

Трещиностойкость железобетонных элементов со сквозными отверстиями при кручении и при кручении с изгибом

С.Х. Байрамуков, С.С. Дюрменова

Железобетон, как наиболее экономичный материал для строительных конструкций в обозримом будущем будет основным в практике строительства. Как известно стоимость железобетона определяется стоимостью входящих в его состав материалов, экономия которых является важнейшим источником снижения материалоемкости и стоимости конструкций [1].

На практике одним из путей экономии материалов является разработка и совершенствование методов расчета [3,4,5], отвечающих наилучшим образом действительной работе конструкции. Отсутствие подобных методов при составлении нормативных документов приводит к принятию расчетных положений, заведомо предполагающих необоснованный запас прочности .

Способность железобетонных конструкций выполнять требуемые функции в течение длительного времени при эксплуатации в разных условиях определяет сочетание свойств арматуры и бетона [7].

Основным способом оценки состояния материала являются различные разрушающие методы – многочисленные испытания на растяжение, сжатие, изгиб и т.д. [2]. Разнообразие случаев разрушения и параметров, от которых зависят эти случаи, при их исследовании предполагает необходимость привлечения как можно большего экспериментально-теоретического материала [9,10] .

Актуальность данной статьи обусловлена тем, что она посвящена совершенствованию методики расчета прочности железобетонных стержней сквозного сечения, подверженных кручению и изгибу с кручением.

При исследовании трещиностойкости железобетонных элементов в основу была положена методика, разработанная Касаевым Д. Х. [6]. По этой

методике теоретическое значение момента образования трещин опытной балки сплошного сечения определяется по формуле

$$T_{crc} = (0,88 + 0,08 \cdot h / b) \cdot R_{bt} \cdot W_{т.пл} , \quad (1)$$

$W_{т.пл} = \sqrt{2} \cdot b \cdot h^2 / 3,43$ - упругопластический момент сопротивления образца сплошного сечения; b и h – ширина и высота поперечного сечения балки соответственно.

Как будет вести себя балка со сквозным отверстием под действием крутящего момента неизвестно. Поэтому были осуществлены расчеты по трем вариантам:

первый вариант – расчет как сплошной балки по формуле (1);

второй вариант – расчет отдельно для каждой ветви балки с последующим удвоением результата, т. е. по формуле

$$T_{crc} = 2 \cdot (0,88 + 0,08 \cdot b / d) \cdot R_{bt} \cdot W_{т.пл.б} , \quad (2)$$

где момент сопротивления сечения ветви балки равен $W_{т.пл.б} = \sqrt{2} \cdot d \cdot b^2 / 3,43$;

b и d – высота и ширина сечения ветви соответственно;

третий вариант – расчет по формуле (1) за вычетом размеров отверстия, т. е. по формуле

$$T_{crc} = (0,88 + 0,08 \cdot 2d / b) \cdot R_{bt} \cdot W_{т.пл} , \quad (3)$$

где $W_{т.пл} = \frac{2 \cdot (J_{bo} + \alpha \cdot J_{sh} + \alpha \cdot J'_{sh})}{d - x}$; $J_{bo} = \frac{\sqrt{2} \cdot b \cdot x^3}{12} + \sqrt{2} \cdot b \cdot x \cdot (x / 2)^2$;

$x = \frac{\alpha \cdot A_s \cdot (d - x) + d^2 \cdot \sqrt{2} \cdot b}{\alpha \cdot A_s + 2 \cdot \sqrt{2} \cdot b \cdot d}$; $J_{sh} = A_s \cdot (d - x - \Delta)^2$; $S_{bo} = \sqrt{2} \cdot b \cdot x^2$; $J'_{sh} = A'_s \cdot (d - \Delta')^2$; d

– высота сечения ветви; b - ширина сечения балки.

За основу принимается тот вариант расчета, в котором получена наилучшая сходимость результатов опыта и расчета.

