

УДК 624.012.45

ДО ПИТАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ ПРИ КРУЧЕННІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК З НОРМАЛЬНИМИ ТРІЩИНАМИ

Срібняк Н.М., Циганенко Л.А.

Сумський національний аграрний університет

Наводяться дані міцності експериментальних балок прямокутного перерізу з штучними нормальними тріщинами. Балки зазнають дії крутного моменту. Проаналізовано вплив поздовжньої арматури на роботу балок з тріщинами при крученні.

Ключові слова: крутний момент, міцність при крученні, залізобетонна балка, нормальні тріщини.

Аналіз публікацій і постановка проблеми. Розрахунком міцності залізобетонних елементів, схильних до кручення і вигину з крученням в різний час займався багато авторів [1-15].

В.К. Юдін, аналізуючи випробування на вигин з крученням серії балок прямокутного перерізу, що мають слабку поперечну арматуру, зазначає, що руйнування таких балок наставало досить швидко після появи першої тріщини завдяки появі текучості в хомутах. Характер руйнування цих балок нагадував характер руйнування балок без хомутів. Також випробування балок показали, що зі зменшенням перерізу поздовжньої розтягнутої арматури в два рази, несуча здатність балки, що зазнає кручення, зменшується приблизно на 20-30%, тоді як зменшення перетину хомутів в стільки ж разів знижує несучу здатність на 60% і більше [15]. Таким чином, підвищення несучої здатності балок, що зазнають кручення, слід здійснювати за рахунок збільшення відносного вмісту в бетоні поперечної арматури, а не поздовжньої [13]. Г.Дж. Коуен [6] зазначає, що наявність в балках тільки поздовжньої арматури, в порівнянні з неармованими балками, незначним чином збільшує міцність перерізу при крученні. Зростання загального опору крученню пояснюється заміщенням деякої частини площі перерізу арматури, рівновеликою площею перерізу арматури, яка має значно більший модуль зсуву, ніж бетон. Передбачається, що поздовжня арматура мало впливає на роботу балки при крученні в пружній стадії [6]. Результати випробування балок, що мають слабку поперечну арматуру, підтвердили вірність твердження шведського професора Нілендера та інших авторів про те, що до появи першої тріщини залізобетонні балки, що зазнають кручення, працюють так само, як бетонні, а після появи тріщин несуча здатність, в основному, залежить від насичення бетону поперечною арматурою [13].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Таким чином, можна зробити висновок, що в пружній стадії роботи балки на кручення, коли нормальні тріщини відсутні, поздовжня арматура мало впливає на її міцність. *Питання, як змінюється міцність балки при крученні при наявності нормальних тріщин, і як на неї впливає поздовжня арматура, залишається маловивченим.*

Виявлено [2], що наявність отворів в балках при впливі на них вигину з крученням помітно впливає на деформативність дослідних зразків. Зі збільшенням висоти і довжини отвору зрос-

тає і деформативність балок прямокутного перерізу з наскрізними отворами. Найбільш яскраво це виражено в балках з висотою отвору 0,25 h. В ході експериментального дослідження на вигин з крученням балок, що мають штучні поперечні тріщини, були зроблені наступні висновки [15]. Робота балок з штучними тріщинами протікала так само, як і балок, які не мали штучних тріщин, а величини прогинів і кутів повороту деяких балок з тріщинами виявилися навіть меншими, ніж балок без тріщин. Поява косих тріщин в балках з штучними поперечними тріщинами відбувалося при навантаженнях, в середньому на 20% більших, ніж в балках без штучних тріщин, а різниця в величинах руйнівних навантажень на користь балок з штучними тріщинами коливалася від 10% до 80%. В.К. Юдін припускає, що штучні поперечні тріщини, впорядковуючи розвиток тріщин по довжині балок, сприятливо впливають на їх несучу здатність [15]. Слід зазначити, що вищевказані експериментальні балки мали верхню і нижню поздовжню арматуру, поперечні хомути і були схильні до одночасної дії згинального і крутного моментів. На практиці, однак, часто зустрічаються випадки, коли залізобетонний елемент має одиночне армування і в ньому присутні тільки нормальні тріщини. До таких елементів відносяться ребра плит перекриттів. У диску перекриття, що деформується просторово, ці елементи зазнають не тільки згинальних, але і крутних моментів.

У зв'язку з вищесказаним, можна сформулювати мету цієї статті – експериментальне дослідження впливу нормальних тріщин на несучу здатність балок, армованих тільки поздовжньою арматурою, при крученні. В ході дослідження також було поставлено завдання: виявлення напрямку розвитку тріщин, характеру руйнування конструкції.

