

## ПАРАМЕТРЫ МЕХАНИКИ РАЗРУШЕНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ КЕРАМЗИТОБЕТОНА

**Зинченко С.В.** (*Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса*)

**В статье рассмотрены основные параметры механики разрушения влияющие на трещиностойкость керамзитобетона. Проведен анализ литературных источников.**

В конце XX века бетон стал основным строительным материалом, и главной его характеристикой при расчетах конструкций, определение его свойств и эксплуатационных качеств является прочность, трещиностойкость и долговечность. Общепринятое понятие прочности материалов и конструкций из них подвергалось переосмысливанию и сейчас не может быть рассмотрено без привлечения прямо противоположного понятия – разрушения. Причем разрушение – это не мгновенный акт нарушения сплошности, а растянутый во времени процесс непрерывного зарождения микроразрушения.

Бетон и железобетон используются в сооружениях и конструкциях предназначенных для длительных сроков эксплуатации. Это предопределено особенностями и спецификой их ремонта и повторного использования. С этих позиций долговечность бетонных и железобетонных конструкций необходимо оценивать на стадиях их проектирования, изготовления элементов и возведения в зависимости от условий эксплуатации в зданиях и сооружениях с разнообразными режимами тепловых, коррозионных и силовых воздействий.

Методы расчета конструкций, основанные на теориях деформаций и прочности бетона, имеют целью не допустить наступления предельных состояний по трещиностойкости, деформативности и прочности в сечениях конструкций при эксплуатации в течение всего срока службы здания или сооружения [1].

Долговечность – это сопротивление бетона воздействиям, которое возможно количественно охарактеризовать энергией, затрачиваемой на разрушение структуры бетона и выражаемое количественно критиче-



ским коэффициентом интенсивности напряжений (КИН), который является основной характеристикой линейной механики разрушения (ЛМР). В бетоне еще до приложения внешней нагрузки имеется огромное количество структурных дефектов различного происхождения, причем размеры их неодинаковы. К тому же бетон и железобетон является единственными конструкционными материалами, наличие трещин в которых предопределено самой их сущностью и состоянием работы под нагрузкой. Кроме того, в них допускается в эксплуатационном состоянии раскрытия трещин до относительно больших размеров, что учитывается в расчете и не вредит длительной службе конструкций.

Одним из путей решения неотложных задач в области строительства является дальнейшее повышение надежности и долговечности бетонных и железобетонных строительных конструкций зданий и сооружений, повышение прочности, оптимизация их деформативных свойств, прогнозированию механических характеристик материалов и создание материала с заранее заданными свойствами. Большие возможности в области улучшения механических свойств бетона открывает использование методов современной, быстроразвивающейся отрасли науки – механики разрушения [2].

До последнего времени механика разрушения бетона развивалась в традиционном русле, у истоков которого стояли Гриффитс, Ирвин, Каплан [3]. При этом задачи решались и продолжают решаться методами механики сплошной среды.

Одним из важнейших параметров ЛМР является критический коэффициент интенсивности напряжений  $K_{Ic}$ , который является единственным параметром, определяющим напряженное состояние концевой зоны любой структурной трещины. Это физическая величина, определяющая поля напряжений и смещений вблизи вершины трещины и зависящая от величины нагрузки, формы тела, расположения и длины трещины, растущей в структуре материала.

По задаче Гриффитса  $K_I = \sigma\sqrt{\pi l}$ , т.е. с увеличением длины трещины интенсивность напряжений в ее концевой зоне возрастает, поэтому рост трещины неустойчив. В момент времени, когда на некоторой части контура трещины КИН  $K_I$  достигает критической величины  $K_c = \text{const}$  (для случая отрыва -  $K_{Ic}$ ), происходит локальное разрушение материала или продвижение трещины [4]. То есть равенство

$$K = K_c; (K_I = K_{Ic}), \quad (1)$$

является силовым критерием локального разрушения.



Величина  $K_c$  заняла в инженерной практике одно из главных мест среди характеристик материала; наряду с модулем упругости и коэффициентом Пуассона она также является постоянной материала и основной характеристикой трещиностойкости.

Кроме силового критерия разрушения (1) может быть использован и энергетический:

$$G = G_c. \quad (2)$$

Поток энергии численно равен работе, отнесенной к единице приращения длины трещины в теле единичной толщины [5]

$$G_c = (K_I^2 + K_{II}^2)(1 - \nu^2)/E, \quad (3)$$

где  $K_I; K_{II}$  – КИН при деформациях отрыва и сдвига;

$\nu$  – Коэффициент Пуассона;

$E$  – модуль упругости.

