

УДК 622.281.4

Дослідження працездатності на вигин торкретбетону зі сталевую і синтетичною фібрами

Коваленко В. В.¹, Борщевський С. В.², Торубалко С.²

¹Національний гірничий університет, Дніпропетровськ, Україна

²Донецький національний технічний університет, Донецьк, Україна

Анотація

Представлені результати лабораторних випробувань на вигин зразків з торкретбетону, армованих сталевую й синтетичною фіброю. Досліджено вплив об'ємного змісту фібр на збільшення працездатності фібробетону в стадії реалізації пластичних деформацій зразка.

Постановка проблеми

Здатність легких бетонів піддаватись більшим пружним деформаціям обумовила поширеність торкретбетонів при кріпленні виробок у сприятливих гірничо-геологічних умовах [1, 2]. Умови експлуатації рядової підземної виробки характеризуються значною нерівномірністю у гірському тиску з боку приконтурного масиву, притоками підземних вод, товщиною кріплення. Це значною мірою накладає обмеження на можливості використання торкрету у мінливих гірничо-геологічних умовах підземних виробок.

Актуальність

Суттєво поширити область використання дрібнозернистого бетону можливо за рахунок використання фібр як армування. Вплив об'ємної концентрації фібри реалізується, починаючи від деякого рівня, що обумовлює досягнення початкової об'ємно-просторової зв'язності фіброструктури. Тільки після досягнення «безперервності» фіброармування починає відчуватися його позитивний вплив на характеристики вихідного бетону – матриці.

Мета досліджень

Основна мета даної роботи – проведення досліджень залежності працездатності фібробетону від типу матеріалу армуючи волокон та їх масової частки на основі лабораторних випробувань зразків на вигин.

Лабораторні дослідження

Для готування суміші був використаний цемент марки 400 виробництва Дніпродзержинського комбінату, пісок кварцовий Краснолиманського родовища, а також волокна армуючі (поліпропіленові, металеві).

При визначенні межі міцності на розтягання при вигині як зразки використалися прямокутні призми розміром: 40×40×160 мм.

Призми встановлювалися на платформу із двома опорами. Робоча відстань між опорами $l = 120$ мм. Зверху до зразка прикладалося зусилля з боку преса, що передавалося через кронштейн.

Досліджувалися основні варіанти дисперсно-армованого бетону з фібрами:

- металеві (довжиною 24...28 мм) з обсягами армування по масі (1 %, 2 %, 10 %);
- поліпропіленові (довжиною 12 мм) з обсягами армування по масі (1 %);

Усього досліджено 18 зразків.

Результати випробувань представлені в табл. 1.

На рис. 1 представлена фотографія зразка армованого поліпропіленовою фіброю в процесі його випробування на вигин.

У процесі проведення випробувань було відзначено, що розмір поза межної області деформування торкретбетонних зразків визначається у випадку поліпропіленових фібр – їхньою

межею міцності на розтягання (розрив), а у випадку металевих фібр - пластичними деформаціями контактних зон фібрових волокон на граничних з бетоном областях.

Табл. 1. Залежність зміни міцності фібробетонних зразків від виду, розміру й щільності армування

Вид зразка	Граничні напруги, $\sigma_{\text{виг}}$, МПа	Середнє значення граничних напруг, $\sigma_{\text{виг}}^{\text{cp}}$, МПа
Ц: П	1,3	1,2
Ц: П: ППФ (1%)	1,39	1,37
Ц: П: МФ (1%)	1,5	1,39
Ц: П: МФ (2%)	2,9	2,43
Ц: П: ППФ (1%)+ МФ (1%)	1,64	1,61
Ц: П: МФ (10%)	>4,5	>4,5

Примітки: ППФ (1 %) – поліпропіленова фібра в кількості 1 %, МФ (1 %) – металева фібра довжиною 2,4...2,8 см у кількості 1 %.



Рис. 1. Випробування бетонного зразка, армованого поліпропіленовими фібрами (1 %).

Глибина, на яку поширюється зона пластичних деформацій фібр, становить 0,1...0,15 мм. Виходячи із цього, можна зробити висновок, що раціональним є зменшення діаметра фібр до 0,3 мм. Використання фібр даного діаметра дозволить максимально ефективно використати поперечний переріз фібр і максимально збільшити площу контакту фібр із бетоном. Це сприятливо позначиться на спільній роботі бетону з металевими фібрами.

