

МІЦНІСТЬ КОМПОЗИТУ ЯК ФУНКЦІЯ ВЗАЄМОДІЇ ЇЇ КОМПОНЕНТІВ У ЗОНІ КОНТАКТУ

Владислав ГЛУХОВСЬКИЙ,

к.т.н., доцент

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,

svscomp@ukr.net

Анотація Бетон, який представляє собою композиційний гетерогенний матеріал, характеризується наявністю таких структурних параметрів як технологічні тріщини та залишкові деформації, які виникають у період отримання самого матеріалу при формуванні та подальшому твердненні. У зв'язку з чим, основною причиною руйнування таких матеріалів є незворотне зростання технологічних тріщин до тріщин руйнування або магістральних. У зв'язку з чим, вирішення проблеми підвищення міцності бетонів з урахуванням несприятливого впливу навколишнього середовища є виправданим та практично необхідним. [1]. Дисперсне армування зменшує розмір об'ємних деформацій бетону в початковий період твердіння, причому його вплив тим більше, чим вище концентрація волокна в цементній матриці.

Предметом дослідження є вивчення залежності експлуатаційних властивостей композицій на основі неорганічних в'язучих та мінеральних волокон від процесів хімічної взаємодії у зоні контакту між новоутвореннями твердіючого неорганічного в'язучого та армуючим компонентом з використанням модельних систем

У якості об'єктів дослідження використані склоцементні композиції на основі армуючих компонентів зі стекл різної гідролітичної стійкості та матриць на основі неорганічних в'язучих.

Ключові слова: дисперсно-армовані композиційні матеріали, скляні волокна, скляні штапики, міцність на розтяг при згині, портландцемент, глиноземистий цемент, будівельний гіпс, гіпсове в'язуче α -модифікації.

Abstract: Concrete is a composite heterogeneous material. It is characterized by the presence of such structural parameters as technological cracks and residual deformations that arise during the period of obtaining the material itself during molding and subsequent hardening. In this regard, the main cause of the destruction of such materials is the irreversible growth of technological cracks to fracture or main cracks. In this regard, solving the problem of increasing the strength of concrete taking into account the adverse effects of the environment is justified and practically necessary. [1]. Dispersed reinforcement reduces the size of volumetric deformations of concrete in the initial period of hardening, and its effect is greater the higher the concentration of fiber in the cement matrix.

The subject of the research is the study of the dependence of the operational properties of compositions based on inorganic binders and mineral fibers on the processes of chemical interaction in the contact zone between new formations of a hardening inorganic binder and a reinforcing component using model systems.

Glass-cement compositions based on reinforcing components from glasses of different hydrolytic resistance and matrices based on inorganic binders were used as research objects.

Key words: dispersion-reinforced composite materials, glass fibers, glass beads, flexural tensile strength, Portland cement, alumina cement, construction gypsum, α -modified gypsum binder.

Найбільш широко використовуваним композиційним матеріалом на основі портландцементу є бетон. Беручи до уваги експлуатаційні характеристики будівель та споруд на основі портландцементного бетону, протягом усього їх життєвого циклу, бетон забезпечує значні переваги у плані стійкості порівняно з іншими будівельними матеріалами завдяки своїм внутрішнім властивостям, таким як міцність, довговічність, стійкість до екстремальних погодних умов та техногенних подій. Крім того, цього конструкційного матеріалу достатньо, він доступний за ціною, доступний на місцевому рівні і може використовуватися незліченними способами [2].

У той же час, одним із недоліків конструкцій на основі бетону, є їхня висока матеріалоємність, яка компенсує крихкість цього композиту та його низьку міцність при розтягу, що досягається використанням металевої арматури.

У разі, коли необхідно створити тонкостінну конструкцію, спосіб армування виробів металевою арматурою не підходить, що зумовлює необхідність використання у якості армуючого компонента тонких дисперсних волокон різного хімічного складу. Але якщо армуючий компонент вводиться з метою підвищення міцності композицій при розтягу, дисперсні волокна які використовуються, повинні мати модуль пружності вище, ніж модуль пружності матеріалу матриці. До таких волокон відноситься: хризотил-азбест, скляне волокно, вуглецеві та корундові волокна та відрізки металевого дроту.

