

УДК 691.175:699.8

*Клімов Ю.А., доктор техн. наук, професор, КНУБіА,
Вітковський Ю.А., науковий співробітник, ІВПіМ,
Солдатченко О.С., асп. каф. ЗБіКК, КНУБіА,
м. Київ*

ВИКОРИСТАННЯ НЕМЕТАЛЕВОЇ КОМПОЗИТНОЇ АРМАТУРИ ДЛЯ АРМУВАННЯ БЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ

Залізобетонні конструкції є найбільш поширеними в промисловому, цивільному та гідротехнічному будівництві. Сталева арматура завдяки здатності сприймати великі, в порівнянні з бетоном, розтягувальні зусилля стала основною частиною залізобетонних конструкцій, що працюють на розтяг та на згин. Бетон в свою чергу сприймає стискаючі навантаження на конструкцію та забезпечує довготривале збереження арматури в умовах впливу агресивного навколишнього середовища. Наукові дослідження та багаторічний досвід використання залізобетону показали, що стійкість бетону та його здатність захищати арматуру не завжди є достатніми. В першу чергу це стосується конструкцій, які знаходяться під дією атмосферного впливу або ж контактують з агресивними середовищами. Через відкриті капілярні пори та мікротріщини бетону на поверхню сталевих арматур потрапляють вода, лужні, кислотні, соляні розчини, що призводить до її корозії. Внаслідок процесу корозії часточки металу відшаровуються від поверхні сталевих арматур, що негативно впливає на параметри зчеплення арматури з бетоном і зменшує площу поперечного перерізу арматури, та відповідно і її несучу здатність. Продукти корозії металу збільшують об'єм стрижнів, що викликає появу поперечних напружень по контуру арматури та призводить до відшарування захисного шару бетону, полегшуючи таким чином подальший доступ агресивного середовища до арматури.

Серед пошкоджень залізобетонних конструкцій досить поширеним є руйнування конструкцій шляхопроводів, а саме: відшарування захисного шару бетону торців тротуарних блоків (див. рис. 1) і зруйнування омоноличених стиків збірних конструкцій (див. рис. 2)



Рисунок 1 - Руйнування торців тротуарних блоків шляхопроводу



Рисунок 2 - Корозія арматури та руйнування захисного шару бетону опори шляхопроводу

При несвоєчасному проведенні ремонтно-відновлювальних робіт відбувається часткове або повне зруйнування як окремих елементів, так відповідальних несучих конструкцій шляхопроводів (див. рис. 3).



Рисунок 3 - Повне зруйнування тротуарної частини шляхопроводу

Сучасні методи захисту арматури (введення інгібіторів корозії металу в бетонну суміш) та підвищення щільності бетону залізобетонних конструкцій шляхом введення поверхнево-активних речовин в бетонну суміш або нанесенням на поверхню бетону ізоляційних матеріалів не завжди гарантують збереження механічних властивостей арматури.

В сучасній світовій практиці поряд з традиційною металевою арматурою все більш широке застосування знаходить композитна неметалева арматура, яка застосовується в конструкціях, що експлуатуються в умовах агресивного середовища.

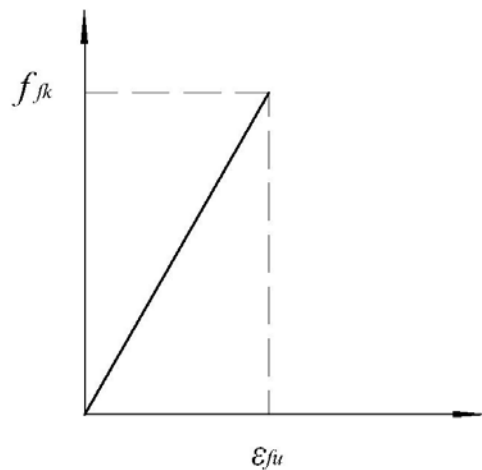
Композитна неметалева арматура являє собою жмуток тонких волокон діаметром 14...16 мкм, змащених в'язучою термореактивною смолою (пластиком). Композитна арматура виробляється за методом пултрузії – протяжкою змащених в'язучим волокон через формоутворюючу філь'єру або методом нідлтрузії – такою ж протяжкою але без використання фільєр.

