

СУЧАСНИЙ ДОСВІД ЗАСТОСУВАННЯ ТУНЕЛЬНИХ ОПРАВ З ФІБРОБЕТОНУ

*Токар В.С., ст. гр. ДМ-41-20,
Науковий керівник: к.т.н., доц. каф. МКіБМ Смолянук Н.В.
Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

Фібробетон на теперішній час є одним з найбільш перспективних будівельних матеріалів. Він відноситься до нового покоління бетонів, які з'явилися в результаті розвитку інноваційних технологій, що поступово приходять на заміну вже існуючим видам. Фібробетон – це різновид цементного мілкозернистого бетону, в якому рівномірно розподілені фіброволокна, які виконують функцію армуючого компонента (рис.1).



Рисунок 1 - Фібробетон

Засновником технології набризк-бетонування прийнято вважати американського винахідника Карла Ітена Ейкелі, який розробив пристрій для нанесення штукатурки (цементного розчину), який надходить під тиском стисненого повітря у вигляді сухої суміші по шлангу до сопла, де суха суміш змішується з водою, що подається по іншому шлангу. Вперше ця технологія була застосована в 1907 року під час ремонту фасаду Музею в Чикаго, де працював Ейкелі. З тих пір технологія набризк бетонування в будівництві розвивалася і продовжує розвиватися вже понад 100 років. Розширилися також і сфери її

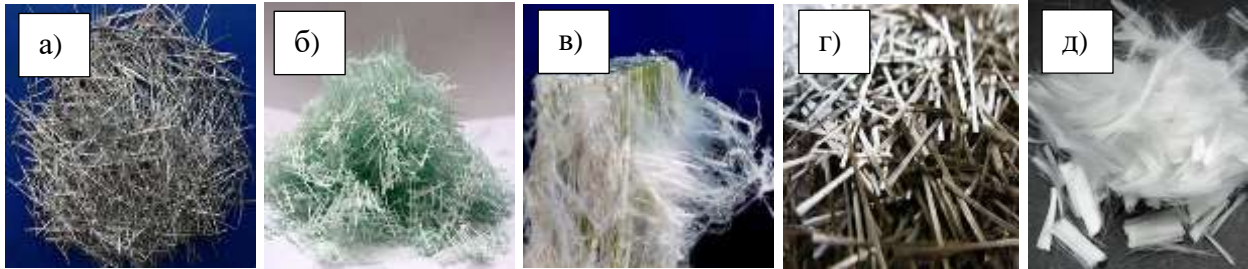
застосування. Набризкбетон показав свою ефективність при будівництві, реконструкції та ремонті цивільних і промислових будівель та споруд, берегоукріплювальних та інших морських споруд, гідротехнічних споруд, гірничих виробок промислового призначення, транспортних тунелів, мостів та інших споруд. Таке поширення пов'язане з тим, що застосування фібри в бетоні забезпечує бетону вищі показники за такими характеристиками як міцність на розтягування, вигин, зріз, ударну та втомну міцність, тріщиностійкість, морозостійкість, водонепроникність, жароміцність та пожежостійкість. Ці властивості сприяють можливості виділити фібробетони у незалежну групу конструкційних матеріалів [1].

Фібра представляє собою матеріал у вигляді відрізків ниток або вузьких смуг органічного чи неорганічного походження. Механічні характеристики фібробетону залежать від кількості та схеми розташування фібр у розчині (рис.2). У якості фібр застосовуються металеві та неметалічні нитки різної довжини та перерізу. У конструкційному відношенні найбільший ефект отримують від використання сталевих волокон, модуль деформативності яких у 6 разів вищий показників бетону. Застосування поліпропілену дозволяє на 60-90% скоротити ризик тріщиноутворення під час пластичної усадки сумішей. Склофібра відрізняється низькою лугостійкістю і використовується тільки для попереднього армування при виготовленні виробів із гіпсу або стінових блоків із пористих бетонів. Базальтова фібра стійка до лужних процесів. Модуль пружності на 15-20% вище, ніж у волокон зі скла. Азбестові волокна нейтральні до агресивного впливу цементів, їх характеризує висока міцність та вогнестійкість.

Раціональний вибір добавок для армування бетону дозволяє отримати конструктивні елементи, які мають стійкість до механічних навантажень. Введення в бетон модифікаторів у вигляді фібр сприяє підвищенню експлуатаційних та робочих характеристик.

