

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ОПОРУ СТАЛЕФІБРОБЕТОНУ

INVESTIGATION PROPERTIES OF RESISTANCE FIBER
REINFORCED CONCRETE

Сунак П. О., к.т.н., доц., Синій С. В., к.т.н., доц. (Луцький національний технічний університет), Крантовська О. М., к.т.н., доц., Ксьоншкевич Л. М., к.т.н., доц. (Одеська державна академія будівництва та архітектури, Одеса), Парасюк Б. О. (Луцький національний технічний університет)

Sunak P. O., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Synii S. V., Ph.D. in Engineering, Associate Professor (Lutsk National Technical University), Krantovska O. M., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Ksonshkevych L. M., Ph.D. in Engineering, Associate Professor (Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odesa), Parasiyk B. O. (Lutsk National Technical University)

Анотація. На основі теоретичних досліджень прийнятої моделі проаналізовано основні теоретичні дослідження опору сталевібробетону – зв'язок між напруженнями і деформаціями. Визначена ефективність фібрової арматури залежно від довжини і розташування фібр в просторі. Доведено, що в'язкість сталевібробетону приблизно в 10...12 разів більша за в'язкість бетону та залізобетону.

Summary. It is possible to improve the performance of concrete by reinforcing the concrete with chaotically arranged short sections of various fibrous materials (straw, horse hair, graphite, asbestos, polypropylene fibers, etc.). The material thus obtained is referred to as fiber concrete. If we use short sections of steel wire as fibers, we get a composite material called fiber reinforced concrete. Numerous studies show that this material has several advantages over concrete, and partly with reinforced concrete - increased tensile strength, higher fracture toughness, greater resistance to shock and vibration loads, increased frost resistance, abrasion resistance and high temperature action.

Fiber concrete differs significantly from reinforced concrete in that, from a certain limit on the coefficients of volume reinforcement, fibers do not perceive internal forces, but due to the adhesion forces bind the concrete matrix and inhibit its development in microcracks;

With the same reinforcement coefficients, thinner fibers are more effective, as this reduces the critical distance between their centers and, therefore, the likelihood of crack formation.

Steel fibers, crossing the trunk crack, contribute to stabilization of the achieved level of crack formation and restrain the creep deformation of the compressed zone of the

steel fiber element. Due to this, the stiffness of the bending steel fiber element decreases more slowly than the rigidity of the same reinforced concrete.

The work of compression steel is less pronounced than tensile. However, the resistance of the steel fiber specimen when compressed by 20 ... 30% exceeds the resistance of the concrete. This is explained by the restraining action of the fibers in the development of tensile stresses on the planes perpendicular to the line of action of the compressive force.

It has been proved that the viscosity of steel-fiber concrete is about 10 ... 12 times higher than the viscosity of concrete and reinforced concrete.

Ключові слова: *сталеві фібробетон, бетон, фібра, напруження, деформація, тріщина, руйнування.*

Keywords: *fiber reinforced concrete, concrete, fiber, tension, deformatio, crack, destruction.*

Постановка проблеми. Покращити експлуатаційні властивості бетону можна за рахунок армування бетону хаотично розташованими короткими відрізками різних волокнистих матеріалів (солома, кінський волос, графітові, азбестові, поліпропіленові волокна тощо). Отриманий таким чином матеріал називають фібробетоном. Якщо у вигляді волокон застосувати короткі відрізки сталевих дроту, то отримаємо композитний матеріал, що носить назву сталеві фібробетон. Цей матеріал, як показують численні дослідження, має ряд переваг перед бетоном, а частково, і залізобетоном – підвищену міцність на розтяг, вищу тріщиностійкість, більшу витривалість проти ударних та вібраційних навантажень, підвищену морозостійкість, стійкість на стирання та дію підвищених температур тощо [1 та ін.].