Виклад основного матеріалу. На базі лабораторії Сумського заводу залізобетонних конструкцій були випробувані залізобетонні балки прямокутного перерізу з нормальними, штучно створеними щілинами, що імітують тріщини. Метою експерименту було визначення як жорсткісних параметрів зразків (рис. 1), так і аналіз їх міцності.

Було виготовлено 15 балок п'яти типів, з одиночним поздовжнім стержнем з арматури А400с періодичного профілю діаметром 10,14 та 18 мм. Поперечна арматура була відсутня. Класифікація балок за типами проводилася в залежності від висоти зони без тріщин, а за підтипами – в залежності від діаметра арматури. Балки п'ятого

типу були виготовлені без штучних тріщин (див. табл. 1).

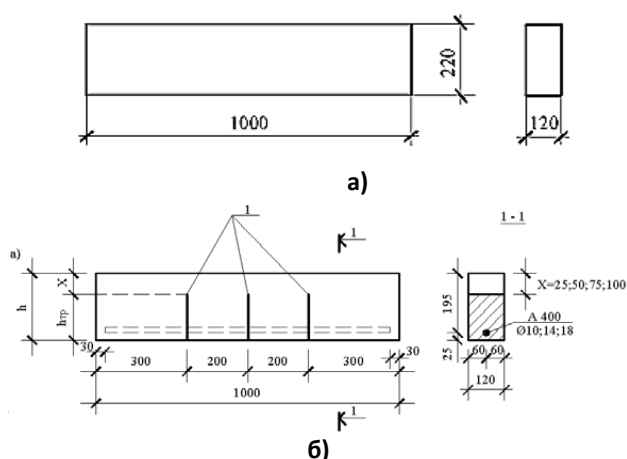


Рис. 1. Експериментальна балка: а) геометричні характеристики; б) розбивка експериментального зразка нормальними тріщинами на окремі блоки; схема армування зразків; 1 – вставка з ДВП



Рис. 2. Загальний вигляд експериментальної установки

Таблиця 1
Маркування балок по діаметру арматури і висоті зони без тріщин

Висота зони без тріщин х, мм	Діаметр арматури d_s , мм	Марка балки
25	10	Б 1-1
25	14	Б 1-2
25	18	Б 1-3
50	10	Б 2-1
50	14	Б 2-2
50	18	Б 2-3
75	10	Б 3-1
75	14	Б 3-2
75	18	Б 3-3
100	10	Б 4-1
100	14	Б 4-2
100	18	Б 4-3
без тріщин	10	Б 5-1
без тріщин	14	Б 5-2
без тріщин	18	Б 5-3

Загальний вигляд експериментальної установки з зразком показаний на рис. 2.

Навантаження зразків штучними вантажами проводилося етапами. Витримка під навантаженням становила 10 хвилин. Вантажі укладалися на металевий піддон таким чином, щоб на кожному етапі мало місце однакове вертикальне навантаження.

Випробування на осьовий стиск шести еталонних кубиків розміром 100x100x100 мм, виконаних з одного бетонного замісу із зразками-балками, показало, що міцність бетону становить 30,7 МПа, що відповідає за характеристичним значенням кубикової міцності $f_{ck,cube}$ класу бетону С 30.

Межа текучості арматури прийнята за усередненими даними випробування двох зразків одного діаметру. Так, для А400с Ø 10 мм середня межа текучості становила 594,6 МПа, для А400с Ø 14 мм – 561,3 МПа, для А400с Ø 18 мм – 609,1 МПа.

Висновки та перспективи досліджень. У двох балках п'ятого типу (Б 5-1 і Б 5-3) тріщини кручення не виникли, оскільки горизонтальне положення зразка в установці було порушено через сколювання кута в опорному коробі, до якого прикладалася на відстані L вертикальне навантаження, створюючи таким чином крутний момент. У балці Б 5-2, без штучних тріщин, виникла похила просторова тріщина кручення під кутом близько 45°.

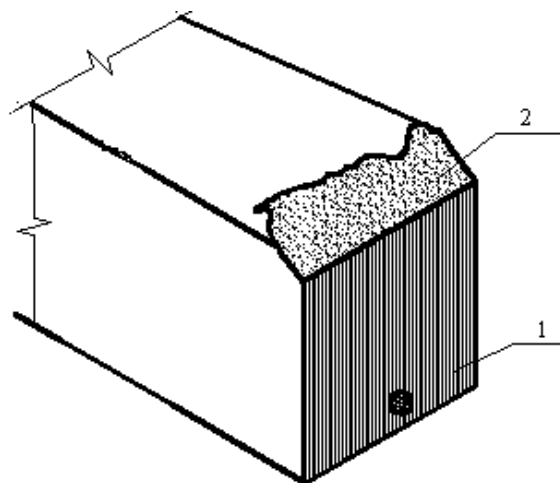


Рис. 3. Схема руйнування балок з штучними нормальними тріщинами – просторовий похилий переріз в зоні без тріщин: 1 вставка з ДВП, 2 – вигляд перерізу після руйнування балки