Досліджуючи деформаційні процеси в зразках, армованих поліпропіленовою й металевою фіброю можна зробити висновок, що тип армування в значній мірі впливає на стадії розвитку деформацій у зразках, що ослаблені утвореною в процесі навантаження тріщиною.

Із графіків, представлених на рис. 2 виходить, що характер деформування незначною мірою залежить від армування зразків поліпропіленовою фіброю. Більш показові результати дає використання металевої фібри [3].

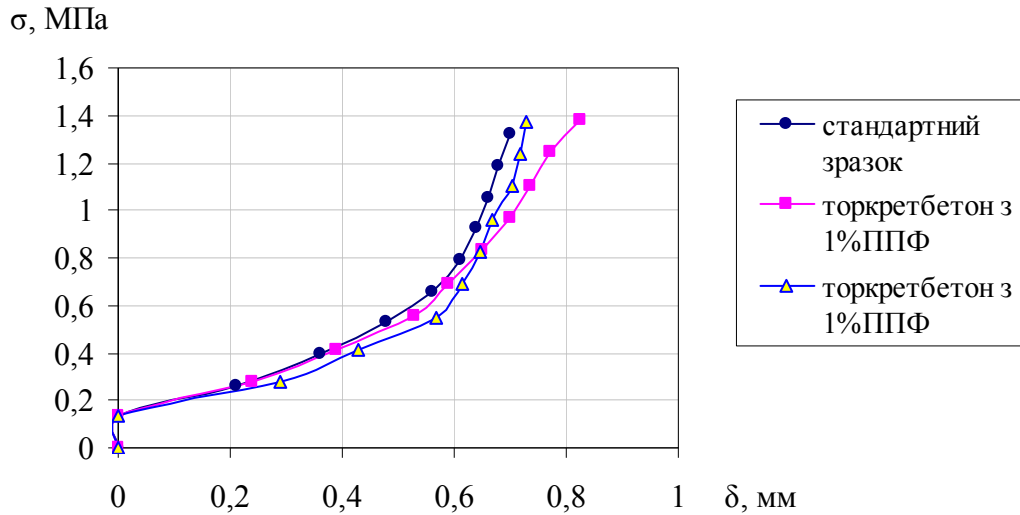


Рис. 2. Діаграма деформацій стандартного зразка й зразків, армованих 1 % поліпропіленових фібр.

Наступний аналіз процесу деформування зразків, армованих металевими фібрами або змішаними фібрами (металевими і пропіленовими) дозволив відзначити наступне. Кожний зразок у процесі навантаження проходить через дві стадії розвитку деформацій (рис. 3, 4).

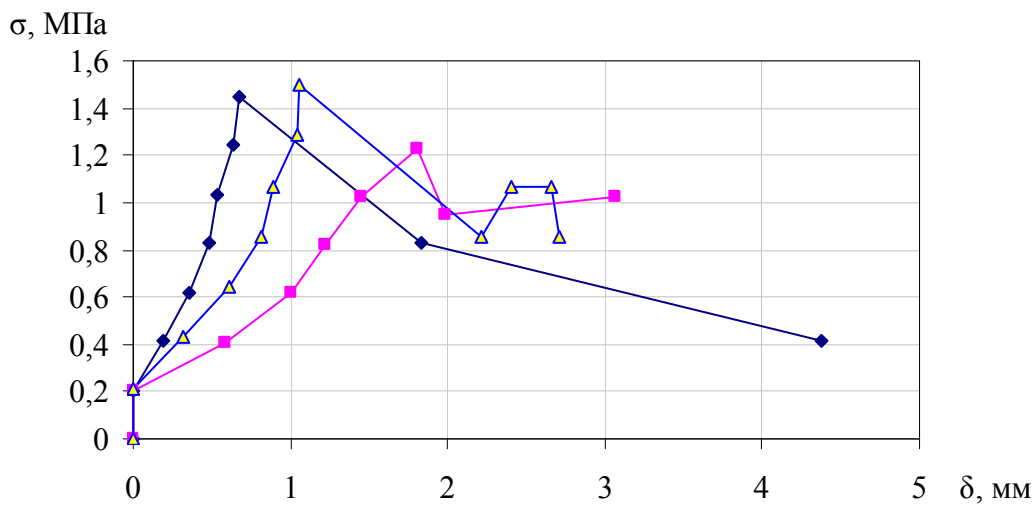


Рис. 3. Діаграма деформацій зразків, армованих 1 % металевих фібр.

