

05.1

Исследование механоэлектрических преобразований в образцах цементного раствора в процессе трещинообразования, вызванного циклическим замораживанием-оттаиванием

© Т.В. Фурса

Томский политехнический университет
E-mail: fursa@tpu.ru

Поступило в Редакцию 10 ноября 2009 г.

В образцах цементного раствора исследованы спектры электрического сигнала при различной силе удара. Выявлены характерные изменения спектров электрического сигнала из образцов во время интенсивного трещинообразования, вызванного многократным циклическим замораживанием-оттаиванием.

Наружные конструкции из бетона и железобетона эксплуатируются в условиях значительных механических нагрузок и сезонных колебаний температуры. В результате длительной эксплуатации в таких условиях происходит снижение их прочности, связанное с расклинивающим действием воды в процессе ее замерзания в порах и микротрещинах, которое приводит к появлению локальных очагов напряжений и увеличению числа микрповреждений структуры материала [1,2]. В настоящее время нет надежных методов определения происходящих в материале нарушений в процессе эксплуатации наружных строительных конструкций. Используемые на практике для определения прочности бетонов механи-

ческие методы, основанные на принципах склерометрии, имеют низкую точность и не чувствительны к внутренним дефектам. Для решения этой задачи может быть использовано явление механоэлектрических преобразований в гетерогенных материалах, заключающееся в преобразовании энергии импульсного механического возбуждения в энергию электромагнитного поля на заряженных структурных неоднородностях в гетерогенных диэлектрических материалах. Проведенными ранее исследованиями установлены некоторые закономерности взаимосвязи параметров электромагнитного отклика на ударное возбуждение композиционных материалов с некоторыми структурными характеристиками и прочностью [3–5]. Однако в предложенном в работе [5] алгоритме определения прочности не рассматриваются наличие в материале трещин и их влияние на параметры механоэлектрических преобразований. А именно трещины различного размера и концентрации образуются в процессе эксплуатации пористых гетерогенных материалов в условиях знакопеременного температурного воздействия.

Задачей настоящей работы является установление основных закономерностей трансформации параметров электрического отклика на ударное возбуждение пористого цементного раствора в процессе трещинообразования.

Исследования проводились на цементном растворе, из которого состоит пористая матрица в бетонах. Образцы представляли собой параллелепипеды размером $50 \times 50 \times 100$ мм. Импульсное механическое возбуждение образцов осуществляли электромеханическим ударным устройством, позволяющим производить однократный, нормированный по силе удар. Для регистрации электрической составляющей переменного электромагнитного поля использовался дифференциальный электрический датчик, состоящий из двух металлических пластин, одна из которых является измерительной (размещается на расстоянии 2 мм от боковой стороны образца) и воспринимает как полезный сигнал, так и помеху, а другая — компенсационная находится на расстоянии 3 см от противоположной боковой стороны образца и принимает помеховую составляющую, за счет чего на выходе дифференциального приемника выделяется полезная составляющая сигнала. Электрический сигнал с емкостного датчика регистрировался с помощью многофункциональной платы ввода–вывода „NI PCI-6251“, позволяющей осуществлять оцифровку временной реализации электрического сигнала и быстрое Фурье-преобразование.

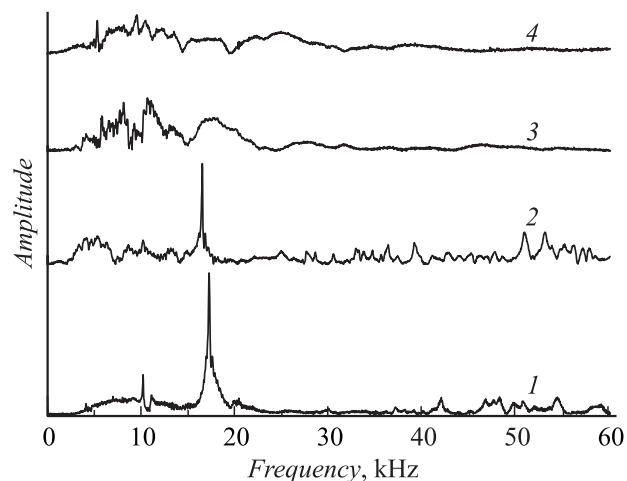


Рис. 1. Типичные спектры электрических сигналов из образцов цементного раствора: 1 — контрольных, 2 — после 15 циклов, 3 — после 40 циклов, 4 — после 70 циклов замораживания-оттаивания.

Процесс трещинообразования изучался в условиях циклического замораживания-оттаивания образцов. Замораживание образцов производилось в морозильной камере при температуре минус 20°C в течение не менее 4 h, оттаивание в камере КПУ-1М, в которой поддерживалась постоянная температура $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ и влажность 95%, также в течение не менее 4 h.

После окончания испытаний образцы были высушены до нормальной влажности и произведено измерение электрического отклика. На рис. 1 приведена динамика изменения спектральных характеристик откликов из образцов после различного количества циклических знакопеременных воздействий.

Как видно из рисунка, процесс разрушения материалов, вызванный знакопеременным температурным воздействием, приводит к значительной трансформации спектров электрического сигнала. Изменения спектральных характеристик в процессе трещинообразования за счет циклического замораживания-оттаивания могут быть связаны с рассеянием акустических волн на формирующихся трещинах и нелинейными

эффектами в материале с трещинами. Из литературы известно, что трещиноватость оказывает наиболее сильное влияние на нелинейность. В работах [6,7] показано, что процесс трещинообразования при нагружении гетерогенных материалов приводит к нелинейности, определяемой по характеристикам продольных и поперечных волн при ультразвуковом прозвучивании.

