

ПОВЫШЕНИЕ СТОЙКОСТИ БЕТОНА К МИКРОТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЮ

Гапоненко Е.А., к.т.н., Мишутин А.В., д.т.н., профессор

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

На современном этапе для повышения физико-механических характеристик бетона применяется широкий спектр модификаторов разной природы: пластификаторы, кольматирующие добавки, наполнители и пр. Помимо того, для ответственных тонкостенных конструкций все шире применяется дисперсное армирование бетона фибрами, в том числе полимерными.

Нами были исследованы бетонные образцы методом акустической эмиссии на разных стадиях разрушения. Для регистрации акустических сигналов, вызываемых развитием микродефектов во время нагружения, применяли программно-технический комплекс „АКЕМ” [1], позволяющий количественно оценить сопротивление модифицированных бетонов разрушению по критерию накопления энергии от источников акустической эмиссии. Данный комплекс построен на базе технологии "PCLabCard".

Для инициации сигналов акустической эмиссии балочки из мелкозернистого бетона, размерами 4×4×16см, испытывали на растяжение при изгибе с помощью автоматического, электромеханического пресса 70-T0108/E. Запись сигналов деструкции происходила от начала приложения нагрузки и до разрушения.

Использовались семь вариантов составов бетонов, точки 1,2,4,6,8,9 и 10. Для исследований наиболее принципиальным было наличие в составе наполнителя или полимерной фибры (таб. 1).

Таблица 1

Наличие наполнителя и фибры в составах исследованных бетонов

Номер состава	Использованные модификаторы	
	молотый песок	фибра
6,8	-	-
2,10	+	-
4	-	+
1,9	+	+

Рассматривая ход разрушения образцов во время испытания, можно выделить три основные стадии этого процесса. На I стадии сигналы регистрировали сразу после приложения нагрузки $E > 1,2 \cdot 10^4 \text{ мВ}^2\text{с}$

(рис.1). На основе литературных данных [2], их относят к притирке индикатора к опорам и образцу, что не связано с развитием дефектов. II стадия ($E = 1,2...4,8 \cdot 10^4$ мВ²с) описывается структурными изменениями в материале: образованием микротрещин, отслоением заполнителя от цементной матрицы и тому подобное. III стадия хода акустического процесса ($E > 4,8 \cdot 10^4$ мВ²с), обусловленная началом роста макротрещины, вдоль которой происходит раскалывание образца.

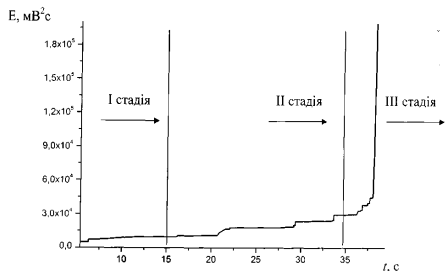


Рис.1. Накопление энергии (E) от сигналов акустической эмиссии во времени (общий вид).

Регистрация сигналов на первой и третьей стадии имеет низкую информативность: с одной стороны, первые сигналы не вызваны разрушением в объеме образца и носят поверхностный характер, с другой стороны, данный аппаратный комплекс делает невозможным окончание записи в момент раскола, что приводит к регистрации помех, описывающих пик в конце III стадии.

Следовательно, практическое значение имеет сравнение опытных образцов за II стадией хода разрушения.

При разрушении образцов без наполнителя и фибры (№№ 6,8) наблюдаются достаточно близкие значения разрушающей нагрузки 2,833...2,856 кН (рис.2). В то же время энергия излучения сигналов акустической эмиссии на второй стадии имеет достаточно высокую дисперсию, так для образца №6 это значение равняется $1,66 \cdot 10^4$ мВ²с, а для №8 – $2,95 \cdot 10^4$ мВ²с (рис. 3).

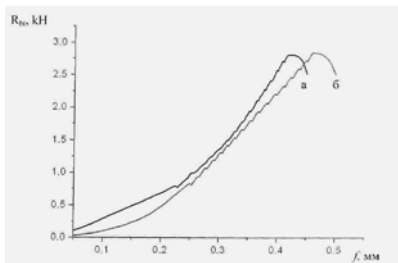


Рис.2. Кривые разрушающей нагрузки $R_{рt}$ до максимального прогиба (f) образцов №6 – а и №8 – б.