Характер руйнування всіх зразків був крихким, в переважній більшості випадків – миттєвим. В деяких випадках розвиток і розкриття тріщини відбувалося протягом 0,5-1 хвилини. В процесі самого поетапного навантаження, аж до останнього ступеня, появи будь-яких похилих тріщин на гранях балки не спостерігалось, хоча індикатори годинникового типу, встановлені на двох крайніх блоках, фіксували переміщення двох середніх блоків, відокремлених тріщинами. Вони показували значні прирости деформацій протягом останніх етапів витримки під навантаженням. Слід зазначити, що у всіх випадках трі-

щина кручення починала розвиватися на бічній грані на ділянці без тріщин під кутом в 45° від верхнього кінця однієї з трьох штучних тріщин. В семи випадках з дванадцяти тріщина поширювалася від першої штучної тріщини, ближньої до краю балки, до якого прикладався крутний момент. Це свідчить лише про те, що тріщини розвивалися в найбільш ослаблених перетинах, оскільки значення крутного моменту по всьому перетину є однаковим. Миттєва поява похилої тріщини кручення у всіх випадках мала місце на бічній грані балки, ближньої до вертикального завантаження. Тріщина стрімко поширювалася по верхній грані, переходячи на бічну, віддалену від вертикального завантаження. Тріщина розвивалася по незамкненій лінії, утворюючи просторовий похилий переріз (рис. 3). Таким чином,

руйнування балки відбувалося від просторової тріщини кручення (рис. 4) в стиснутій зоні перерізу при значенні крутного моменту, що дорівнював граничному.

Значення руйнуючого крутного моменту свідчать про пропорційну залежність величини моменту від діаметра арматури (рис. 5).

В подальшому необхідно було би виконати експериментальні дослідження залежності «крутний момент – переміщення». Факторами, що впливають на цю залежність, прийняти: висоту стиснутої зони перерізу балки, діаметр позовжньої арматури. Перспективою досліджень є доповнення та удосконалення методики визначення жорсткості при крученні залізобетонних елементів прямокутного перерізу з нормальними тріщинами [16].



Рис. 4. Просторова тріщина кручення на прикладі балки Б 5-2: а) загальний вид балки в експериментальній установці; б) просторовий похилий переріз балки по тріщині

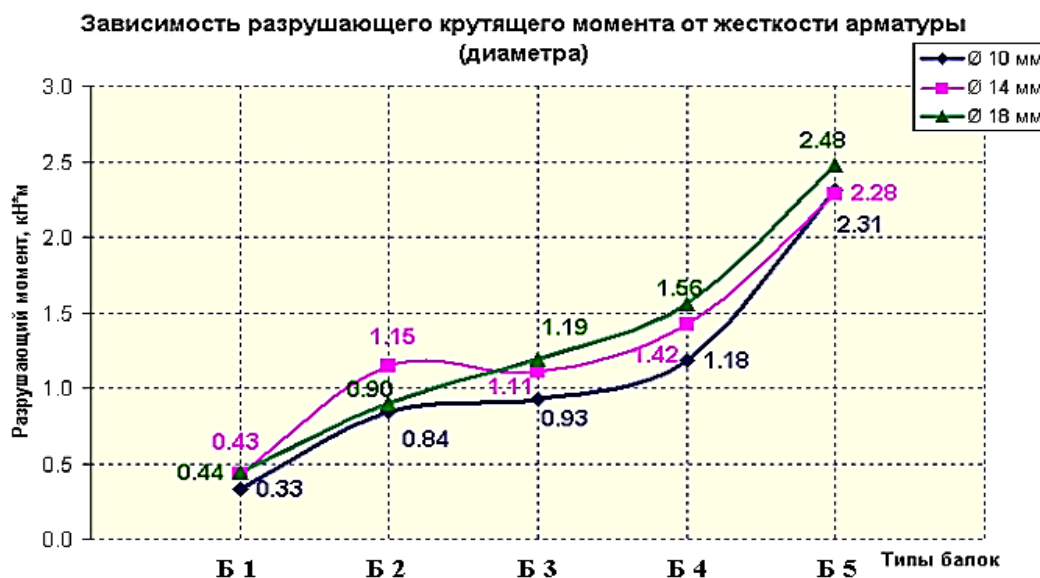


Рис. 5. Залежність граничного крутного моменту в балці від діаметра арматури

Список літератури:

