

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КРУТИЛЬНОЙ ЖЕСТКОСТИ И ПРОЧНОСТИ ТАВРОВЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С НОРМАЛЬНЫМИ ТРЕЩИНАМИ ПРИ КРУЧЕНИИ

Азизов Т.Н., Стадник В.И. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса)

Показана актуальність експериментальних досліджень, оскільки крутильна жорсткість елементів впливає на перерозподіл зусиль в просторових залізобетонних системах. Приведені основні характеристики міцності і деформативності при крученні експериментальних балок таврового перетину з штучними нормальними тріщинами.

Постановка задачи и анализ исследований.

Целью исследований являлось установление характера изменения жесткостных параметров экспериментальных балок при работе на кручение. В железобетонных ростверках, подкрановых балках, системах перекрестных балок крутящие моменты составляют 10–20% от изгибающих. Поэтому в балках от действия крутящих моментов возникают, как правило, нормальные, а не винтовые трещины.

При появлении трещин уменьшается не только изгибная, но и крутильная жесткость. Методика определения изгибной жесткости для балок с трещинами хорошо отработана. Исследованию изгибных жесткостей посвящено большое количество теоретических и экспериментальных работ, а исследованию крутильной жесткости – очень ограниченное их количество. Кроме того, и в этих относительно немногочисленных работах рассматриваются только некоторые частные случаи сечений и видов трещин [5]. Исследования крутильной жесткости элементов с нормальными трещинами находятся в начальной стадии и касаются элементов прямоугольного сечения [1, 2]. Определению крутильной жесткости элементов таврового сечения с нормальными трещинами не уделено внимания в литературе.

В связи с вышесказанным целью настоящей статьи является изложение результатов экспериментального исследования характеристик жесткости и прочности железобетонных балок таврового сечения с нормальными трещинами.

Изложение основного материала

Были изготовлены и испытаны железобетонные балки таврового сечения с искусственно созданными нормальными трещинами, имитированными вставками из ДВП толщиной 4мм.

Целью эксперимента было определение жесткостных и прочностных характеристик экспериментальных железобетонных балок таврового сечения со следующими характеристиками:

Ширина сечения ребра (b)	– 125мм;
Полная высота сечения (h)	– 250мм;
Толщина полки	– 50 и 75мм
Ширина полки	– 250, 350 и 450мм.
Длина балки	– 1200мм
Количество искусственных трещин	– 3
Расстояние между искусственными трещинами	– 250мм
Класс бетона	– В15
Класс продольной арматуры	– А500С
Диаметр продольной арматуры	– 12, 18 и 22мм
Расстояние от центра тяжести арматуры до нижней грани сечения	– 25мм.
Опорная зона армировалась замкнутыми хомутами из проволоки $\varnothing 5$ Вр-I с шагом 40 мм.	
Полка армировалась сеткой (расположенной в середине ее толщины) из проволоки $\varnothing 3$ Вр-I с ячейкой 75x75мм.	

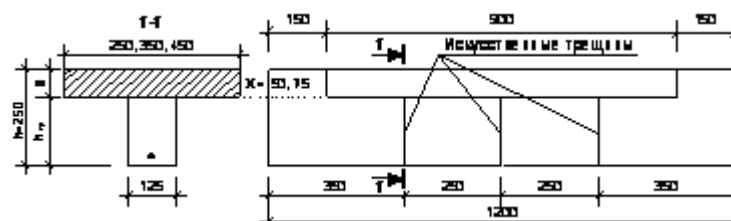


Рис.1 Геометрические характеристики экспериментальной балки

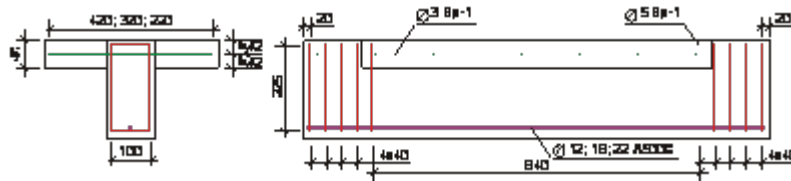


Рис.2 Армирование экспериментальной балки

Маркировались балки по диаметру продольной арматуры, толщине полки и ширине полки. Пример маркировки балки показан в таблице 1.

