

## МІЦНІСТЬ І ДЕФОРМАТИВНІСТЬ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК, ПОСИЛЕНИХ КОМПОЗИТНИМИ МАТЕРІАЛАМИ

*Б. Ільницький, к.т.н., А. Крамарчук, к.т.н.  
НУ "Львівська політехніка"*

**Ключові слова:** композитні стрічки, композитні профілі, деформації, розвантаження, міцність, тріщиностійкість.

Були досліджені, армовані променеві конструкції, посилені композитними матеріалами 'SIKA'.

**Постановка проблеми.** Питання посилення залізобетонних конструкцій є важливим інженерно-будівельним завданням [3; 5; 6]. Ця проблема виникає у випадках, які можна класифікувати за такими причинами:

- зростання навантаження;
- пошкодження несучих елементів конструкцій;
- покращання умов експлуатації конструкцій;
- зміна статичної схеми;
- помилки в проектуванні або у виконанні.

**Постановка завдання.** Один зі способів розв'язання цієї задачі – це використання системи наклеювання композитних стрічок фірми SIKA. Стрічки Sika CarboDur складаються з вуглецевих волокон, впаяних у штучні матриці. Приклеюють їх до розтягнутої зони бетону за допомогою клею SikaDur-31, основою якого є епоксидна смола. Доповненням до стрічок Sika CarboDur є композитні профілі Sika CarboShear L, а також панелі з вуглецевих волокон Sika Wrap. Призначені вони для підсилення зон зрізу, а також ділянок, де використання стрічки Sika CarboDur неможливе. Приклеюють панелі Sika Wrap клеєм SikaDur-330 LVP на основі епоксидної смоли. Обов'язковою умовою є достатня, не менше 1,5 МПа, міцність бетону на розтяг.

**Виклад основного матеріалу.** Досліджували посилені таким методом три балки перерізом 120x240 мм, прогоном 2400 мм, довжиною 2600 мм. Конструкція дослідних взірців балок показана на рис.1.