Сопоставление результатов расчета по вариантам 1, 2 и 3 с опытными значениями приведено в табл. 1.

Таблица №1

Результаты сопоставления теоретических и опытных моментов

образования трещин балок серии I при кручении

№ п/п	Шифр балки	b , см	h , см	d , см	R_{bt} , МПа	$W_{T,pl}$, см ³	T_{crc}^c , кНсм	T_{crc}^{exp} , кНсм	$T_{crc}^{exp} / T_{crc}^c$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Вариант 1									
1.	БТ	15,0	22,0	11,1	1,825	2993	545	537	0,99
2.	БТ 30-0	14,8	22,0	11,1	1,942	2953	573	549	0,96
3.	БТ 60-0	15,0	21,8	11,0	1,726	2939	505	420	0,83
4.	БТ 90-0	15,1	21,9	11,0	1,706	2986	507	418	0,82
5.	БТ 30-5	14,9	27,0	11,1	1,942	4478	891	565	0,63
6.	БТ 60-5	14,9	26,9	11,0	1,726	4445	786	557	0,71
7.	БТ 90-5	15,0	26,9	11,0	1,706	4475	781	544	0,70
Вариант 2									
8.	БТ 30-0	14,8	22,0	11,1	1,942	1002	384	549	1,43
9.	БТ 60-0	15,0	21,8	11,0	1,726	1020	348	420	1,21
10.	БТ 90-0	15,1	21,9	11,0	1,706	1034	349	418	1,20
11.	БТ 30-5	14,9	27,0	11,1	1,942	1016	390	565	1,45
12.	БТ 60-5	14,9	26,9	11,0	1,726	1007	344	557	1,62
13.	БТ 90-5	15,0	26,9	11,0	1,706	1020	344	544	1,58
Вариант 3									
14.	БТ 30-0	14,8	-	11,1	1,942	2188	425	549	1,29
15.	БТ 60-0	15,0	-	11,0	1,726	2248	387	420	1,09
16.	БТ 90-0	15,1	-	11,0	1,706	2262	385	418	1,09
17.	БТ 30-5	14,9	-	11,1	1,942	2195	426	565	1,33
18.	БТ 60-5	14,9	-	11,0	1,726	2241	386	557	1,44
19.	БТ 90-5	15,0	-	11,0	1,706	2255	384	544	1,42

Анализ результатов сравнения (табл. 1) показывает, что средние значения отношения опытных и теоретических моментов образования трещин опытных образцов серии I составляют для:

- варианта 1 - 0,775 при максимальных и минимальных значениях 0,96 и 0,63 соответственно.

- варианта 2 - 1,415 при максимальных и минимальных значениях 1,62 и 1,2 соответственно;

- варианта 3 - 1,28 при максимальных и минимальных значениях 1,44 и 1,09 соответственно;

Проведенный анализ показал, что наилучшая сходимость результатов расчета с опытными данными наблюдается в третьем варианте. За основу принимаем 3-й вариант расчета элементов со сквозными отверстиями по трещиностойкости при кручении.

При исследовании сквозных балок на действие изгиба с кручением в основу была положена методика, разработанная в исследовании [6].

Предложенный в работе [6] расчетный аппарат по трещинообразованию железобетона был разработан на основе метода графиков взаимодействия.

В результате проведенных исследований для элементов прямоугольного сечения была определена предельная область по образованию трещин при совместном действии изгиба и кручения. Графически эта предельная область представлена на рис. 1.

Эта область описывается следующими выражениями:

1) при $\psi < 0,65$ и $M_{\text{трещ}} / M_{\text{кр}} < 2/3$, $T_{\text{кр}} = T_{\text{кр}} ;$

(4)

2) при $0,65 \leq \psi \leq 0,95$, $T_{\text{кр}} = T_{\text{кр}} + M_{\text{трещ}} / M_{\text{кр}} = 5 / 3$ (5)

3) при $\psi > 0,95$ и $T_{\text{кр}} / T_{\text{кр}} < 2/3$, $M_{\text{трещ}} = M_{\text{кр}}$, (6)

где $\psi = M_{\text{трещ}} \cdot b^2 / T_{\text{кр}} \cdot h^2$ - соотношение между действующими моментами и моментами инерции сечения относительно главных осей.

