

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Разумовский И.А. Интерференционно-оптические методы механики деформируемого твердого тела. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 240 с.
2. Бобко Ю.А., Синчугов И.С. Применение метода шерографии для дефектоскопии изделий из композиционных материалов // В мире НК. – 2016. – Т. 19. – № 4. – С. 4–7.
3. Gerhard Busse, Danny Van Hemelrijck, Igor Solodov, Athanasios Anastasopoulos. Emerging Technologies in Non-Destructive Testing. – London.: Taylor & Francis Group, 2008 – 366 с.
4. L.X. Yang and Y.Y. Hung. Digital shearography for nondestructive evaluation and application in automotive and aerospace industries (Электронный ресурс: <http://www.ndt.net/article/wcndt2004/pdf>). Дата обращения 20.12.2016.

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОНТРОЛЬ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Чан Цзянлэй¹

Научный руководитель: Солдатов А.И, профессор, д.т.н.

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: jjangleichang@foxmail.com

ULTRASONIC TESTING OF COMPOSITE MATERIALS

Chang Jiang-Lei¹

Scientific Supervisor: Prof., Dr. Alexey Soldatov

¹Tomsk Polytechnic University
Russia, Tomsk, Lenin ave., 30, 634050
E-mail: jjangleichang@foxmail.com

В статье рассмотрен теневой метод контроля композитов. Исследованы характеристики теневого метода контроля при использовании линейных решеток. Рассчитана направленность для одиночного излучателя и линейных антенных решеток с различным количеством преобразователей.

The article deals with the through-transmission testing method for Composites. The characteristics of the through-transmission testing method are investigated using linear arrays. The direction for a single transmitter and linear antenna arrays with a different number of transducers is calculated.

Композитный материал находит широкое применение, поэтому важными являются задачи контроля качества при производстве и применении материалов [1].

Одним из методов неразрушающего контроля является ультразвуковой метод контроля (УЗК). На сегодняшний день существует пять основных методов УЗК: теневой, зеркально-теневой, зеркальный, дельта-метод и эхо-метод [3]. Теневой метод имеют следующие преимущества: низкая зависимость амплитуды сигнала от ориентации дефекта, высокая помехоустойчивость и отсутствие мертвой зоны. Известно, что композит создают из двух или более компонентов с четкой границей раздела между ними, поэтому сигналы, прошедшие от излучателя к приемнику, имеют большие затухания. При теневом методе, излучение проходит через объект только один раз, поэтому у него меньше затухание по сравнению с другими методами [2].

Фазированные антенные решетки (ФАР) – это новый тип преобразователей, которые имеют значительные преимущества перед одиночным преобразователем: больший охват зоны контроля, большая скорость сканирования объекта контроля и большую разрешающую способность. И по сравнению с традиционным ультразвуком контролем для определения размеров и расположения дефектов, у них более высокая достоверность. А также проще интерпретация результатов контроля [4].

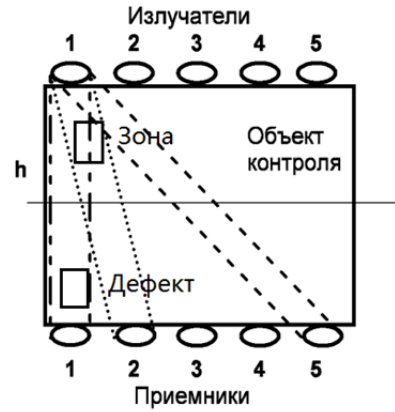


Рис. 1. Зона контроля теневого метода при использовании линейных решеток.

Выявляемость дефектов определяется коэффициентом k_d , который определяется соотношением:

$$k_d = A_d/A_0 \quad (1)$$

где A_0 – число лучей, которые приходят на приемную решетку при отсутствии дефекта в зоне контроля; A_d – число лучей, которые приходят на приемную решетку при наличии дефекта в зоне контроля [5].

Для этого нам надо сначала определить направленность решетки. Для теневого метода контроля при расчете амплитуды сигнала акустической волны используется коэффициент K , учитывающий излучение акустической волны под углом (θ):

$$K = A(\theta)/A(0) \quad (2)$$

где $A(0)$ – амплитуда сигнала при излучении акустической волны под углом $\theta=0^\circ$; $A(\theta)$ – амплитуда сигнала при излучении акустической волны под углом θ .

Для расчета использовались следующие характеристики антенной решетки: диаметр излучателя и приемника одинаковы и составили 4 мм, $\lambda=6$ мм.

Разделим излучатель на n точных источников, тогда направленность в дальней зоне определится по формуле (2)

$$k(\theta) = \frac{\sin[n * (\pi * \frac{b}{\lambda} * \sin(\theta))]}{n * \sin(\pi * \frac{b}{\lambda} * \sin(\theta))} \quad b = \frac{d}{n} \quad (3)$$

где d – размер излучателя; n – количество точных источников, при большом n считаем, что это направленность линейного элемента.

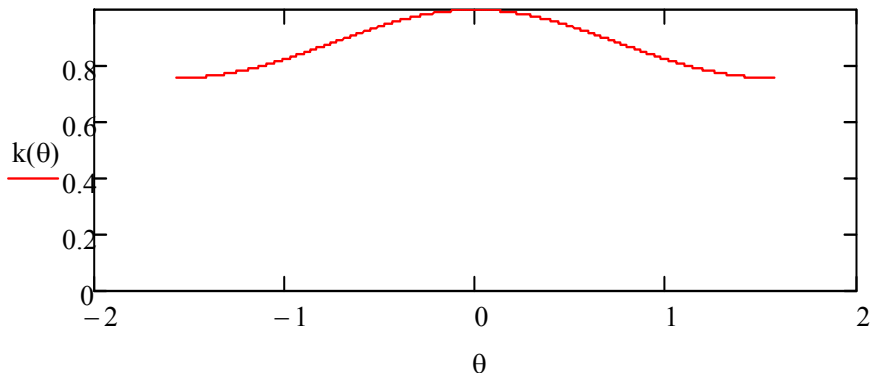


Рис. 2. Коэффициент $k(\theta)$ одиночного излучателя

Результат расчета по формуле (2) представлен на рис. 1. Из рисунка видно что, для угла $\theta \leq \pm \frac{\pi}{6}$ направленность элемента близка к точечному источнику.