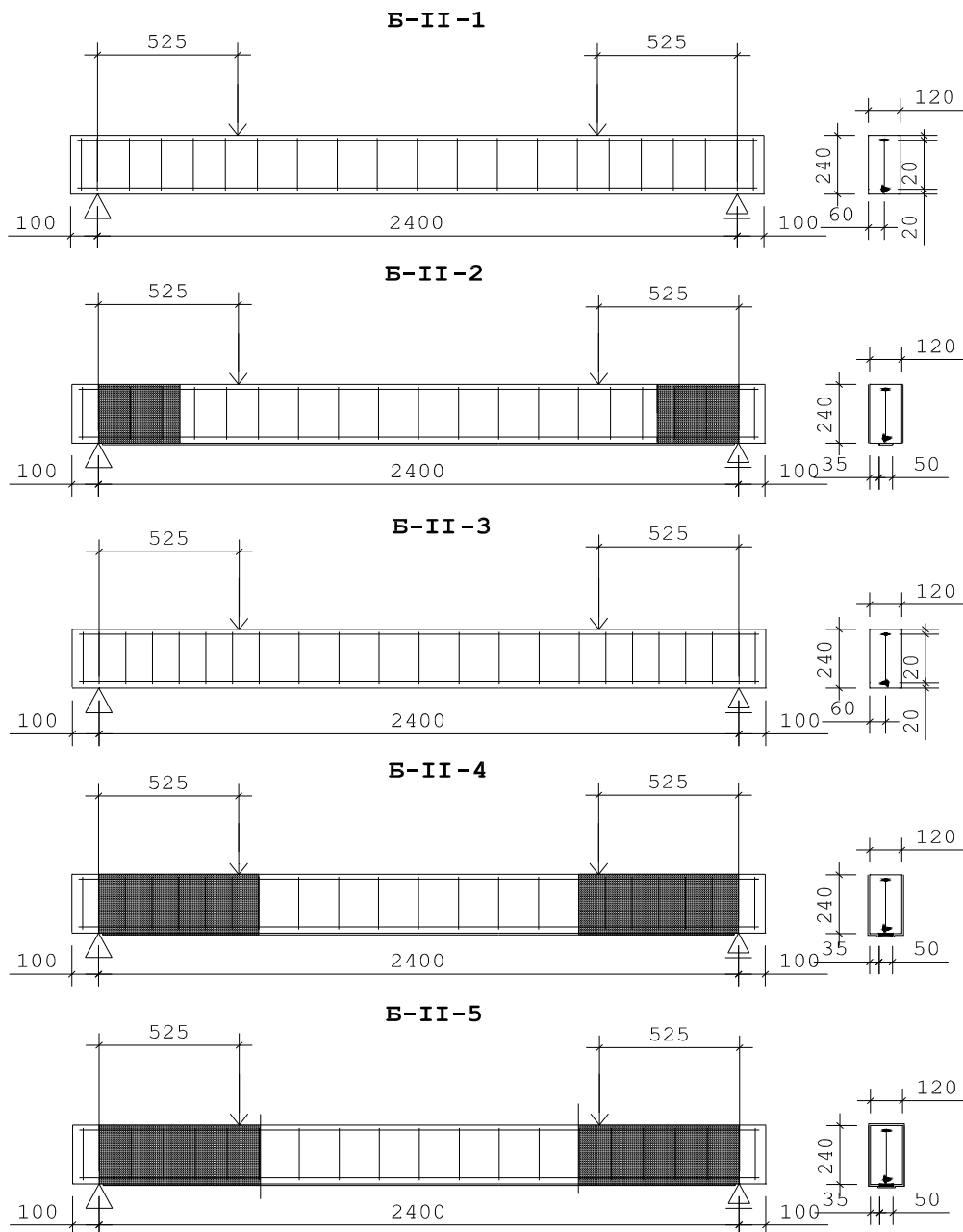


Рис. 1.

### Конструкція дослідних зрізів балок.

Поздовжньою робочою арматурою балок до посилення в розтягнутій зоні слугували два стрижні періодичного профілю  $\varnothing 16$  мм класу А400С ( $R_{sh} = 312,3$  МПа,  $E_s = 203000$  МПа). У стиснутій – два стрижні періодичного профілю  $\varnothing 8$  мм класу А400С ( $R_{sh} = 594,5$  МПа,  $E_s = 188000$  МПа). У разі посилення в розтягнуту зону балок додавали стрічку Sika CarboDur S512 шириною 50 мм і товщиною 1,2 мм ( $R_h = 3050$  МПа,  $E = 165000$  МПа) для підвищення несучої здатності за згинальним моментом. Поперечна арматура гладка стрижнева  $\varnothing 6$  мм класу А240 ( $R_{sh} = 188$  МПа,  $E_s = 209\,000$  МПа). Крім того, з метою підвищення міцності похилих перерізів у разі посилення на приопорні ділянки балок наклеювали панелі Sika Wrap Hex-230С шириною 305 мм, товщиною 0,13 мм ( $R_h = 3500$  МПа,  $E = 230000$  МПа).

Дві балки з трьох випробовували у два етапи. Третю балку випробовували за один етап. Тобто перші дві балки, перш ніж посилити композитним матеріалом фірми Sika, були завантажені до навантаження, що дорівнювало 0,65 від розрахункової несучої здатності, після чого розвантажені та посилені. Третя балка була одразу посилена.

Для того щоб розпізнати перші дві балки, вводили наступні зміни у позначенні. Балка Б-П-2 (на другому етапі випробувань) – це балка Б-П-1 (на першому етапі випробувань) після посилення. І аналогічно балка Б-І-4 – балка Б-П-3. Третю балку маркували Б-П-5.

У балці Б-П-1 поперечна стрижнева арматура на приопорній ділянці встановлена з кроком 120 мм (рис. 2). Панелі Sika Wrap наклеювали на обидві бокові поверхні балки смугою завширшки 305 мм, від опори і балку маркували відповідно Б-П-2.

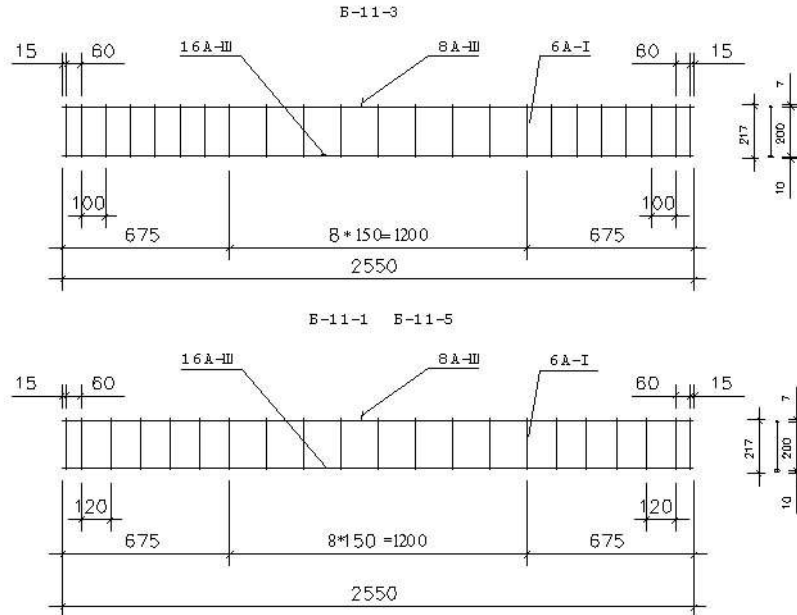


Рис. 2. Армування балок.