Застосування сталеві фібробетону, завдяки його властивостям та перевагам перед бетоном та залізобетоном, впевнено зайняло свою нішу у новому будівництві, реконструкції, ремонті та експлуатації будівель і споруд. Тому, розширення досліджень властивостей сталеві фібробетону дозволить підвищити ефективність та збільшити можливості його застосування у будівельній галузі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Ідея про підсилення бетону рівномірно розподіленими по об'єму сталевими відрізками виникла більше 100 років тому. У 1874 році Д. Берард отримав перший патент в цій області. Першим дослідником властивостей сталеві фібробетону був російський інженер В. П. Некрасов. На початку ХХ століття він виготовив перші сталеві фібробетонні конструкції і зробив ряд експериментально-теоретичних висновків. Але ці роботи за деяких обставин не отримали подальшого розвитку. Лише у 70-их роках ХХ століття дослідження Д. П. Ромуальді, Г. Б. Батсона і Д. А. Манделя знову привернули увагу вчених до сталеві фібробетону і послужили поштовхом для нових досліджень. За останні чотири десятиріччя вченими всього світу отримано

ряд результатів, що підтверджують для заданих умов випробувань та експлуатації кращі якісні показники сталевібробетону у порівнянні зі звичайним бетоном [1-14 та ін.].

Мета і завдання дослідження – визначити та проаналізувати зв'язок між напруженнями і деформаціями в сталевібробетоні; дослідити ефективність впливу фібр на процес руйнування; проаналізувати вплив фібрового армування на механізм розвитку тріщин у сталевібробетоні.

Результати дослідження. Опір будь-якого матеріалу дії зовнішнього навантаження прогнозують на основі теоретичних досліджень прийнятої моделі. Потім результати цих досліджень коректують за експериментальними даними. Як правило, досліджують зв'язок між напруженнями і деформаціями, який для сталевібробетону може бути описаний кривою ОАБ (рис.1).

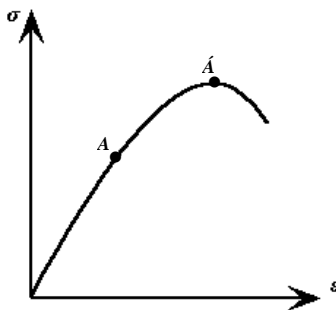


Рис. 1. Залежність між напруженнями і деформаціями в сталевібробетоні

На відріжку ОА ця залежність майже лінійна. Далі вона стає нелінійною і досягає максимуму в точці Б. Напруження, що відповідають точці А, можна назвати порогом тріщиноутворення, або межею пропорційності, а напруження, що відповідають точці Б — межею міцності.

На основі великої кількості експериментальних досліджень [1-14 та ін.] побудовано графік залежності між напруженнями на порозі тріщиноутворення та відстанню між центрами довільно орієнтованих у просторі фібр S_f (рис. 2). З цієї залежності можна зробити висновок, що за умови $S_f < S_{f,cr}$ тріщини в сталевібробетоні з'являються при напруженнях значно вищих за межу міцності бетону матриці на розтяг.

Коли ж $S_f > S_{f,cr}$ (де $S_{f,cr} \approx 7$ мм), напруження в сталевібробетоні будуть дорівнювати напруженням в бетоні або залізобетоні. Підвищення

межі пропорційності сталевібробетону можна пояснити його структурою на основі положень механіки руйнування крихких матеріалів.

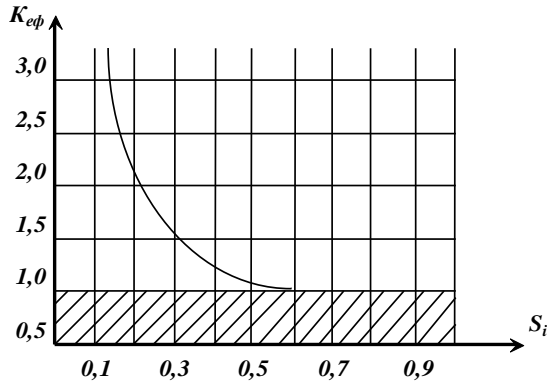


Рис. 2. Залежність між напруженнями на порозі тріщиноутворення та відстанню між центрами довільно орієнтованих фібр

Руйнування бетонного елемента починається на ранніх стадіях під впливом усадки ще до дії на нього зовнішнього навантаження. Проте при належному догляді за бетоном під час тужавлення вплив мікротріщин, що виникають в основному на контакті заповнювачів і цементного каменю, на міцність бетону незначний. На першій стадії роботи під дією навантаження процес руйнування носить сповільнений характер. У місцях концентрації напружень ростуть існуючі і утворюються нові тріщини. Фібри, що розташовані хаотично в просторі матриці, пронизують місця концентрації напружень і стримують розвиток деформацій і мікротріщин. Ефективність такого впливу фібр обумовлена, очевидно, довжиною "критичної" тріщини за Гріффітсом.