Из формулы (2) получим формулу направленности решетки:

$$K(\theta, m) := \frac{\sqrt{\sum_{s=1}^m \left[\frac{r}{\sqrt{\left[\left[\left(\frac{a}{m-1} \right) \cdot (s-1) \right] + \frac{a}{2} \right]^2 + r \cdot \sin(\theta)^2}} \cdot (y1(\theta, s, m)) \right]^2}}{\sqrt{\sum_{s=1}^m \left[\frac{r}{\sqrt{\left[\left[\left(\frac{a}{m-1} \right) \cdot (s-1) \right] + \frac{a}{2} \right]^2 + r \cdot \cos(0)^2}} \cdot (y1(0, s, m)) \right]^2}}$$

где

$$y1(\theta, s, m) := \begin{cases} 1 & \text{if } y2(\theta, s, m) = 0 \\ \frac{\sin \left[n \cdot \left(\pi \cdot \frac{b}{\lambda} \cdot y2(\theta, s, m) \right) \right]}{\sin \left(\pi \cdot \frac{b}{\lambda} \cdot y2(\theta, s, m) \right) \cdot n} & \text{otherwise} \end{cases}$$

где

$$y2(\theta, s, m) := \frac{\left[\left[\left(\frac{a}{m-1} \right) \cdot (s-1) \right] + \frac{a}{2} \right] + r \cdot \sin(\theta)}{\sqrt{\left[\left[\left(\frac{a}{m-1} \right) \cdot (s-1) \right] + \frac{a}{2} \right]^2 + r \cdot \cos(\theta)^2}}$$

где a – длина решетки; r – расстояние между центральным излучателем и точкой в которой надо рассчитать акустическое давление; m – количество элементов; λ – длина волны ультразвука.

При расчете диаграммы направленности решетки параметры решетки были выбраны следующие: r – равно 160 мм, a – равно 80 мм, длина звуковой волны $\lambda=6$ мм, у излучателя и приемника есть одинаковые параметры и составлял 2 мм.

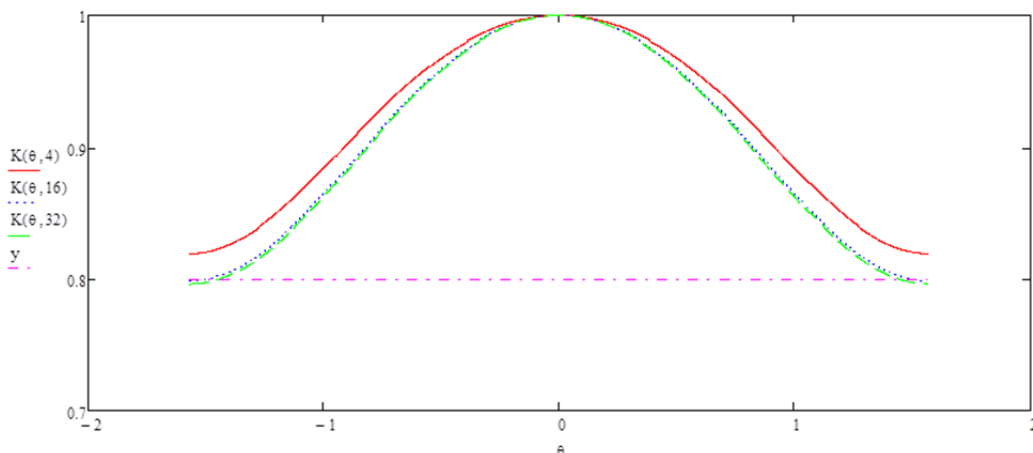


Рис. 3. Диаграммы направленности антенной решетки при количестве элементов в антенной решетке 4, 16 и 32

Из рисунка видно что, для углов $\theta \leq \pm \frac{\pi}{6}$ при количестве элементов в антенной решетке 4, направленность решеток отличается от направленности при количестве элементов 16 и 32. А при количестве больше 16, направленность решеток практически одинаковы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондалетова Л.И., Бондалетов В.Г. Полимерные композиционные материалы (часть 1). – М., 2013. – 118 с.
2. Композиционные материалы. (Электронный ресурс: <http://files.school-collection.edu.ru>). – Загл. с экрана. 14.12.2015.
3. Классификация и краткая характеристика акустических методов контроля. (Электронный ресурс: <http://library.mephi.ru/>). – Загл. с экрана. 19.12.2015.
4. Аплешен Н.П., Боброов В.Т. Ультразвуковой контроль. – М., 2011. – С. 103–118.
5. Буй В.Д., Макаров В.С., Солдатов А.И., Солдатов А.А. Моделирование акустического тракта для малоракурсной ультразвуковой томографии при теневом контроле // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 12-2. – С. 216–220.
6. Солдатов А.И., Борталевич С.И., Шульгина Ю.В. Система управления построением изображения с фазированной антенной решеткой при обработке данных в режиме реального времени // В сборнике: Евразийская экономическая интеграция как фактор повышения стабильного и поступательного развития национальных хозяйственных систем: Материалы международной научно-практической конференции. Редактор: В.А. Цветков. – 2016. – С. 220–221.