Таблица 1. – Маркировка экспериментальных балок

Маркировка балки	Диаметр продольной арматуры, мм	Высота полки тавровой балки, мм	Ширина полки тавровой балки, мм
Б-12-75-250	12	75	250

Вместе с каждой серией балок, из бетона формовались контрольные образцы: 5 кубов размером 100x100x100мм и 3 призмы размером 100x100x400мм, по которым были определены: кубиковая прочность [3], а также призмная прочность и начальный модуль упругости бетона [4].

Полученные результаты сведены в таблицу 2.

Таблица 2. – Результаты испытания контрольных образцов

Маркировка балки	Кубиковая прочность R МПа	Призмная прочность R_b МПа	Начальный модуль упругости бетона E_b МПа
Б-18-75-450 Б-12-50-450	18,4533	13,5	24082
Б-22-75-450 Б-18-50-450	14,5667	11,3	19580
Б-12-75-450 Б-22-50-450	15,4533	11,1	21169
Б-22-75-350 Б-18-50-350	14,1492	11,1	19140
Б-12-75-350 Б-22-50-350	27,0977	20,8	30078
Б-18-75-350 Б-12-50-350	25,0429	16,8	27832
Б-12-75-250 Б-22-50-250	30,0830	21,8	36457
Б-22-75-250 Б-18-50-250	14,3767	12,6	21426
Б-18-75-250 Б-12-50-250	20,3300	15,5	24071

Для проведения испытаний была изготовлена экспериментальная установка, общий вид установки с установленным в нее экспериментальным образцом показан на рис. 3.

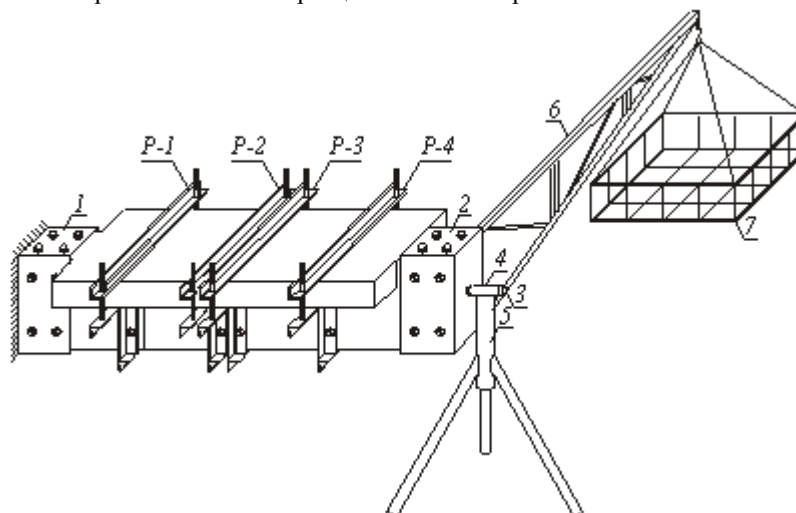


Рис. 3. Общий вид экспериментальной установки:

1 – короб, защемленный жестко; 2 – короб, имеющий шарнирную опору; 3 – ось, приваренная ко второму опорному коробу; 4 – втулка; 5 – стойка; 6 – рычаг; 7 – корзина для укладывания грузов; P-1, P-2, P-3, P-4 – рамки для крепления приборов.

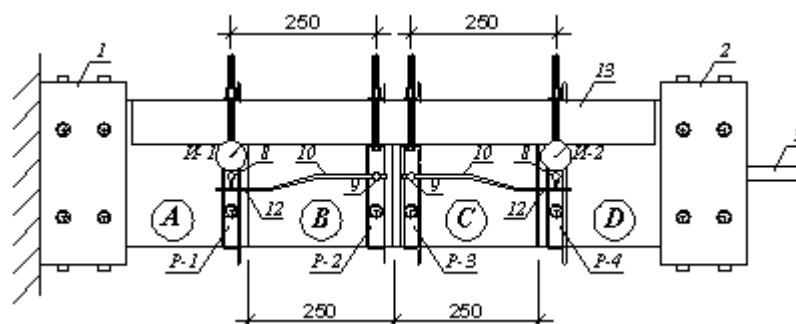


Рис. 4. Приспособления для измерения перемещений между блоками:

И-1, И-2 – индикаторы часового типа; P-1, P-2, P-3, P-4 – стальные рамки из уголка L32x4; 1 – опорный короб, жестко закрепленный к испытательному стенду; 2 – опорный короб с шарнирным креплением; 3 – ось короба с шарнирным креплением; 8 – держатель из гладкой арматуры под индикатор; 9 – держатель из гладкой арматуры под прутки; 10 – прутки; 12 – пластина для опирания ножки индикатора; 13 – экспериментальный образец.