Беручи до уваги механізм розвитку тріщин, можна зробити такі висновки:

- сталевібробетон суттєво відрізняється від залізобетону тим, що, починаючи з певної межі коефіцієнтів об'ємного армування, фібри не сприймають внутрішніх зусиль, проте завдяки силам зчеплення зв'язують бетонну матрицю і гальмують розвиток в ній мікротріщин;
- при однакових коефіцієнтах армування ефективнішими є тонкі фібри, тому що при цьому зменшується критична відстань між їх центрами, а отже і ймовірність утворення тріщин.

Фібра буде ефективною в полі розтягувальних напружень, якщо забезпечене її зчеплення і замування в бетоні. Сили зчеплення зростають при збільшенні довжини фібр.

З іншого боку, збільшення довжини фібр може спричинити утворення грудок в процесі приготування сталевібробетонної суміші. Тому, в цьому випадку, частки армування повинні бути зменшені. Ефективнішим виявляється не збільшувати довжину фібр, а збільшувати відсоток армування, забезпечивши при цьому надійне зчеплення за рахунок анкерів на кінцях фібр або за рахунок періодичності їх профілю [1-3].

Друга стадія роботи сталевібробетону на ділянці АБ (див. рис. 1) характеризується розвитком мікротріщин.

Розглянемо схему передачі зусилля висмикування N зі стержня періодичного профілю на бетон (рис. 3).

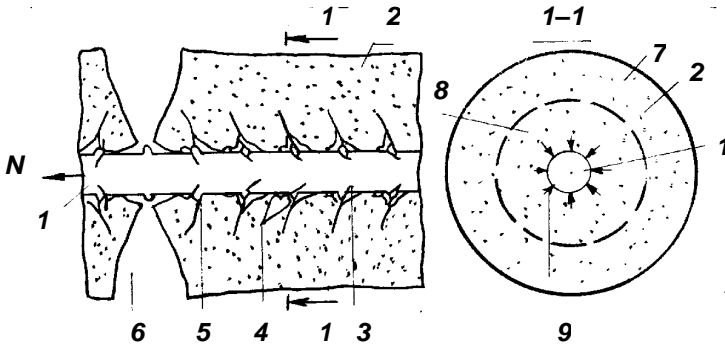


Рис. 3. Схема передачі зусилля висмикування N зі стержня періодичного профілю на бетон: 1 - стержень; 2 - бетон; 3 - зусилля, що передається зі стержня на бетон; 4 - реактивні зусилля, що передаються з бетону на стержень, та їх компоненти; 5 - внутрішні тріщини; 6 - первинні тріщини; 7 - зона без тріщин; 8 - внутрішня зона з тріщинами; 9 - реактивні зусилля розпору

Очевидно, це зусилля передається під кутом до осі стержня. Напруження розпору від сусідніх стержнів або фібр можуть накладатися, викликаючи в бетоні об'ємний стиск. Такі напруження будуть зростати в міру зближення центрів фібр, тобто залежатимуть від відстані S_f між фібрами.

Розвиток мікротріщин викликає збільшення деформацій фібр, які перетинають тріщину, і підвищує об'ємний стиск. За рахунок опору різку при висмикуванні фібр з обтиснутого бетону різко зростає зусилля висмикування. В результаті тріщина стає сильно стиснутою розтягнутими фібрами, що гальмують її розвиток.

Зі збільшенням навантаження бетонна матриця повільно розхитується, опір висмикуванню фібр знижується, внаслідок чого елемент руйнується.

Затримка у розвитку тріщин при зростаючому навантаженні суттєво підвищує кількість енергії деформації, необхідної для руйнування сталевібробетонного зразка.

Прийнявши витрачену енергію на осьовий розтяг сталевібробетону і бетону і відповідно на розтяг при згині за міру в'язкості, за площами діаграм під кривими "навантаження-деформації" визначено зростання в'язкості сталевібробетону у порівнянні з бетоном. В'язкість сталевібробетону приблизно в 10...12 разів більша за в'язкість бетону та залізобетону.

Сталеві фібри, перетинаючи магістральну тріщину, сприяють стабілізації досягнутого рівня тріщиноутворення і стримують деформації повзучості стиснутої зони сталевібробетонного елемента. Завдяки цьому жорсткість згинального сталевібробетонного елемента знижується повільніше за жорсткість такого ж залізобетонного.

