

Т. В. НИКОЛАЕНКО, А.С. ВАСИЛЕЦ, А.А. ДАНИЛЮК
МГПУ им. И.П. Шамякина (г. Мозырь, Беларусь)

ПРИМЕНЕНИЕ ЭФФЕКТА ЛАЗЕРНОГО ИСПАРЕНИЯ ДЛЯ ОПТИКО-АКУСТИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ МЕТАЛЛОВ

Для значительного увеличения амплитуды возбужденных ультразвуковых (УЗ) волн применяют систему согласованных по фазе оптико-акустических источников гиперзвука и, тем самым, увеличивают глубину обнаружения исследуемых дефектов [1]. В таких условиях возможно создание излучателя с «качающейся» диаграммой направленности. Расчет таких источников ультразвука проводится с использованием метода функций Грина [2].

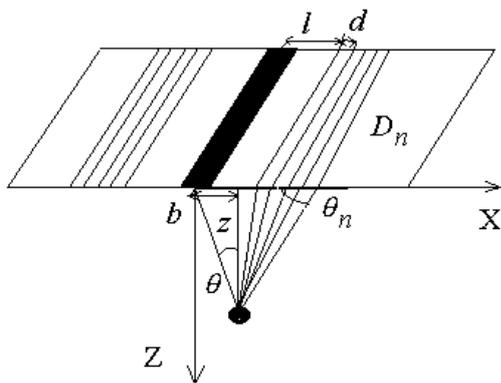


Рисунок 1. Схема детектирования опико-акустическим методом

Схема детектирования объекта сферической формы представлена на рисунке 1 [3]. С использованием системы датчиков, которые расположены на поверхности материала, определяют положение дефекта в пространстве. При этом слева и справа от области возбуждения УЗ волны, распространяющейся вглубь материала, располагается система из пяти датчиков, первый из которых расположен на расстоянии l от центра полоски возбуждения, а остальные – на расстоянии d друг от друга. Предполагается, что центр рассеивающего объекта располагается на расстоянии b от середины области возбуждения ультразвука.

Рассеянное излучение попадает на приемники D_1, D_2, \dots, D_5 под различными углами к поверхности материала, которые определяются на основе соотношения:

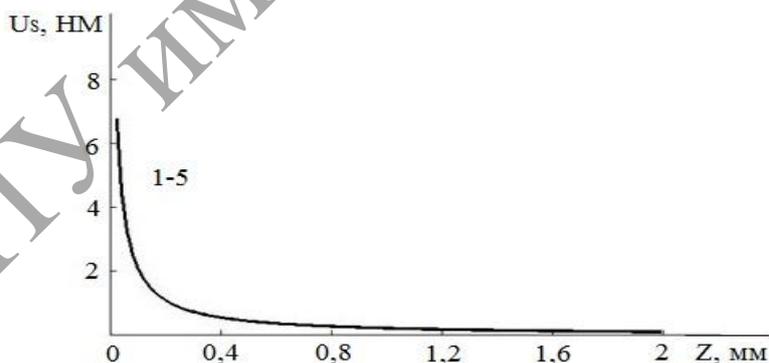
$$\operatorname{tg} \theta_n = \frac{z}{l - b + dn}, \quad (1)$$

где $n = 0, 1, 2, 3, 4$; z – глубина расположения объекта. Угол падения УЗ волны на объект шаровой формы радиусом a' равен $\theta = \operatorname{arctg}(b/z)$.

Амплитуда волны $|u_s|$, рассеянной объектом и попадающей на приемник, определяется по формуле, в которой учтено затухание гиперзвука [4], то есть

$$|u_s| = |u| \left| \frac{m' \sin \theta_s - \sqrt{n^2 - \cos^2 \theta_s}}{m' \sin \theta_s + \sqrt{n^2 - \cos^2 \theta_s}} \right| \left| \frac{a'}{4z'} \right| \cos \theta_s. \quad (2)$$

Численные расчеты проведены для сферической полости, локализованной в металлическом образце из железа. На рисунке 2 представлена зависимость амплитуды смещений $|u_s|$ от величины z – расстояния рассеивающей воздушной сферы до различных датчиков D_n . При расчетах использованы соотношения (1), (2).