Властивості дисперсно-армованих композитів на основі неорганічних в'язучих та тонких мінеральних волокон (діаметром 10...15 мкм) або склоцементних композиційних матеріалів залежать від складу компонентів, марки цементу, водоцементного відношення, щільності цементної матриці, виду та складу волокна, їхній орієнтації і рівномірності розподілу в об'ємі, технологій виробництва та умов експлуатації виробів [3-4].

Метою науково-дослідної роботи є дослідження основних закономірностей формування зони контакту композицій на основі неорганічних в'язучих та мінеральних волокон з використанням модельних систем.

В якості об'єктів дослідження використані склоцементні композиції у яких у якості матеріалу матриці використовувалися портландцемент, гіпсоглиноземистий цемент, гіпсові в'язучі марки Г4 та α - напівгідрат марки Г22. Вибір перерахованих в'язучих як матеріал матриці обумовлений тим, що цементний камінь, одержуваний на основі кожного з них, відрізняється природою лужних оксидів, що створюють лужне середовище, величиною рН цього середовища і складом новоутворень. Гіпсоглиноземистий цемент представлений переважно низькоосновними алюмінатами кальцію, при гідратації яких створюється слаболужне середовище з рН 10 - 11. Портландцемент представлений в основному високоосновними силікатами, алюмінатами і алюмоферитами кальцію, при гідратації яких утворюється лужне середовище з рН 12,5 - 13, значення якого залишається постійною протягом значного періоду. Середовище твердіючого гіпсового в'язучого, незалежно від марки, характеризується нейтральним значенням рН.

В якості модельних систем для вивчення процесу формування зони контакту матеріалу матриці та армуючого компонента у композиціях на основі неорганічних в'язучих були обрані системи, що являють собою зразки-балочки, виготовлені з тіста нормальної густоти неорганічного в'язучого з арматурою у вигляді скляних штапиків. Вибір даного виду армуючого компонента для модельних систем був обумовлений наступними положеннями:

- використання як армуючого компонента «масивного скла», яке на відміну від скляних волокон, практично не змінює своєї міцності при розтягуванні в середовищі в'язучого, що твердіє, дозволило встановити основні закономірності формування міцності композицій з часом без урахування процесів, пов'язаних з корозією тонких скляних волокон;

- використання штапиків із скла різного хімічного складу та з різним значенням гідролітичної стійкості дозволить оцінити залежність характеристик міцності досліджуваних композицій від інтенсивності процесів взаємодії агресивних новоутворень неорганічного в'язучого з поверхнею армуючого компонента;

- добре виражена межа контакту армуючого компонента у модельних системах дозволила провести дослідження з вивчення складу та основних фізико-механічних характеристик новоутворень зони контакту армуючий компонент – матриця;

- суттєва відмінність значень температурного коефіцієнта лінійного розширення (ТКЛР) для скла С90-1 ($0,97 \cdot 10^{-5}$ град. $^{-1}$) та С52-1 ($0,52 \cdot 10^{-5}$ град. $^{-1}$) дозволило визначити вплив цього параметру на формування міцності композиції при тепловологій обробці з урахуванням того, що ТКЛР матеріалу матриці становив $1,02 \cdot 10^{-5}$ град. $^{-1}$, тобто близький до аналогічної показника скла С90-1 і майже 2 рази відрізнявся від ТКЛР скла С52-1.

Результати визначення гідролітичного класу скляних штапиків, які використовувалися при дослідженні основних закономірностей формування структури композицій та їхнє позначення у тексті представлені у таблиці 1.

Таблиця 1 - Гідролітичний клас скляних штапиків та їхнє позначення у тексті

Армуючий компонент	Гідролітичний клас скла армуючого компоненту	Позначення армуючого компоненту у тексті
Скло марки С90-1	ІІІ – тверді апаратні стекла	Ст1
Скло марки С52-1	І – стекла, що не змінюються водою	Ст2

Кінетика зміни межі міцності при згині ($R_{зг}$) модельних композицій на основі портландцементу та армуючого компонента Ст1, що тверділи у воді, представлена на рисунку 1.

