

## МІЦНІСТЬ КОНТАКТНИХ ШВІВ ПІДСИЛЕНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ

**Валовой О.І.**

**Попруга Д.В.**

*Криворізький технічний університет*

---

Будівельні конструкції у процесі експлуатації втрачають свої міцнісні та деформаційні характеристики. Повернення пошкодженим конструкціям початкових характеристик стає можливим за рахунок їх підсилення.

Серед будівельних конструкцій, які багато років використовують у промислових спорудах, переважають залізобетонні, тому узагальнення, аналіз та систематизація існуючих методів ефективного підсилення таких конструкцій мають важливе прикладне значення.

Підсилення залізобетонних згинаних елементів можна виконувати двома основними способами: улаштуванням розвантажувальних елементів і нарощуванням шару бетону або залізобетону [1,2,3].

Збільшення міцності і жорсткості підсилюваного елемента нарощуванням реалізується лише при спільній роботі підсилюваної конструкції та шару підсилення. Нарощування застосовують для підсилення як монолітних залізобетонних конструкцій, так і збірних.

Відомо, що в зоні контакту бетону підсилення і бетону конструкції, що підсилюється, виникає складний напружено-деформований стан. При цьому зона контакту піддається одночасній дії стискальних або розтягувальних, а також зсувних зусиль. Величина останніх може визначати несну здатність підсиленої конструкції. Низька міцність зони контакту обмежує можливості підсилення при нарощуванні.

Спільна робота підсиленого елемента досягається за рахунок механічного зачеплення, улаштуванням насічки та/або за рахунок встановлення додаткової поперечної арматури, яка приєднується зварюванням до існуючої арматури. Для підвищення зчеплення “старого” та “нового” бетонів можуть застосовуватися також композиції на основі епоксидного, акрилового та інших видів синтетичних клеїв [4].

Вивченню роботи підсилених залізобетонних конструкцій присвятили свої дослідження Л.В. Афанасьєва, А.Я. Барашиков, С.В. Бондаренко, Б.А. Боярчук, О.І. Валовой, Г.В. Гетун, О.Б. Голишев, О.Ю. Єрьоменко, О.Д. Журавський, І.В. Задорожнікова, П.І. Кривошеев, Є.Ф. Лисенко, Г.А. Молодченко, Л.А. Мурашко, Й.П. Новаторський, Р.С. Санжаровський, П.О. Сунак, Г.К. Хайдуков, О.Л. Шагін, В.С. Шмуклер, А. Касассбех, Г.В. Чанг, Л.М. Ли, М.А. Максур і багато інших.

Застосуванню клеїв у бетонних і залізобетонних конструкціях присвячено роботи Е.П. Александряна, Р.І. Бергена, М.С. Золотова, Л.Н. Шутенка та ін.

Питанням вивчення впливу механічного зчеплення “старого” та “нового” бетонів на міцність їхнього контакту присвячена достатня кількість робіт таких дослідників як Н.І. Руденко, Ю.Г. Хаютін, О.О. Шишкін, О.М. Ішінько та інших [5,6].

Перед автором була поставлена задача дослідження характеристик міцності контактних швів, улаштованих при підсиленні залізобетонних згинаних елементів у стиснутій зоні шаром залізобетону.

Порівнювалися три способи влаштування контактної шва:

- за допомогою клею Cerginol ZH фірми Dietrmann на основі цементу, модифікованого синтетичними речовинами;
- за допомогою улаштування шпонок;
- за допомогою улаштування випусків арматури.

Для дослідження було виготовлено п'ять серій експериментальних зразків балок, по два у кожній серії. При цьому балки першої та другої серій підсиленню не підлягали та мали прямокутний і тавровий поперечні перерізи відповідно. Балки третьої, четвертої та п'ятої серій були підсилені в стиснутій зоні, при цьому їх поперечний переріз змінився з прямокутного на тавровий (табл. 1).