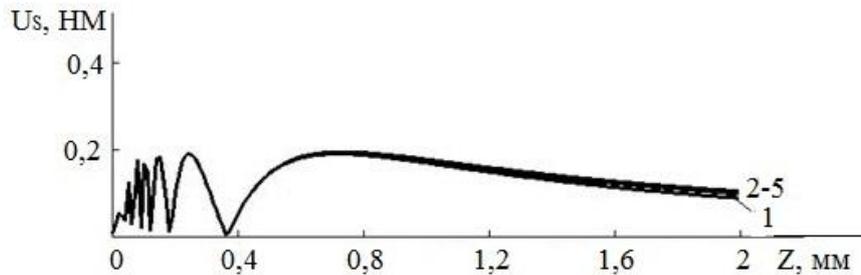


1 – $n = 0$; 2 – $n = 1$; 3 – $n = 2$; 4 – $n = 3$; 5 – $n = 4$; $b = 0, a' = 1 \text{ мм}, l = 3 \text{ мм}, d = 2 \text{ мм}, h = 100 \text{ А}, f = 1 \text{ ГГц}, v_l = 5810 \text{ м/с}, \rho = 7900 \text{ кг/м}^3, v_l' = 340 \text{ м/с}, \alpha = 0,018 \text{ дБ/мкс}, I_0 = 10^8 \text{ Вт/см}^2, \tau = 10^{-9} \text{ с}$

Рисунок 2. – Зависимость амплитуды смещения точек поверхности u_s металла от расстояния до рассеивающего объекта z при различных n

Анализируя рисунок 2, видим, что при $b = 0$ и малых z величина смещения поверхности $|u_s|$ остается неизменной.

Зависимость величины смещения поверхности $|u_s|$, соответствующая $b=0,001$ мм, представлена на рисунке 3.



1 – $n = 0$; 2 – $n = 1$; 3 – $n = 2$; 4 – $n = 3$; 5 – $n = 4$; $b=0.001$ мм, $a'=1$ мм, $l=3$ мм, $d=2$ мм, $h = 100$ А,
 $f = 1$ ГГц, $v_l = 5810$ м/с, $\rho = 7900$ кг/м³, $v_l' = 340$ м/с, $\alpha = 0,018$ дБ/мкс, $I_0 = 10^8$ Вт/см², $\tau = 10^{-9}$ с

Рисунок 3. – Зависимость величины смещения поверхности u_s металла от расстояния до объекта z при различных n

Анализируя рисунок 3, видим, что малое смещение рассеивателя b обуславливает значительное изменение величины смещения $|u_s|$ и малое его различие для различных приемников D_n .

Время достижения УЗ волной соответствующего детектора определяется соотношением $\tau_n = \sqrt{z^2 + (l - b + nd)^2} / v_l$. Анализируя это соотношение, убеждаемся, что прием сигнала можно осуществить каждым из детекторов D_n по отдельности.

Анализ отношения сигнал – шум (SNR) проведен на основе конкретной (гетеродинной) схемы регистрации УЗ сигналов. Наилучшее отношение SNR достигается при максимальном перекрытии спекл – картин интерферирующих пучков. Следует отметить, что если угол схождения пучков интерферометра равен 0^0 , то схема используется для регистрации продольных УЗ волн, а если угол схождения пучков равен 90^0 , то схема пригодна для регистрации сдвиговых УЗ волн [5].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Баев, А.Р. Оптоакустический метод ультразвуковой дефектоскопии и измерения физико-механических свойств твердых тел / А.Р. Баев, В.Г. Гуделев, Ф.А. Костюк, А.И. Митьковец // Лазерная физика и оптические технологии: материалы VII Международной конф., посвящ. 80-летию со дня образования Национальной академии наук Беларуси, Минск, 17–19 июня 2008 г. / НАН Беларуси, Институт физики им. Б.И. Степанова; под. ред Н.С. Казака [и др.]. Минск, 2008. Т. 1. С. 85–88.
2. Крауткремер, Й. Ультразвуковой контроль материалов / Й. Крауткремер, Г. Крауткремер. М.: Металлургия, 1991. – 752 с.
3. Гуделев, В.Г. Оптико-акустическое возбуждение гиперзвука в твердых телах / В.Г. Гуделев, Г.В. Кулак, Т.В. Николаенко, А.Г. Петрученко // Квантовая электроника: материалы VII Международной науч. техн. конф., Минск, 13–16 окт. 2008 г. / Академия упр. при Президенте Респ. Беларусь; под ред. И.С. Манака [и др.] Минск, 2008. – С. 20.
4. Труэлл, Р. Ультразвуковые методы в физике твердого тела / Р. Труэлл, Ч. Эльбаум, Б. Чик; под ред. И.Г. Михайлова, В.В. Леманова. М.: Мир, 1972. 307 с.
5. Experimental study of laser-generated shear waves using interferometry / S.Y. Zang [et al.] // Res. Nondestr. Eval. – 1990. – Vol. 2. – P. 143–155.