

УДК 624.072.012

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ
ЗГИНАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ З КОМПОЗИТНОЮ
СКЛОПЛАСТИКОВОЮ АРМАТУРОЮ**

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЧНОСТИ
ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С КОМПОЗИТНОЙ
СТКЛОПЛАСТИКОВОЙ АРМАТУРОЙ**

**RESEARCH OF INFLUENCE CURVILINEAR POST-TENSION
REINFORCEMENT WITHOUT ADHESION TO CONCRETE ON
SHEAR RESISTANCE**

Клімов Ю.А., д.т.н., проф. (Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ)

Климов Ю.А., д.т.н., проф. Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев)

Klymov J.A., doctor of technical sciences, professor (Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv)

Наведені результати експериментальних досліджень міцності згинальних елементів з композитною склопластиковою арматурою.

Приведены результаты экспериментальных исследований прочности изгибаемых элементов с композитной стеклопластиковой арматурой.

The results of experimental studies of the strength of bent elements with composite glass reinforcement.

Ключові слова:

Міцність, згинальні елементи, склопластиково арматура.

Прочность, изгибаемые элементы, стеклопластиковая арматура.

Strength, bending elements, fiber glass reinforcement.

Вступ. У сучасній світовій будівельній практиці все більш широкое застосування знаходить композитна склопластиково арматура [1, 2], однією з основних переваг якої є більш висока корозійна стійкість в порівнянні з традиційною сталевією арматурою. В Україні освоєно виробництво композитної неметалевої склопластикової арматури. В той же час, експериментальних досліджень властивостей елементів з такою арматурою, зокрема міцності згинальних елементів з різними

коефіцієнтами армування і відповідно різними формами руйнування, проведено недостатньо. Ця робота присвячена експериментальному дослідженню міцності згинальних елементів з композитною склопластиковою арматурою з різними коефіцієнтами армування.

Аналіз останніх досліджень. Композитна арматура являє собою основний несучий стрижень і зовнішній шар, який формує періодичний профіль арматури. Несучий стержень створюється з гладким профілем з тонких волокон скла діаметром 14 ... 16 мк, просочених зв'язуючою термореактивною смолою (пластиком). Композитна арматура проводиться методом пултрузії - протяжкою просочених сполучною волокон через формоутворювальну фільтру або методом підтрузії - без використання фільтри. Періодичний профіль поперечного перерізу формується шляхом вдавнення обмоточного джгута у зовнішній формоутворювальний шар, або шляхом спіральної обмотки уступами несучого стрижня обмотувальним джгутом. Тимчасовий опір композитної склопластикової арматури становить відповідно 600 ... 800 МПа, модуль пружності - 40..55 ГПа, відносне подовження після розриву - 2,0 %, густина - 2,03 т / м³. Для арматури характерна лінійна залежність напруги - деформації з крихким руйнуванням зразків при випробуванні на розтяг. Окремі експериментальні дослідження виявили, в залежності від коефіцієнтів поздовжнього армування композитною можливі різні форми – одночасне руйнування бетону стиснутої зони і поздовжньої арматури, руйнування бетону до руйнування арматури і руйнування по арматурі до руйнування бетону.

Постановка мети і задач досліджень. Метою цих експериментальних досліджень було встановлення значень коефіцієнтів поздовжнього армування, які відповідають можливим формам руйнування згинальних елементів. При цьому задачі досліджень передбачали встановлення характеру утворення, розвитку тріщин, деформацій бетону і арматури, прогинів дослідних зразків в процесі навантаження.

Методика досліджень. В якості дослідних зразків були прийняті балки прямокутного перерізу, армовані композитної склопластикової арматурою (рис. 1, рис.2). Варійованими факторами при проведенні експериментальних досліджень були коефіцієнт армування, розташування в перерізі балки і міцність (тимчасовий опір) композитної склопластикової арматури (АКС). Всього було випробувано 4 серії зразків по 5 балок-близнюків в кожній. У зразках перших трьох серій (I, II, III) використовувалася склопластиковою арматура діаметром 10, 12 і 16 мм з тимчасовим опором від 705 до 730 МПа, в четвертій серії (IV) - арматура діаметром 12 мм з тимчасовим опором 800 МПа. У першій, другій і четвертій серіях композитна склопластиковою арматура була розташована в розтягнутій зоні, а в третій серії - в розтягнутої і стиснутої зонах. У першій, другій і четвертій серіях в розтягнутій зоні встановлювалися по два стрижня діаметром 10 мм (серія I), 12 мм (серія II) і 12 мм (серія IV).

