

05.1

Прогнозирование потери устойчивости нагруженных элементов конструкций методом акустической эмиссии

© В.С. Куксенко, Н.Г. Томилин, Х.Ф. Махмудов, А.В. Бенин

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, С.-Петербург
E-mail: victor.kuksenko@mail.ioffe.ru
Петербургский государственный университет путей сообщения,
С.-Петербург

Поступило в Редакцию 16 апреля 2006 г.

В образец бетона вдоль центральной оси при заливке монтировался элемент стальной арматуры. Стержень вытягивался из закрепленного образца с постоянной скоростью смещения захвата. При вытягивании стержня непрерывно регистрировались нагрузка, смещение захвата и акустическая эмиссия. Показано, что за некоторое время до макроскопической потери устойчивости наблюдается резкое увеличение акустической эмиссии и изменение параметров акустического излучения. Делается вывод о принципиальной возможности прогнозирования макроскопического разрушения нагруженных железобетонных конструкций методом акустической эмиссии.

PACS: 69.72.Co

В отделе физики прочности ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН была предложена и развита двухстадийная модель разрушения гетерогенных материалов, базирующаяся на кинетической концепции прочности [1] и заключающаяся в накоплении дефектов (трещин) на первой стадии и ускоренном их развитии на второй заключительной стадии. Она проверена на широком круге материалов и в широком масштабном диапазоне. На ее основе предложены физически обоснованные критерии прогнозирования макроскопического разрушения [2], апробированные на различных объектах с использованием акустической и сейсмической эмиссии [3]. Проблема диагностики железобетонных конструкций и прогнозирования катастрофических разрушений весьма актуальна и требует экспериментального исследования в лабораторных условиях.

Впервые в испытательной лаборатории Петербургского университета путем сообщения (ПУПС) проведены совместные исследования механических испытаний элементов железобетонных конструкций с использованием метода акустической эмиссии для регистрации образующихся повреждений в процессе нагружения с целью предложить конкретные методы прогнозирования макроскопического разрушения объектов из железобетонных конструкций.

Образцы, моделирующие наиболее распространенные элементы железобетонных конструкций, готовились следующим образом.

1. Изготавливаются образцы двух типов: кубы с ребром 15 см и цилиндры диаметром и высотой по 15 см из бетона различных классов. Арматура в виде стержня заделывается в образец на всю высоту минус толщина защитного слоя (0,5 см) и со свободным участком в верхней части для захвата зажимом испытательной машины для вытягивания его из бетона (рис. 1).

2. Испытания проводятся на осевое растяжение на испытательной машине МИРИ-500К в специальной металлической оснастке-обойме.

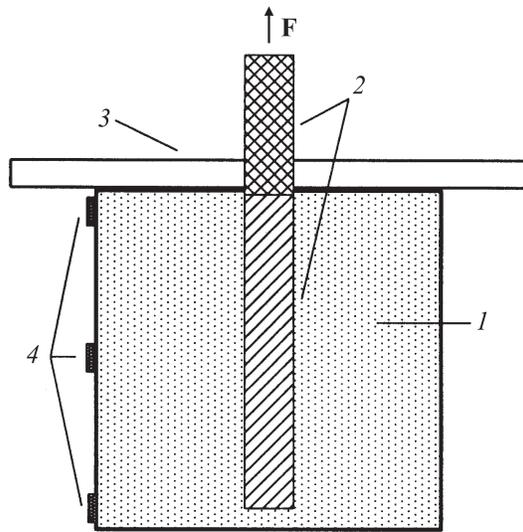


Рис. 1. Схема эксперимента: 1 — бетонный образец; 2 — арматурная сталь; 3 — упор; 4 — АЭ-преобразователи.

Образец помещался в специальную оправку (рис. 1), которая фиксировалась нижним неподвижным зажимом нагружающей машины. На передней свободной поверхности образца крепились пьезоприемники для регистрации акустических сигналов при образовании трещин (дефектов).

Испытательная машина МИРИ-500К оснащена компьютерным управлением, позволяющим точно регулировать и поддерживать заданную скорость нагружения, получать данные с силоизмерителя и датчика перемещения на мониторе ПЭВМ в цифровом и графическом виде.

3. Выступающий сверху стержень зажимался верхним подвижным захватом нагружающей машины. Нагружение производилось смещением (вытягиванием) стержня с постоянной скоростью в вертикальном направлении. Непрерывно записывались смещение верхнего захвата и нагрузка. Акустоэмиссионная система непрерывно регистрировала акустические импульсы и их параметры.

Экспериментальные результаты. Сопоставление изменений вытягивающей стержень нагрузки и интенсивности акустической эмиссии наиболее наглядно можно представить в единой временной шкале (рис. 2). На рис. 2, *a* приведено изменение во времени вытягивающей стержень нагрузки. Нагрузка линейно возрастала и при некоторой величине резко падала, что свидетельствовало о выдергивании стержня, т. е. потере устойчивости образца.

