

**КОНТРОЛЬ ДЕФЕКТНОСТИ ПО ПАРАМЕТРАМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ОТКЛИКА ПРИ
ИМПУЛЬСНОМ МЕХАНИЧЕСКОМ ВОЗБУЖДЕНИИ ОБРАЗЦА**

П.Н. Хорсов, В.П. Суржиков

Научный руководитель: профессор, д.ф.-м.н. А.П. Суржиков

Национальный исследовательский томский политехнический университет

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: horsov_petr@mail.ru

**CONTROL OF DEFECTS ON THE PARAMETERS OF THE ELECTROMAGNETIC RESPONSE
UNDER PULSED MECHANICAL EXCITATION OF THE SAMPLE**

P.N. Khorsov, V.P. Surzhikov

Scientific Supervisor: Prof., Dr A.P. Surzhikov

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: horsov_petr@mail.ru

In this paper, the influence of electromagnetic emission response of the sample was research using the apparatus of multiple excitation of the sample by forming a random component dataset responses. It was shown that the standard deviations of random components, including electromagnetic emissions, are acceptable characteristic for assessing the deflected mode of solid dielectrics.

Обработка результатов измерений для оценки процессов, происходящих в материале под действием механических нагрузок, является актуальной задачей для неразрушающего контроля дефектности и прочности материалов в условиях напряженно-деформированного состояния. Широкое применение для неразрушающего контроля получили акустические методы контроля, среди которых можно выделить метод акустической эмиссии (АЭ). Недостатком указанного метода является невозможность давать оценку концентрации дефектов, которые при данной нагрузке не развиваются. В Томском политехническом университете в течение ряда лет разрабатывается метод неразрушающего контроля, основанный на явлении механоэлектрических преобразований (МЭП) в композитных диэлектрических материалах. Суть метода заключается в возбуждении образца механическим импульсом заданной формы. Акустически волны возбуждения распространяются по образцу, отражаются от его границ и взаимодействуют с источниками механоэлектрических преобразований образца, которые представляют собой двойные электрические слои на границах раздела разнородных материалов или пьезоэлектрические включения (например, кварцевый песок в бетонах). На указанных источниках акустические колебания преобразуются в электромагнитный сигнал, который может быть зарегистрирован индуктивными или емкостными датчиками. Опыт применения метода МЭП показал его чувствительность к дефектам и степени напряженно-деформированного состояния объекта исследования. Исследования показали, что в отклике при импульсном калиброванном возбуждении материала практически отсутствует шумовая составляющая, связанная с его структурой, при условии ее неизменности от внешних воздействий. Это обстоятельство позволило усовершенствовать метод МЭП. Была разработана аппаратура, позволяющая производить многократное возбуждение образца

высокостабильными импульсами заданной формы при фиксированных внешних воздействиях, регистрировать отклики и затем производить обработку сигнала отклика путем синфазного сложения полезной составляющей сигнала [1]. Использование такого подхода позволило существенно повысить отношение сигнал/шум, а, следовательно, дало возможность оценивать весьма малые изменения дефектности и степени напряженно-деформированного состояния.

При исследованиях с использованием аппаратуры многократного возбуждения при одноосном сжатии образца наблюдались, кроме детерминированной составляющей отклика и шума, характерные выбросы, некоторые из которых можно было наблюдать визуально. Подобные пики наблюдали и другие авторы [2]. Ими же было показано, что такие острые всплески электромагнитной эмиссии сопровождаются временным спадом напряженно-деформированного состояния. Это свидетельствует о том, что источником таких импульсов являются локальные разрушения. Естественно ожидать, что и в шумовой составляющей откликов присутствует электромагнитная эмиссия, связанная с дефектностью и НДС.

Целью настоящей работы является исследование составляющей электромагнитной эмиссии сигналов в шуме отклика при импульсном возбуждении для дальнейшей выработки критерия оценки структурных изменений материала в условиях напряженно-деформированного состояния.

В качестве объекта исследования был использован образец из эпоксидной смолы с наполнителем в виде речного песка, включающего кварцевые песчинки. Размеры образца составляли $60 \times 80 \times 100$ мм³. Образец помещался в пресс, где подвергался ступенчатому одноосному сжатию со ступенькой давления в 4,2 МПа до разрушающего давления 85 МПа. К боковой грани образца крепился пьезоэлектрический преобразователь, на который с высокостабильного генератора подавалась серия из 140 импульсов заданной формы с интервалом примерно 7 мс. Вблизи противоположной от преобразователя грани на небольшом расстоянии располагалась прямоугольная пластина емкостного датчика с размерами чуть меньше линейных размеров грани.

