

УДК 624.012: 454

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ТРІЩИНОСТІЙКОСТІ ТА ПРОГИНІВ БАЛОК ПІДСИЛЕНИХ У СТИСНУТІЙ ЗОНІ**

### **RESEARCH CRACK RESISTANCE AND DEFLECTIONS OF ENHANCED BEAMS IN THE COMPRESSED ZONE**

**Задорожнікова І.В.,** к.т.н., доцент (Луцький національний технічний університет, м. Луцьк)

**Задорожникова И.В.,** к.т.н., доцент (Луцкий национальный технический университет, г. Луцк)

**Zadorozhnikova I.V.,** candidate of technical sciences, (Lutsk National Technical University, Lutsk)

**Представлено результати експериментальних досліджень тріщиностійкості та прогинів залізобетонних балок підсиленних у стиснутій зоні різними матеріалами. Подано графічні зображення діаграм росту ширини розкриття тріщин залежно від рівня навантаження.**

**Представлены результаты экспериментальных исследований трещиностойкости и прогибов железобетонных балок, усиленных в сжатой зоне различными материалами. Наведены графические изображения диаграмм развития трещин в зависимости от уровня нагружения.**

**Питаннями використання сталевіфібробетону, полімерних композитів, та традиційних матеріалів при ремонтних та відновлювальних роботах в промисловому та цивільному будівництві на Україні та за кордоном займались та продовжують займатись багато дослідників [1, 2, 3,4 та ін].**

Однією з умов виконання теоретичних розрахунків по визначенню реальної несучої здатності, підсиленних у стиснутій зоні залізобетонних згинальних елементів є необхідність знання величини тріщиностійкості та міцності. Ці значення можуть бути отримані шляхом експериментальних досліджень зразків при короткочасному навантаженні.

**Результати експериментальних досліджень** утворення і розкриття тріщин в дослідних балках.

Аналіз отриманих результатів, після проведення експериментальних дослідів, дозволяє встановити вплив підсилення стиснутої зони згинальних елементів на тріщиностійкість (табл. 1.)

Таблиця 1

Експериментальні значення зусиль утворення нормальних тріщин

№ п/п	Марка Балки	Шифр способу підсилення	Зусилля тріщиноутворення $P_{cre}$ , кН	Відносне значення тріщиноутворення $P_{cre} / P_{cre}$	Момент утворення Тріщин $P_{ult}$ , кНм
1	Б-1	0	7,14	1,0	4,28
2	БС	1-1	9,61	1,345	5,76
3	БСН	1-2	9,85	1,384	5,91
4	БП	2-1	9,66	1,354	5,79
5	БПН	2-2	9,93	1,391	5,95
6	БП <sub>A</sub>	3-1	9,54	1,337	5,72
7	БП <sub>A</sub> Н	3-2	9,98	1,399	5,98
8	БТ	4-1	7,83	1,096	5,57
9	БТН	4-2	7,5	1,050	5,50

При підсиленні дослідних балок передбачається, як підвищення міцності, так і підвищення тріщиностійкості та жорсткості.

Експерименти показують, що перші тріщини з'являються у зв'язку з низькою міцністю бетону при розтягу, внаслідок чого вони утворюються у місці, найбільших зусиль у зоні чистого згину.

Згідно з цими результатами видно, що матеріал підсилення незначно впливає на тріщиностійкість балок. Відносна величина тріщиностійкості для усіх випробуваних зразків знаходиться у межах 0,28...0,32 від руйнуючого навантаження. Ця величина характерна для ненапружених залізобетонних зразків. Найбільше підвищення тріщиностійкості, у порівнянні з непідсиленими зразками, спостерігається у балках підсиленних армованим полімербетоном, у межах 34...40%. На другому місці – балки підсилені полімербетоном. Підвищення становить 35...39 %. Балки підсилені сталевібробетоном мають підвищення тріщиностійкості 34...38 %. Найменше підвищення – у балках підсиленних традиційним дрібнозернистим бетоном – менше 10 %.

Величина тріщиностійкості найбільша у балок, підсиленних армованим полімербетоном і полімербетоном без підведення додаткової арматури, що, очевидно, пов'язано зі збільшенням висоти зразка і підвищеними деформативними властивостями сталевібробетону і полімербетону.

Але таке розташування шарів, при якому нижній шар бетону підсиленої балки має нижчу міцність на розтяг, а шар підсилюючого матеріалу, хоча і є більш деформативним ніж стиснутий бетон підсиленого елемента, не дає підстави для суттєвого збільшення відносної тріщиностійкості в результаті збільшення висоти стиснутої зони.

Також виявилось, що при порівнянні дослідних зразків підсиленних шаром неармованого полімербетону та армованим полімербетоном,

попередньо ненавантажених, спостерігається незначна різниця збільшення тріщиностійкості. Незначно більше підвищення відмічається і у балках серій БП та БС що навряд чи можна враховувати при проектуванні.

Утворення тріщин при випробуванні у базових балках серії Б в процесі збільшення навантаження характеризується збільшенням висоти стиснутої зони, за рахунок цього розвиток утворених тріщин по висоті обмежується, збільшується ширина їх розкриття, стабілізуються та починають утворюватися нові тріщини.