Представлені результати показують, що у разі використання в якості армуючого компонента скла з низьким рівнем гідролітичної стійкості рівень міцності композиції постійно збільшується. У віці 28 діб максимальне значення цього показника становить 28,8 – 29,3 МПа (при $\mu = 30 - 35\%$), а у віці 720 діб водного твердіння становить 66,2 – 66,4 МПа (при $\mu = 30 - 45\%$).

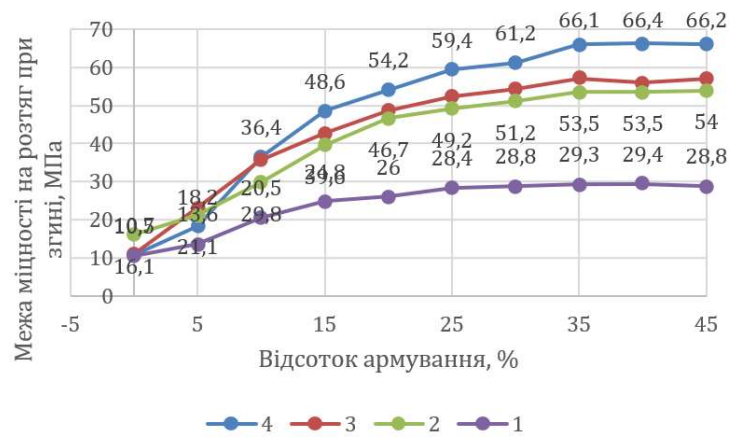


Рисунок 1 – Залежність межі міцності на розтяг при згинанні композицій на основі портландцементу з армуючим компонентом Ст1 від відсотка армування при їх твердінні у воді протягом 28 (1), 180 (2), 360 (3) та 720 (4) діб.

Аналогічна композиція, яка тверділа в гідрозатворі (рис. 2), характеризується нижчим кінцевим рівнем міцності, значення якого у віці 720 діб становить 45,9-47,3 МПа (при $\mu = 30-35\%$).

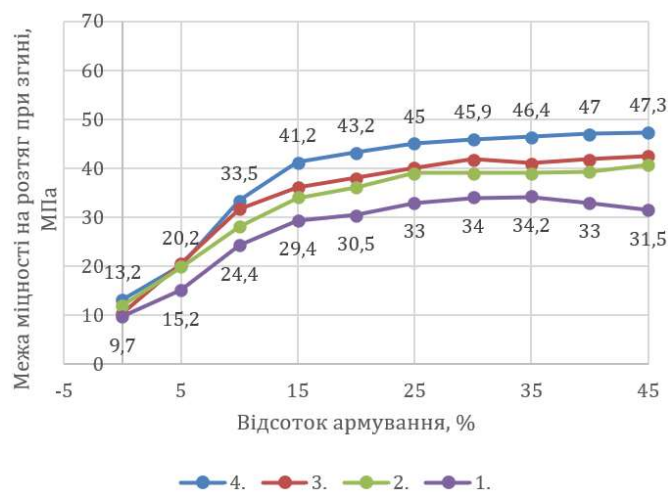


Рисунок 2 - Залежність межі міцності на розтяг при згині композицій на основі портландцементу з армуючим компонентом Ст1 від відсотка армування при їх твердінні в гідрозатворі протягом 28 (1), 180 (2), 360 (3) та 720 (4) діб.

При цьому на рис. 1 виділяється період твердіння композиції від 28 до 180 діб, протягом якого відбувається суттєвий набір міцності композиції з 28,8 – 29,3 МПа до 53,5 – 54 МПа (при $\mu = 30 - 45\%$), тобто. у 1,8 – 1,9 рази. Зростання

міцності за аналогічний період композиції, що тверділа в гідрозатворі (рис. 2), незначний і перевищує аналогічну характеристику у 28 добовому віці в 1,3 рази.

При використанні армуючого компонента Ст2, що характеризується більшою гідролітичною стійкістю, рівень міцності композиції при твердінні у воді (рис. 3) та гідрозатворі (рис. 4) становить відповідно 43,1 і 41,6 МПа через 720 діб твердіння.