Фізико-механічні характеристики неметалевої композитної арматури залежать від виду волокон основи, виду в'язучого та процентного співвідношення волокно - в'язуче. Оптимальним є співвідношення: 75% волокна і 25% в'язучого. Для застосування найбільш поширеними є волокна арамиду, базальту, вуглецю і скла [1, 2]. Щільність неметалевої композитної арматури на основі найбільш розповсюджених матеріалів наведена у таблиці 1.

Таблиця 1 - Щільність найбільш поширених видів неметалевої арматури

Показник	Тип волокна			
	Арамід	Базальт	Вуглець	Скло
ρ , г/см ³	1,25 ... 1,40	1,80...2,20	1,50 ... 1,60	1,25 ... 2,10

При повздовжньому розтягу стрижнів неметалевої композитної арматури спостерігається непластичність з лінійною залежністю напруження деформації, яка супроводжується крихким руйнуванням зразків. Принциповий графік залежності напруження-деформації наведено на рисунку 4.

**Рисунок 4** - Принциповий графік залежності напруження-деформації

В таблиці 2 наведено показники механічних властивостей найбільш поширених видів неметалевої композитної арматури згідно з даними в [1, 2].

Таблиця 2 - Механічні властивості найбільш поширених видів композитної арматури

Показник механічних властивостей	Тип основи			
	Арамід	Базальт	Вуглець	Скло
f_{fk} , Н/мм ²	1000...2500	800...2000	600...35000	480...1600
f_{fc} , Н/мм ²	340...500	-	470...2880	260...880
$E_f \cdot 10^{-4}$, Н/мм ²	4,0...12,5	3,5...8,0	10,0...58,0	3,5...6,0
ϵ_{fu} , %	2,0...4,2	1,8...3,2	0,5...1,7	1,2...3,7

Періодичний профіль поперечного перерізу формується шляхом спіральної обмотки стрижня із вдавлюванням джгута у тіло стрижня або без вдавлювання джгута (див. рис. 5).

Неметалева композитна арматура знайшла своє застосування при армуванні бетонних конструкцій і елементів дорожнього будівництва, виробів сантехнічного призначення, конструкціях для укріплення морських споруд та в спорудах медичного призначення. Композитна арматура добре зарекомендувала себе в бетонах на шлакопортландцементі, пуццолановому цементі, зі змішаними в'язучими з високим вмістом активних мінеральних добавок, а також в бетонах із хлоридовмістовними протиморозними добавками.



Рисунок 5 - Види періодичного профілю неметалевої композитної арматури:

а - спіральна намотка стрижня із вдавлюванням джута в тіло стрижня;

б – спіральна намотка стрижня без вдавлювання джута в тіло стрижня

Світовий досвід використання композитної арматури описано в багатьох збірниках і у рекомендаціях щодо проектування та конструювання у США [1], Канаді [3], Японії [4], Італії [5].

У США [1] стає повсюдним використання арматури на основі склоровінгу при спорудженні прибудов до лікарняної палати для магнітної резонансної томографії. Також композитна арматура стала стандартним рішенням в таких галузях індустрії, як портові споруди, верхня сітка арматури для мостових настилів, різні заводські армовані бетонні вироби, орнаментний і архітектурний бетон. Будівництво таких проектів, як будівля GondaBuilding клініки Мауо в місті Рочестер штату Міннесота, Національний інститут охорони здоров'я в місті Бетесда штату Меріленд, міст в м. Поттер Каунти штату Техас, а також міст в м. Беттендорф штату Айова не обійшлися без використання композитної арматури.

Арматура на основі склоровінгу була використана при будівництві бетонного мосту довжиною 13,8 м, що перекриває ріку Беаркрік в м. Морисон штату Колорадо (США). В цій споруді композитна арматура використовувалася в опорах, похилих крилах стін, парапетах і зігнутій монолітній бетонній арці, а в дорожньому настилі мосту також була використана арматура на основі склоровінгу.