На першій стадії реалізуються пружні деформації. Торкретбетон, по суті своєї є композитним матеріалом, що характеризується крихким руйнуванням. Армування бетону фібрами забезпечує підвищення його працездатності й можливість опору зовнішнім навантаженням на стадії поза межних деформацій.

На даній стадії в результаті значних розтяжних зусиль у зразку формуються тріщина, яка виключає роботу бетону на вигин. У результаті зчеплення фібр із бетоном у роботу включаються фібри. Регресійний характер спадаючої кривої графіку граничних деформацій фібробетонних зразків визначається фізико-механічними властивостями матеріалу армуючого волокна.

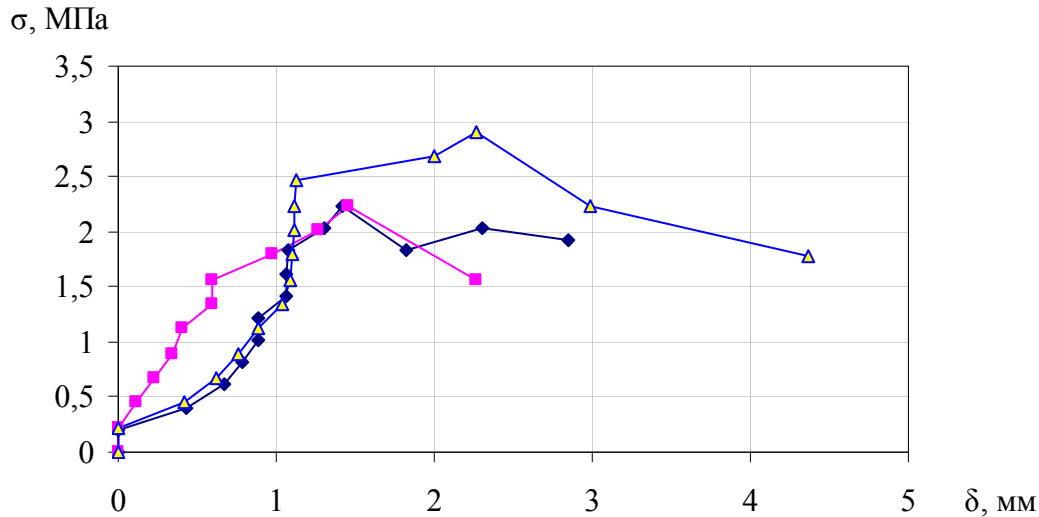


Рис. 4. Діаграма деформацій зразків, армованих 2 % металевих фібр.

Зі збільшенням модуля пружності армуючого волокна крива деформування зразка на стадії пластичних деформацій має менш виражений спадаючий характер. Використання двох типів фібр у сполученні забезпечує підвищення працездатності зразків на стадії поза межних деформацій. У результаті чого спадаюча ланка кривої кожного зі зразків має рівний характер, забезпечуючи працездатність зразка в діапазоні граничних згинаючих напружень.