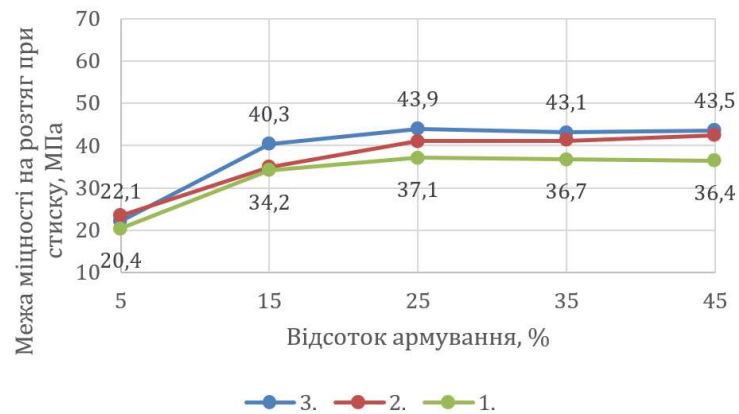


Рисунок 3 – Залежність межі міцності при згині композицій на основі портландцементу та армуючого компонента Ст2 від відсотка армування при їх твердінні у воді протягом 28 (1), 360 (2) та 720 (3) діб

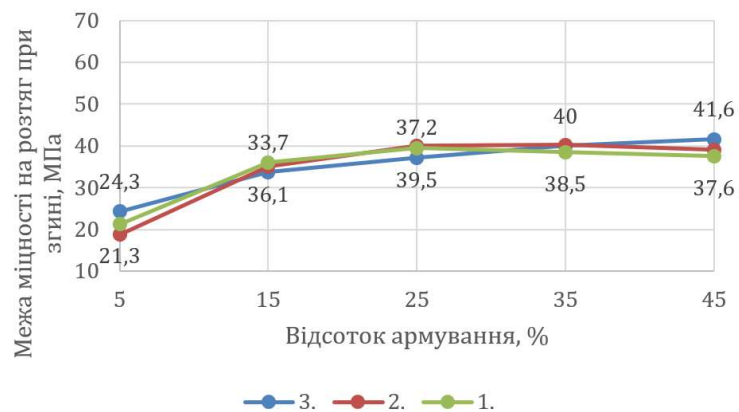


Рисунок 4 - Залежність межі міцності при згині композицій на основі портландцементу і армуючого компонента Ст2 від відсотка армування при їх твердінні в гідрозатворі протягом 28 (1), 360 (2) та 720 (3) діб

Тепловолога обробка при температурі 98⁰С призводить до різкого збільшення межі міцності при згинанні композицій на основі портландцементу і армуючого компонента Ст1 (рис. 5). Відразу після пропарювання максимальний

рівень міцності досліджуваних композицій становить 54,7 – 55,7 МПа (при $\mu = 35 - 45\%$) що незначно відрізняється від рівня міцності композиції у віці 720 діб - 61 МПа (при $\mu = 40 - 45\%$), що вказує на суттєву залежність міцності композицій від умов твердіння.

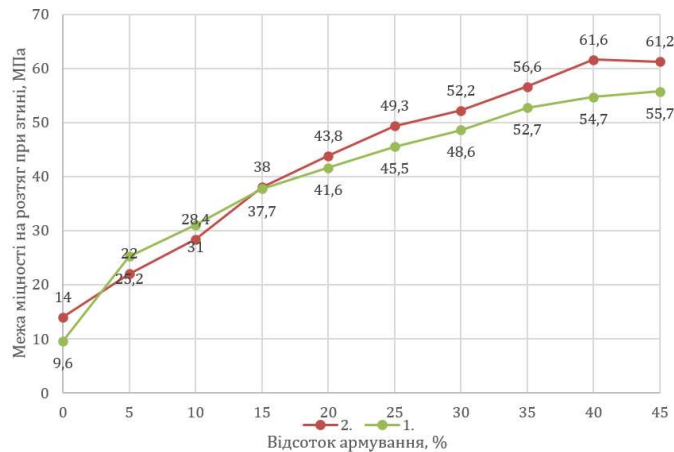


Рисунок 5 – Залежність межі міцності при згинанні композицій на основі портландцементу та армуючого компонента Ст1 від відсотка армування відразу після тепловологої обробки (1), і через 1 рік (2).