При формировании трещин в материалах под действием знакопеременного температурного возбуждения также должны возникать нелинейно-упругие свойства. Для проведения экспериментов была использована такая физическая характеристика нелинейности, как изменение спектра волн, распространяющихся в среде, при увеличении или уменьшении амплитуды колебаний. А так как электрический отклик возникает в результате возбуждения источников механоэлектрических преобразований акустическими волнами, формирующимися при ударном возбуждении образца [8], то изменение спектра акустических волн в нелинейной среде при увеличении амплитуды колебаний должно приводить к изменению и спектра электрического сигнала. Изменение амплитуды акустических колебаний осуществлялось путем изменения силы удара. В приведенных экспериментальных результатах сила удара изменялась в 3 раза. Одновременно с увеличением силы удара во столько же раз уменьшалась величина регистрируемого сигнала, чтобы спектральные характеристики при разной силе удара были сопоставимы по величине.

Для примера на рис. 2 приведены результаты исследования параметров электрического отклика на ударное возбуждение цементно-песчаных образцов из партии, которая не подвергалась циклическому замораживанию-оттаиванию и из партии, которая прошла 70 циклов знакопеременного температурного воздействия.

Как видно из рис. 2, *a*, в электрическом отклике из образцов, не подвергавшихся замораживанию-оттаиванию, практически не наблюдается различий в спектрах при разной силе удара, что свидетельствует об отсутствии нелинейности в этих образцах.

Существенно иная картина наблюдается при испытании по этой же методике образцов, прошедших 70 циклов замораживания-оттаивания. Следует отметить, что после 70 циклов средняя прочность образцов уменьшилась в среднем в 2.2 раза по сравнению с контрольной партией. После 40 циклов замораживания-оттаивания в пористых влажных

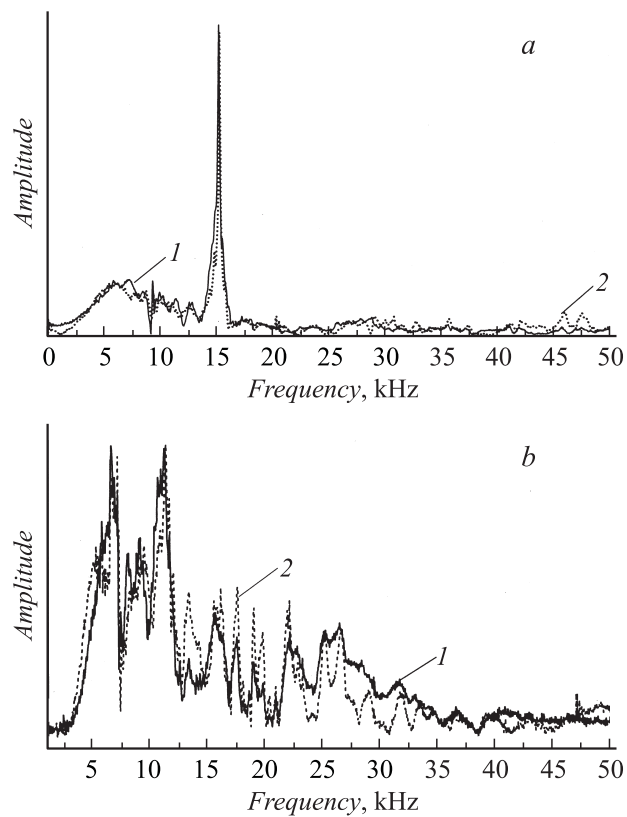


Рис. 2. Типичные спектральные характеристики электрического сигнала, зарегистрированные из образцов цементного раствора, принадлежащих различным партиям: *a* — контрольной, *b* — после 70 циклов замораживания-оттаивания. (*1* — спектр сигнала при силе удара 12 N, *2* — при силе 4 N).

материалах начинается интенсивный процесс трещинообразования и на поверхности образцов появляются видимые трещины.

Из рис. 2, *b* видно, что в спектрах электрических сигналов, зарегистрированных при различной силе удара, из образцов, прошедших 70 циклов замораживания-оттаивания, имеются значительные отличия, что свидетельствует о наличии нелинейных свойств в образцах

с трещинами. Проведенные исследования показывают, что наличие расхождений в амплитудно-частотных характеристиках электрического сигнала с изменением силы ударного возбуждения свидетельствует о присутствии в материале трещин, что может быть использовано в качестве критерия для контроля над процессом трещинообразования в пористых гетерогенных материалах при циклическом замораживании-оттаивании.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации и Федерального агентства по образованию в рамках реализации АВЦП „Развитие научного потенциала высшей школы“ (№ 2.1.2/1697).

Список литературы

- [1] Горчаков Г.И., Лифанов И.И., Терехин Л.Н. Коэффициенты температурного расширения и температурные деформации строительных материалов. М., 1968. 167 с.
- [2] Хигерович М.И. и др. Строительные материалы. М.: Высш. школа, 1982. 352 с.
- [3] Фурса Т.В., Осипов К.Ю. // Изв. вузов. Сер. Физика. 2003. № 11. С. 61–65.
- [4] Fursa T.V., Surzhikov A.P., Khorsov N.N. // J. of Guangdong non-ferrous Metals. 2005. V. 15. N 2–3. P. 138–140.
- [5] Фурса Т.В., Суржиков А.П., Осипов К.Ю., Дани Д.Д. // Дефектоскопия. 2009. № 9. С. 88–96.
- [6] Шамина О.Г., Паленов А.М. // Изв. АН СССР. Физика Земли. 2000. № 3. С. 11–19.
- [7] Шамина О.Г., Паленов А.М. // Изв. АН СССР. Физика Земли. 2002. № 9. С. 29–35.
- [8] Суржиков А.П., Фурса Т.В. // ЖТФ. 2008. Т. 78. В. 4. С. 71–76.