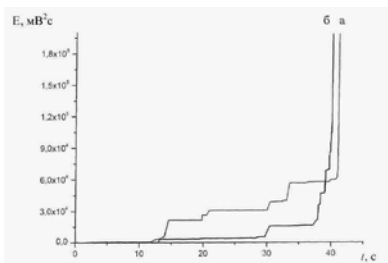
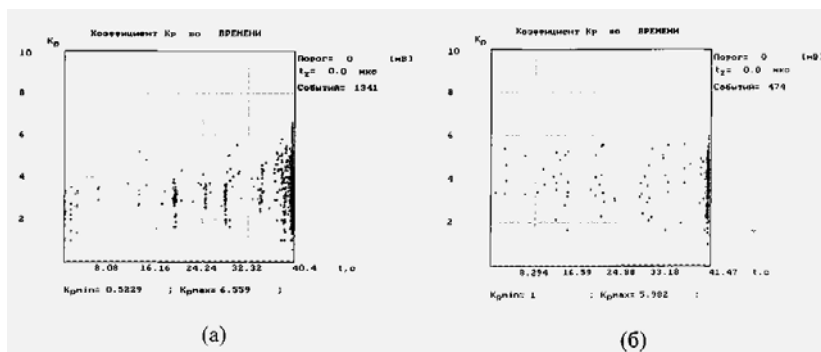


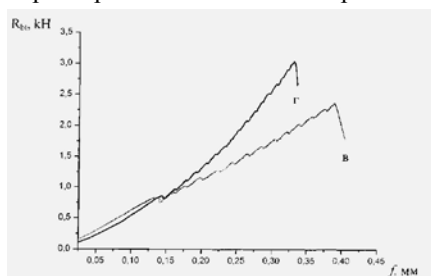
Рис.3. Накопление энергии (E) от сигналов акустической эмиссии во

времени (t) при нагружении образцов №6 – а и №8 – б



Подобная разница в полученных результатах объясняется разным количеством портландцемента и Ц/П в образцах, что естественно сказывается при растягивающих нагрузках. При этом кривые, которые описывают накопление энергии от новообразований, имеют идентичные профили (рис.3), то есть определенному моменту нагрузки отвечают похожие процессу повреждения структуры бетона.

Сравнение хода разрушения контрольных образцов по критерию K_p (рис.4), позволяет представить деструкцию материала на физическом уровне, где каждая точка графику отвечает развитию микродефекта, а ее положение относительно оси „у" - силе высвобожденной энергии. У образца №6 на 20, 24, 28, 34 сек. регистрируется прирост интенсивность сигналов. В связи с тем, что K_p при этих событиях ниже 5 ед., что более характерно для развития микротрещин в бетоне, эти сигналы были отнесены к раскрытию усадочных трещин. Для образца №8 наблюдаются подобная закономерность, на 20, 28, 33 с происходит прогресс усадочных микротрещин, при этом K_p ее выше 5 ед., то есть изначально этот образец имел меньше технологических дефектов структуры, чем №6 и характеризовался менее развитой сеткой микротрещин. Это



объясняется меньшим Ц/П и дозировкой цемента, близкой к оптимальной в данном составе.

Рис.5. Кривые разрушающей нагрузки R_{bt} до максимального прогиба (f) образцов №2 – в и №10 – г.

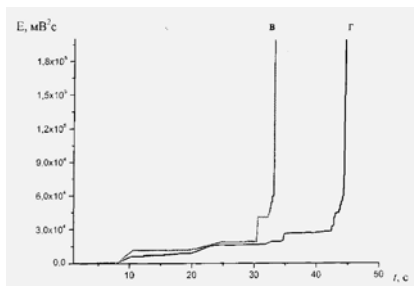


Рис.6. Накопление энергии (E) от сигналов акустической эмиссии во времени (t) при нагружении образцов №2 – в и №10 – г.

Несколько иначе происходит разрушение образцов, в состав которых входил наполнитель (молотый песок). Так значение максимальной нагрузки имели высокое расхождение, что для балочек №2 и №10 составляла соответственно 2.375 и 3.051 кН (рис.5). Это объясняется большей дозировкой цемента в 10-й точке эксперимента. При этом энергия от сигналов микродефектов на 2 стадии имеет относительные значения 1.94 и $1.69 \cdot 10^4$ мВ²·с соответственно (рис.6). Этот факт может быть объяснен тем, что наличие мелкозернистого наполнителя приводит к улучшению однородности структуры образца. А разрушение на микроуровне носит равномерный характер без регистрации пиков (рис.7).

То есть наличие молотого песка в структуре улучшает его эксплуатационные характеристики путем снижения, во-первых, количества микродефектов, которые формируются на стадии твердения образца, и, во-вторых, облегчают релаксацию материала под нагрузкой.

Исследования акустической эмиссии опытных образцов фибробетона (точка №4 эксперимента) показали, что дисперсное армирование обеспечивает стойкость к микротрещинообразованию. Материал имеет высокое сопротивление к деструкции и разрушение происходит при разрыве волокон фибры в зоне максимального растяжения. При этом развитие макротрещины останавливается на 1/2 сечения образца. Разрушительное усилие для данного вида бетона составляло 2.898 кН (рис.8), что несколько выше данных, полученных

для образцов без фибры.