По исследованию основных характеристик трещиностойкости бетона –  $K_c$  и  $G_c$  накапливаются данные по их величинам для последующего нормирования. Результаты этих исследований далеко не однозначны: из-за отсутствия единых методик, сложностью и случайностью структурного строения бетона, различным возрастом цементного камня, условиями твердения и вызревание бетона, многообразием применяющихся цементов, извести, золы-уноса, заполнителей и др.

Возникает необходимость изучения влияния технологических и конструктивных признаков на прочность и трещиностойкость конструкций из легких бетонов на местных пористых заполнителях.

Для определения  $K_{Ic}$  используют образцы балочные и образцы кубиков, но самым распространенным является испытание изгибаемых балочных образцов с надрезом по трехточечной схеме при одной сосредоточенной силе рис. 1. Искусственная трещина выполняется либо при бетонировании, либо путем создания пропила.

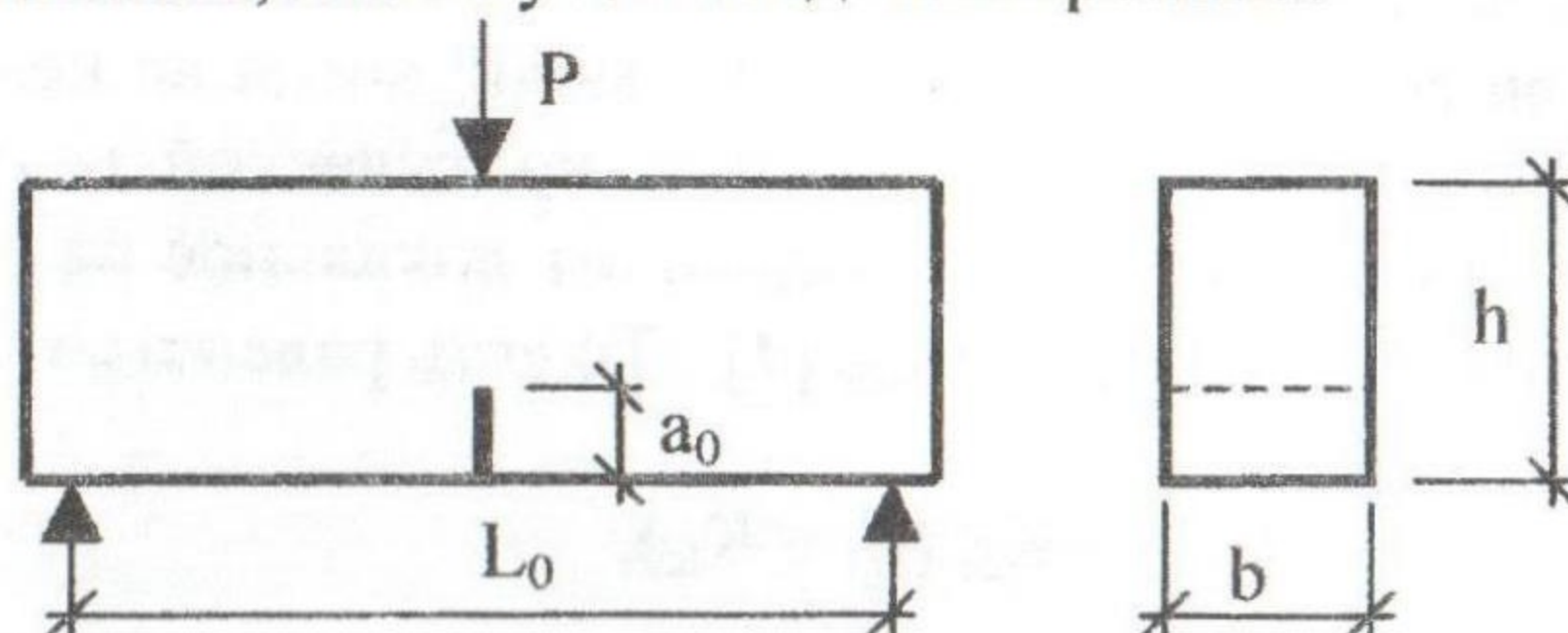


Рис. 1. Определение  $K_{Ic}$  на балочках с надрезом, схема 3-точечного изгиба.



При испытаниях нагрузка на образец постоянно увеличивается, пока при нагрузке, равной критической, из надреза не разорвется трещина, приводящая к разрушению образца [6].

$K_{Ic}$  для балочного образца с размерами 100x100x400 мм определяется по формуле:

$$K_{Ic} = 3PL_0/2b^{1/2}h\sqrt{a_0b}(1,93-3,07\lambda+14,53\lambda^2-25,11\lambda^3+25,8\lambda^4), \quad (4)$$

где  $P$  — нагрузка, соответствующая динамическому началу движения магистральной трещины при неравновесных испытаниях, МН;

$L_0, b, h$  — размеры образцов, м;

$a_0$  — длина начального надреза, м.