У балці Б-П-3 поперечна арматура на приопорній ділянці встановлена з кроком 100 мм (див. рис. 2). Панелі Sika Wrap на другому етапі наклеювали на ширину 600 мм від опори на обидві бокові поверхні, а також нижню. Тим самим одночасно забезпечували додаткове анкерування стрічки Sika CarboDur, яку додавали в розтягнуту зону. Балку відповідно маркували Б-П-4.

У балці Б-П-5 поперечна стрижнева арматура на приопорній ділянці встановлена з кроком 120 мм (див. рис. 2). Панелі Sika Wrap наклеїли на ширину 600 мм від опори на обидві бокові поверхні, а також нижню і верхню у вигляді замкнутого кільця. Тим самим забезпечено одночасно додаткове анкерування стрічки Sika CarboDur, що додавалась у розтягнуту зону, і самої панелі Sika Wrap.

Бетон виготовляли на основі портландцементу Миколаївського цементного заводу. Як заповнювачі використано пісок кварцовий середньої крупності Миколаївського кар'єру і щебінь гранітний фракції 10-20 мм [1]. Твердіння бетону відбувалось у природних умовах протягом 28 діб. На час випробувань він мав такі механічні властивості:

- для балки Б-П-1  $R_b = 37,8$  МПа,  $R_{br} = 3,33$  МПа,  $E_b = 44920$  МПа;
- для балки Б-П-2  $R_b = 29,3$  МПа,  $R_{br} = 3,07$  МПа,  $E_b = 40160$  МПа.
- для балки Б-П-5  $R_b = 28,3$  МПа,  $R_{br} = 2,63$  МПа,  $E_b = 37780$  МПа.

Випробування балок проводили статичним короткочасним навантаженням на силовому стенді в лабораторії ГНДВЛ-105 НУ "Львівська політехніка", як уже згадувалось, для балок Б-П-1 і Б-П-3 у два етапи, а для балки Б-П-5 – в один етап. Навантаження прикладали у вигляді двох зосереджених сил на відстані 525 мм від опори (рис. 3).

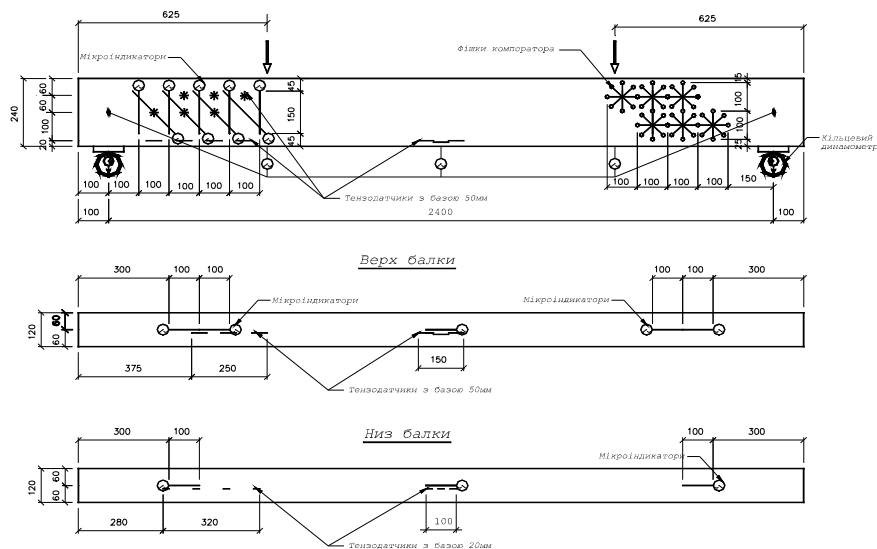


Рис. 3. Схема розміщення приладів.

У процесі випробування вимірювалися деформації бетону й арматури в зоні чистого згину, а також у зоні дії поперечної сили, прогини балки та момент тріщиноутворення і ширина розкриття тріщин. Крім того, контролювали зсув стрічки Sika CarboDur відносно бетону. Результати вимірювань наведено в таблиці.

Згинальний момент тріщиноутворення фіксували за допомогою тензорезисторів і компоратора з базою 100 мм, а також мікроіндикаторів годинникового типу. Найбільшу ширину розкриття тріщин вимірювали за допомогою мірного мікроскопа з ціною поділки 0,05 мм. Прогини визначали за показами індикаторів годинникового типу з ціною поділки 0,01 мм.