При порівнянні рівня міцності досліджуваних композицій після автоклавування при температурі 175⁰С (рис. 6) видно, що досліджуваний показник в даному випадку відрізняється несуттєво. Відразу після пропарювання він становить 55,7 - 60,7 МПа (при $\mu = 35 - 45\%$), а після автоклавування - 52,0 - 55,7 МПа (при $\mu = 40 - 45\%$).

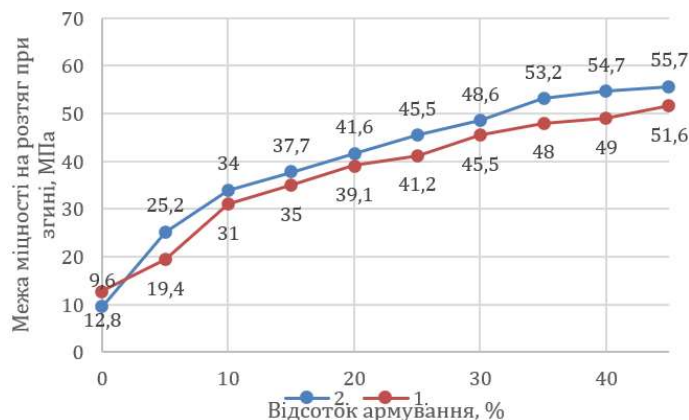


Рисунок 6 – Залежність межі міцності при згинанні композицій на основі портландцементу з армуючим компонентом Ст1 від відсотка армування відразу після тепловологої обробки (2) та після автоклавування (1).

У той же час, у разі використання армуючого компонента Ст2, рівень міцності композицій після тепловологої обробки (рис. 7) не перевищує аналогічний показник для цієї композиції у разі її нормального твердіння у воді і становить 37,1 - 38,2 МПа (при $\mu = 35 - 45\%$). Твердіння досліджуваної композиції в умовах автоклавування призводить до різкого зниження рівня її міцності до 14,8 – 17,9 МПа (при $\mu = 35 - 45\%$), що є наслідком різниці у значенні ТКЛР армуючого компонента Ст2 та матеріалу матриці.



Рисунок 7 – Залежність межі міцності при згинанні композицій на основі портландцементу та армуючого компонента Ст2 від відсотка армування відразу після тепловологої обробки (2) та після автоклавування (1)

При дослідженні кінетики зміни межі міцності при згинанні композицій на основі гіпсоглиноземистого цементу встановлено, що у разі використання армуючого компонента Ст1 при твердінні у воді (рис. 8) максимальний рівень міцності зразків у віці 7 та 28 діб відрізняється незначно і становить 24,6 – 25,5 МПа (при $\mu = 35 - 45\%$).

Після закінчення 360 діб їх твердіння у воді він збільшується до 32,5 - 34 МПа (при $\mu = 35 - 45\%$) і надалі практично не змінюється.

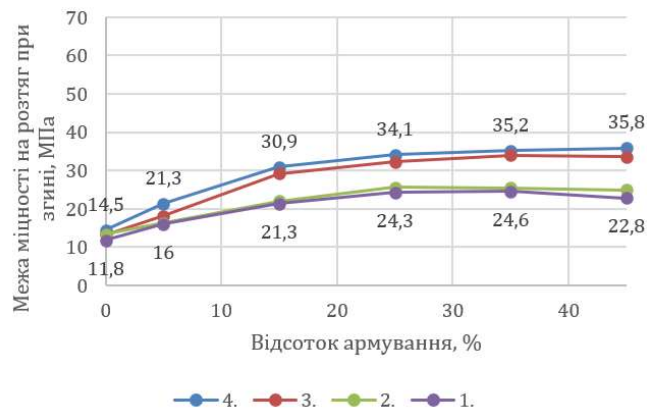


Рисунок 8 – Залежність межі міцності при згинанні композицій на основі гіпсоглиноземистого цементу та армуючого компонента Ст1 від відсотка армування при їх твердінні у воді протягом 7 (1), 28 (2), 360 (3) та 720 (4) діб

Аналогічно відбувається збільшення межі міцності композицій, що тверділи в гідрозатворі (рис. 9) і відрізняється від попередніх композицій тим, що різниця між рівнем міцності у віці 28 та 360 діб ще менша.