Робота сталевібробетону на стиск є менш вираженою, ніж на розтяг. Проте опір сталевібробетонного зразка при стисканні на 20...30 % перевищує опір такого ж бетонного. Пояснюється це стримуючою дією фібр у розвитковій розтягувальних напружень на площинках, перпендикулярних до лінії дії стискувальної сили [1, 4].

Висновки.

1. Сталевібробетон суттєво відрізняється від залізобетону тим, що, починаючи з певної межі коефіцієнтів об'ємного армування, фібри не сприймають внутрішніх зусиль, проте завдяки силам зчеплення зв'язують бетонну матрицю і гальмують розвиток в ній мікротріщин.

2. Доведено, що при однакових коефіцієнтах армування ефективнішими є тонкі фібри, тому що при цьому зменшується критична відстань між їх центрами, а отже і ймовірність утворення тріщин.

3. Чисельні дослідження показують, що для сповільнення розвитку тріщин у сталевібробетоні більш ефективним є підвищення відсотку фібрового армування, ніж збільшення довжини фібр.

4. На основі досліджень визначено, що тріщини в сталевібробетоні з'являються при напруженнях значно вищих за межу міцності бетону матриці на розтяг.

5. Опір сталевібробетонного зразка при стисканні на 20...30 % перевищує опір такого ж бетонного.

References

1. Sunak P.O., Sunak O.P. Ocinyuvannya nadijnosti stalefibrobetonnyx elementiv. Monografiya // P.O. Sunak, O.P. Sunak. - Lutsk: LDTU, 2001. – 142 s.

2. Krichevskij S. A. Prochnost', deformativnost' i treshhinostojkost' torkretstalefibrobetonnyh pokrytij zhelezobetonnyh balok: Diss... kandidata tehniceskikh nauk. – Kiev, 1996. – 152 s.
3. Sunak P. O. Doslidzhennya metodiv vy`znachennya nadijnosti pozacentrovo sty`snuty`x stalefibrobetonny`x elementiv / P. O. Sunak, S. V. Synii, Y.A. Melnyk, B.O. Parasiyk // Suchasni tehnologii ta metody` rozrahunkiv u budivny`cztvi: zb. nauk. pracz` – Lucz`k: Lutsky`j NTU, 2017. – Vyp. 7. - S. 245-251.
4. Semenyuk S. D. Prochnost' i deformativnost' izgibaemyh zhelezobetonnyh jelementov, usilennyh narashhivaniem szhatoj zony, pri staticheskom i malociklovom nagruzenijah: monografija / S. D. Semenyuk, Yu. G. Moskalkova. - Mogilev: Belarus.-Ros. un-t, 2017. - 274 s.
5. Sunak O. P. Prochnost, treshhinostojkost i deformativnost normalnyh sechenij izgibaemyh kombinirovano armirovannyh stalefibrobetonnyh jelementov: Dissertacija na soiskanie nauchnoj stepeni kandidata tehniceskikh nauk: 05.23.01. - Kiev, 1986. – 175 s.
6. Zjatjuk Ju. Ju. Issledovanie deformatsionnyh harakteristik fibrobeta so stal'noj fibroj / Ju. Ju. Zjatjuk // Vesnik Belorussko-Rossiskogo universiteta, UPKP MJEUP - №3 (52) Mogilev – 2016. – S. 160-168.
7. Lysenko E. F., Getun G. V. Proektirovanie stalefibrobetonnyh konstrukcij // E. F. Lysenko, G. V. Getun. - Kiev, 1989. – 184 s.
8. Sunak P. O. Issledovanie izmenchivosti kubikovej prochnosti stalefibrobeta / P. O. Sunak, S. V. Synii, O. P. Sunak, Y.A. Melnyk // Stroitel'stvo i vosstanovlenie iskusstvennyh sooruzhenij: materialy IV Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. V 2 ch. Ch. 1 (Gomel', BelGUT, 23-24 aprelja 2015 g.). – Gomel': BelGUT, 2015. – S. 61-65.
9. Sunak P. O. Ocinyuvannya nadijnosti stalefibrobetonny`x elementiv: Dy`sertaciya na zdobuttya naukovogo stupenya kandy`data texnichny`x nauk: 05.23.01. - Lviv, 2001. – 154 s.
10. Solomin V.I. Dissertacija na soiskanie nauchnoj stepeni kandidata tehniceskikh nauk: 05.23.01. - Kiev, 1979. – 140 s.
11. Sopil'njak A.V. Naprjazhenno-deformirovanoe sostojanie izgibaemyh zhelezobetonnyh kombinirovano armirovannyh elementov pri kratkovremennom i dlitel'nom dejstvii nagruzki: Dissertacija na soiskanie nauchnoj stepeni kandidata tehniceskikh nauk: 05.23.01. - Kiev, 1983. – 150 s.
12. Jezenshmidt R. O. Deformativnost' izgibaemyh stalefibrobetonnyh balok, imejushhiih fibrovoe i kombinirovanoe armirovanie pri dlitel'nom dejstvii nagruzki: Dissertacija na soiskanie nauchnoj stepeni kandidata tehniceskikh nauk: 05.23.01. - Riga, RPI, 1983. – 168 s.
13. Babych E. M., Andriichuk O. V. Strength of Elements with Annular Cross Sections Made of Steel-fiber-Reinforced Concrete Under One-Time. Materials Science (New York). 2017, 52(4), P. 509-513.
14. Andriichuk O., Babich V., Yasyuk I., Uzhehov S. The influence of repeated loading on work of the steel fiber concrete drainage trays and pipes on the roads. MATEC Web Conf. 2017. Vol. 116, 02001.