**Таблиця 1 – Програма випробування дослідних балок**

Маркування зразків	№ серії	Спосіб підсилення	Поперечний переріз зразків	Кількість	Характер навантаження	Мета досліджень
1	2	3	4	5	6	7
БКП-1 БКП-2	1	Балки контрольні на пульпі без підсилення (контрольна серія)		2	Ступінчасте навантаження до руйнування	Визначення максимального руйнівального навантаження зразка
БКПТ-1 БКПТ-2	2	Балки контрольні на пульпі таврового перерізу без підсилення (контрольна серія)		2	Ступінчасте навантаження до руйнування	Визначення максимального руйнівального навантаження зразка
БКП-1 БКП-2	3	Балки, підсилені в стиснутій зоні на клею та на пульпі		2	Початкове навантаження непідсиленої балки до 0,7–0,8 від руйнівного. Після розвантаження ступінчасте навантаження підсиленого зразка до руйнування	Визначення напружено-деформованого стану підсиленої конструкції та контактної шва між основним бетоном та бетоном підсилення

Кінець таблиці 1

1	2	3	4	5	6	
БПШП-1 БПШП-2	4	Балки, підсилені в стиснутій зоні на шпонках та на пульпі		2	Початкове навантаження невідсиленої балки до 0,7–0,8 від руйнівного. Після розвантаження ступінчасте навантаження підсиленого зразка до руйнування	Визначення напружено-деформованого стану підсиленої конструкції та контактної шва між основним бетоном та бетоном підсилення
БПВП-1 БПВП-2	5	Балки, підсилені в стиснутій зоні на випусках та на пульпі		2	Початкове навантаження невідсиленої балки до 0,7–0,8 від руйнівного. Після розвантаження ступінчасте навантаження підсиленого зразка до руйнування	Визначення напружено-деформованого стану підсиленої конструкції та контактної шва між основним бетоном та бетоном підсилення

Бетон підсилення був прийнятий для всіх серій балок однаковим і мав клас В-25. Клас основного бетону балок був В-20.

Існуючі методи розрахунку міцності контактної шва у збірно-монолітних і підсиленіх конструкціях передбачають забезпечення міцності контактної шва за допомогою конструктивних і технологічних заходів. Це дозволяє за методикою наведеною у [7] при розрахунку обмежитися перевіркою міцності у граничному стані в місці найбільших згинальних моментів та за похилим перерізом, виходячи з умови

$$Q_{sh} \leq Q_{sh,b}, \quad (1)$$

де  $Q_{sh}$  – зсувне зусилля у контактному шві від дії зовнішнього навантаження;

$Q_{sh,b}$  – граничне зсувне зусилля, яке сприймає контактний шов.

Граничне зсувне зусилля, яке сприймає контактний шов, у загальному випадку визначають за формулою

$$Q_{sh,b} = R_{sh} b_{sh} l_{sh}, \quad (2)$$

де  $R_{sh}$  – середній за довжиною ділянки зсуву розрахунковий опір зсуву контактної шва;

$b_{sh}$  – розрахункова ширина поверхні зсуву;

$l_{sh}$  – розрахункова довжина поверхні зсуву.

У загальному випадку середній сумарний розрахунковий опір зсуву контактної шва приймають за формулою

$$R_{sh} = R_{sh,b} + R_{sh,k} + R_{sh,s} + R_{sh,n} \quad (3)$$

де  $R_{sh,b}$  – опір шва зсуву за рахунок зчеплення, механічного зачеплення та обтиску бетону;

$R_{sh,k}$  – опір шва зсуву за рахунок роботи клею; визначено експериментально у дослідженнях автора [9];

$R_{sh,s}$  – опір шва зсуву за рахунок роботи на зрізування поперечної арматури, яка перетинає шов;

$R_{sh,n}$  – опір шва зсуву за рахунок роботи поперечних шпонок.

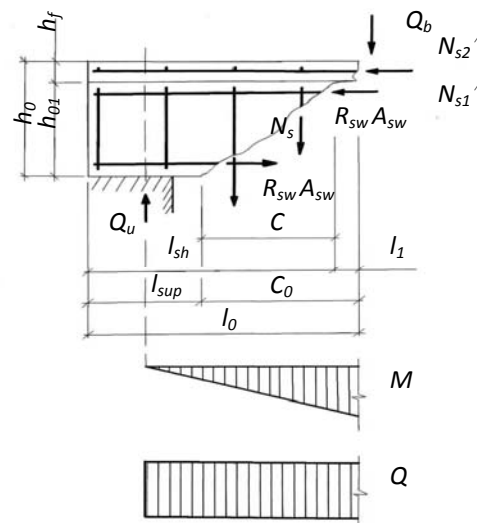


Рис. 1. Розрахункова схема контактної шва

$$R_{sh,b} = \gamma_{b1} \gamma_{b2} \gamma_{b3} R_{bt} \left( 1 + \gamma_{b4} \frac{\sigma_{bm}}{R_{bt}} \right) \quad (4)$$

При врахуванні у розрахунках роботи поперечних шпонок опір шва зсуву  $R_{sh,b}$  не враховується [7].

