

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. Н.Э. БАУМАНА
ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ им. П.Н. ЛЕБЕДЕВА
ЦЕНТР ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ

**НЕОБРАТИМЫЕ ПРОЦЕССЫ
В ПРИРОДЕ И ТЕХНИКЕ**

ТРУДЫ ЧЕТВЕРТОЙ ВСЕРОССИЙСКОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ

29-31 января 2007 г.

Москва

Часть II

МГТУ им. Н.Э. Баумана

УДК 536.75

ББК 22.317

Н 52

Н 52 Необратимые процессы в природе и технике: Труды Четвертой Всероссийской конференции 29-31 января 2007 г. В 2-х ч. Часть II-М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2007.- с.650

В трудах Четвертой Всероссийской конференции приведены результаты, полученные авторами в области исследования необратимых процессов в природе и технике.

Труды конференции предназначены для студентов, аспирантов и научных работников.

УДК 536.75

ББК 22.317

Центр прикладной физики
МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007

ОБ ИНТЕРПРЕТАЦИИ СИГНАЛА АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ В ТОНКОЙ ПЛАСТИНЕ

Э. Озолиньш, И. Озолиньш, В. Павелко

1. Введение

Хорошо известно, что основной причиной, затрудняющей широкое применение метода акустической эмиссии (АЭ) для неразрушающего контроля элементов конструкций, являются трудности интерпретации регистрируемой информации. При контроле тонкостенных конструкций появляется дополнительная трудность, связанная со свойством дисперсии упругих волн. Однако это же обстоятельство имеет положительную сторону. Дисперсия негармонического сигнала позволяет получить дополнительную информацию, связанную с зависимостью скорости распространения упругих ультразвуковых волн от их частоты.

В случае, если источником сигнала АЭ является некоторое усталостное повреждение, то, чаще всего, он представляет собой негармонический импульс с небольшой протяженностью и достаточно сложной спектральной структурой.

В настоящей статье предпринята попытка объяснения некоторых закономерностей распространения сигналов АЭ в тонкостенных конструкциях.

2. Экспериментальные результаты

В проведенных экспериментах источником возбуждения ультразвуковых импульсов служил слабый удар некоторой свободно падающей массы по длинной пластине (Рис. 1).

В этом эксперименте было показано, что сумма импульсов АЭ не является монотонной функцией расстояния «источник-приемник». Она может оказаться больше в более удаленных точках поверхности (см. например, Рис. 2).

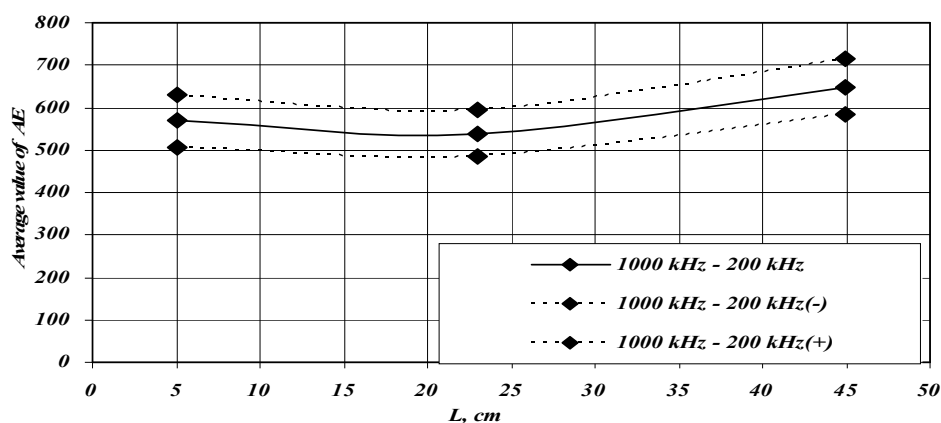


Рис. 2. Суммарная АЭ как функция расстояния от источника

Учитывая рассеивание энергии по мере удаления от источника, такое явление можно объяснить специфическими свойствами распространения ультразвуковых волн в тонком слое. Известно, что для волн в тонком слое, называемых волнами Лэмба, одним из основных является свойство дисперсии.

