

## ВПЛИВ РЕМОНТНОЇ ПОВЕРХНІ НА МІЦНІСТЬ БЕТОННИХ КОНТАКТНИХ ШВІВ

**А. Мазурак, к. т. н.**

*ORCID ID :0000-0001-7367-774X*

**В. Гораль, аспірант**

*ORCID ID: 0009-0001-2637-6554*

**Т. Мазурак, к. т. н.**

*ORCID ID: 0009-0000-8789-3224*

**О. Цап, аспірант**

*ORCID ID: 0000-0001-5404-8892*

*Львівський національний університет природокористування*

<https://doi.org/10.31734/architecture2024.25.073>

**Мазурак А., Гораль В., Мазурак Т., Цап О. Вплив ремонтної поверхні на міцність бетонних контактних швів**

Визначено, що будівлі та споруди після тривалого використання бетону і залізобетону потребують ремонту, відновлення та підсилення. Це зумовлено багатьма чинниками: дефекти матеріалів, пошкодження при експлуатації, помилки під час проектування тощо.

Зазначено, що міцність зчеплення старого та нового бетону чи торкретбетону при влаштуванні ремонтних швів буває різною залежно від низки чинників: старого та нового бетонів; характеру підготовки поверхонь; способу вкладання та умов тверднення.

Зауважено, що згідно з досвідом виконання ремонтних робіт і підсилення залізобетонних конструкцій, технологія торкрету ефективна при відновленні чи ремонті цементно-бетонних покриттів. Технологія торкретування дає змогу механізувати всі процеси: від підготовки поверхні до нанесення щільних шарів торкрету, забезпечуючи зчеплення шарів бетону. Досліджено чинники, які впливають на роботу контактної шва, матриці шару та ремонтної поверхні. Вивчаючи сумісну роботу швів, підготовлено 72 бетонні зразки з чотирма варіантами поверхні: гладка – рівна поверхня, гладка фрезерована – фрезерування виконане по рівній поверхні; шорстка – на бетонну поверхню нанесено насічку; шорстка фрезерована – після насічки поверхню фрезерували.

Експериментально оцінено міцність зчеплення бетону і торкретбетону, із забезпеченням підготовки поверхні та встановленням металевих обойм на неї. Внутрішній простір обойм заповнюють бетоном або наносять шар торкретбетону.

Після належної витримки в нормальних умовах за 28–32 доби зразки піддаються дослідженню, металеву обойму відривали від поверхні бетону. Експериментальні дослідження показали, що фрезерування бетонних зразків по шорсткій чи гладкій поверхні не збільшує зчеплення із торкретбетоном.

**Ключові слова:** бетонні зразки, міцність зчеплення, технологія торкретування, поверхня контакту.

**Mazurak A., Horal V., Mazurak T., Tsap O. The influence of the repair surface on the strength of concrete contact joints**

Buildings and structures after long-term use of concrete and reinforced concrete need repair, restoration and strengthening. This is due to many factors, material defects, damage during operation, design errors, etc.

The strength of the bond between old and new concrete or shotcrete during repair joints varies, and it depends on several factors, namely the age of the old and new concrete; nature of surface preparation; method of entry and hardening conditions.

The experience of repairing and strengthening reinforced concrete structures demonstrates that shotcrete technology is effective for restoring or repairing cement and concrete surfaces. This technology allows for the mechanization of all processes, from surface preparation to the application of dense shotcrete layers, ensuring strong adhesion between the layers. The study examines factors that influence the performance of the contact seam, the repair surface, and the layer matrix. To analyze their interactions, 72 concrete samples were prepared under laboratory conditions, featuring four surface treatments: smooth (a flat surface cleaned with a wire brush), smoothly milled (milling on a flat surface), rough (notches applied to the concrete surface), and rough milled (the surface notched and then milled and cleaned with a wire brush).

In the work, the authors experimentally evaluate the bond strength of concrete and shotcrete, having prepared the surface and installed metal clips on it. The inner space of the cage is filled with concrete or a layer of shotcrete is applied. After proper aging in normal conditions and in 28–32 days, the samples are subjected to research, tearing off the metal clip

from the concrete surface. The experimental results lead to specific conclusions, particularly that milling concrete samples, whether rough or smooth, does not enhance adhesion with shotcrete.

**Keywords:** concrete samples, bond strength, shotcrete technology, contact surface.

**Постановка проблеми.** Прогресуюче і тривале використання бетону та залізобетону практично в усіх сферах життєдіяльності обумовлює ймовірність можливого їх пошкодження.