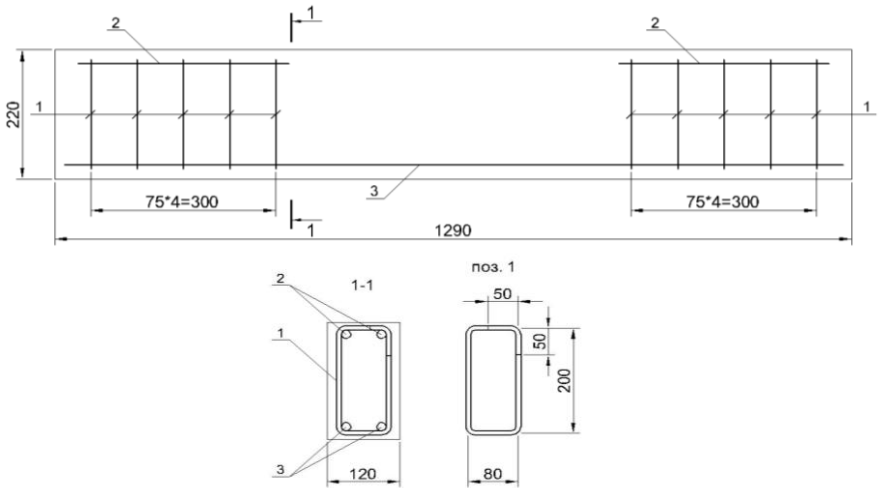


Рис. 1. Конструкція дослідних балок серій I, II і IV: 1- $\text{Ø}8$ A240C; 2 — $2\text{Ø}8$ A240C; 3- - $2 \text{Ø} 10$ АКС (серія I) і $2 \text{Ø} 10$ АКС (серія II, серія IV)

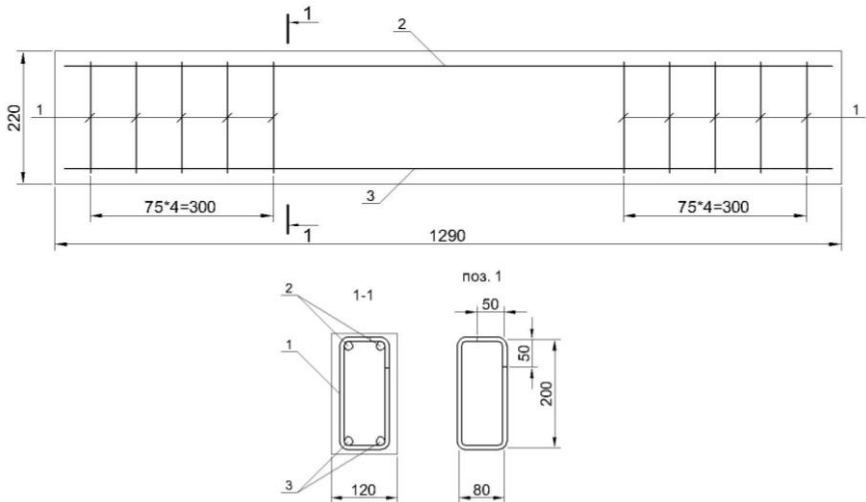


Рис. 2. Конструкція дослідних балок серії III: 1- $\text{Ø}10$ A240C; 2- $2 \text{Ø} 10$ АСК; 3- - $2 \text{Ø} 16$ АСК

У третій серії в розтягнутій зоні встановлювалися два стержня діаметром 16 мм, а в стиснутій - два стержня діаметром 12 мм. Для того, щоб уникнути руйнування балок по похилій тріщині, в зоні дії поперечних сил балок встановлювалися, необхідна за розрахунком, поперечна арматура класу

A240С з кроком 75 мм. Коефіцієнт поздовжнього армування розтягнутої зони у балках серій I, II, III і IV відповідно складав - 0,0059, 0,0086, 0,0178, 0,0086.

Дослідні балки випробовувалися як вільно оперті прольотом 860 мм. При цьому одна з опор (шарнірно-нерухома) допускала тільки поворот балки, а друга (шарнірно рухома) - поворот і переміщення в площині вигину. Навантаження балок здійснювалося двома зосередженими силами, розташованими на відстані 230 мм від опор, відстань між силами (довжина зони чистого згину) становила 400 мм. Схема випробувань дослідних балок і розстановка вимірної апаратури наведена на рис.3.