1. Бурлаченко П.И. Экспериментальное исследование влияния сопротивления бетона сжатию на прочность железобетонных балок, работающих на изгиб с кручением. Автореф. дис. канд. техн. наук / Новосибирский ин-т инженеров железнодорожного транспорта. – Новосибирск, 1963. – 23 с.
2. Дюрменова С.С. Прочность железобетонных балок со сквозными отверстиями при интенсивном кручении. Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.23.01 – «Строительные конструкции, здания и сооружения» / Карачаево-Черкесская государственная технологическая академия. – Ростов-на-Дону, 2006.
3. Карпенко Н.И. Теория деформирования железобетона с трещинами. – М.: Стройиздат, 1976. – 208 с.
4. Карпенко Н.И., Елагин Э.Г. Деформации железобетонных трубчатых элементов, подвергнутых кручению, после образования трещин // Бетон и железобетон. – 1970. – № 3. – С. 42-46.
5. Касаев Д.Х. Исследование преднапряженных переармированных элементов прямоугольного сечения, работающих на кручение и изгиб с кручением // Бетон и железобетон. – 1971. – № 8. – С. 39-40.
6. Коуэн Г.Дж. Кручение в обычном и предварительно нарыженном железобетоне: Пер. с англ. – М.: Изд-во литературы по строительству, 1972. – 104 с.
7. Лессиг Н.Н. Определение несущей способности железобетонных элементов прямоугольного сечения при совместном действии изгиба и кручения // Бетон и железобетон. – 1959. – № 3. – С. 109-113.
8. Лессиг Н.Н., Руллэ Л.К. Общие принципы расчета прочности железобетонных стержней на изгиб с кручением // Теория железобетона, под ред. К.В. Михайлова, С.А. Дмитриева. – М.: Стройиздат, 1972. – С. 43-49.
9. Лессиг Н.Н., Руллэ Л.К., Касаев Д.Х. Исследование работы на изгиб с кручением предварительно напряженных железобетонных элементов прямоугольного сечения, разрушающихся по сжато-растянутому бетону // Воздействие статических, динамических и многократно повторяющихся нагрузок на бетон и элементы железобетонных конструкций, под ред. Гвоздева, НИИЖБ. – М.: Стройиздат, 1972. – С. 86-105.
10. Лялин И.М. Исследование работы железобетонных балок прямоугольного сечения, подверженных воздействию поперечной силы, изгибающего и крутящего моментов. Автореф. дис. канд. техн. наук / МИСИ, М.: 1960. – 18 с.
11. Фалеев Л.В. Экспериментально-теоретические исследования несущей способности железобетонных балок прямоугольного и таврового сечений, работающих на косоугольный изгиб с кручением. Автореф. дис. канд. техн. наук: 480 / Белорус. политехн. ин-т, Минск, 1968. – 23 с.
12. Эль Хадж Назих. Работа железобетонных элементов при совместном действии изгиба и кручения. Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.23.01 / Киевский инж.-строит. ин-т. – Киев, 1986. – 19 с.
13. Юдин В.К. Кручение железобетонных элементов (теоретические и экспериментальные исследования). Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.480 / Ленинградский инж.-строит. ин-т, Ленинград, 1970. – 24 с.
14. Юдин В.К. Определение несущей способности железобетонных элементов прямоугольного сечения при совместном действии кручения и изгиба // Бетон и железобетон. – 1962. – № 6. – С. 265-268.
15. Юдин В.К. Работа железобетонных балок прямоугольного сечения на кручение с изгибом. // Бетон и железобетон. – 1964. – № 1. – С. 30-35.
16. Срибняк Н.Н. Крутильная жесткость железобетонных элементов перекрытий с нормальными трещинами. Дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / Одесская государственная академия строительства и архитектуры – Одесса, 2009. – 257 с.

Срибняк Н.Н., Цыганенко Л.А.

Сумской национальный аграрный университет

К ВОПРОСУ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЧНОСТИ ПРИ КРУЧЕНИИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК С НОРМАЛЬНЫМИ ТРЕЩИНАМИ

Аннотация

Приводятся данные прочности экспериментальных балок прямоугольного сечения с искусственными нормальными трещинами. Балки подвергаются воздействию крутящего момента. Проанализировано влияние продольной арматуры на работу балок с трещинами при кручении.

Ключевые слова: крутящий момент, прочность при кручении, железобетонная балка, нормальные трещины.

Sribnyak N.N., Tsyganenko L.A.

Sumy National Agrarian University

TO RESEARCH QUESTIONS TORSIONAL STRENGTH OF REINFORCED CONCRETE BEAMS WITH NORMAL CRACKS

Summary

Data on the strength of experimental beams of rectangular cross section with artificial normal cracks are given. The beams are exposed to torque. The influence of longitudinal reinforcement on the work of beams with torsional fractures was analyzed.

Keywords: torque, torsion strength, reinforced concrete beam, normal cracks.