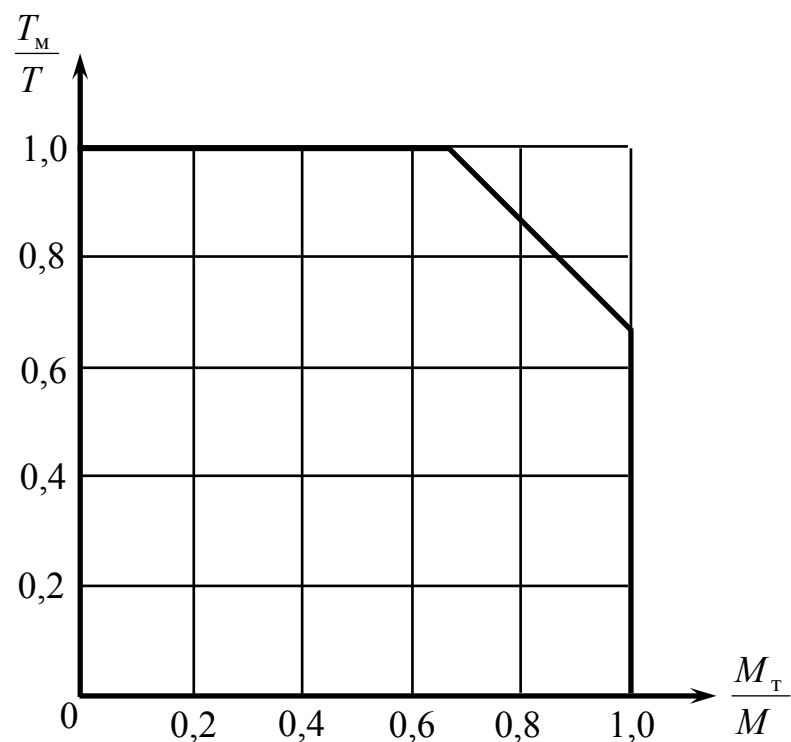


Рис. 1. График взаимодействия изгибающих и крутящих моментов при трещинообразовании

С целью определения взаимного влияния кручения и изгиба на процесс трещинообразования нами исследование проводилось в следующем порядке:

- по формуле (3) для всех образцов были определены теоретические значения моментов образования трещин $T_{\text{крс}}$;
- по формулам (126-139) СНиП [8] аналогичные расчеты были осуществлены в предположении действия только изгибающего момента $M_{\text{крс}}$;
- были вычислены отношения опытных и теоретических моментов трещинообразования рассмотренных образцов.

Результаты проведенных расчетов приведены в табл. 2. Как видно из этой таблицы при интенсивном кручении с изгибом, как и ожидалось, изгиб не оказывает влияние и трещиностойкость и может определяться из расчета только на кручение, то есть по формуле (4).