У тунелебудівній галузі фібронабризкбетон використовується майже 40

років. Вперше набризкбетон армований фіброю застосували при будівництві гідротехнічного тунелю (штольні) водосховища Райрі у штаті Айдахо, США у 1973 р.



а – сталеве волокно; б - скловолокно; в – азбестове волокно;
г – базальтова фібра; д – поліпропіленове волокно

Рисунок 2 – Види фібрових волокон

В теперішній час фібробетон широко застосовуються для виготовлення збірних блоків тунельних оправ, які споруджуються щитовим способом, монолітних оправ гірських тунелів і оправ, що споруджуються методом набризку.

Одним з перспективних напрямків у тунелебудуванні є виготовлення збірних високоточних блоків із застосуванням фібробетонів, при цьому, залежно від умов спорудження та експлуатації конструкції, можливе армування блоків тільки фіброю (фібробетонні блоки), або комбіноване армування (фіброзалізобетонні блоки). Техніко-економічна ефективність таких блоків досягається за рахунок значного зниження трудовитрат при виготовленні арматурних каркасів. У фібробетонних блоків вони відсутні, у фіброзалізобетонних блоках каркаси мають полегшену конструкцію [2].

Значний досвід спорудження тунелів з блоковою оправою накопичений у світі з 80-х років 20 сторіччя. Так, з 1989 по 2016 роки щитовим способом із застосуванням фібробетонних та фіброзалізобетонних високоточних блоків було збудовано 36 тунелів комунального призначення (каналізація, водопостачання,

енергопостачання тощо) та 39 тунелів транспортного призначення (метро, залізниці, автомобільні дороги). Аналіз даних показує, що в 71% випадків при будівництві тунелів застосовувалися фібробетонні блоки без додаткового стрижневого армування.

На наведених діаграмах (рис.3) видно, що при розгляді застосування фібробетонних та фіброзалізобетонних блоків в залежності від діаметрів тунелів видно, що найбільша кількість побудованих тунелів з фібробетонних блоків (51%) мають діаметри 4-8 м. При застосуванні фіброзалізобетонних блоків найбільшу кількість тунелів (86%) мають діаметри понад 4 м.

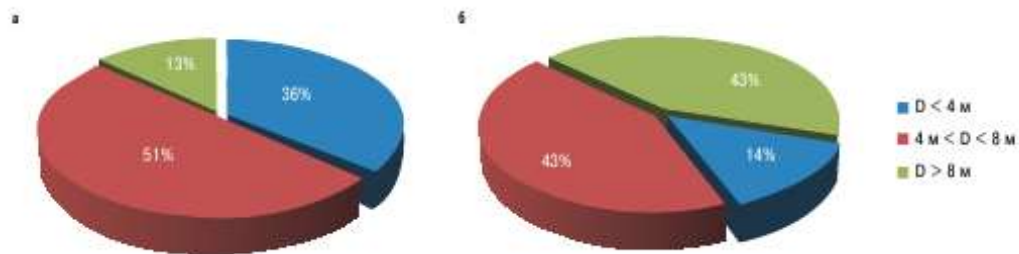


Рисунок 3 – Діаграми залежності застосування фібробетонних та фіброзалізобетонних блоків в залежності від діаметрів тунелів

Але найбільше застосування фібробетон отримав при набризк-бетонній технології кріплення виробок (рис.4). В наш час фібронабризкбетон застосовується при будівництві та ремонті тунелів для створення тимчасових кріплень, стабілізації лоба забою, зведення постійної оправи тунелю, відновлення та посилення існуючої оправи [3].

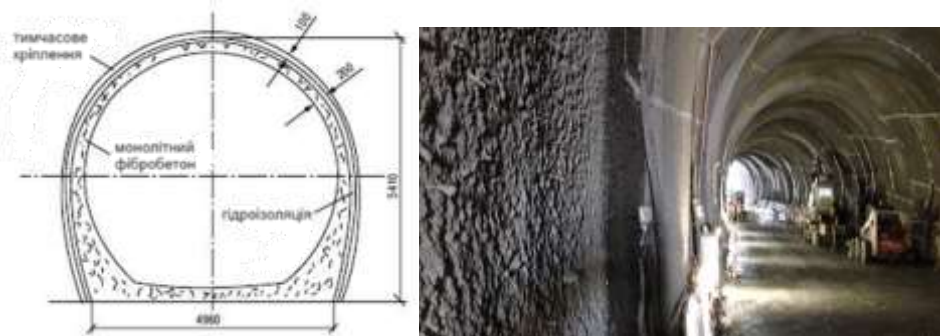


Рисунок 4 – Фібробетонне кріплення виробок (набризк-бетонування)