Розрахункові значення отримані за методикою СНиП 2.03.01-84\*.

Руйнування балки Б-II-2 відбулось за похилим перерізом між силою і ділянкою, де наклеєна панель Sika Wrap, у два етапи. На першому етапі “потекла” поперечна арматура. На другому етапі відбулось відшарування (зріз по бетону) стрічки Sika CarboDur від опори до похилої тріщини, внаслідок недостатньої зони її анкерування.

Балка Б-II-4 також зруйнувалась за похилим перерізом внаслідок одночасного зрізу панелі Sika Wrap по бетону з відривом (зрізом по бетону) стрічки Sika CarboDur від опори до похилої тріщини, внаслідок недостатньої зони її анкерування.

Балка Б-II-5 зруйнувалась за нормальним перерізом внаслідок роздавлювання стиснутої зони бетону. Стрічка Sika CarboDur і панелі Sika Wrap працювали при цьому сумісно з бетоном.

$a_{сгс}$  – значення ширини розкриття тріщин у залізобетонній балці;

$a_{сгс, (пос)}$  – значення ширини розкриття тріщин у посиленій залізобетонній балці;

$M_{сгс, exp}$  – значення згинального моменту тріщиноутворення в залізобетонній балці;

$M_{сгс, exp (пос)}$  – значення згинального моменту тріщиноутворення в посиленій залізобетонній балці.

Як бачимо з результатів досліджень, несуча здатність, а саме значення згинального моменту, що відповідає граничному стану, досить добре оцінюються методиками норм. Відхилення знаходиться в межах 3%. Що стосується фізичного руйнування, то воно у балках Б-II-2 і Б-II-4 настало на 14-15% пізніше. У балці Б-II-5 фізичне руйнування збіглося з граничним станом, оскільки її руйнування було крихке. Ця балка зруйнувалась як переармована по стиснутій зоні.

Що стосується тріщиностійкості, то посилені балки мали дещо вищий момент тріщиноутворення, ніж звичайні залізобетонні. А ширина їх розкриття була на 36-42% менша, ніж у неопосилених за однакового навантаження. Відхилення від розрахункового значення, отриманого за методикою СНиП 2.03.01-84\*, становило 6%.

Аналогічна картина була і з прогинами (рис. 4). Коли порівнювати прогин балок за  $M = 15,75$  кНм, то прогин у посилених на 5-8 % менший, ніж у залізобетонних.

## Результати досліджень

Позначення балок	Значення згинального моменту тріщиноутворення $M_{cr,c}$ , кНм		$M_{cr,exp} / M_{cr,c}$	Відношення	Значення граничного згинального моменту $M_{cr}$ , Нм		$M_{cr,exp} / M_{cr,c}$	Відношення	Дослідне значення руйнівного згинального моменту $M_{f,exp}$ , кНм	$M_{f,exp} / M_{cr,exp}$
	розрахункове $M_{cr,c}$	дослідне $M_{cr,c,exp}$			$M_{cr,exp} / M_{cr,c}$	Відношення $M_{cr,exp} / M_{cr,c}$				
Б-II-1 Б-II-2 (пос)	6,81 6,96	6,89 6,91	1,01 0,99	1,003	42,13	42,53	1,01	48,30	1,14	
Б-II-3 Б-II-4 (пос)	6,45 6,55	6,55 6,61	1,02 1,01	1,009	50,40	51,71	1,03	59,33	1,15	
Б-II-5 (пос)	5,71	5,91	1,04		51,45	53,03	1,03	53,03	1,00	
Б-II-1 Б-II-2 (пос)	0,13 0,10	0,15	1,30	2,88	2,90 3,01	1,01 1,05	7,21	6,87	0,95	
Б-II-3 Б-II-4 (пос)	0,14 0,10	0,15	1,40	3,52	3,72 4,90	1,04 1,06	10,19	10,40	1,02	
Б-II-5	0,10	0,16	-	5,29	5,40	1,02	10,99	10,90	0,99	

Невелике перевищення прогинів на перших етапах завантаження – 0,5% – у посиленних балках від непосиленних можна пояснити впливом залишкових деформацій, що відбулися за попереднього випробування зразків Б-II-1 і Б-II-3 перед посиленням.