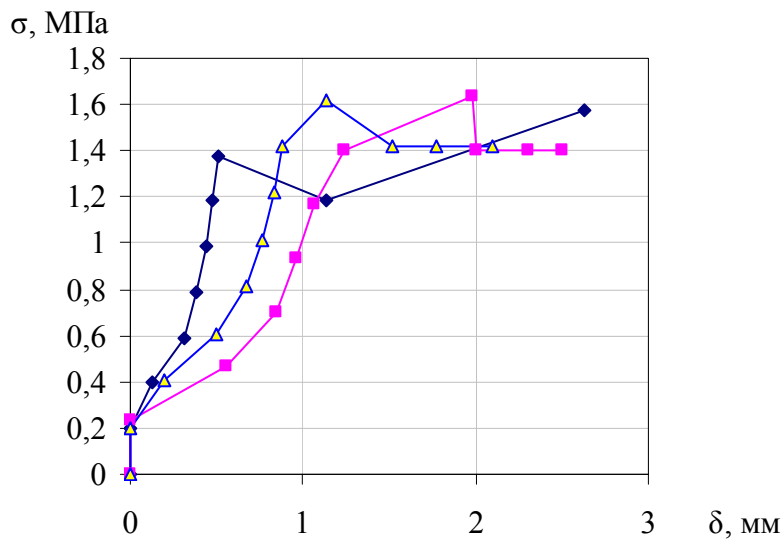


Рис. 5. Діаграма деформацій зразків, армованих змішаними металевими (1 %) та поліпропіленовими (1 %) фібрами.

Слід зазначити, що збільшення змісту армуючих волокон у бетонному зразку від 1...2 % до 10 % змінює характер процесу деформування зразка. Фактично, фібра починає працювати на розтягання разом з бетоном уже на стадії пружних деформацій.

На рис. 6 представлені знімки випробувань зразка з вмістом 10 % металеві фібри на різних стадіях. На знімку (рис. 6 а) представлений етап виникнення тріщини в середині зразка при навантаженні 254 кгс, що відповідає напруженням на розтягання, що виникають у зразку, рівними 2,61 МПа. При даних напруженнях зразки, армовані 2 % металевих фібр, досягали значень своїх граничних напружень, у той час як зразки з меншим вмістом фібр були зруйновані вже при перевищенні своїх граничних напружень на рівні 1,6 МПа.

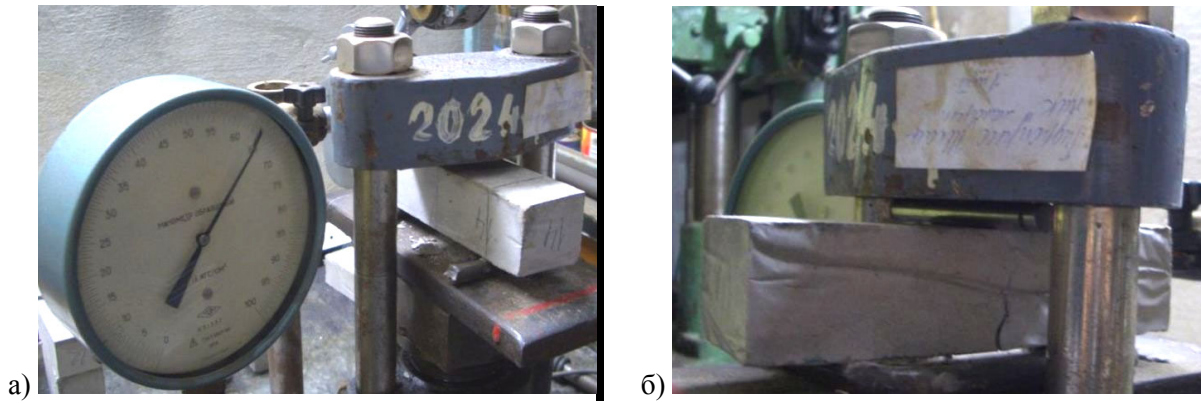


Рис. 6. Стадії випробувань бетонного зразка, армованого 10 % металевої фібри: а) стадія виникнення тріщини (напруження в зразку 2,6 МПа); б) стадія розвитку непружних деформацій ($\sigma = 4,35$ МПа).



Рис. 7. Вид бетонного зразка, армованого 2 % металевих фібр після проведення випробувань на розтягання при вигині.