Причинами утворення дефектів, пошкоджень бетонних і залізобетонних конструкцій можуть бути помилки при проектуванні, дефекти матеріалів, відповідність фактичної схеми навантаження розрахунковій, порушення технології виготовлення і монтажу конструкцій та їхньої належної технічної експлуатації, аварії техногенного і природного характеру.

За статистичними даними, причинами аварій і серйозних пошкоджень залізобетонних і бетонних конструкцій у 60 % випадків є помилки і відхилення від нормативних вимог під час виконання робіт. Решта випадків дефектів і пошкоджень можна віднести до помилок при проектуванні і неправильній експлуатації конструкцій [3–8].

Оцінка міцності зчеплення нового і старого бетонів, розглянуті в матеріалах публікацій, показують, що параметри зчеплення можуть змінюватись у широкому діапазоні порівняно з міцністю монолітного бетону. Основними чинниками, які впливають на міцність зчеплення, є: вік старого бетону та характер його підготовки; міцність та склад нового бетону, спосіб укладання та умови твердіння [2; 3; 5; 7; 9; 11].

Сьогодні ефективним методом відновлення чи ремонту цементно-бетонних покриттів є технологія торкретування, яка дає змогу механізувати всі процеси, від підготовки поверхні до нанесення щільних шарів бетону, забезпечуючи зчеплення нового і старого бетонів [4; 6; 8].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Оцінку міцності контактних швів ремонтних поверхонь вивчало чимало науковців. Зокрема аналізували критерії зчеплення різних поверхонь, способи вкладання ремонтного шару, а також методики оцінки міцності зчеплення ремонтних поверхонь [1–3; 6; 7; 9; 10].

Основними чинниками впливу на міцність зчеплення нового і старого бетонів є: вік старого бетону або період у бетонуванні чи торкретуванні; склад нового бетону чи торкретбетону; характер обробки поверхні старого бетону; спосіб укладання і умови твердіння нового бетону чи торкретбетону.

Мінімальний вплив на міцність зчеплення має вік старого бетону, особливо за досягнення ним 70–100 % від кубикової міцності. Аналогічний

вплив на міцність зчеплення з торкретбетоном має вік бетону після досягнення ним кубикової міцності. Суттєвіший вплив на зчеплення шарів бетонів мають умови твердіння, зокрема температурно-вологісний режим [6; 7; 10].

Міцність зчеплення між шарами бетонів збільшується при збільшенні віку нового бетону, зокрема за рахунок температурно-вологісного режиму. Міцність зчеплення зростає, як і міцність самого бетону, за подібною логарифмічною залежністю, проте і після 28 діб до пів року приріст зчеплення зростає на 40–60 %. Зчеплення з торкретбетоном відображає аналогічну закономірність, проте приріст після 28 діб до пів року становить 25–42 %. Зменшений приріст для торкретбетону обумовлений проростом у початковий період до 28 діб [5–7; 10].

Тіснішого контакту між адгезивом і субстратом досягають після ретельного очищення та відповідної підготовки поверхонь, які взаємодіють.

Механізм зчеплення «старого» і «нового» бетону при відновленні чи ремонті поверхонь забезпечується, з одного боку, адгезійною здатністю матеріалу прилипати за рахунок міжмолекулярної взаємодії, з іншого – дифузійною, тобто взаємопроникненням одного матеріалу в інший. При контакті бетону «матриці» з бетонною сумішшю в роботу включаються обидва механізми. При вкладанні чи нанесенні бетонної суміші в роботу включаються адгезія та дифузія (бародифузія, термодифузія).

Сьогодні відомі такі теорії адгезії: механічна, адсорбційна, електрична, дифузійна, хімічна, електрорелаксаційна, а також деякі інші концепції, що по-різному трактують механізм адгезії [1; 5–7; 11].

Міжфазне зчеплення бетонних шарів за своєю природою є крихким руйнуванням і може призводити до передчасного руйнування значно нижчого від границі міцності на розтяг чи зріз від їх граничної міцності бетонів.

Чимало нормативних джерел, а саме СЕВ-FIP, Єврокод 2 та AASHTO LRFD, представляють формули для прогнозування міцності зв'язку між новим і старим бетоном. Зважаючи на проведені дослідження міцності зв'язку між бетонами, досі немає консенсусу щодо міжфазної поведінки різних шарів бетону, особливо щодо торкретбетону. У дослідницькій практиці відомо багато способів оцінки міцності зчеплення між шарами бетонів, поширеними способами випробувань для оцінки ве-

личини міжфазного зв'язку між шарами є випробування на розрив чи розколювання і випробування на зсув чи косий зсув [8; 11].

