

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

Азизов Т.Н., Стадник В.И.

(Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса)

У статті наведено методику розрахунку міцності таврових залізобетонних елементів з нормальними тріщинами за дії крутячого моменту та порівняння теоретичних значень з експериментальними даними.

Постановка задачи и анализ исследований

Пространственная работа пролетных строений мостов, плоских перекрытий и покрытий отличается тем, что в отдельных элементах, составляющих систему, возникают как изгибающие, так и значительные крутящие моменты. В линейных элементах (балках, плитах) таких систем в первую очередь возникают нормальные трещины в результате действия изгибающих моментов. Эти трещины оказывают влияние не только на изгибную, но и на крутильную жесткости железобетонных элементов.

Исследования крутильной жесткости и прочности элементов с нормальными трещинами находятся на начальной стадии [1-6].

В работе [3] показано, что прочность при кручении железобетонных элементов с нормальными трещинами может быть существенно меньше прочности элементов без трещин.

В [1] была предложена методика определения прочности железобетонных элементов прямоугольного сечения с нормальными трещинами при действии крутящего момента. В работе [2] авторами была усовершенствована методика [1] и распространена на элементы таврового сечения, а также был рассмотрен тип разрушения от скалывания продольной арматуры.

Целью настоящей статьи является исследование прочности при кручении тавровых железобетонных элементов с нормальными трещинами с учетом армирования полки.

Изложение основного материала. Рассмотрим схему усилий, действующих в нормальном сечении таврового элемента с нормальной трещиной при действии крутящего момента, по аналогии с [2], но с учетом армирования полки (рис. 1).

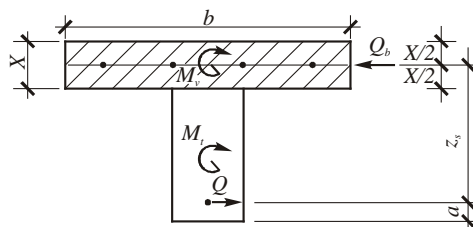


Рис.1. Схема усилий, действующих в нормальном сечении при кручении

На рис. 1 заштрихованная часть – сжатая от изгиба зона (в данном случае совпадающая с толщиной полки тавра).

Внешний крутящий момент M_t воспринимается частично верхней полкой тавра (крутящий момент M_V , воспринимаемый непосредственно сжатой от изгиба зоной) и парой сил Q и Q_b (см. рис. 1), момент которой обозначим через M_Q . Условие равновесия (условие кручения вокруг продольной оси элемента) запишется в виде:

$$M_t - M_Q = M_V \quad (1)$$

В работе [2] выделено три возможные схемы разрушения таврового элемента:

1 вариант – разрушение от среза сжатой зоны бетона в результате действия силы Q_b (см. рис. 1);

2 вариант – разрушение сжатой от изгиба зоны в результате действия крутящего момента M_V , воспринимаемого этим участком.

3 вариант – разрушение элемента в результате выкалывания арматуры силой Q (см. рис. 1).

Таким образом, условие прочности железобетонного элемента таврового сечения с нормальной трещиной на действие крутящего момента M_t запишется как меньшее из трех выражений [2]:

$$M_t \leq R_{sh} \cdot Z_s \quad (2)$$

$$M_t - Q \cdot Z_s \leq R_{bt} \cdot \alpha \cdot X^2 \cdot b \quad (3)$$

$$Q \leq Q_{sb} = 2.5 \cdot R_{bt} \cdot a^t \cdot \sqrt[4]{E_s/E_b} \cdot d_s \quad (4)$$

Если полка тавра армирована, то предельный момент M_V воспринимаемый сжатой от изгиба зоной должен определяться с учетом армирования. В виду отсутствия отличия такого элемента от обычного прямоугольного его прочность при кручении рекомендуется определять по методике СНиП [7]. Условие прочности в этом случае будет записано в виде:

$$M_t - Q \cdot Z_s \leq R_s \cdot A_s \cdot \frac{1 + \varphi_w \cdot \delta \cdot \lambda^2}{\varphi_q \cdot \lambda + \chi} \cdot (h_0 - 0,5x) \quad (5)$$

В выражениях (2, 3, 5) M_t – разрушающий крутящий момент, Q – нагельная сила в арматуре, Z_s – расстояние от центра тяжести арматуры до центра тяжести сжатой зоны бетона; остальные обозначения по СНиП [7]. Таким образом, условия прочности для элемента, полка которого не армирована, определяется как меньшее из выражений (2)-(4), если же полка тавра армирована, то вместо выражения (3) должно быть записано выражение (5).