В процесі випробувань вимірювалися деформації бетону стиснутої зони, деформації композитної арматури розтягнутої зони, вертикальні переміщення (прогин) балки в середині прольоту, кількість і ширина розкриття нормальних тріщин, зміщення (зсув) вільного кінця композитної поздовжньої арматури розтягнутої зони на торцях балки. Навантаження зразків здійснювалося ступенями по 0,05 ... 0,10 від передбачуваної руйнівного навантаження. На кожній ступені навантаження дотримувалися 2-3 хвилини.

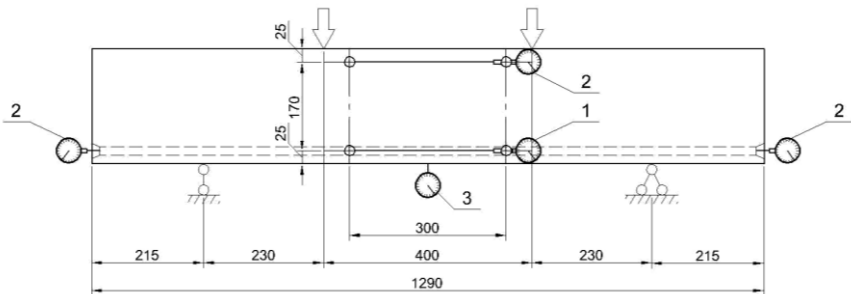


Рис.3. Схема випробувань дослідних балок і розташування вимірної апаратури: 1 – індикатор годинникового типу з ціною поділки 0,01 мм; 2 - індикатор годинникового типу з ціною поділки 0,001 мм; 3 - прогиномір годинникового типу з ціною поділки 0,1 мм.

Результати досліджень. В процесі навантаження першими утворювалися нормальні тріщини в зоні чистого згину. Утворення тріщин відбувалося при навантаженні від 0,32 до 0,36 від руйнівного. При подальшому збільшенні навантаження відбувалося розвиток по висоті і розкриття нормальних тріщин. Розвиток нормальних тріщин по висоті практично припинялося при навантаженні від 0,65 до 0,80 від руйнівного, розкриття тріщин тривало аж до руйнування балки. При навантаженні від 0,60 до 0,75 від руйнівного, яка приблизно відповідає рівню нормативної, прийнятої для оцінки тріщиностійкості конструкцій, середня ширина розкриття тріщин залежала від коефіцієнта поздовжнього армування та становила від 0,20 до 0,25 мм при коефіцієнті 0,0178 (серія III) і від 0,50 до 0,60 мм при коефіцієнті 0,0059 (серія I).

Зсуву вільного кінця композитної поздовжньої арматури на торці балки аж до руйнування не відбувалося, що свідчить про забезпечення зчеплення арматури з бетоном. Виняток становила одна балка третьої серії, яка зруйнувалася внаслідок втрати зчеплення (просмикування) арматури з бетоном.

В процесі випробувань було зафіксовано три види руйнування дослідних балок: розрив поздовжньої арматури, який мав місце у всіх балках першої серії і чотирьох з п'яти балок другої серії (рис. 4); роздроблення бетону стиснутої зони, яка мала місце у всіх балках четвертої серії, чотирьох з п'яти балок третьої серії і однієї балки другої серії (рис. 5); втрата зчеплення (просмикування) поздовжньої арматури розтягнутої зони з бетоном, яке мало місце в одній балці другої серії. Руйнування балок в результаті роздроблення бетону стиснутої зони носило пластичний, а в результаті розриву і втрати зчеплення арматури з бетоном - крихкий характер. Результати проведених експериментальних досліджень наведені в табл. 1 у вигляді даних щодо деформацій бетону стиснутої зони і композитної розтягнутої арматури безпосередньо перед руйнування, значень переміщень (прогинів) і ширини розкриття тріщин на стадії, що відповідає нормативному навантаженню (від 0,5 до 0,6 від руйнівного) і стадії перед руйнування, величини руйнівного навантаження.