3. Формальное моделирование распространения упругих возмущений после импульсного возбуждения

Пусть упругая, широкая пластина длиной L и толщиной δ в момент $t=0$ подвергается двухстороннему импульсному воздействию в окрестности сечения с расстоянием a от одного из концов. В итоге появляется симметричное начальное возмущение. Параметр характеризует L_0 пространственную протяженность импульса.

Начальная функция перемещений может быть разложена на совокупность гармонических составляющих. В случае прямоугольного импульса это разложение имеет вид

$$f(x) = A \frac{L_0}{L} + \sum_{n=1}^{\infty} B_n \text{Cos} k_n (x - a) , \quad (1)$$

где

$$B_n = 2A \frac{L_0}{L} \frac{\text{Sin} \frac{\pi n L_0}{L}}{\frac{\pi n L_0}{L}}, \quad \text{а} \quad k_n = \frac{2\pi n}{L} - \text{волновое число гармонической составляющей } n$$

щей n .

После начального момента времени возмущение начинает распространяться, распадаясь на прямую и обратную волны. Каждая из них, достигая конца пластины, отражается и движется в противоположном направлении. В отличие от объемных волн или поверхностных волн Релея упругие поверхностные волны в тонких пластинах обладают свойством дисперсии (волны Лэмба). В связи с этим каждая гармоническая составляющая составного сигнала будет распространяться со своей фазовой скоростью, зависящей от произведения волнового числа на толщину пластины. Гармоническая составляющая n будет иметь фазовую скорость c_n . При отсутствии затухания колебания, возбуждаемые в точке поверхности с координатой x гармонической составляющей n , имеют период $2T_n = 2\pi / (k_n c_n)$. В связи с различной скоростью распространения отдельных составляющих форма суммарного сигнала в каждый момент времени будет отли-

чаться от исходной. В частности, на начальном этапе (при малых t) для точек поверхности с координатой x , мало отличающейся от координаты сечения начального возмущения текущую форму сигнала описывает выражение

$$F(x) = A \frac{L_0}{L} + \frac{1}{2} \sum_{n=1}^{\infty} B_n [\text{Cos}k_n(x - c_n t - a) + \text{Cos}k_n(x + c_n t - a)], \quad (2)$$

В произвольный момент времени форма волны может быть синтезирована, если известна дисперсионная кривая. Алгоритм синтеза был реализован для случая нулевой симметричной моды волн Лэмба.

4. Основные результаты

Ниже даны результаты синтеза распространяющейся волны, начальная форма которой представлена на рис.3,а и соответствует первым ста гармоническим составляющим прямоугольного сигнала. При моделировании приняты следующие параметры, которые соответствуют аналогичным параметрам в эксперименте: $\delta/L=0.005$, $a/L=0.25$; $L_0/L=0.02$.

Дисперсионная кривая приближенно аппроксимирована в следующем виде

$$\frac{c_n}{c_R} = 1 + \frac{0.6}{1 + 0.2(k_n \delta)^2}, \quad (3)$$

где c_R – скорость поверхностных волн Релея.

На рис.3,б-г распределение перемещений поверхности в моменты времени $t/t_0=0.1, 0.5, 1$, где $t_0=L/c$ – время прохождения расстояния L продольной упругой волной со скоростью c . Видно, что форма поверхностных волн сильно меняется с течением времени. При этом можно отметить тенденцию: пиковые значения суммарного сигнала уменьшаются, но количество циклов с относительно большой амплитудой увеличивается.

Такое поведение волнового возмущения качественно объясняет эффект немонотонного изменения суммы импульсов АЭ с увеличением расстояния от источника. Прямая запись ультразвуковых колебаний поверхности в некоторых точках в описанном эксперименте дает качественно похожие результаты. При этом спектральный анализ регистрируемого волнового процесса позволяет приближенно реконструировать начальное возмущение. В этом случае достига-

ется также и количественное соответствие синтезированного сигнала и записанного в эксперименте.