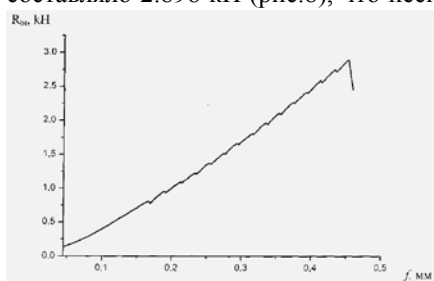


Рис.8. Кривая разрушающей нагрузки R_{bt} до максимального прогиба (f) образца №4.

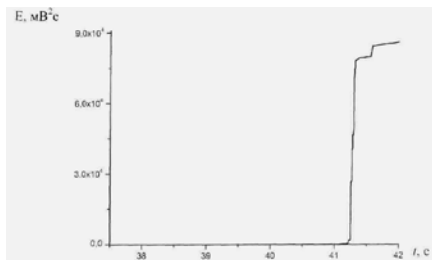
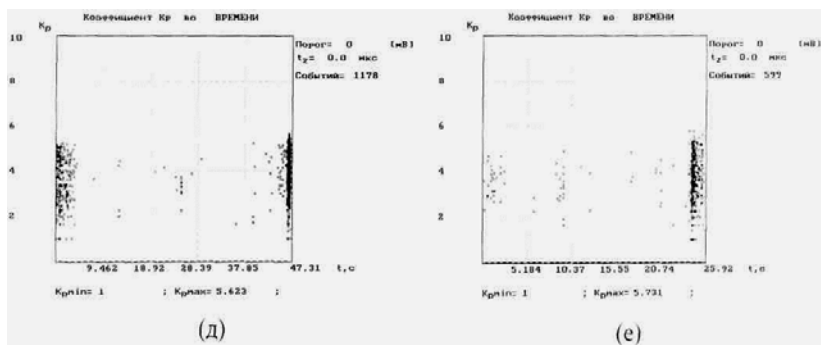


Рис.9. Накопление энергии (E) от сигналов акустической эмиссии во времени (t) при нагружении образца №4.

При испытании дисперсно-армированных образцов первые сигналы акустической эмиссии появляются перед разрушением образца (рис.9), следовательно, при нагружении продольные усилия компенсирует фибра, повышая стойкость бетонов к растяжению. Таким образом, дисперсное армирование существенно повышает стойкость бетона к развитию дефектов структуры, а раскрытие трещин в фибробетоне имеет более выраженный угасающий характер.

Развитие деструкционных процессов в образцах №1 и №9 (в которые совместно вводились наполнитель и фибра) носит характер, имеющий некий «средний» вид между образцами с наполнителем и фиброй. Первая стадия сигналов имеет высокую интенсивность



накопления, что может быть объяснено адаптацией индикатора к поверхности балочки. Вторая группа сигналов с 1/4 до 1/2 периода нагрузки, судя по низко уровню K_p (рис.10), также можно отнести к процессам, которые происходят на поверхности образца. С другой стороны, в 3/4 периода испытания количество и энергия от новообразований свидетельствует о появлении микротрещин, вместе с тем они имеют угасающий характер развития.

Рис.10. Сигналы от источников акустической эмиссии по коэффициенту K_p во времени (t) образцов №1 – д и №9 – е

Выводы

Изучение методом акустической эмиссии работы бетонов и фибробетонов при нагрузке показало, что введение волокон фибры повышает стойкость к микротрещинообразованию. Дисперсно-армированный материал имеет высокое сопротивление к деструкции и разрушение происходит при разрыве волокон фибры в зоне максимального растяжения. Наличие молотого песка в структуре бетона улучшает его эксплуатационные характеристики путем снижения количества микродефектов, формирующихся на стадии твердения образца, а также за счет облегчения релаксации материала под растягивающей нагрузкой.

Summary

The investigation of modified concrete at operating loads studied by acoustic emission. Introduction of fiber fiber increases the resistance to micro-cracking, improves the characteristics of particulate-reinforced material.

Литература

1. Скальський В.Р. Акустична емісія під час руйнування матеріалів, виробів і конструкцій / В.Р. Скальський, П.М. Коваль – Львів: СПОЛЮМ, 2005. – 396 с.

2. Использование шумометрической аппаратуры для оценки энергии разрушения цементно-песчаного раствора / [Почтовик Г.Я., Смоленская Н.Г., Темник Н.Л., Филиппова Н.Б.] // Энергетическое строительство. 1972., №4 - С.64-66.

3. Гапоненко Е.А.. Мелкозернистые дисперстно -армированные бетоны повышенной водонепроницаемости морозостойкости и трещиностойкости для гидротехнических сооружений / Екатерина Александровна Гапоненко. – Дис. канд. техн. наук: 05.23.05. Одесса, 2009. – 144 с.