Список використаної літератури

1. Сунак П.О., Сунак О.П. Оцінювання надійності сталевібробетонних елементів. Монографія // П.О. Сунак, О.П. Сунак. - Луцьк: ЛДТУ, 2001. – 142 с.

2. Кричевский С. А. Прочность, деформативность и трещиностойкость торкретсталефибробетонных покрытий железобетонных балок: Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук. – Киев, 1996. – 152 с.

3. Сунак П. О. Дослідження методів визначення надійності позацентрово стиснутих сталефибробетонних елементів / П. О. Сунак, С. В. Синій, Ю. А. Мельник, Б. О. Парасюк // Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві: зб. наук. праць – Луцьк: Луцький НТУ, 2017. – Вип. 7. - С. 245-251.

4. Семенюк С. Д. Прочность и деформативность изгибаемых железобетонных элементов, усиленных наращиванием сжатой зоны, при статическом и малоцикловом нагружении: монография / С. Д. Семенюк, Ю. Г. Москалькова. - Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2017. - 274 с.

5. Сунак О. П. Прочность, трещиностойкость и деформативность нормальных сечений изгибаемых комбинированно армированных сталефибробетонных элементов: Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук: 05.23.01. - Киев, 1986. – 175 с.

6. Зятюк Ю. Ю. Исследование деформационных характеристик фибробетона со стальной фиброй / Ю. Ю. Зятюк // Весник Белорусско-Российского университета, УПКП МЭУП - №3 (52) Могилев – 2016. – С. 160-168.

7. Лысенко Е. Ф., Гетун Г. В. Проектирование сталефибробетонных конструкций // Е. Ф. Лысенко, Г. В. Гетун. Киев, 1989. – 184 с.

8. Сунак П. О. Исследование изменчивости кубиковой прочности сталефибробетона / П. О. Сунак, С. В. Синий, О. П. Сунак, Ю. А. Мельник // Строительство и восстановление искусственных сооружений: материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. В 2 ч. Ч. 1 (Гомель, БелГУТ, 23-24 апреля 2015 г.). – Гомель: БелГУТ, 2015. – С. 61-65.

9. Сунак П. О. Оцінювання надійності сталефібробетонних елементів: Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук: 05.23.01. - Львів, 2001. – 154 с.

10. Соломин В.И. Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук: 05.23.01. - Киев, 1979. – 140 с.

11. Сопильняк А.В. Напряженно-деформированное состояние изгибаемых железобетонных комбинированно армированных элементов при кратковременном и длительном действии нагрузки: Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук: 05.23.01. - Киев, 1983. – 150 с.

12. Эйзеншмидт Р. О. Деформативность изгибаемых сталефибробетонных балок, имеющих фибровое и комбинированное армирование при длительном действии нагрузки: Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук: 05.23.01. - Рига, РПИ, 1983. – 168 с.

13. Babych E. M., Andriichuk O. V. Strength of Elements with Annular Cross Sections Made of Steel-fiber-Reinforced Concrete Under One-Time. Materials Science (New York). 2017, 52(4), P. 509-513.

14. Andriichuk O., Babich V., Yasyuk I., Uzhehov S. The influence of repeated loading on work of the steel fiber concrete drainage trays and pipes on the roads. МАТЕС Web Conf. 2017. Vol. 116, 02001.