У процесі досліджень балок серій БС, БП, БТ, БП<sub>A</sub> та БСН, БПН, БТН, БП<sub>A</sub>Н встановлено, що розкриття тріщин та їх розвиток по висоті залежить від напружено-деформованого стану в перерізах балок до їх підсилення. Помічено, що у тих серіях балок, які були попередньо завантажені-розвантажені, тріщини розкриваються більше, однак розвиток по висоті – менший, ніж у решти серій зразків.

В балках серії БС, БП, БТ, БП<sub>A</sub>, на момент підсилення, залишкові деформації були відсутні. Це призводить до того, що тріщини по висоті досягають більших значень, ніж в балках серій БСН, БПН, БТН, БП<sub>A</sub>Н та, відповідно, ширина розкриття тріщин у балках, без попереднього навантаження, менша.

При випробуванні балок серії Б деформації на рівні крайнього стиснутого волокна залізобетонних балок складають  $(180...200) \times 10^{-5}$ .

Для дрібнозернистого армованого шару підсилення, цей показник становить –  $(160...180) \times 10^{-5}$ . Балки підсилені сталевіфібробетоном в момент утворення тріщин мали деформації у межах  $(280...300) \times 10^{-5}$ . Найбільші значення –  $(400...450) \times 10^{-5}$  виявляються у полімербетоні. Значення деформацій, отримані після випробувань усіх серій балок, майже співпадають з даними про граничні значення деформацій бетону, використаних для підсилення.

Представлені результати доводять ефективність підсилення з точки зору підвищення тріщиностійкості балок, практично незалежно від стану, в якому перебуває балка до підсилення (попередньо навантажена або ненавантажена), а також від виду підсилюючого матеріалу.

Як було зазначено вище, деяке збільшення моменту тріщиностійкості не можна пов'язати тільки зі збільшенням висоти за рахунок шару підсилення.

Зважаючи на обмежений обсяг досліджень, зараз ще рано встановлювати закономірності впливу матеріалів підсилення стиснутого бетону та тріщиностійкість згинальних елементів. Але вони, безумовно, є і впливають на експлуатаційні якості підсилених конструкцій.

### **Розкриття нормальних тріщин у підсилених балках.**

Для підсилених та непідсилених зразків виділяють три стадії утворення та розкриття тріщин за шириною.

Перша стадія характеризується виникненням тріщин, появу яких визначають за допомогою мікроскопа.

Друга стадія - це стадія, коли тріщини видно неозброєним оком, та третя - розкриття тріщин до граничних значень.

Тріщини в бетоні згинальних елементів утворюються у зоні чистого згину та їх поява залежить від структури бетону.

Через його неоднорідність тріщини з'являються неодноразомно.

При збільшенні навантаження процес тріщиноутворення має згасаючий характер, настає момент коли нові тріщини не утворюються, а ширина існуючих - збільшується.

Розкриття тріщин у балках, підсилених у стиснутій зоні, відбувається інакше, через вплив підсилюючого матеріалу.

Розглядаючи ширину розкриття тріщин, при однаковому згинальному моменті  $M=20$  кНм можна відмітити, що підсилені балки показали меншу ширину розкриття тріщин у порівнянні з непідсиленими

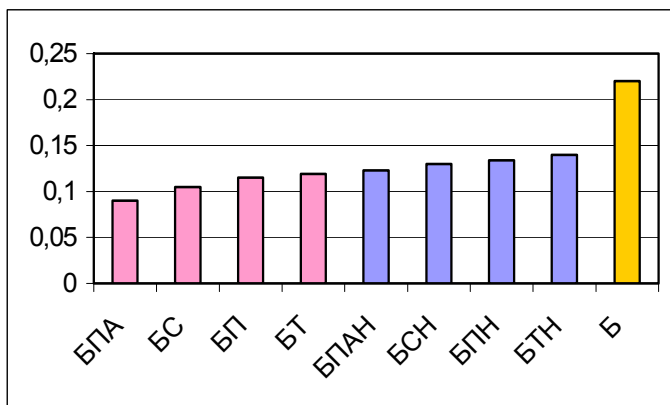


Рис. 1. Ширина розкриття тріщин, в мм., при моменті 20 кНм.

Випробування показали, що непідсилені балки серії Б при експлуатаційному рівні навантаження мають  $a_{crc}=0,18...0,21$  мм.

Встановлено, що різні способи підсилення мало впливають на ширину розкриття тріщин. Балки усіх серій крім БПА, тобто, підсилені сталеві фібробетоном, неармованим полімербетоном та шаром дрібнозернистого бетону з підведенням додаткової арматури у стиснуту зону мали  $a_{crc}=0,11...0,15$  мм. Тільки балки серії БПА показали найменше розкриття тріщин, яке дорівнює  $0,06...0,08$  мм. У балках, які в результаті попереднього навантаження мали тріщини, нові з'явилися практично в тих же перерізах.