С целью проверки методики определения прочности при кручении были проведены экспериментальные исследования. Изготовлено 18 железобетонных элементов таврового сечения с искусственно созданными в них нормальными трещинами, имитированными вставками из ДВП толщиной 4 мм [5].

Характеристики тавровых элементов: ширина сечения ребра – 125 мм; полная высота сечения – 250 мм; толщина полки – 50 и 75 мм; ширина полки – 250, 350 и 450 мм; длина балки – 1200 мм; количество искусственных трещин – 3; расстояние между искусственными трещинами – 250 мм; класс бетона – В15; класс продольной арматуры – А500С; диаметр продольной арматуры – 12, 18 и 22 мм; расстояние от центра тяжести арматуры до нижней грани сечения – 25 мм.

На рис. 2 приведены размеры экспериментальных балок.

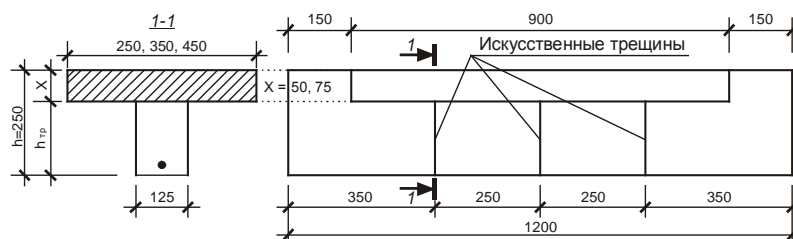


Рис.2 Размеры экспериментальных балок

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 $\varnothing 4$ Вр-I с ячейкой 75x75мм.

Общий вид арматурного каркаса показан на рис 3.



Рис. 3. Арматурный каркас экспериментального образца

Для проведения испытаний была изготовлена экспериментальная установка, схема которой приведена в [5].

Результаты исследований

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.

Характер разрушения всех образцов был хрупким. Такой характер разрушения объясняется наличием в балках лишь продольной арматуры и отсутствием поперечных замкнутых хомутов. Это объяснение находит подтверждение у Г. Дж. Коуэна [8], который получил такие результаты при испытании образцов без трещин и армированных только продольной арматурой.

В таблице 1 приведено сравнение значений разрушающих крутящих моментов, полученных по вышеприведенной методике (меньшим из выражений (2)-(5) является выражение (5), и данными, полученными из эксперимента.

Как видно из таблицы, данные эксперимента достаточно хорошо согласуются с полученными теоретически по разработанной методике. Худшие значения получены только для образцов, имеющих достаточно большую ширину полки тавра (ширина полки почти в два раза больше полной высоты сечения). Однако и при этом максимальная погрешность составляет 25%.

Проведенные исследования позволяют рекомендовать разработанную методику расчета прочности железобетонных тавровых элементов с нормальными трещинами при действии крутящего момента в практике проектирования.