При исследовании жесткости образцов с нормальными трещинами на этапах их загрузки с помощью индикаторов часового типа измерялись перемещения двух средних блоков В и С относительно двух крайних блоков А и D (рис.4).

Методика проведения эксперимента для всех балок заключалась в следующем:

- в опорные торцевые короба экспериментальной установки монтировался образец, на который в последствии устанавливались четыре рамками из уголка L32x4. Концы балки в установке через металлические пластины зажимались болтами;

- выверялось горизонтальное положение образца в установке; рамки устанавливались на образце и фиксировались прижимными болтами. Между рамками P-1 и P-2, P-3 и P-4 выдерживалось расстояние в 250 мм (база измерений), которое равнялось длине блока между трещинами;

- замерялось расстояние от ножек индикаторов И-1 и И-2 к боковой грани балки;

- загрузка образцов выполнялась поэтапно, с выдержкой под нагрузкой на протяжении 10 минут, вплоть до их разрушения.

- в журнале записи отсчетов по индикаторам часового типа вносились данные перемещений блоков в начале и в конце каждого этапа загрузки.

Результаты экспериментов.

Экспериментально установлено, что прочность при кручении образцов с искусственными нормальными трещинами увеличивается с увеличением прочности бетона, высоты сжатой зоны (зоны без трещин), ширины полки тавра и диаметра арматуры.

В процессе поэтапной загрузки, вплоть до последней ступени загрузки, появление любых трещин на гранях балки не наблюдалось, хотя индикаторы часового типа, которые фиксировали перемещение двух средних блоков относительно крайних, показывали значительные приросты деформаций во время последних этапов выдержки образца под нагрузкой.

Характер разрушения всех образцов был хрупким и мгновенным.

Хрупкий и мгновенный характер разрушения объясняется наличием в балках лишь продольной арматуры и отсутствием поперечных замкнутых хомутов. Это объяснение находит подтверждение у Г.Дж.Коуена [6] и у других авторов, которые получили такие результаты при испытании образцов без трещин и армированных только продольной арматурой.

Во всех случаях трещина кручения развивалась под углом от верхнего конца одной из трех искусственных нормальных трещин, как показано на рисунке 5.

При рассмотрении прочности бетонных балок при кручении можно выделить тип разрушения в результате скалывания. Такой тип разрушения характеризуется типичной трещиной отрыва и обуславливается растяжением в наклонных площадках, возникающим в результате действия крутящего момента, действующего в сжатой от изгиба зоне.



Рис. 5. Общий вид критической трещины

На рис. 6 приведены графики зависимости углов поворота от величины крутящего момента для экспериментальных балок. Из графиков можно видеть, что практически все балки деформировались по линейному закону до весьма высоких уровней нагружения (только на этапах, близких к разрушению наблюдались существенные пластические деформации). Это наиболее важный вывод экспериментальных исследований. Проведенные эксперименты показали, что методика расчета деформативности (жесткости) железобетонных элементов с нормальными трещинами может базироваться на упругих решениях. Такой характер деформирования вполне объясняется тем, что в зоне над нормальной трещиной отсутствует поперечная арматура. Практически упругий характер деформирования при кручении балок без трещин, армированных только продольной арматурой, получен многими исследователями [6].

Выводы исследования:

1. Армирование экспериментальных балок с нормальными трещинами только продольной арматурой влияет на их прочность при кручении, но влечет хрупкий и мгновенный характер их разрушения.
2. Увеличение диаметра продольной арматуры, увеличение прочности бетона, высоты и ширины сжатой от изгиба зоны приводит к уменьшению деформаций и увеличению прочности при кручении.