У співвідношенні (4) використовують такі значення співмножників:

$R_{bt}$  – розрахунковий опір бетону підсилення розтягу,  $R_{bt} = 2,89$  МПа [9];

$\gamma_{b1}$  – коефіцієнт, який враховує вплив багаторазово повторюваного навантаження (для розглядуваного випадку  $\gamma_{b1} = 1$ );

$\gamma_{b2}$  – коефіцієнт, який враховує вплив тривалого навантаження; у нашому випадку розрахунок був проведений тільки для короточасних експериментальних випробувань, тому  $\gamma_{b2} = 1$ ;

$\gamma_{b3}$  – коефіцієнт, який враховує вплив стану поверхні контактної шва на зчеплення бетону (табл. 2);

$\gamma_{b4}$  – коефіцієнт, який враховує вплив стану поверхні контактної шва при його обтиску (табл. 2);

$\sigma_{bm}$  – середнє значення напруження обтиску контактної шва, яке визначають за формулою:

$$\sigma_{bm} = \frac{Q_u}{b_{sh} l_{sh}}, \quad (5)$$

де  $Q_u$  – опорна реакція в момент руйнування.

**Таблиця 2** – Характеристики контактних швів

№ п/п	Стан поверхні контакту підсилюваної конструкції	Коефіцієнти $\gamma_{b3}$ і $\gamma_{b4}$ при міцності бетону $R_b$ , МПа				
		0,5	10,0	15,0	20,0	40,0
1	2	3	4	5	6	7
1	Поверхня гладка, контакт здійснюється по декількох площинах	$\frac{0,4}{1,6}$	$\frac{0,6}{1,1}$	$\frac{0,9}{0,7}$	$\frac{1,2}{0,5}$	$\frac{1,0}{0,65}$
2	Те ж, контакт плоский	$\frac{0,3}{2,2}$	$\frac{0,5}{1,3}$	$\frac{0,6}{1,1}$	$\frac{0,6}{1,1}$	$\frac{0,5}{1,3}$
3	Поверхня шорстка, контакт здійснюється по декількох площинах	$\frac{0,5}{1,3}$	$\frac{0,8}{0,8}$	$\frac{1,2}{0,55}$	$\frac{1,6}{0,4}$	$\frac{1,3}{0,5}$
4	Те ж, контакт плоский	$\frac{0,4}{1,6}$	$\frac{0,7}{0,9}$	$\frac{0,8}{0,8}$	$\frac{0,8}{0,8}$	$\frac{0,6}{1,1}$

Опір шва зсуву  $R_{sh,s}$  за рахунок роботи поперечної арматури (рис.2) визначають за формулою

$$R_{sh,s} = 0,65^3 \sqrt{R_b^2 E_s \mu_{sw}}, \quad (6)$$

але приймають не більше  $0,7 \mu_{sw} R_{sw}$ ,

де  $R_{sw}$  – розрахунковий опір поперечної арматури на розтяг;

$$R_{sw} = 580 \text{ МПа [8].}$$

$R_b$  – розрахунковий опір бетону підсилення на стиск;

$$R_b = 22,81 \text{ МПа [9];}$$

$E_s$  – початковий модуль пружності поперечної арматури;

$$E_s = 2,0 \times 10^5 \text{ МПа [8];}$$

$\mu_{sw}$  – коефіцієнт армування контактної шва поперечною арматурою, який визначають за формулою