Обратимся теперь к изменениям акустической эмиссии в процессе эксперимента (рис. 2, *b*). Зависимость *b* показывает изменение активности акустической эмиссии, т. е. числа акустических сигналов в единицу времени. Акустические сигналы появляются вскоре после начала нагружения. Можно видеть, что интенсивность акустической эмиссии возрастает слабо со временем, что соответствует закономерности накопления дефектов на первой стадии. Незадолго до потери устойчивости она резко нарастает, что согласуется с закономерностью развития дефектов на второй заключительной стадии.

Обсуждение результатов. Распределение напряжений на границе стержень–бетон изменяется плавно в глубь образца. С расчетами этого распределения можно познакомиться в [4]. Потеря устойчивости образца рассматривается как достижение некоторого максимального напряжения на границе стержень–бетон [4]. С точки зрения кинетической концепции и двухстадийной модели разрушения акт потери несущей способности образца является лишь заключительным актом

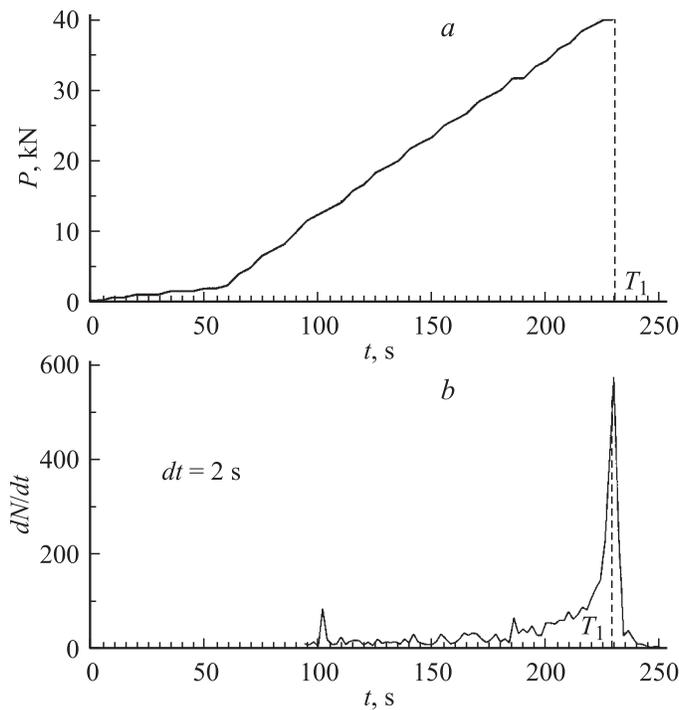


Рис. 2. Изменение во времени нагрузки (*a*) и интенсивности акустической эмиссии (*b*).

в общем процессе накопления и развития повреждений. Появление акустических импульсов при достаточно низких нагрузках, далеких от предельных, свидетельствует об образовании повреждений на ранних стадиях нагружения. С позиции двухстадийной модели разрушения [2,3] это первая стадия зарождения микротрещин в различных участках по границе стержень–бетон. Это нетрудно объяснить наличием высоких локальных напряжений на границе бетон–стержень с достаточно неровной поверхностью и разным строением бетона на границе. Эти трещины не являются опасными для образца в целом. Но постепенное накопление таких повреждений может приводить к ослаблению связи бетон–стержень и появлению более крупных повреждений в некоторых

участках на границе бетон–стержень. Наиболее крупные дефекты могут приводить к возрастанию локальных механических напряжений и ускорению процесса зарождения и развития повреждений. Такое ускорение процесса зарождения повреждений мы и наблюдаем незадолго до достижения предельных нагрузок.

Двухстадийная модель разрушения была разработана для однородных материалов [1].

Для достаточно неоднородного образца с резкой границей (стержень–бетон), когда заведомо реализуется локализация процесса разрушения на границе стержень–бетон, она оказалась также применима. Это позволяет использовать основные ее положения как для анализа процесса разрушения на микроскопическом уровне, так и для прогнозирования ожидающегося акта потери устойчивости. Следует отметить, что на диаграмме изменения нагрузки (рис. 2, *a*) заметных аномалий перед потерей устойчивости не наблюдается, т.е. не видно каких-либо нарушений на макроскопическом уровне. Резкое возрастание интенсивности акустической эмиссии за некоторое время до достижения потери устойчивости образца может служить прогностическим признаком приближающегося критического состояния образца. Для реальных железобетонных конструкций такое резкое возрастание акустической эмиссии позволит сбросить нагрузку и сохранить целостность конструкции и при возможности заменить опасный участок.

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ № 04-05-65287.

Список литературы

- [1] Тамуж В.П., Куксенко В.С. Микромеханика разрушения полимерных материалов. Рига: Зинатне, 1978. 294 с.
- [2] Куксенко В.С. // ФГТ. 2005. Т. 47. В. 5. С. 788.
- [3] Kuksenko V.S. Mechanics of Jointed and Faulted Rock / Ed. Rosmanisth. Rotterdam, 1995, сnh. 987.
- [4] Бенин А.В. Проблемы прочности материалов и сооружений на транспорте / Труды 6-й Международной конф. СПб.: ПГУПС МПС, 2004.