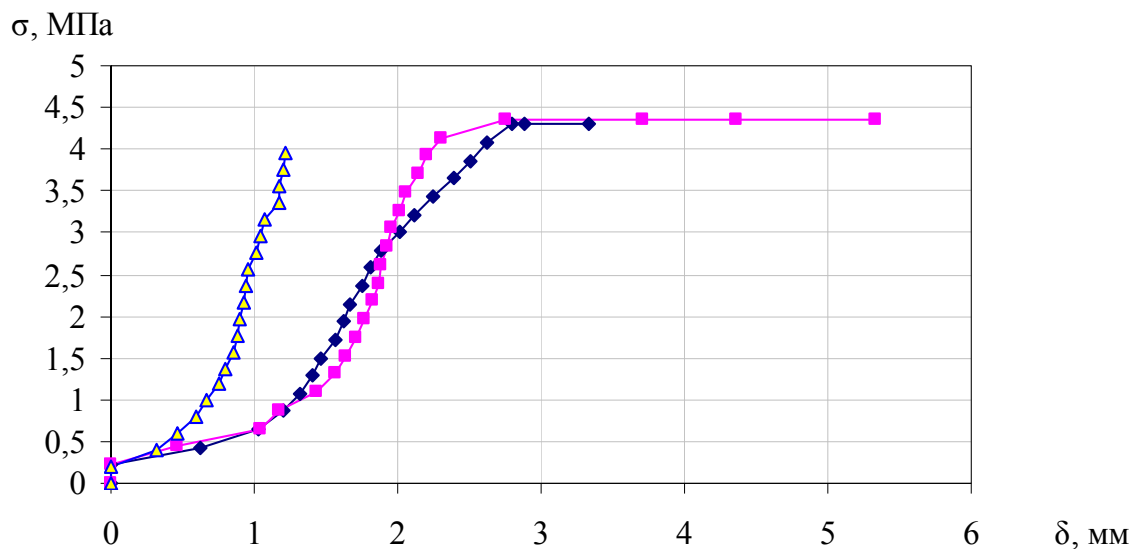


Рис. 8. Діаграма деформацій зразків, армованих 10 % металевих фібр.

Одержання кривої деформування для зразків із вмістом 10 % металевих фібр пов'язано з обмеженими можливостями лабораторного устаткування. Для даних зразків удалося одержати криву деформування на стадії пружних деформацій. Порівняння отриманих кривих дозволило зробити наступні висновки.

Висновки

При армуванні торкретбетону волокнами в кількості до 2..3 % стає можливим забезпечити роботу бетонного зразка на стадії пластичних деформацій, після утворення основної тріщини в результаті досягнення межі пружних деформацій. Стадія пластичних деформацій позначена умовно, тому що на цій стадії пластичні деформації зазнають тільки волокна, що працюють на розрив. Вони включаються в роботу після утворення тріщини в зразку. Ефективність роботи волокон після утворення тріщини в зразку визначається модулем пружності матеріалу волокон, силами зчеплення волокон з бетонним тілом, а у випадку рельєфного профілю силою опору висмикуванню заанкерованого волокна.

Армування зразків металевими волокнами в кількості 10 % значно збільшує міцнісні характеристики бетону й попереджає розвиток тріщини. Утворення й наступний розвиток деформацій у зразку має плавний, рівномірний характер. У цьому зв'язку можна зробити висновок, що відсоток армування торкретбетонного кріплення в складних гірничо-геологічних умовах підземних виробок шахт повинен визначатися як функція від зовнішнього гірського тиску. Зі збільшенням нерівномірності діючого навантаження і її інтенсивності повинен зростати відсоток армування набризкбетону металевими волокнами. Використання металевих фібр при торкретбетонуванні викликає необхідність вирішення питання, пов'язаного із забезпеченням процесу транспортування суміші напорними шлангами набризкмашинами й зниження їхнього зносу в результаті використання підвищеного змісту фібр у суміші. Дані питання носять технологічний характер і можуть бути вирішені шляхом зміни технологічного ланцюга, що пов'язаний із процесом введення фібр у суміш.

Бібліографічний список

1. **Голицынский Д. М.** Механизм нанесения и структурообразование набрызгбетона при креплении горных выработок // Устойчивость и крепление горных выработок. – Ленинград, 1980. - № 6. – с. 88-93
2. **Underground construction.** Research of efficiency of usage and prospects of development of shaft-sinking and tunnel-driving equipment in underground construction. Moscow, 1999. – 241 p.
3. **Борщевский С. В.** Физико-технические и организационные основы интенсивных технологий сооружения вертикальных стволов в породном массиве с повышенной водоносностью Дисс...докт.техн. наук: 05.15.04. – Днепропетровск, 2008, - 420с.

© Коваленко В. В., Борщевський С. В., Торубалко С., 2009 г.