % дициклопентадієну; 3 – сірчаний склофібробетон (довжина фібр – 30 мм); 4 – те саме, що модифікований 5 % дициклопентадієну

Раніше було показано [4], що цементні бетони мають відносну витривалість на 30 % більшу, ніж виготовлені на кристалічній сірці. Додатково підвищити витривалість сірчаних бетонів можна їх армуванням скляною фіброю, яка добре суміщається з сірчаним в'язучим у протилежність цементному, в лужному середовищі якого скляна фібра з часом кородує. Для вивчення цього питання досліджували зразки сірчаного бетону та склофібробетону базового складу зі співвідношенням компонентів 1:2:2:3 (сірка : наповнювач : пісок : щебінь). Наповнювачем була кварцова мука з питомою поверхнею 4500 см<sup>2</sup>/г. Для модифікування сірки використовували дициклопентадієн вмістом 5 % від маси сірки. Армування зразків виконували скляною фіброю завдовжки 10, 30, 50 мм при проценті армування  $\mu = 0,5; 1,0; 1,8$ .

Дисперсне армування матриці скляною фіброю суттєво змінило міцність і витривалість сірчаного бетону. Характер поведінки зразків за багаторазового повторного навантаження підтверджує гіпотезу Лангера про дві стадії (фази) роботи композиційних матеріалів у процесі нестационарного накопичення пошкоджень [5]. Відповідно до цієї гіпотези, перша стадія характеризується повільним зародженням і накопиченням мікродефектів. На другій стадії

відбувається їхній лавиноподібний розвиток, об'єднання і переростання декількох мікротріщин в одну магістральну і, в підсумку, руйнування. Тривалість цієї стадії залежить від відсотка армування, довжини фібр, характеристики і кількості циклів навантаження, що витримав зразок. Для неармованого сірчаного бетону ця фаза є значно коротшою, ніж для армованого, оскільки в останньому фібри сповільнюють швидкість росту мікротріщин і тим самим подовжують другу стадію роботи матеріалу.

Руйнування армованого бетону, порівняно з його неармованою матрицею, має якісно різні характеристики. Зразки першого руйнувалися пластично, другого – крихко, майже миттєво. Фібри за їх довжини 10 мм висмикували з матриці, за довжини 30 мм частково рвалися, за довжини 50 мм, як правило, рвалися. Модифікування сірки ще посилило пластичність руйнування зразків. Залежність відносної границі витривалості склофіробетону від процента армування і довжини фібр показана на (рис. 2).

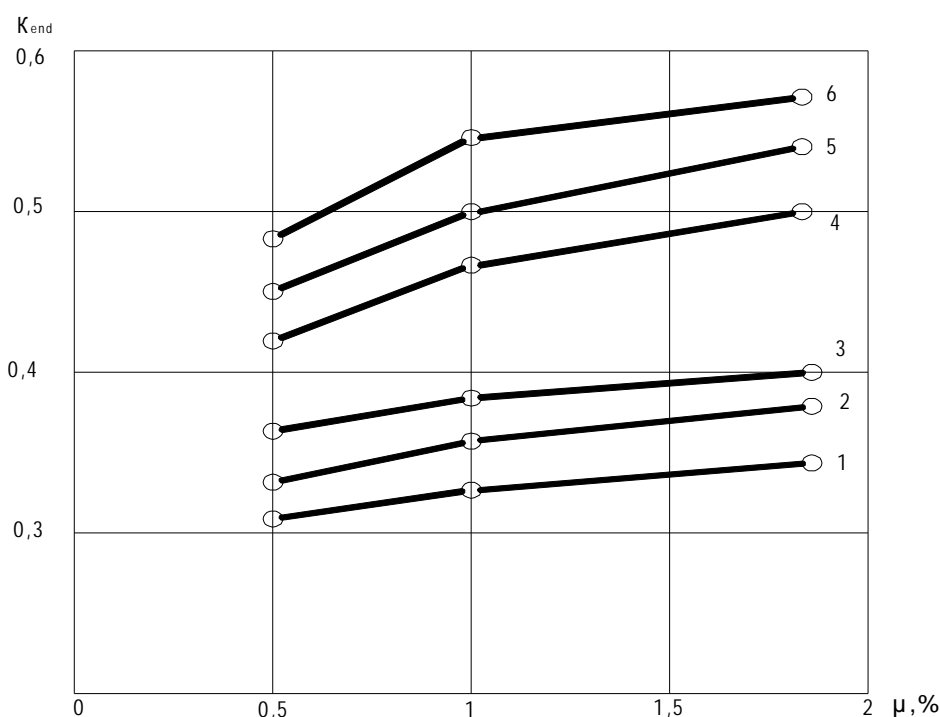


Рис. 2. Залежність коефіцієнта витривалості сірчаного склофіробетону від довжини фібри і процента армування: 1–3 – немодифікована сірка, довжина фібр відповідно 10; 30 і 50 мм; 4-6 – модифікована 5 % дициклопентадієну

З графіка видно, що коефіцієнт витривалості зі збільшенням процента армування і довжини фібри, в розглянутих межах, зростає лінійно. Причому, в діапазоні зміни довжини 10–20 мм спостерігається менш інтенсивне зростання, ніж в інтервалі 20–50 мм. Це зумовлене рівновагою двох процесів, викликаних наявністю фібр у матриці. Перший полягає в тому, що фібра, маючи порівняно великий умовний діаметр пучка фібр і малу його довжину, є концентратором напружень та ініціатором виникнення мікротріщин у матриці. Через малу довжину фібри процеси мікротріщиноутворення не можуть ефективно гальмуватися. Суть другого в тому, що збільшення довжини фібр підвищує їхню анкерувальну здатність і призводить до інтенсивнішого росту коефіцієнта витривалості бетону.