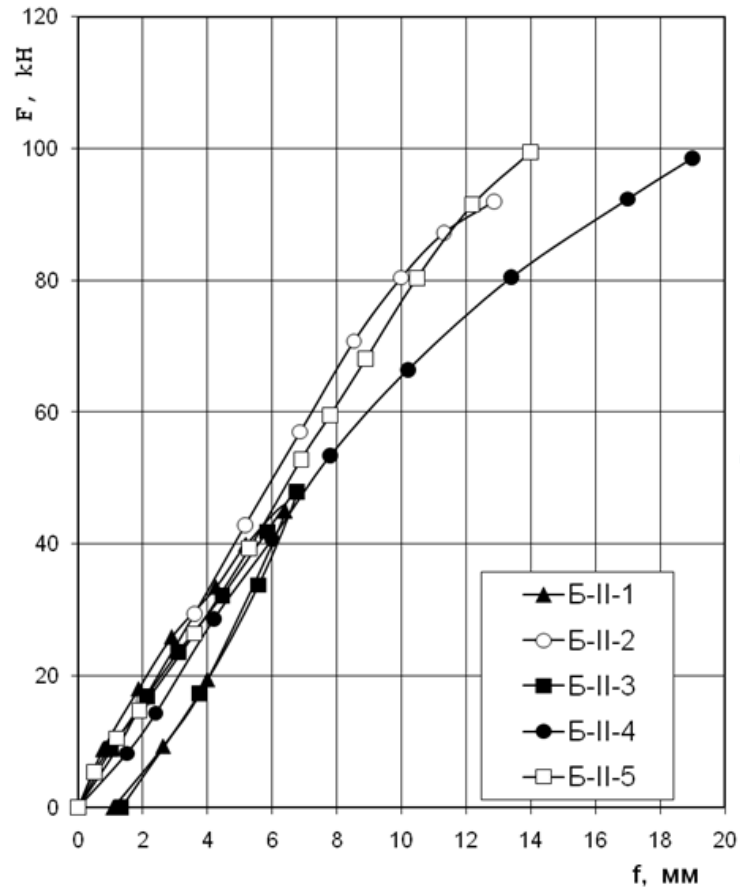


Рис. 4. Прогини дослідних балок.

**Висновки.** Таким чином, проведені дослідження показали, що використання композитних матеріалів для балочних конструкцій фірми Sika дає змогу підвищити міцність і жорсткість конструкцій за досить малих затрат часу і низької трудомісткості. При цьому значну роль відіграє анкерування композитного матеріалу.

СниП 2.03.01-84\* добре оцінює міцність і деформативність залізобетонних балок, посиленних композитним матеріалом [4].

#### Бібліографічний список

1. Голишев А. Б. Проектирование усиленных несущих железобетонных конструкций производственных зданий и сооружений / А. Б. Голишев, И. И. Ткаченко. – К. : ЛОГОС, 2001. – С. 3–97.
2. Клименко Ф. Є. Сталебетонні конструкції із зовнішнім полосовим армуванням / Ф. Є. Клименко. – К. : Будівельник, 1984. – С. 3–20.
3. Ремонт і підсилення несучих та огорожуючих будівельних конструкцій і основ промислових будинків і споруд : ДБН В.1.-1-2002. – К. : Держкомітет України з будівництва і архітектури, 2003. – С. 1–22.
4. Климов Ю. А. Изменение № 1 к СНиП 2.03.01-84\* «Бетонные и железобетонные конструкции» / Ю. А. Климов, А. Б. Голишев // Будівництво України. – 1996. – № 3. – С. 44-47.
5. Клименко Ф. Є. Міцність та деформативність сталебетонних згинаних елементів, підсиленних при різних рівнях напруженого стану додатковою ненапруженою арматурою / Ф. Є. Клименко, А. П. Крамарчук // Сталезалізобетонні конструкції. Дослідження, проектування, будівництво, експлуатація. – Вип. 6. – Кривий Ріг, 2004. – С. 107-118.
6. Крамарчук А. П. Вплив залишкового напруженого стану перед постановкою додаткової арматури на міцність сталебетонних згинаних елементів / А. П. Крамарчук // Будівельні конструкції, будівлі та споруди : вісник ДонДАБА. – 2004(2) 44. – С. 90-98.

**Ильницький Б., Крамарчук А. Прочность и деформативність залізобетонних балок, усиленних**

**композитными материалами**

Исследованы армированные лучевые конструкции, усиленные композитными материалами 'SIKA'.

**Ключевые слова:** композитные ленты, композитные профили, деформации, разгрузки, прочность, трещиностойкость.

**П'nickiy B., Kramarchuk A. Durability and deformations of reinforced-concrete beams, increased composite materials**

The reinforced beam constructions intensified by composite 'SIKA' materials have been researched.

**Key words:** composite laces, composite profiles, composite sandwich panels, load alleviation, solidity, deformations.