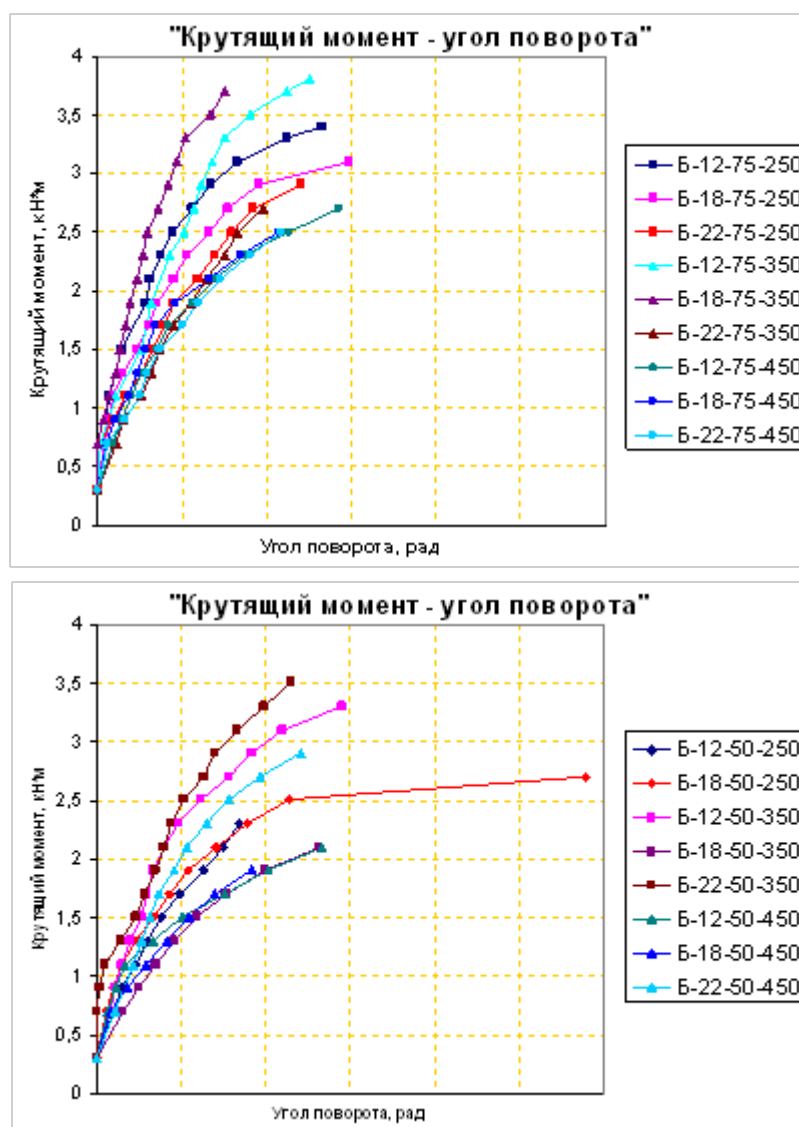


Рис. 6. Зависимость углов поворота экспериментальных балок от величины крутящего момента

3. Основным типом разрушения является разрушение сжатой зоны от действия растяжения в наклонных площадках, которое возникает в результате действия доли крутящего момента, воспринимаемой сжатой от изгиба зоной.

4. Балки с нормальными трещинами деформируются упруго до высоких уровней нагружения. Это позволяет создать методику расчета деформаций при кручении элементов с нормальными трещинами, которая основывалась бы на упругих решениях, что в свою очередь весьма упрощает расчеты.

Summary

The urgency of experimental researches as turning rigidity of elements influences redistribution of efforts in spatial ferro-concrete systems is shown. The basic characteristics of durability and deformability are resulted at torsion of experimental beams T-sections with artificial normal cracks.

ЛИТЕРАТУРА

1. Азизов Т.Н. НДС железобетонного элемента с нормальными трещинами при кручении //Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. Вип. 36 – Одеса: Зовнішрекламсервіс, 2009. – С. 10-16.
2. Азизов Т.Н., Срібняк Н.М. Експериментальні дослідження крутильної жорсткості та міцності залізобетонних елементів з нормальними тріщинами при крученні// Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. Вип. 34 – Одеса: Зовнішрекламсервіс, 2009. – С. 4-14.
3. ГОСТ 10180—90. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам.– М.: Издательство стандартов, 1980. Дата введения 01.01.91 – 20 с.
4. ГОСТ 24452—80. Бетоны. Методы испытаний. Методы определения призмочной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона. . – М.: Издательство стандартов, 1980. Дата введения 01.01.82. - 20 с.
5. Карпенко Н.И. Теория деформирования железобетона с трещинами. – М.: Стройиздат, 1976. – 208 с.
6. Коуэн Г.Дж. Кручение в обычном и предварительно напряженном железобетоне: Пер. с англ. – М.: Изд-во литературы по строительству, 1972. – 104 с.