

## ХАРАКТЕР ОБРАЗОВАНИЯ И РАЗВИТИЯ ТРЕЩИН В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

Постернак С.А., Олейник Н.В., Постернак И.М., Постернак А.А  
(Одесская государственная академия строительства и архитектуры,  
г. Одесса)

Приводятся результаты экспериментальных исследований характера образования нормальных и наклонных трещин, развития наклонных и преобразование одной из них в магистральную.

Оценка прочности и трещиностойкости бетонных и железобетонных конструкций невозможна без учета механизмов зарождения и развития трещин, а также разработанных методик надежного определения критериев трещиностойкости. Бетон и железобетон, являясь неоднородными материалами, имеют свои особенности поведения трещин. Во-первых, даже при отсутствии трещин, распределение напряжений в них существенно отличается от распределения в однородном теле. Во-вторых, в зависимости от соотношения свойств компонентов и характеристик контакта этих компонентов трещины могут развиваться в различных зонах материала [1...6]. Теория трещин берет свое начало с работ Гриффитса, Ирвина, Орована и других. Трещины математически рассматриваются как поверхности разрыва смещений в недеформированном теле, ограниченные некоторой гладкой линией – контуром трещины [3]. По мнению авторов работ [5,6] трещины – это структурные элементы, в которых концентрация напряжений у своего устья намного превышает средние напряжения в материале. Геометрические параметры технологической трещины следующие: длина ( $a$ ), ширина раскрытия ( $b$ ), радиус устья ( $\varphi$ ), длина фронта ( $l$ ). Механизм зарождения трещин состоит из четырех этапов. На первом этапе под действием напряжений растяжения в некоторой наиболее удобно расположенной плоскости происходит сдвиг. При этом по параллельной плоскости происходит сдвиг в обратном направлении (изменение знака напряжения). При этом возможны выдавливание (экструзия), либо вдавливание (интрузия) поверхности достаточно изотропного и упругого материала.

При переменных напряжениях вдавливание представляет собой зародышевую трещину, способную расти до тех пор, пока не достигнет длины, при которой определяющим условием дальнейшего роста становится напряжение у ее вершины. Предполагается, что в поле высоких напряжений в вершине трещины происходит сдвиг. Это вызывает увеличение ширины раскрытия трещины и ее рост на  $\Delta a$ . Затем происходит сдвиг в другой плоскости и диффузионные процессы, способные превратить острый конец трещины в тупой. Под действием сжимающих напряжений ширина раскрытия трещин уменьшается, и возникающие пластические деформации способствуют восстановлению острого устья. После чего цикл повторяется, и трещина увеличивается на очередное значение  $\Delta a_i$  [5,6].

Основная цель статьи заключается в исследовании характера образования нормальных и наклонных трещин, развития наклонных и преобразование одной из них в магистральную.

Для получения искомым результатов был выполнен эксперимент, методика проведения которого, состав бетонной смеси, характеристики используемых материалов и опытных образцов приведены в работах [7,8]. Схема армирования и схема нагружения, а также величины усилий трещинообразования и разрушения железобетонных балок представлены в работе [9]. Характеристики экспериментальных балок представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Характеристики экспериментальных балок

№ опыта	$C$ , см	$C_{cr,exp}$ , см	$C'_{cr} = C_{cr,exp}/l_0$	$x_{exp}$ , см	$\xi$	$x_{exp}/C_{cr,exp}$	$f_{cr}$ , мм	$f_{cr}$ , мм	$a_{cr}$ , мм
1	33,3	21,6	1,662	5,2	0,400	0,241	1,35	4,12	0,75
2	33,3	21,2	1,631	6,2	0,477	0,292	0,98	4,78	0,10
3	33,3	22,2	1,695	3,2	0,244	0,144	2,05	4,66	0,05
4	33,3	23,1	1,777	5,0	0,385	0,216	1,00	2,16	0,90
5	33,3	23,1	1,763	4,2	0,320	0,182	1,70	5,07	1,00
6	33,3	25,0	1,908	4,0	0,305	0,160	2,10	7,78	0,20
7	33,3	19,4	1,470	4,2	0,320	0,216	1,34	4,42	0,25
8	33,3	20,5	1,565	5,1	0,389	0,249	1,62	6,11	1,10
9	33,3	26,0	2,000	5,0	0,385	0,192	1,48	4,89	0,10

В экспериментальных образцах-балках первые нормальные трещины появились в зоне действия изгибающего момента при нагрузке от  $0,18M_{u,exp}$  (опыт №8) до  $0,38M_{u,exp}$  (опыт №7) с общим направлением развития в сторону точки приложения нагрузки. Вначале они развивались по траектории технологических трещин, затем, с увеличением

нагрузки, трещины стали пересекать структурные блоки (ячейки).

При нагрузке от  $0,56Q_{u,exp}$  (опыты №5,6,8) до  $0,69Q_{u,exp}$  (опыт №9) в средней части зоны совместного действия изгибающего момента и поперечной силы образовались две наклонные трещины. С этого момента рост нормальных трещин прекратился. С увеличением нагрузки наклонные трещины развивались к грузу и к опоре. Затем на участке от основания правой трещины к опоре появились продольные трещины вдоль рабочей арматуры, свидетельствующие о нарушении сцепления между бетоном и арматурой (опыты №1,4,5,7,9).