До нещодавно найбільше поширення мав армований бетон зі сталевією фіброю. При цьому геометрія та розміри фібр оптимізовані з урахуванням технологічних вимог і максимально можливого включення фібрової арматури в роботу. Застосування високоякісних сталей при виробництві фібрової арматури дозволяє вирішувати проблеми зниження або повного виключення стрижневого армування конструкції при витратах фібрової арматури менше 1%. Зараз науковці займаються дослідженнями одночасного використання довгих і коротких сталевих волокон, які базуються на механізмі руйнування у бетонній суміші. Спочатку в бетоні утворюються тріщини під дією розтягувального навантаження, з його збільшенням ці мікротріщини розростаються, об'єднуються, утворюючи більші тріщини і спричиняючи руйнування бетону. На рисунку 5 показано ефективність коротких і довгих волокон у мікро- і макротріщинах відповідно.

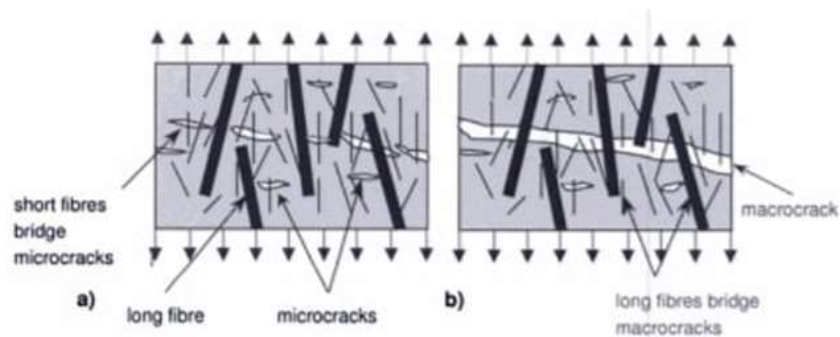


Рисунок 5 – Розташування довгих і коротких сталевих фібр при утворенні тріщин в бетоні

Окрім сталевієї фібри в тунелебудівництві широке застосування має полімер-армований фібробетон [4]. Зокрема, з полімер-армованого фібробетону виконано облицювання окремих ділянок тунелю, що є частиною високошвидкісної залізниці, що сполучає Великобританію та Францію через Ла-Манш. В даному випадку полімер-армований бетон був обраний, насамперед, через його високу вогнестійкість. Як показав досвід, при високих температурах під час

пожежі (до 1100 ° C у тунелі за перші п'ять хвилин пожежі) традиційна бетонна оправа починає сильно розтріскуватися, що суттєво підвищує ризик катастрофічного обвалення тунелю. Саме розтріскування відбувається у перші 20–30 хвилин пожежі. З огляду на досвід при проектуванні тунелю було встановлено, що додавання 1 кг моноволоконної поліпропіленової фібри до кожного кубічного метра бетону може значно зменшити розтріскування, не впливаючи на міцність бетону та стійкість тунельної оправи. Це пояснюється тим, що поліпропіленове волокно плавиться на ранніх стадіях пожежі і утворює мільйони пустот у бетоні. Ці канали створюють шляхи виходу захопленої водяної пари, що, у свою чергу, знижує поровий тиск і розтягуючі напруження в бетонній оправі тунелю. Отже, за рахунок цього суттєво знижується розтріскування та вірогідність обвалення тунелю.

Підсумовуючи сказане, можна зробити висновок, що сталеві фібробетон є композиційним матеріалом, який широко застосовується як в монолітному будівництві так і в збірних конструкціях тунельних споруд в усьому світі.

Перелік посилань:

1. ДСТУ-Н Б В.2.6-78:2009. Настанова з проектування та виготовлення сталеві фібробетонних конструкцій. – К.: Мінбуд України, 2009. – 63 с.
2. Fiber Concrete Tunnel Lining URL:
3. https://www.researchgate.net/publication/286005531_Fiber_concrete_tunnel_lining
4. Shotcrete, in-situ concrete and lining segments URL: <https://www.krampeharex.com/en/fibres/applications/tunnel-construction/>
5. EN 1992-1-1:2004 Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings. – Brussels: GEN, 2004. – 226 p.