Зі збільшенням навантаження, тобто після  $M=20$  кНм, ширина розкриття тріщин швидко зростає. За отриманими у дослідях деформаціями, перед руйнуванням балок ширина розкриття нормальних тріщин становить у невідсиленних балках – 0,45...0,55 мм а у відсиленних балках, залежно від виду використаного для відсилення матеріалу, знаходиться у межах від 0,4 мм до 0,45 мм.

Прогини невідсиленних та відсиленних у стиснутій зоні експериментальних балок вимірювали у зоні чистого згину. Результати досліджень, отримані при зусиллях  $(0,8...0,85)P_u$ , наведені у табл. 2. Для компенсації похибок при визначенні прогинів посередині прольоту були виміряні та враховані осадки опор.

Таблиця 2.

Результати досліджень прогинів залізобетонних елементів.

№ п / п	Марк а балки	Зусилля, кН.		Середні дослідні прогини, $\bar{f}_{мм}$	$\frac{\bar{f}}{f_0}$	Граничні прогини за нормами $[f]$ , мм	Відно с-ні проги ни	$\frac{\bar{f}}{[f]}$
		Руйнівне $\bar{P}_u$	При визначенні прогину, $\bar{P}$					
1	Б	25,5	21,7	6,7	1	9,0	1,287	0,744
2	БС	31,0	27,3	5,75	0,858		1,313	0,638
3	БСН	32,0	26,67	5,6	0,835		1,321	0,622
4	БП	30,5	25,1	5,2	0,776		1,346	0,577
5	БПН	31,25	26,06	5,5	0,820		1,310	0,611
6	БП <sub>A</sub>	31,75	25,6	5,6	0,836		1,321	0,622
7	БП <sub>A</sub> Н	32,15	26,9	5,4	0,806		1,333	0,6
8	БТ	29,0	24,07	6,1	0,910		1,295	0,677
9	БТН	30,0	24,6	5,9	0,880		1,353	0,656

Аналіз табл. 2. прогинів та побудованих графіків залежності  $M-f$  (рис.2.) дозволяє відмітити, що зростання прогинів в зразках до точок перегину – лінійне. Далі, зміна величини прогинів залежить від матеріалу відсилення.

Початкове навантаження та подальше розвантаження перед відсиленням, серій дослідних балок БП<sub>A</sub>Н, БСН, БПН, БТН, призводить до появи залишкових прогинів, а під час подальшого навантаження після відсилення - до зміни характеру залежності  $M-f$ .

Монотонне збільшення навантаження при дослідженні балок після їх відсилення в межах відносних навантажень характеризується практично лінійним зв'язком між прогинами та моментами. Порушення цієї лінійності можна спостерігати тільки при рівнях навантаження вище 0,9 внаслідок

різкого розвитку пластичних деформацій розтягнутої арматури, після чого нахил кривої М- $f$  збільшується у сторону прогинів.

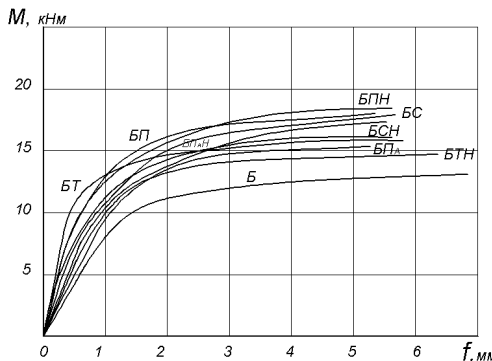


Рис. 2. Середні прогини дослідних залізобетонних балок.

Лінійний зв'язок між моментом та прогинами балок, підсилених у стиснутій зоні можна, пояснити таким чином:

1. На першому етапі навантаження, до підсилення, в стиснутому бетоні був вичерпаний запас непружних деформацій, який відповідає досягнутому рівню навантаження.
2. Введений у стиснуту зону більш міцний матеріал підсилення розвантажує бетон стиснутої зони, знижує тим самим при подальшому навантаженні долю непружних деформацій в сумарних деформаціях крайніх волокон бетону підсиленої конструкції.

Тобто, зростання прогинів залежить від особливостей розвитку деформацій по висоті перерізу після підсилення балок, що відноситься як до деформацій арматури у розтягнутій зоні, так і до матеріалу підсилення у стиснутій зоні.

1. Барашиков А.Я., Подольский Д.М., Сирота М.Д. Надежность восстанавливаемых и усиливаемых конструкций зданий и сооружений. -Черкасы, 1993. —44 с. 2. Лазовский Д.Н. Усиление железобетонных конструкций эксплуатируемых строительных сооружений. -Новополоцк: Издательство Полоцкого гос. ун-та, 1998.- 240 с.: ил.-ISBN 985-418-039-5. 3. КурбатовЛ.Г., Попов В.И. Трещиностойкость раскрытие трещин в изгибаемых сталефибробетонных элементах. Пространственные конструкции в гражданском строительстве. – Л.: ЛДНТП, 1982. 4.. Касассбех Абдельмажид. Прочность и деформативность усиленных и восстановленных полимербетоном железобетонных изгибаемых элементов: Дис. канд. техн. наук.-Киев, 1997.-201.