**Постановка завдання.** На підставі аналітичного огляду літератури і власного досвіду використання ремонту бетонних поверхонь та підсилення залізобетонних конструкцій розглянуто вплив поверхні бетону на міцність контактних швів ремонтних поверхонь.

Наше завдання – оцінити міцність контактних швів, різних за рівнем підготовки ремонтних поверхонь бетону із бетоном та торкрет-бетоном.

**Виклад основного матеріалу.** Експериментальні дослідження міцності контактних швів ремонтних поверхонь бетону і торкретбетону проводили за використання «сухої» технології виконання.

Для визначення міцності зчеплення зразків бетону і торкретбетону підготовлені бетонні зразки із різними характеристиками поверхонь (1 – гладка; 2 – гладка фрезована, на глибину до 5 мм; 3 – шорстка; 4 – шорстка, фрезована на глибину до 5 мм) влаштовували металеві кільця конусного типу із внутрішнім діаметром  $d = 70$  мм, у внутрішню частину яких вкладали бетон або наносили торкретбетон (рис. 1). При виготовленні бетонних зразків їх ущільнювали, а залишки на поверхні обидвома бетону й торкретбетону видаляли шпателем. Виготовлені зразки витримували впродовж 28–32 діб у нормальних умовах у приміщенні. Процес дослідження підготовлених зразків відбувався за допомогою розривної машини. Дослідні зразки переважно зруйнувались за контактом з'єднання шарів (рис. 2).



а



б

Рис. 1. Зовнішній вигляд фрезованого зразка: а – до торкретування; б – після торкретування



Рис. 2. Зовнішній вигляд, після розриву поверхні шорсткого бетону і торкретбетону

Міцність зчеплення дослідних зразків

№ з\п	Шифр зразка	Міцність бетону (матриці), МПа		Міцність ремонтного бетону, МПа		**Міцність зчеплення, МПа. Поверхня контакту				Розбіжність усереднених значень міцності зчеплення поверхонь контакту, %					
		$f_{c,cube}$	$f_{ct}$	$f_{c,cube}$	$f_{ct}$	1-гладка	2-гладка фрезерована	3-шорстка	4-шорстка фрезерована	1,2	1,3	1,4	2,3	2,4	3,4
1	C20+C*25-1	20,55	1,91	24,8	2,18	1,10	1,10	1,25	1,30						
2	C20+C*25-2	20,55	1,91	24,8	2,18	1,05	1,20	1,39	1,38	9	18	21	10	13	3
3	C20+C*25-3	20,55	1,91	24,8	2,18	1,06	1,24	1,29	1,3						
4	C20+C*30-1	20,55	1,91	29,4	2,53	1,16	1,25	1,26	1,30						
5	C20+C*30-2	20,55	1,91	29,4	2,53	1,02	1,14	1,30	1,29	10	19	21	10	12	3
6	C20+C*30-3	20,55	1,91	29,4	2,53	1,03	1,18	1,40	1,49						
7	C20+C*т25-1	20,55	1,91	25,7	2,24	1,08	1,07	1,36	1,32						
8	C20+C*т25-2	20,55	1,91	25,7	2,24	1,12	1,02	1,32	1,28	-4	6	17	24	20	-5
9	C20+C*т25-3	20,55	1,91	25,7	2,24	1,13	1,12	1,55	1,42						
10	C20+ C*т30-1	20,55	1,91	31,1	2,62	1,16	1,05	1,34	1,35						
11	C20+ C*т30-2	20,55	1,91	31,1	2,62	1,06	1,04	1,38	1,29	-4	20	16	24	20	-4
12	C20+ C*т30-3	20,55	1,91	31,1	2,62	1,14	1,12	1,48	1,38						
13	C25+C*30-1	25,3	2,21	29,4	2,53	1,20	1,32	1,48	1,49						
14	C25+C*30-2	25,3	2,21	29,4	2,53	1,16	1,35	1,51	1,53	11	19	22	10	13	3
15	C25+C*30-3	25,3	2,21	29,4	2,53	1,30	1,44	1,57	1,69						
16	C25+ C*т30-1	25,3	2,21	31,1	2,62	1,32	1,18	1,60	1,52						
17	C25+ C*т30-2	25,3	2,21	31,1	2,62	1,33	1,25	1,58	1,53	-4	22	17	25	20	-5
18	C25+ C*т30-3	25,3	2,21	31,1	2,62	1,22	1,29	1,77	1,63						

Результати експериментальних досліджень зразків подано в таблиці, де використано такі позначення: зліва направо: С – клас бетону матриці за міцністю на стиск за стандартними кубами в МПа; С\* – клас ремонтного бетону за міцністю на стиск за стандартними кубами в МПа; С\*т – клас ремонтного торкрет-бетону за міцністю на стиск у МПа; 1-2 – порядковий номер зразка. Поверхня контакту: 1 – гладка; 2 – гладка фрезерована (на глибину до 5 мм); 3 – шорстка; 4 – шорстка, фрезерована.