Метод определения  $K_{Ic}$  на стандартных образцах — кубах с ребром 100мм с боковыми пазами испытывается путем внецентренного сжатия, передаваемого на образец через стальные прокладки 6 x 6мм рис. 2.

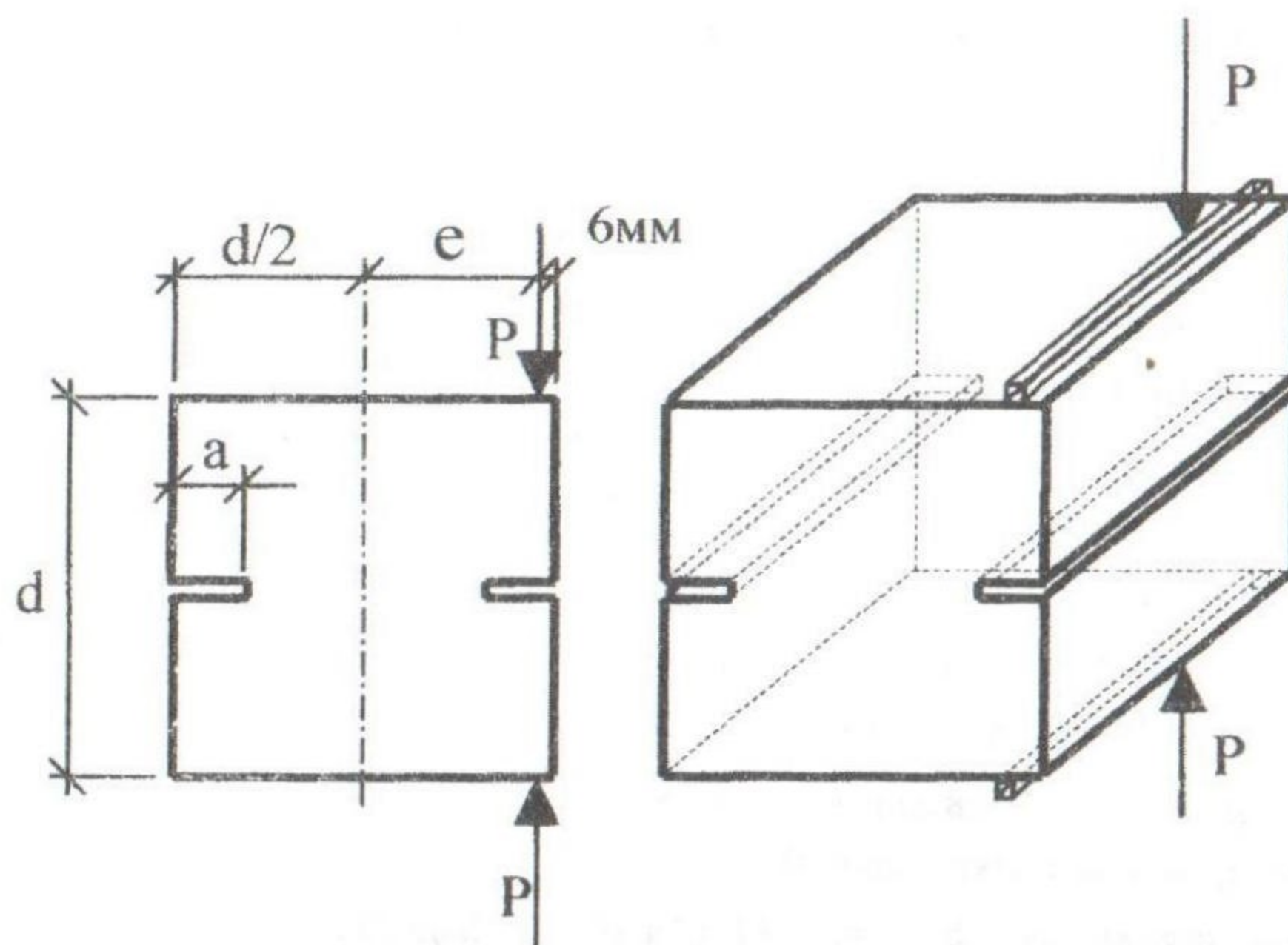


Рис. 2. Определение  $K_{Ic}$  на внецентренно сжатых кубах с боковыми пазами.

Критический коэффициент интенсивности напряжений, вычисленный методом конечного элемента для куба с размером стороны 100 мм, определяют по формуле (при  $\lambda = a/d$ ):

$$K_{Ic} = P/bd^{1/2}(18,3\lambda^{1/2}+430\lambda^{3/2}+3445\lambda^{5/2}-11076\lambda^{7/2}+12967\lambda^{9/2}) \quad (5)$$

При этом предлагается, что с учетом деформаций, происходящих при нагружении, точка передачи нагрузки на куб смещена с оси сталь-



ной прокладки и находится у края последней, обращенного к центру куба [6].