При нагрузке от  $Q_{u,exp}=18\text{кН}$  (опыт №1) до  $Q_{u,exp}=30,25\text{кН}$  (опыт №4) одна из трещин доросла до продольной арматуры и развилась вдоль неё к торцу балки, а вершина трещины достигла точки приложения силы. Таким образом, разрушение произошло по продольной арматуре. В соответствии с классификацией [10], данное разрушение балки принимается как разрушение по наклонной трещине и растянутой зоне (опыты №1,4,5,7,9).

При нагрузке от  $Q_{u,exp}=21,75\text{кН}$  (опыт №2) и  $Q_{u,exp}=27,25\text{кН}$  (опыт №8) одна из трещин доросла до нижней грани балки, а вершина трещины достигла точки приложения силы. Таким образом, разрушение произошло в результате раздробления бетона над наклонной трещиной, проявившееся в образовании ряда мелких горизонтальных трещин. В соответствии с классификацией [10], данное разрушение балки рассматривается как разрушение по наклонной трещине и сжатой зоне бетона (опыты №2,8).

При нагрузке от  $Q_{u,exp}=29,25\text{кН}$  (опыт №3) и  $Q_{u,exp}=32,25\text{кН}$  (опыт №6) одна из трещин доросла до нижней грани балки, а вершина трещины достигла точки приложения силы. Таким образом, разрушение произошло по сжатой зоне бетона над верхним концом трещины (разрыв бетона по направлению развития наклонной трещины). В соответствии с классификацией [10], данное разрушение балки рассматривается как разрушение по наклонной трещине и сжатой зоне бетона (опыты №3,6).

Критические наклонные трещины во всех опытах прошли на участке, ограниченном с одной стороны линиями наиболее опасных наклонных сечений, а с другой стороны – на 2,5см ниже этих линий. Угол наклона критических наклонных трещин изменяется от  $25^{\circ}$  (опыт №1) до  $48^{\circ}$  (опыт №7). Расстояние от оснований трещин до опор изменялось в пределах от 6,5см (опыт №9) до 16,9см (опыт №7). При этом относительная проекция критической наклонной трещины ( $C_{от}$ ) изменяется в пределах от 1,47

(опыт №7) до 2 (опыт №9), на 36%.

**Вывод.** Проведенный анализ позволяет заключить, что технологические трещины определяют возникновение градиентов деформаций по величине и направлению, изменяющих начальное деформативное состояние бетонных и железобетонных конструкций. Деформации и напряжения за счет подрастания и образования новых технологических трещин способствуют увеличению поврежденности материала. Трещины, являясь одним из важных структурных параметров, определяющих комплекс физико-технических свойств, как материала, так и конструкции из него, влияют на прочность и деформативность железобетонных изгибаемых элементов. При этом, эксплуатационные трещины развиваются из технологических: или путем их подрастания до превращения в магистральные или путем пересечения структурных блоков (ячеек).

#### Литература

1. Зайцев Ю.В. Моделирование деформаций и прочности бетона методами механики разрушений. – М.: Стройиздат., 1982. – 196с.
2. Лучко Й.Й., Чубриков В.М., Лазар В.Ф. Міцність, тріщиностійкість і довговічність бетонних та залізобетонних конструкцій на засадах механіки руйнування /НАН України;Фіз.-мех.ін-т ім.Г.В. Капенка.–Львів:Каменярь,1999.– 348с.
3. Мусхелишвили Н.И. Некоторые основные задачи математической теории упругости. – М.: Наука, 1966. – 707с.
4. Черепанов Г.Л. Механика разрушения композиционных материалов. – М.: Наука, 1983. – 294 с.
5. Дорофеев В.С., Выровой В.Н. Технологическая поврежденность строительных материалов и конструк.: Монография–О.: Город мастеров,1998.–168с.
6. Композиционные строительные материалы и конструкции пониженной материалоемкости / В.И. Соломатов, В.Н. Выровой, В.С. Дорофеев, А. В. Сиренко. - К.: Будивельник, 1991. – 144 с.
7. Постернак С.А., Олейник Н.В., Постернак И.М. Влияние количества и качества наполнителя на начальную технологическую поврежденность // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. пр. – Рівне: УДУВГП, – 2003. – вип. 9. – С. 105 – 111.
8. Постернак С.А., Олейник Н.В., Постернак И.М. Влияние количества и качества наполнителя на прочность и деформативность бетонных призм // Вісник ОДАБА. Вип. 9, - Одесса, 2003. – с. 163 – 168.
9. Постернак С.А., Трещинообразование железобетонных изгибаемых элементов с учетом технологической поврежденности // Вісник ОДАБА. Вип. 10, - Одесса, 2003. – с. 149 – 155.
10. Залесов А.С., Климов Ю.А. Прочность железобетонных конструкций при действии поперечных сил. - К.: Будивельник, 1989. – 105 с.