Отклики каждой серии возбуждения оцифровывались с частотой 625 кГц и записывались в виде единого файла. Для вычисления среднего была составлена программа (Mathcad 14), позволяющая с точностью до 1 дискрета по времени вычислять интервалы между соседними откликами. В основу программы была положена корреляционная функция фрагментов откликов, по которой выбирались временные интервалы по наибольшему ее значению. Затем программным путем совмещались начальные моменты всех откликов для данной нагрузки, после чего формировалась матрица откликов размером 4100 по вертикали (временные реализации для каждого отклика) и 140 по горизонтали (номера возбуждений). Всего таких массивов было сформировано 28 (по количеству ступеней нагружения).

Визуальный анализ откликов показал, что при достаточно большой нагрузке (выше 38 МПа) заметны выбросы с острым фронтом длительностью менее 1,6 мкс и спаданием в течение примерно 300 мкс. Для каждой нагрузки по совокупности откликов вычислялись их средние значения.

На рис. 1 показаны фрагмент исходного отклика во временной области при нагрузке 78 МПа, на котором виден выброс. Естественным является предположение, что кроме визуально наблюдаемой может быть эмиссия, уровень которой соизмерим с уровнем шума.

При условии стационарности шума, не связанного с исследуемым процессом, оценку эмиссии можно оценивать по изменению среднеквадратичных отклонений (СКО) случайных составляющих отклика от нагрузки.

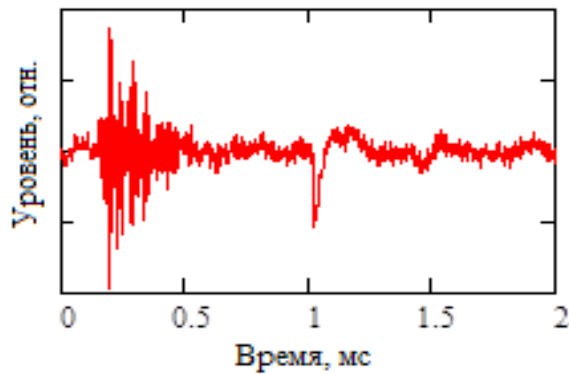


Рис. 1. Отклик при импульсном возбуждении

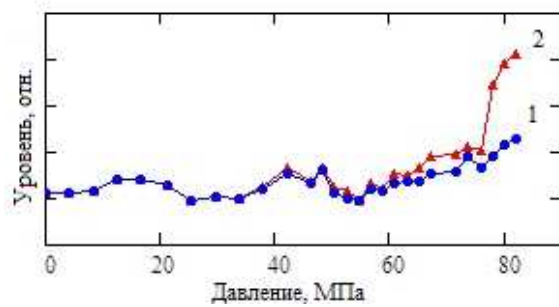


Рис. 2. Зависимость СКО от уровня нагрузки:
1 – с учетом выбросов; 2 – без их учета

Для выделения случайных составляющих отклика из каждого отклика при заданной нагрузке вычитались соответствующие средние значения откликов. Затем для каждой нагрузки было рассчитано СКО по совокупности случайных составляющих из 140 откликов.

Анализ СКО откликов показал, что визуально видимые выбросы оказывают большое влияние на их величину. Поэтому был сделан расчет по указанной выше процедуре, но при этом визуально видимые выбросы программным способом были заменены средними значениями СКО.

На рис. 2 показаны зависимости СКО от нагрузки с учетом влияния видимых выбросов (2) и без их учета (1).

Как видно из рисунка, видимые выбросы вносят существенный вклад в СКО случайной составляющей отклика, начиная с нагрузки 77 МПа. Электромагнитная эмиссия малого уровня также вносит свой вклад в шумовую составляющую, СКО которой устойчиво растет от нагрузки, начиная с уровня 55 МПа. В целом делаем вывод, что среднеквадратичные отклонения случайной составляющей отклика, связаны через электромагнитную эмиссию с дефектностью и являются информативными для контроля последней в условиях напряженно-деформированного состояния материала.

Работа выполнена в рамках государственного задания «Наука».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Суржиков В.П., Хорсов Н.Н., Хорсов П.Н. Мультисенсорная система для исследования дефектности диэлектрических материалов // Контроль. Диагностика. – 2011 – № 11 – С. 17–20.
2. Яковицкая Г.Е. Методы и технические средства диагностики критических состояний горных пород на основе электромагнитной эмиссии – Новосибирск: Параллель, 2008. – 315 с.