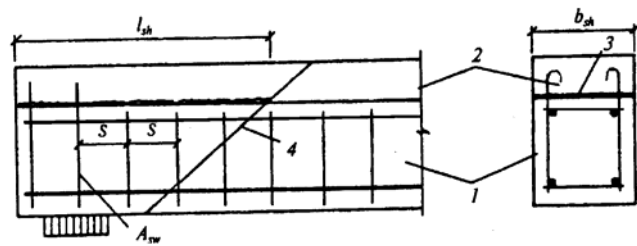
$$\mu_{sw} = A_{sw} / b_{sh} s, \quad (7)$$

Опір шва зсуву за рахунок роботи поперечних бетонних шпонок, горизонтальних або вертикальних (рис.3), який визначають за формулами:

$$R_{sh,n} = \frac{2R_{btj}b_n l_{nj}n}{b_{sh}l_{sh}}, \quad (8)$$

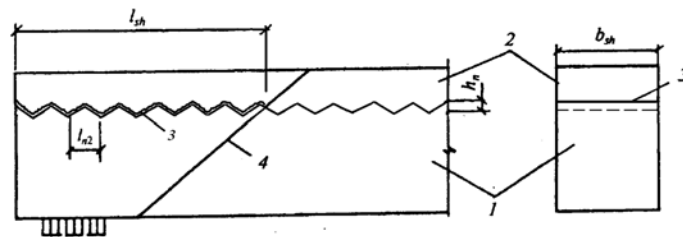
$$R_{sh,n} = \frac{R_{bj}b_n h_n n}{b_{sh}l_{sh}}, \quad (9)$$

і приймають меншим за значенням.



1 – підсилювана конструкція; 2 – бетон підсилення; 3 – контактний шов; 4 – похилий переріз

Рис. 2. Схема для визначення зсувних зусиль, які сприймає поперечна арматура у контактному шві



1 – підсилювана конструкція; 2 – бетон підсилення; 3 – контактний шов; 4 – похилий переріз

Рис. 3. Схема для визначення зсувних зусиль, які сприймають шпонки у контактному шві

У формулах (8) і (9):

$R_{bj}$  та  $R_{btj}$  – розрахункові опори стиску і розтягу бетону шпонок;

$b_n$ ,  $h_n$ ,  $l_{nj}$  – ширина, висота і довжина шпонок;

$n$  – кількість шпонок, яку вводять до розрахунку.

При розрахунку враховують міцність шпонок підсилюваної конструкції ( $R_{bt1}$ ,  $R_{bt,1}$ ,  $l_{n1}$ ) і шпонок бетону підсилення ( $R_{bt2}$ ,  $R_{bt,2}$ ,  $l_{n2}$ ) [9].

$b_{sh}$  та  $l_{sh}$  – розрахункова ширина та довжина поверхні зсуву.

Зсувне зусилля від дії зовнішнього навантаження визначають із співвідношення

$$Q_{sh} = (M - M_{sw}) / z. \quad (10)$$

де  $M$  – момент від зовнішнього навантаження у нормальному перерізі, який проходить через кінець похилого перерізу біля стиснутої грані конструкції;

$M_{sw}$  – момент, який сприймає поперечна арматура у похилому перерізі;

$z$  – плече внутрішньої пари поздовжніх сил в похилому перерізі;  $z = 0,9h_0$ .

Результати розрахунку міцності контактних швів підсилених балок наведено у табл. 3.

