

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МУЛЬТИСЕНСОРНОЙ СИСТЕМОЙ КОНТРОЛЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕФЕКТНОСТИ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ОДНООСНОМ СЖАТИИ

Хорсов П.Н., Суржиков В.П.

Научный руководитель: Суржиков А.П., д.ф.-м.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: horsov_petr@mail.ru

Контроль необратимых процессов в материалах, подвергающихся воздействию механических нагрузок, представляет как научный, так и практический интерес. Под необратимыми процессами понимается локальное изменение структуры материала под нагрузкой за счет дефектообразования и пластического течения в тех зонах образца, в которых не выполняется закон Гука.

Для этой цели наиболее широко используется метод акустической эмиссии, который позволяет оценивать процесс дефектообразования материалов под нагрузкой. Существенным недостатком метода является то, что с его помощью возможна регистрация только процесса образования или развития дефектов, т.к. только в этом случае генерируются акустические волны. Поэтому при помощи этого метода трудно оценивать концентрацию дефектов, что является важным при разработке методов контроля прочности.

Альтернативой методу акустической эмиссии является разрабатываемый на протяжении ряда лет метод механоэлектрических преобразований (МЭП) [1] в гетерогенных диэлектрических материалах. Суть метода заключается в том, что образец возбуждается коротким механическим импульсом, при этом в образце происходят МЭП на границах гетерогенных материалов и на включениях, обладающих пьезоэлектрическими свойствами, через которые проходят акустические волны импульсного возбуждения. В результате МЭП возникает переменное электромагнитное поле, которое можно зарегистрировать электрическими или магнитными датчиками.

Электромагнитный отклик представляет собой суперпозицию откликов при воздействии на источник механоэлектрических преобразований фронтов акустических волн возбуждения, многократно отраженных от границ образца, рассеянных на дефектах, а также деформируемых локальными изменениями упругих постоянных в условии напряженно-деформированного состояния образца.

Исследования показали, что электрический отклик, обусловленный МЭП в образце при отсутствии внешнего на него воздействия, имеет весьма низкую стохастическую составляющую, что позволяет путем повторных возбуждений эффективно накапливать полезный сигнал, повышая отношение сигнал-шум, и тем самым увеличивать чувствительность системы по обнаружению малых изменений исследуемых параметров образца.

С учетом вышеназванных особенностей МЭП в Томском политехническом университете разрабо-

тана высокочувствительная мультисенсорная аппаратура контроля на основе МЭП [2]. Ее отличие от традиционно используемых методов МЭП заключается в том, что она позволяет анализировать не только временные, но и пространственные характеристики откликов. Второе существенное отличие заключается в том, что при внешних неизменных условиях производится многократное импульсное возбуждение образца при помощи высокостабильного генератора и осуществляется накопление полезного сигнала путем суммирования откликов. Аппаратура показала высокую чувствительность к изменению поверхностных дефектов, нанесенных на образец [3], объемных дефектов в виде полостей [4], а также высокую барическую чувствительность при одноосном сжатии образца [5].

Целью настоящей работы было дать оценку изменения дефектности образца после его одноосного сжатия на прессе до заданной нагрузки. Образец был изготовлен из оксидной смолы с наполнителем из песка с большим содержанием кварца. Форма образца – прямоугольная с размерами 94 мм x 76 мм x 58 мм.

Вблизи одной из поверхностей образца крепились приемные пластинки емкостных датчиков, воспринимающих электрическое поле механоэлектрических преобразований и преобразующих его в электрический сигнал. К боковой грани образца прижималось устройство возбуждения. На него подавалась серия из 80 коротких электрических импульсов заданной формы и амплитуды, сформированная специальным высокостабильным генератором. Сигнал оцифровывался с частотой 1 МГц. Электрический отклик с емкостных датчиков преобразовывался в цифровой вид и поступал в ЭВМ для хранения и дальнейшей обработки.

Находились средние значения в каждой точке выборки временных реализаций откликов при повторных возбуждениях образца, а также среднеквадратичные отклонения для каждой точки временной выборки отклика.

Сначала на образец подавалось давление 1.3 МПа, которое принималось за начальное, и осуществлялась процедура возбуждения - измерения.

Затем регистрировались отклики при возбуждении образца, на котором давление последовательно повышалось ступенчато, вплоть до разрушения образца (при уровне давления 65 МПа). Для анализа были использованы отклики с одного из датчиков при давлениях на образец в (1.3, 13, 26) МПа. Для оценки степени дефектности были получены отклики после сбросов давлений с уровней 13 МПа и 26 МПа до начального.