Рисунок 9 – Залежність межі міцності при згинанні композицій на основі гіпсоглиноземистого цементу та армуючого компонента Ст2 від відсотка армування після їх твердіння в гідрозатворі протягом 7 (1), 28 (2) та 360 (3) діб.

Порівняння значення межі міцності при згинанні композицій на основі портландського та гіпсоглиноземистого цементів у віці 360 діб (рис. 10) показує, що рівень міцності композицій на основі гіпсоглиноземистого цементу не залежить від гідролітичної стійкості досліджуваного армуючого компонента. Тоді як у разі використання у якості матеріалу матриці портландцементу, рівень

міцності композицій визначається гідролітичною стійкістю армуючого компонента.

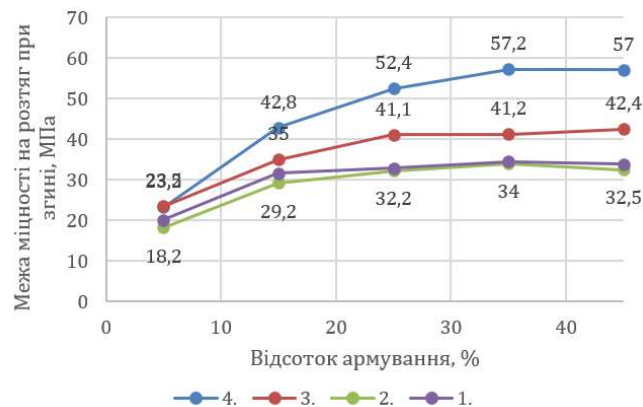


Рисунок 10 – Залежність межі міцності при згинанні композицій на основі портландцементу та армуючого компонента Ст1 (4) і Ст2 (3) та на основі гіпсоглиноземистого цементу та армуючого компонента Ст1 (2) і Ст2 (1) від відсотка армування після їх твердіння у воді протягом 360 діб.

ВИСНОВКИ

Встановлено, що зі зменшенням гідролітичної стійкості скла, що використовується, міцність при згині досліджуваних композицій збільшується, що може бути пояснено зміцненням зони контакту за рахунок вилугування оксидів скла з поверхні армуючого компонента та їхньої наступної взаємодії з продуктами гідратації в'язучого.

У разі використання армуючого компонента з показником ТКЛР близьким до значення аналогічної характеристики матеріалу матриці, міцність зразків на основі портландцементу збільшується при їхній тепловолотій обробці (98⁰С) та при автоклавуванні. У разі використання армуючого компонента ТКЛР якого суттєво відрізняється від аналогічної характеристики матеріалу матриці, міцність зразків після автоклавної обробки характеризується меншими значеннями у порівнянні з пропареними зразками, що свідчить про наявність деструктивних процесів, пов'язаних з руйнуванням зони контакту при охолодженні.

У разі використання у якості матеріалу матриці в'язучого яке характеризується більш високим рівнем агресивності до кремнезем вміщуючого компоненту (портландцементу), рівень міцності зразків залежить від гідролітичної стійкості армуючого компоненту. У разі використання у якості матеріалу матриці гіпсоглиноземистого цементу, продукти гідратації якого характеризуються рН на рівні 10 -11, рівень міцності дослідних зразків практично не залежить від гідролітичної стійкості скла армуючого компоненту.

Список літератури:

- 1 Вировий В.Н., Дорофєєв В.С., Фіц С.Б. Бетон в умовах ударної дії. Монографія. Одеса: Внешрекламсервіс, 2004. 270 с.
- 2 Global Cement and Concrete Association. Код доступу: <https://gccassociation.org/>
3. Bentur, A., Mindess. S. Fiber Reinforced Cementitious Composites, Second Edition, Taylor and Francis Group, London and New York, 2007. 594 p.
4. Majumdar A.I., West J.M. Larner L.J. Properties of glass fibres in cement environment. J.Mater. Sci.-1977.-№5. P. 927-936.