Таблица 1

Прочность тавровых ж/б элементов с нормальными трещинами

| Марка образца | Диам. арм.(мм) | Высота сжатой зоны (мм) | Ширина полки (мм) | Разр. крутящий момент, | | Погрешность, % |
|---------------|----------------|-------------------------|-------------------|------------------------|-------|----------------|
| | | | | Эксп. | Теор. | |
| Б-12-50-250 | 12 | 50 | 250 | 3135 | 3102 | 1.05 |
| Б-18-75-250 | 18 | 75 | 250 | 3407 | 3302 | 3.08 |
| Б-18-50-250 | 18 | 50 | 250 | 3066 | 2802 | 8.61 |
| Б-22-75-250 | 22 | 75 | 250 | 3333 | 3102 | 6.93 |
| Б-22-50-250 | 22 | 50 | 250 | 3618 | 3502 | 3.21 |
| Б-12-75-250 | 12 | 75 | 250 | 3416 | 3522 | 3.01 |
| Б-12-50-350 | 12 | 50 | 350 | 3633 | 3502 | 3.61 |
| Б-18-75-350 | 18 | 75 | 350 | 4042 | 3902 | 3.46 |
| Б-22-50-350 | 22 | 50 | 350 | 3938 | 3702 | 5.99 |
| Б-12-75-350 | 12 | 75 | 350 | 3911 | 3902 | 0.23 |
| Б-18-50-350 | 18 | 50 | 350 | 2316 | 2302 | 0.60 |
| Б-22-75-350 | 22 | 75 | 350 | 2539 | 2702 | 6.03 |
| Б-18-50-450 | 18 | 50 | 450 | 2818 | 2102 | 25.41 |
| Б-22-75-450 | 22 | 75 | 450 | 3483 | 2702 | 22.42 |
| Б-12-50-450 | 12 | 50 | 450 | 2868 | 2302 | 19.74 |
| Б-18-75-450 | 18 | 75 | 450 | 3453 | 2702 | 21.75 |
| Б-12-75-450 | 12 | 75 | 450 | 3359 | 2802 | 16.58 |
| Б-22-50-450 | 22 | 50 | 450 | 3432 | 3102 | 9.62 |

Выводы и перспективы исследований

Экспериментально показано, что прочность железобетонных элементов с нормальными трещинами при кручении зависит от толщины полки тавра, ее ширины, а также от диаметра продольной арматуры. Нормальные трещины существенно снижают прочность железобетонных тавровых элементов при кручении. Армирование только продольной арматурой оказывает влияние на прочность при кручении. Последний факт является особенно важным, т.к. до сих пор считалось, что армирование продольной арматурой практически не оказывает влияние на прочность железобетонных элементов при кручении (см., например, [8]).

Проведенный сравнительный анализ показал, что теоретические данные достаточно хорошо согласуются с экспериментальными данными, что позволяет рекомендовать в практике проектирования предложенную методику для определения прочности при действии крутящего момента.

SUMMARY

In the article methods over of calculation of durability of T-shaped reinforce-concrete elements with normal cracks at the action of twisting moment and comparison of theoretical values are brought with experimental data.

1. Азизов Т.Н., Срибняк Н.Н. Прочность при кручении железобетонных элементов прямоугольного сечения с нормальными трещинами//Ресурсоэкономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Вип. 17., – Рівне: Нац. ун-т водного господарства та природокористування, 2008. – с. 100-104.

2. Азизов Т.Н., Парамонов Д.Ю., Стадник В.И., Разрушение железобетонных элементов с нормальными трещинами в результате действия крутящих моментов

3. Азизов Т.Н., Срибняк 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.

4. Азизов Т.Н., Стадник В.И. Крутильная жесткость тавровых железобетонных элементов с нормальными трещинами // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. Вип. 33 – Одеса: Зовнішрекламсервіс, 2009. – С. 4-11.

5. Азизов Т.Н., Стадник В.И. Экспериментальные исследования крутильной жесткости и прочности тавровых железобетонных элементов с нормальными трещинами при кручении // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. Вип. 37 – Одеса: Зовнішрекламсервіс, 2010. – С. 9-16.

6. Яременко А.Ф., Чучмай А.М., Яременко Н.А. Инженерная методика определения крутильной жесткости железобетонных балок с нормальными трещинами // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. Вип. 33 – Одеса: Зовнішрекламсервіс, 2009. с. 146-151.

7. Бетонные и железобетонные конструкции: СНиП 2.03.01-84*– [Введен 1986-01-01] – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 80 с.

8. Коуэн Г. Дж. Кручение в обычном и предварительно напряженном железобетоне: Пер. с англ. – М.: Изд-во литературы по строительству, 1972. – 104 с.