Обозначим средние значения откликов: при нагрузках 1,3 МПа, 13 МПа и 26 МПа как $S_0(t)$, $S_1(t)$ и $S_2(t)$ соответственно. Значения разностей откликов при нагрузках 13 МПа и 26 МПа и начальной обозначим $S_{01}(t)$, и $S_{02}(t)$, значения откликов после сброса давления с уровней 13 МПа и 26 МПа до начального - как $S_{10}(t)$, и $S_{20}(t)$, а разность между откликами после сброса нагрузок с уровней 13 МПа и 26 МПа и начальной нагрузкой обозначим соответственно $S_{100}(t)$, и $S_{200}(t)$.

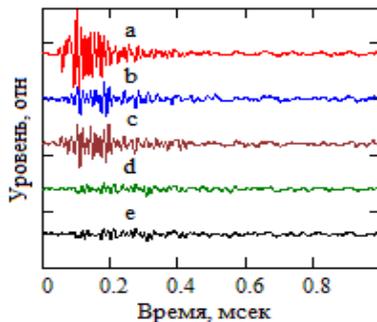


Рис.1. Отклики сигналов.

a – $S_0(t)$; **b** – $S_{01}(t)$; **c** – $S_{02}(t)$; **d** – $S_{100}(t)$; **e** – $S_{200}(t)$.

Как следует из рис.1, разность откликов при указанных нагрузках по сравнению с начальной довольно существенная во временной области до 500 мкс. Затем разность уменьшается, но не спадает до нуля. Естественно предполагать, что разностные отклики содержат в себе информацию как об обратимых процессах в образце, связанных с его упругими свойствами, так и о необратимых, в число которых могут входить вновь образованные под действием нагрузки на образец дефекты, искажающие фронты акустических волн.

Из кривых (**d**) и (**e**) видно, что имеет место заметные разности между откликами при начальном давлении и откликами после сброса давлений. Эти разности, если они статистически достоверны, характеризуют необратимые процессы, происходящие в образце, подвергнутом механическим нагрузкам.

Для того чтобы убедиться, что выявленные различия являются достоверными, была произведена проверка того, что полученные различия в средних значениях откликов в каждой точке выборки статистически достоверны. Для статистической оценки был использован критерий Стьюдента. Были рассчитаны t -статистики разности средних значений и критический уровень T при $\alpha=0.005$

На рис. 2. показаны график t -статистики разности откликов при начальном давлении и том же давлении после сброса с уровня 12.8 МПа и уровень критического значения T (жирная светлая линия).

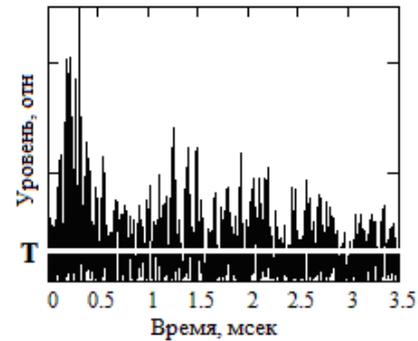


Рис 2. Проверка статистических гипотез по критерию Стьюдента.

Как видно из рисунка, с вероятностью 99.5 % практически во всем интервале временной реализации различия в средних значениях является значимыми.

На основании проведенных исследований можно сделать вывод о том, что аппаратуру мультисенсорного контроля можно использовать для исследования дефектности диэлектрических материалов в условиях напряженно-деформированного состояния по пространственно-временным параметрам откликов.

Список литературы:

1. Гордеев В.Ф., Елисеев В.П., Малышков Ю.П. Аппаратура для контроля качества неметаллических материалов и изделий по характеристикам электромагнитной эмиссии. //Дефектоскопия. - 1994. - № 4. - С. 48-54
2. Суржиков В.П., Хорсов Н.Н., Хорсов П.Н. Мультисенсорная система для исследования дефектности диэлектрических материалов // Контроль. Диагностика. - 2011 - №. 11 - С. 17-20.
3. Surzhikov V. P. , Khorsov N. N. , Khorsov P. N. The Effect of Volumetric Defectiveness on the Spatiotemporal characteristics of an Electromagnetic Response during Acoustoelectric Transformations in Dielectric Specimens // Russian Journal of Nondestructive Testing . - 2012 - Vol. 48 - №. 2 - p. 85-89
4. Суржиков В.П, Хорсов Н.Н. Влияние локальной поверхностной дефектности на пространственно-временные характеристики электромагнитного отклика при акустоэлектрических преобразованиях в диэлектрических образцах // Контроль. Диагностика. - 2011, Вып. специальный - С. 132-134.
5. Surzhikov V. P. , Khorsov N. N. The influence of a uniaxial load on the spatio-temporal characteristics of the electromagnetic response during acoustoelectric transformations in dielectric specimens // Russian Journal of Nondestructive Testing . - 2011 - Vol. 47 - №. 10 - p. 687-690

Работа выполнена в рамках государственного задания "Наука".