Отже, фібри в бетонній матриці виконують подвійну роль: з одного боку, є концентраторами напружень, з іншого – сповільнюють і гальмують розвиток мікротріщин за багаторазового навантаження матеріалу. При довжині фібр, меншій за критичну, переважає перший ефект, а при більшій за критичну – другий.

Дисперсне армування модифікованої сірчаної матриці, як і слід було очікувати, значно підвищило коефіцієнт витривалості й абсолютну границю втомної міцності порівняно з не модифікованою. Коефіцієнт витривалості збільшився на 26–34 %, а абсолютна границя втомної міцності зросла в 1,83–2,34 рази. Це зумовлене не тільки підвищенням частки пластичних деформацій бетону, але і зміцненням адгезійних зв'язків між пластифікованою сіркою і фібрами.

**Висновки.** Армування бетонів волокнами дає можливість значно підвищити їхню тріщиностійкість, міцність на розтяг і цим створити передумови отримання полегшених тонкостінних конструкцій.

Складність використання скловолокна для армування цементних бетонів полягає в тому, що лужне середовище таких бетонів сприяє розвитку корозії скловолокна, яке з часом знижує свої фізико-механічні характеристики та адгезію з бетонною матрицею.

Відомо, що сірка є хімічно інертною до скловолокна, тому армування сірчаних бетонів скловолокняною фіброю становить значний інтерес щодо покращення фізико-механічних властивостей таких бетонів.

Дисперсне армування скловолокном сірчаних бетонів, особливо в поєднанні з модифікацією сірки, позитивно впливає на їхню витривалість при дії багаторазово повторних навантажень. З одного боку, волокна є коцентраторами напружень, з іншого – вони сповільнюють і гальмують розвиток мікротріщин.

Дисперсне армування та модифікація сірчаного бетону збільшує величину енергії, необхідну для процесу руйнування фібр, тобто збільшує в'язкість руйнування композиту. Фібри затримують розвиток тріщин, створюючи бар'єри на шляху їхнього розвитку.

Встановлено роль волокна і характер руйнування зразків за їхнього випробування на розтяг зі згином при багаторазово повторних навантаженнях. При довжині волокна, що менша за критичну, переважає перший ефект, а при більшій за критичну – другий.

У результаті досліджень встановлено, що дисперсне армування сірчаного бетону скловолокном збільшило коефіцієнт витривалості такого бетону в 1,26–1,34 рази, а модифікація такого бетону 5 % дициклопентадієну підвищила значення цього коефіцієнту ще на 30 %.

1. Питання сучасного будівельного матеріалознавства і будівництва / за ред. Каменнова В. А і Маргалья І. В. – Львів: Львівській філіал освітньої компанії “НОЗ”, 1998. – С. 214. 2. Бірюкович Ю. Л. Механізм процесу руйнування скловолокна в портландцементній матриці. Изв. АН ССРСР. Неорганічні матеріали / Бірюкович Ю. Л., Пащенко А. Л., Глуховський В. В. Т. 23. – № 2. – 1987 – С. 336. 3. Маргаль І. В. Свойства и технология изготовления серного стеклофибробетона: дис. канд. техн. наук. – Харьков: ХИСИ, 1994. – С. 205. 4. Брайченко С. П. Витривалість композиційних бетонів на основі сірки при циклічних навантаженнях / Брайченко С. П., Маргаль І. В., Гивлюд М. М. // Науково-технічний збірник “Містобудування та територіальне планування”. – Вип. 61. – К., 2016. – С. 155. 5. Волгушев А. Н. Серное вяжущее и композиции на его основе / Волгушев А. Н. – М.: Журнал “Бетон и железобетон”, 1997. – № 5. – С. 46.

#### References

1. Pytannya suchasnoho budivelnoho materialovedennya i budivnytstva, pid redaktsiyeyu Kamennova V. A i Marhalya I. V. – Lviv: Lvivskiy filial osvithnoyi kompaniyi “NOZ”, 1998. – S. 214. 2. Biryukovych YU. L., Pashchenko A. L., Hlukhovskyy V. V. Mekhanyzm protsessa razrushenyya sklovolokna v portlandtsementnoy matrytse Yzv. AN SSSR. Neorhanycheskye materyaly. T. 23. – No. 2. – 1987. – S. 336. 3. Marhal Y. V. Svoystva y tekhnolohyya yz-hotovlenyya sernoho steklofybrobetona: Dys. k.t.n. Kharkov, KHYSY, 1994. – S. 205. 4. Braychenko S. P., Marhal I. V., Hyvlyud M. M. Vytryvalist' kompozytsiynyykh betoniv na osnovi sirky pry tsyklichnykh navantazhennyakh // Naukovo-tekhnichnyy zbirnyk “Mistobuduvannya ta terytorial'ne planuvannya” – Vyp. 61. – K., 2016. – S. 155. 5. Volhushev A. N. Sernoє vyazhushchee y kompozytsyy na eho osnove. – M.: Zhurnal “Beton y zhelezobeton”, 1997, No. 5. – S. 46.