Сравнение опытных и теоретических моментов трещинообразования

№ п/п	Шифр балок	b , см	d , см	R_{bt} , МПа	W_{pl} , см ³	M_{crc}^{exp} , кНсм	M_{crc}^c , кНсм	$\frac{M_{crc}^{exp}}{M_{crc}^c}$	$\frac{T_{crc}^{exp}}{T_{crc}^c}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	БТМ 30-0-05	10,9	14,9	1,772	582	5,59	103	0,054	1,10
2.	БТМ 60-0-05	10,9	15,1	1,961	579	11,18	114	0,098	1,35
3.	БТМ 90-0-05	11,0	15,0	1,953	590	12,11	115	0,105	1,11
4.	БТМ 30-5-05	11,2	15,0	1,772	622	6,18	110	0,056	1,15
5.	БТМ 60-5-05	11,1	14,8	1,961	598	10,90	117	0,093	1,31
6.	БТМ 90-5-05	11,1	14,9	1,953	601	12,42	117	0,106	1,12
7.	БТМ 30-0-02	10,9	15,1	1,588	2321	369	97	0,26	1,31
8.	БТМ 60-0-02	11,0	14,9	1,873	2195	411	87	0,21	1,15
9.	БТМ 30-5-02	10,9	15,0	1,588	2293	364	91	0,25	1,36
10.	БТМ 60-5-02	11,0	14,9	1,873	2188	410	93	0,23	1,23
11.	БТМ 90-5-02	11,0	15,0	1,825	2231	407	90	0,22	1,21

Проведенными исследованиями установлено, что:

1. Момент образования трещин при кручении балок со сквозными отверстиями опережал в среднем 8...10 % момент образования трещин балки-эталона сплошного сечения.

2. Плотность образования трещин в балках со сквозными отверстиями при изгибе с кручением существенно выше, чем при кручении.

3. Длина отверстия практически не оказывает заметного влияния на трещиностойкость элементов со сквозными отверстиями.

4. Предложенная формула (3) с достаточной для практических расчетов точностью позволяет оценить трещиностойкость железобетонных элементов со сквозными отверстиями при кручении.

5. Оценку трещиностойкости железобетонных элементов со сквозными отверстиями при интенсивном кручении с изгибом можно произвести формулой (4), которая ранее была получена для элементов прямоугольного сечения.

Литература:

1. Байрамуков С.Х., Касаев Д.Х. Оценка прочности железобетонных элементов, подвергнутых нескольким силовым факторам при статическом и динамическом воздействии [Текст]: Монография / С.Х. Байрамуков, Д.Х. Касаев. - Черкесск ГОУ ВПО КЧГТА, 2010 - 214 с.
2. Бескопыльный А.Н., Веремеенко А.А. Методика экспериментального исследования предварительных напряжений в образце при вдавливании индентора [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона», 2012.- №4. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1367> (доступ свободный) - Загл. с экрана. – Яз.рус.
3. Касаев Д.Х. Прочность элементов прямоугольного сечения при кручении [Текст] // Журнал // Бетон и железобетон. -1987. - №12 – С.23.
4. Касаев Д.Х. Прочность элементов таврового сечения при кручении [Текст] // Совершенствование методов расчета железобетона. Ростов-на-Дону: РИСИ, 1988. –С.116-120.
5. Касаев Д.Х., Дудов М.Б., Дюрменова С. С. Прочность железобетонных балок с круглыми отверстиями при кручении [Текст] // Сборник материалов III международной научно-практической конференции «Проблемы строительства, инженерного обеспечения и экологии городов». – Пенза, 2001. – С. 9-11.
6. Касаев Д.Х. Прочность элементов железобетонных конструкций при кручении и изгибе с кручением [Текст]: Монография / Д.Х. Касаев. - Ростов н/Д.: Изд-во Рост. ун-та, 2001.-176с.
7. Косенко Е.Е., Косенко В.В., Черпаков А.В. К вопросу о влиянии геометрических размеров на прочностные характеристики арматурных стержней [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона», 2012.- №4. –

Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4y2010/318> (доступ свободный) - Загл. с экрана. – Яз.рус.

8.СНиП 2.03.01-84* Бетонные и железобетонные конструкции. Нормы проектирования. - М.: Стройиздат. 1989. - 79 с.

9.Mansur M. A., Paramasivam P. Reinforced Concrete Beams with small Opening in Bending and Torsion //ACI Journal. 1984. - N. 81. - PP. 180-185.

10.Wafa F., Hasnat Abul, Akhtaruzzaman Ali A. Prestressed Concrete Beams with Opening under and Bending //Journal of Structural Engineering – ASCE. 1989. - N. 11. Vol. 115. PP. 2727-2739.