В работах [7,8] рассмотрены некоторые виды составов керамзитобетона, подобранных с точки зрения повышения трещиностойкости бетона, показывает, что переход от эталонных бетонов к бетонам с добавкой С-3 приводит к уплотнению структуры и, следовательно, к повышению трещиностойкости на 20-40%, оцениваемой коэффициентом  $K_{тс}$ . Повторное вибрирование образцов вызывает образование структурных дефектов, в результате чего это приводит к снижению трещиностойкости на 6-30% по сравнению с эталонными составами. Исследуя трещиностойкость тяжелого и легкого бетонов, можно отметить, что суперпластификатор С-3 позволяет получить бетон равной подвижности при сниженном начальном В/Ц не только более плотным и прочным, но и увеличивает его сопротивляемость образованию и развитию трещин.

Экспериментальные исследования в работах Г. Н. Первушина свидетельствуют о влиянии на трещиностойкость керамзитобетона и структуры при варьировании расхода цемента, крупности заполнителя, вида песка, а также добавок суперпластификатора С-3.

Анализируя ранее проведенные испытания керамзитобетона с различной крупностью заполнителя (5, 10 и 20 мм), наблюдаем, что при снижении предельной крупности керамзита, вершина развивающейся трещины чаще встречает на своем пути зерна заполнителя, гасящего энергию, накопленную в ее вершине[9].

Изучив трещиностойкость керамзитобетона на различных видах песка (дробленом керамзитовом и кварцевом), следует отметить, что наилучшие свойства у керамзитобетона на пористом песке, так как он позволяет сформулировать структуру без значительных микродефектов и с плотной контактной зоной.

В исследованиях К. А. Пирадова вскрыты основные факторы, влияющие на трещиностойкость бетона (Ц/В отношение, агрегатно-структурного фактора, и его прочность, активность цемента) установлена корреляционная зависимость, связывающую коэффициент интенсивности напряжений с этими факторами [10].

Величина механики разрушения КИН является комплексным инвариантным параметром свойств бетона, его структуры, действующей нагрузки и, главное, его долговечности. Прочность бетона не несет информации о сроке службы, его качестве и трещиностойкости, поэтому надежно подобрать состав качественного и долговечного керамзитобетона на золоцементном вяжущем можно лишь с использованием параметров механики разрушения.



### **Выводы:**

- Рассмотрев и проанализировав выше сказанное, можно четко утверждать, что, улучшая физико-механические свойства и правильно подобрав состав керамзитобетона на золоцементном вяжущем, дают возможность увеличить прочность, трещиностойкость бетона и железобетона.
- Использование методов механики разрушения позволяет количественно оценить параметры, характеризующие зарождение и развитие трещин, и прогнозировать на этой основе время до разрушения – долговечность материала.

### **Литература**

1. 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.Карпенка. – Львів: Каменяр, 1999. – 348 с.
2. Юсупов Р.К. Пути развития механики разрушения бетона. // Бетон и железобетон, 2001. №5 – с. 28 – 29.
3. Зайцев Ю.В. Механика разрушения для строителей: Учеб. пособие для строит. вузов. – М.: Высш. шк., 1991. – 288 с.
4. Пак А.П. Исследование трещиностойкости бетона с позиции механики разрушения. // Бетон и железобетон, 1985. №8 с. 41-42.
5. Пирадов К.А., Гузеев Е.А. Расчет железобетонных элементов по критерию "работа - энергия". // Бетон и железобетон, 1998. №5 – с. 17.
6. ГОСТ 29167-91. Бетоны. Методы определения характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении. – М.: Изд-во стандартов, 1992. – 18 с.
7. Леонивич С.Н., Лихачевский А.Я. Области рационального применения крупного заполнителя в бетоне с позиции механики разрушения. // Изв. вузов. Строительство, 1995. №10 – с. 53 – 55.
8. Гурешидзе Г.Г. Повышение трещиностойкости стеновых панелей из легкого бетона на основе механики разрушения. Автореф. дисс. на соис. к.т.н. – Тбилиси, 1990. – 24 с.
9. Первушин Г.Н. Трещиностойкость керамзитобетона наружных ограждающих конструкций. Автореф. дисс. на соис.к.т.н.– Москва., 1990.– 17 с.
10. Пирадов А.Б., Габуня Г.Ш. К методике определения критического коэффициента интенсивности напряжений бетона. // Изв. вузов. Строительство и архитектура, 1995. №2 – с. 9 - 11.