Із застосуванням арматури на основі склоровінгу фірми Pultrall (Канада) побудований міст, який перекриває шосе №65 в Графстві Ньютон штату Індіана (США). Міст складається з трьох прольотів довжиною 58 м, шириною 10,5 м із підсиленням бетонним полотном, яке знаходиться вгорі двотаврових сталевих балок на бетонних опорах. Бетонна плита завтовшки 200 мм в нижній частині армована сталевую арматурою з епоксидним покриттям. Верхня частина плити в зоні можливого контакту із солями армована в поперечному і повздовжньому напрямках композитною арматурою у відповідності з розрахунком [3].

В середині 90-х років в Японії вже налічувалося більше 100 комерційних проектів із застосуванням неметалевої композитної арматури. Детальна інформація щодо армування композитною арматурою була включена в рекомендації по проектуванню і спорудженню [4].

В Азії Китай став видатним споживачем композитної арматури, використовуючи її в нових конструкціях, починаючи від мостових настилів до проведення підземних робіт.

Використання композитної арматури в Європі почалося 1986 року в Німеччині з будівництва автодорожнього мосту, після чого були запуснені широкомасштабні програми по дослідженню і використанню композитної арматури. У рамках європейського проекту BRITE/EURAM Project “Елементи з волоконних композитів і технологія застосування неметалевої арматури” в 1991-1996 роках були проведені випробування та аналіз композитних матеріалів. Пізніше компанія EUROCRETE очолила європейську програму досліджень і демонстраційних проектів.

Використання арматури із скловолокна для бетонної стіни, що будується услід за тунелепрохідною машиною при проведенні тунельних робіт отримало широке застосування при спорудженні безлічі найбільших метрополітенів світу: Бангкок, Гонконг, Нью-Делі, Лондон, Берлін.

В останні роки в Україні освоєно виробництво неметалевої композитної арматури. Фірма “ТОВ Технобазальт-Інвест” виробляє неметалеву композитну арматуру на основі базальтового ровінгу, а фірма “ТОВ ТГ Екіпаж” - на основі базальтового і склоровінгів. Загальний вигляд стрижнів композитної арматури наведено на рис. 6.

На даний момент проведено комплекс направлених випробувань механічних властивостей композитної арматури на розтяг, стиск і зріз, випробування на зчеплення арматури з бетоном та випробування на міцність, тріщиностійкість і деформативність конструкцій. Отримані дані були застосовані при написанні першої редакції ДСТУ по проектуванню та виготовленню бетонних конструкцій з неметалевою композитною арматурою на основі базальтового і склоровінгу.



Рисунок 6 - Неметалева композитна арматура на основі базальтового і склоровінгу

Висновки. Завдяки високим механічним властивостям, корозійній стійкості, дімагнетичності, діелектричності і малій теплопровідності композитна арматура на основі базальтового і склоровінгу є перспективним матеріалом для армування бетонних елементів і конструкцій, які знаходяться під дією агресивних середовищ.

ЛІТЕРАТУРА

1. ACI 440.1R-06 “Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with FRP Bars” — ACI Committee 440, American Concrete Institute, 2006. — 44 p.
2. FIB Bulletin 40: FRP reinforcement in RC structures. – International Federation for Structural Concrete 2007. – 160 p.
3. CAN/CSA-S806-02, “Design and Construction of Building Components with Fiber-Reinforced Polymers”, Canadian Standards Association, Toronto, Ontario, Canada, (May 2002), 187 p.
4. Japan Society of Civil Engineers (JSCE) 1997 “Recommendation for Design and Construction of Concrete Structures Using Continuous Fiber Reinforced Materials,” Concrete Engineering Series 23, ed. by A. Machida, Research Committee on Continuous Fiber Reinforcing Materials, Tokyo, Japan, 325 p.
5. CNR-DT 203/2006 - “Guide for the Design and Construction of Concrete Structures Reinforced with Fiber-Reinforced Polymer Bars”.