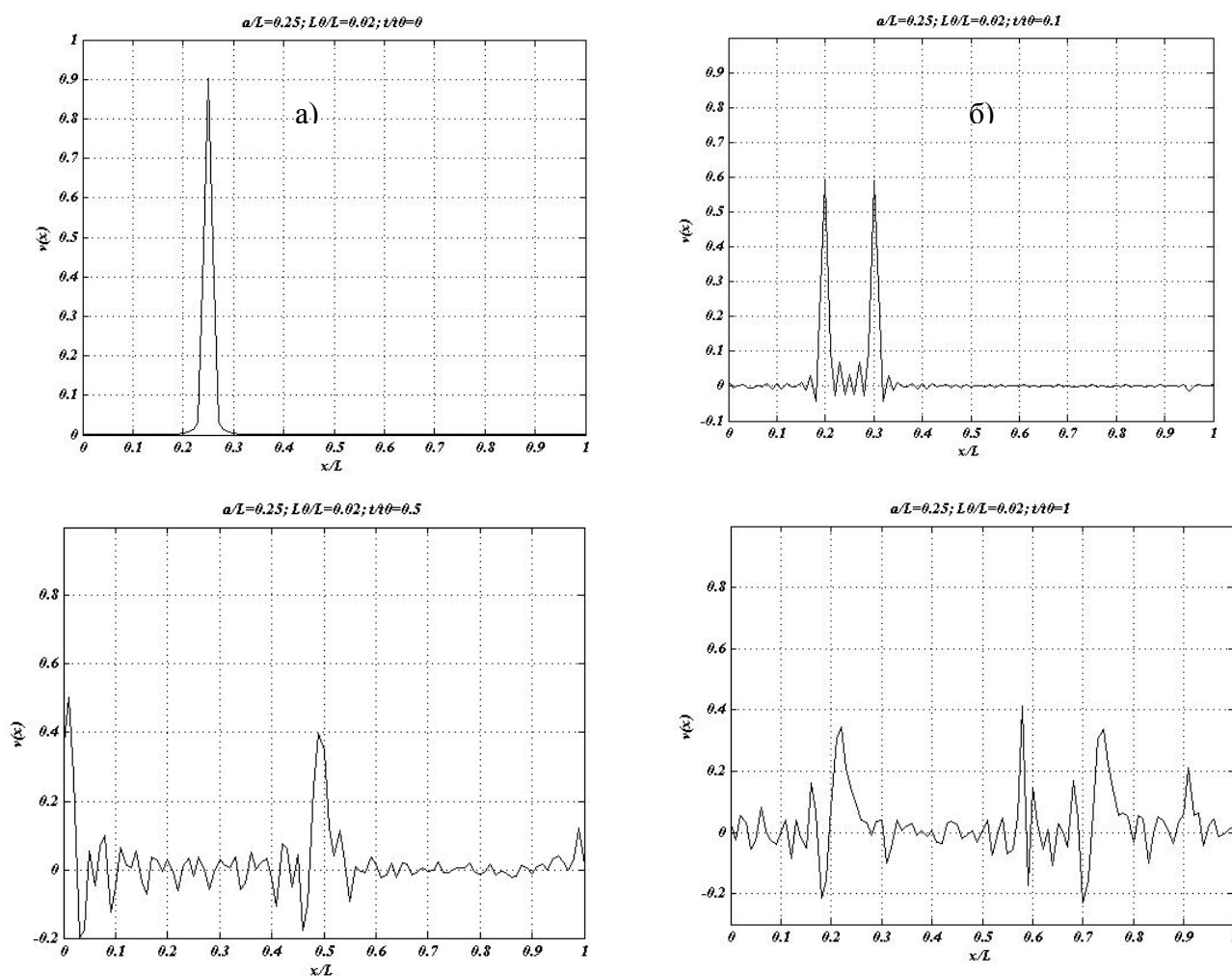


Рис. 3. Эволюция начального импульса с течением времени

Настоящее исследование выполняется в рамках европейского проекта AISHA, ставящего целью разработку непрерывной, интегрированной системы контроля технического состояния авиационных конструкций на основе использования ультразвуковых неразрушающих технологий.

Авторы благодарны Комиссии Евросоюза за поддержку этих исследований.