Висновки. Закономірності опору бетонних елементів, армованих композитної склопластикової арматурою, а саме характер тріщиноутворення, деформування і руйнування, відповідають аналогічним закономірностям для елементів, армованих сталевую арматурою. Величина напружень в поздовжньої композитної розтягнутій арматурі на стадії руйнування залежала від виду руйнування і відповідно становила: в балках, що зруйнувалися в результаті розриву арматури - від 384 до 504 МПа; в балках, що зруйнувалися в результаті роздроблення бетону стиснутої зони другої серії - від 337 до 474 МПа, четвертої серії з більшим значенням тимчасового опору арматури - від 377 до 754 МПа; в балках, що зруйнувалися в результаті втрати зчеплення арматури з бетоном - 187 МПа. Зміна деформацій поздовжньої композитної арматури розтягнутої зони дослідних балок в процесі навантаження носило лінійний характер. Деформації бетону на рівні середини висоти стиснутої зони балок на стадії перед руйнування в результаті розриву поздовжньої арматури і втрати зчеплення арматури з бетоном становили про $0,900 \cdot 10^{-3}$ до $2,147 \cdot 10^{-3}$ і були нижче граничних деформацій бетону при стисканні. Деформації бетону на рівні середини висоти стиснутої зони балок на стадії перед руйнуванням в результаті роздроблення бетону стиснутої зони становили від $1,933 \cdot 10^{-3}$ до $3,588 \cdot 10^{-3}$ і в більшості випадків були близькі до граничних деформацій бетону при стисканні. Прогини балок при навантаженні, що відповідає рівню нормативної, становили в балках з одиночним армуванням від 2,4 до 5,5 мм, що відповідало від 1/360 до 1/160 прольоту, а в балках з подвійним армуванням - від 1,4 до 2,4 мм, що відповідало від 1/610 до 1/360 прольоту.

Ширина розкриття тріщин при навантаженні, яке відповідає рівню нормативного, змінювалася залежно від коефіцієнта поздовжнього армування розтягнутої зони і при коефіцієнті 0,0059 (серія I) становила від 0,50 до 0,60 мм, при коефіцієнті 0,0086 (серії II, IV) - від 0,35 до 0,55 мм, при коефіцієнті 0,0178 (серія III) - від 0,20 до 0,25 мм.

Таблиця 1

Результати експериментальних досліджень

| Серія | Марка зразка | Відносні деформації 10^{-3} | | Прогин f при навантаженні, мм | | a_{crc} мм | M_u , кНм |
|-------|--------------|-------------------------------|-----------------|---------------------------------|-------|-----------------|----------------|
| | | ε_c | ε_s | F_{ser} | F_u | | |
| I | I-1 | 1,167 | 11,467 | 4,4 | 8,6 | 0,55 | 14,22 |
| | I-2 | 1,147 | 10,75 | 5,5 | 11,5 | 0,60 | 15,15 |
| | I-3 | 1,117 | 12,35 | 4,1 | 8,9 | 0,55 | 15,91 |
| | I-4 | 0,906 | 10,417 | 4,5 | 7,9 | 0,60 | 15,95 |
| | I-5 | 1,295 | 12,051 | 5,1 | 9,4 | 0,60 | 15,48 |
| II | II-1 | 2,147 | 12,467 | 3,3 | 9,9 | 0,45 | 20,22 |
| | II-2 | 1,392 | 10,117 | 3,1 | 10,5 | 0,35 | 23,01 |
| | II-3 | 1,222 | 13,25 | 3,7 | 10,9 | 0,45 | 20,15 |
| | II-4 | 1,337 | 10,217 | 2,7 | 8,2 | 0,40 | 20,05 |
| | II-5 | 2,983 | 7,167 | 2,4 | 6,9 | 0,40 | 22,16 |
| III | III-1 | 1,472 | 4,933 | 2,4 | 6,3 | 0,20 | 22,72 |
| | III-2 | 3,588 | 12,467 | 1,4 | 11,9 | 0,25 | 35,75 |
| | III-3 | 3,017 | 9,317 | 1,7 | 11,2 | 0,25 | 33,61 |
| | III-4 | 3,358 | 9,25 | 1,8 | 11,9 | 0,20 | 32,10 |
| | III-5 | 3,497 | 8,867 | 1,5 | 10,1 | 0,25 | 35,72 |
| IV | I-1 | 2,017 | 19,833 | 5,4 | 17,0 | 0,50 | 20,2 |
| | I-2 | 2,417 | 11,433 | 4,4 | 13,4 | 0,55 | 19,2 |
| | I-3 | 1,933 | 12,733 | 3,2 | 12,1 | 0,45 | 18,8 |
| | I-4 | 3,033 | 15,210 | 3,7 | 14,9 | 0,50 | 18,9 |
| | I-5 | 3,015 | 15,317 | 4,2 | 12,9 | 0,50 | 19,2 |

1. ACI 440.3R-04 Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with FRP Bars. - American Concrete Institute, 2006. 2. ДСТУ-Н Б-В.2.6-185:2012 Настанова з проектування та виготовлення бетонних конструкцій з неметалевою композитною арматурою на основі базальто- і склоровінгу. МІНРЕГІОНБУД УКРАЇНИ. К:2012.