С – клас бетону матриці за міцністю на стиск за стандартними кубами (цифри відображають його проектну величину); С\* – клас ремонтного бетону за міцністю на стиск; С\*т – клас ремонтного торкрет-бетону за міцністю на стиск.

**Висновки.** Аналіз проведених теоретико-експериментальних досліджень зчеплення контактних швів ремонтних поверхонь бетону і торкрет-бетону показує, що величина міцності зчеплення залежить від підготовки поверхні та її форми, а також від технології нанесення ремонтного шару. На величину зчеплення контактних швів впливають міцність бетону матриці (С20, С25), ремонтний шар (С\*25, С\*30), а також технологія нанесення ремонтного шару (до 8 %). Зміна поверхні із гладкої на шорстку покращує зчеплення до 22 %. Фрезеру-

вання ремонтного шару бетону покращує зчеплення на 3–10 % відповідно. Нанесення торкретбетону на шорстку чи гладку поверхню не збільшує величини зчеплення порівняно із звичайним бетоном.

#### Бібліографічний список

1. Валовой О. І., Герб П. І. Дослідження роботи контактної шва при підсиленні залізобетонних конструкцій методом приклеювання. *Вісник Криворізького національного університету*. 2016. Вип. 43. С. 34–38.
2. Валовой О. І., Попруга Д. В. Сучасні матеріали для підсилення залізобетонних згинальних елементів. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*. 2015. Вип. 31. С. 401–407. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/rmkbs\\_2015\\_31\\_55](http://nbuv.gov.ua/UJRN/rmkbs_2015_31_55) (дата звернення: 12.06.2024).
3. Гросс О. І., Пояс Д. В. Міцність контактних швів залізобетонних конструкцій. *Дороги та мости: зб. наук. пр.* 2009. Київ, ДНДІ, 2009. Вип. 11. С. 57–64.
4. Мазурак А. В., Барабаш В. М., Використання торкрет-бетону при підсиленні бетонних та залізобетонних конструкцій. *Дороги і мости: збірник наукових праць*. 2008. Вип. 10. Київ: ДНДІ, 2008. С. 172–176.
5. Мазурак А., Кальченко В., Цап О., Михай-

лечко В., Собчак-Пястка Ю. Методики оцінки міцності на зріз контактних швів бетонних шарів. *Вісник Львівського національного університету природоко-ристування: архітектура і сільськогосподарське будівництво*. 2020. № 21. С. 21–26.

6. Мазурак А. В., Ковалик І. В., Михайлечко В. О., Калітовський В. М. Міцність контактних швів під час ремонту чи підсилення бетонних елементів. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»: теорія та практика будівництва*. 2013. № 755. С. 249–254.

7. Пшінько О. М., Краснюк А. В., Громова О. В. Вибір матеріалів для ремонту та відновлення бетонних та залізобетонних конструкцій транспортних споруд з урахуванням критерію сумісності: монографія. Дніпропетровськ, 2015. 195 с.

8. Emmons P. H., Vaysbuurd A. M., McDonald J. E. Concrete Repair in the Future Turn of the Century-Any Problems. *Concrete International*. 1994. Vol. 16, No 3. March. P. 24–49.

9. Lee J., Drzal L. T. Surface characterization and adhesion of carbon fibers to epoxy and polycarbonate. *International Journal of Adhesion & Adhesives*. 2005. Vol. 25. P. 269–275.

10. Morgan D. R. Compatibility of concrete repair materials and systems. *Construction and Building Materials*. 1996. Vol. 10, No 1. Pp. 57–67.

11. Seymour B., Martin L., Clark C., Stepan M., Jacksha R., Pakalnis R., Roworth M., Caceres C. A practical method of measuring shotcrete adhesion strength. 2010 SME Annual Meeting and Exhibit, February 28 – March 3, Phoenix, Arizona, Preprint 10–137.

*Стаття надійшла 24.06.2024*