**Таблиця 3 – Міцність контактних швів**

№ п/п	Найменування величини	Одиниця виміру	Умовні позначення	Розрахункові величини для балок серії		
				БПКП	БПШП	БПВП
1	2	3	4	5	6	7
1	Середній експериментальний згинальний момент при руйнуванні	кН·м	$M_u^{експ}$	45	42,2	42,9
2	Середнє значення напруження обтиску контактного шва	МПа	$\sigma_{bm}$	2,43	2,28	2,32
3	Міцність на розтяг бетону стиснутої зони підсилених балок	МПа	$R_{bt}$	2,89	2,89	2,89
4	Довжина поверхні зсуву	мм	$l_{sh}$	258	256	257
5	Відстань від торця конструкції до кінця похилого перерізу у стиснутій зоні	мм	$l_0$	286	284	285
6	Довжина опорної ділянки балки	мм	$l_{sup}$	136	134	135
7	Коефіцієнт, що враховує вплив стану поверхні контактного шва	-	$\gamma_{b3}$	1,6	1,6	1,6
8	Коефіцієнт, що враховує вплив стану поверхні контактного шва при його обтиску	-	$\gamma_{b4}$	0,4	0,4	0,4
9	Розрахунковий опір шва зсуву за рахунок механічного зачеплювання та обтиску бетону	МПа	$R_{sh,b}$	4,63	-	4,58
10	Розрахунковий опір шва зсуву за рахунок роботи клею	МПа	$R_{sh,k}$	0,08	-	-
11	Розрахунковий опір шва зсуву за рахунок роботи на зрізування поперечної арматури	МПа	$R_{sh,s}$	-	-	4,87
12	Розрахунковий опір шва зсуву за рахунок роботи поперечних шпонок	МПа	$R_{sh,n}$	-	6,44	-
13	Граничне зсувне зусилля, яке сприймає контактний шов	кН	$Q_{sh,b}$	145,3	198,7	291,5
14	Зсувне зусилля у шві від зовнішнього навантаження	кН	$Q_{sh}$	13,9	10,7	11,5
15	$Q_{sh,b}/Q_{sh}$	-	-	10,5	18,6	25,3

## Висновки

Аналізуючи дані таблиці 3 і враховуючи характер руйнування дослідних зразків, можна стверджувати, що при руйнуванні підсилених зразків міцність контактних швів не була визначальною. Перевищення розрахункових значень над фактично діючими у площині контакту “старого” та ”нового” бетонів склало:

- для підсилених зразків з використанням клею, серія БПКП – 10,5 разів;
- для підсилених зразків на бетонних шпонках, серія БПШП – 18,6 разів;
- для підсилених зразків на випусках арматури, серія БПВП – 25,3 рази.

Найбільшу розрахункову міцність контактного шва отримали балки, підсилені за рахунок випусків арматури. Найменше значення розрахункової міцності контактного шва показали балки підсилені за рахунок клею.

Враховуючи, що фактично діюче зусилля у межах контактного шва є незначним, найбільш доцільним способом улаштування контакту є спосіб з найменшим запасом міцності, тобто з використанням клею. На користь клеєвого контакту також свідчить найменша трудомісткість при його улаштуванні у порівнянні з іншими способами.

## Література

1. Лучко Й.Й. Основні системи та технології по захисту бетонних і залізобетонних конструкцій від корозії і вказівки по їх використанню / Й.Й. Лучко, Б.Л. Назаревич, І.І. Глагала // Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій. – Випуск 4. – 2000. – С. 462-475.
2. Рекомендации по обеспечению надежности и долговечности железобетонных конструкций промышленных зданий и сооружений при их реконструкции и восстановлении / Харьковский Промстройниипроект. – М. : Стройиздат, 1990. – 176с.
3. Рой А.И. Особенности ремонта бетонных и железобетонных конструкций / А.И. Рой, Н.П. Рунцо // Будівельні конструкції. – Вип. 54. – 2001. – С.568-569.
4. Голышев А.Б. Усиление несущих железобетонных конструкций производственных зданий и просадочных оснований // А.Б. Голышев, И.Н. Ткаченко. – К. : Логос, 2004. – 219 с.
5. Руденко Н.И. Тяжелые бетоны с высокими эксплуатационными свойствами // Н.И.Руденко. – Днепропетровск : Арт-Пресс, 1999. – 260с.
6. Хаютин Ю.Г. Монолитный бетон / Ю. Г. Хаютин. – М. : Стройиздат, 1981. – 447 с.
7. Проектирование железобетонных сборно-монолитных конструкций / Н.-и., проект.-конструкт. и технолог.ин-т бетона и железобетона. – М.: Стойиздат, 1991. – 69 с.: ил. – (Справ. пособие к СНиП).
8. Попруга Д.В. Изготовление железобетонных балок на отходах обогащения железных руд с последующим их усилением наращиванием в сжатой зоне / Д.В. Попруга // Вісник Криворізького технічного університету : зб. наук. пр. – Вип.20. – Кривий Ріг : КТУ, 2008. – С. 181-184.
9. Попруга Д.В. Ефективні матеріали для підсилення залізобетонних конструкцій / М.А. Валовой, Д.В. Попруга // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : зб. наук. пр. – Вип. 17. – Рівне : НУВГП , 2008. – С. 7-13.