

В. Г. ГУДЕЛЕВ, Г. В. КУЛАК, А. Г. МАТВЕЕВА
УО «МОЗЫРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. И. П. Шамякина»
Мозырь, Беларусь

Оптико-акустические источники ультразвуковых (УЗ) волн имеют ряд преимуществ перед традиционными: отсутствие контакта со средой, возможность простого изменения геометрических параметров акустической антенны, диагностики объектов, движущихся с любой скоростью [1]. В настоящее время ведутся исследования особенностей рассеяния УЗ волн на поверхностных и объемных дефектах различной формы: сферических, цилиндрических, плоских (трещин) и др. [2, 3]. На рис. 1 представлена упрощенная схема возбуждения, рассеяния и приема объемных УЗ волн в твердом теле.

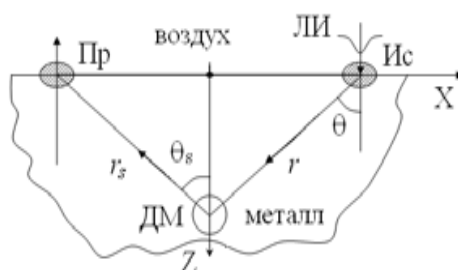


Рис. 1. Схема оптико-акустической диагностики объемного дефекта круглой формы (сфера, цилиндр): ЛИ – лазерный импульс; Ис – область источника; Пр – область приемника; ДМ – дефект материала; θ – угол падения; θ_s – угол рассеяния; r – расстояние от источника до дефекта; r_s – расстояние от дефекта до приемника

Источник УЗ волн имеет вид полоски прямоугольной формы или круглого сечения [4]. Лазерный импульс длительностью τ распространяется вдоль оси Z и вызывает давление P_f на поверхности твердого тела по механизму лазерной абляции [1]. Для расчетов ограничиваются дальней зоной дифракции на круглом или прямоугольном отверстии в области источника. При этом для исследования рассеяния на шаровых дефектах предпочтительнее использовать источники круглой формы, а при диагностике цилиндрических дефектов – источники прямоугольной формы. При этом образующая цилиндра параллельна одной из сторон прямоугольника возбуждения. Отметим, что при оптико-акустическом преобразовании длительность акустического импульса τ_a несколько превосходит длительность лазерного [1]. При интенсивностях света $I_0 \geq 10^7 - 10^8 \text{ Вт/см}^2$ давление на поверхность металла составляет величину $P_f \sim 10-100 \text{ МПа}$ [1].

Импульс УЗ смещений имеет ширину полосы $\Delta\Omega \sim 1/\tau_a$ и центральную частоту $\Omega_0 \sim \Delta\Omega$. В режиме лазерного испарения на свободной поверхности металла образуется область площадью πR^2 для круглого источника и $a \times b$ для прямоугольного. Частотный спектр акустического импульса имеет гауссово распределение. Учитывается частотный и угловой спектр продольной $\tilde{U}_l(\Omega, \theta)$ и сдвиговой $\tilde{U}_s(\Omega, \theta)$ УЗ волны. С использованием метода функций Грина [1–3] найдены амплитуды рассеяния УЗ волн на шаровом (заполненном), сферическом (пустом) и соответствующем заполненном и пустом цилиндрическом дефекте.

Численные расчеты проводились для продольной и сдвиговой УЗ волны и материала, выполненного из стали (*Fe*). При этом полагалось, что $P_f = 10$ МПа, $R = 3$ мм, $a = 3$ мм, $b = 9$ мм; длина цилиндрического дефекта $l = 9$ мм (вдоль оси Y). В качестве заполнителя использовался магний (*Mn*).

На рис. 2 представлена временная форма ($\tilde{\tau} = t - r/v_l$) рассеянного акустического импульса на пустом (а) и заполненном (б) дефекте цилиндрической формы для углов падения и рассеяния $\theta = \theta_s = 10, 15$ и 20 град.

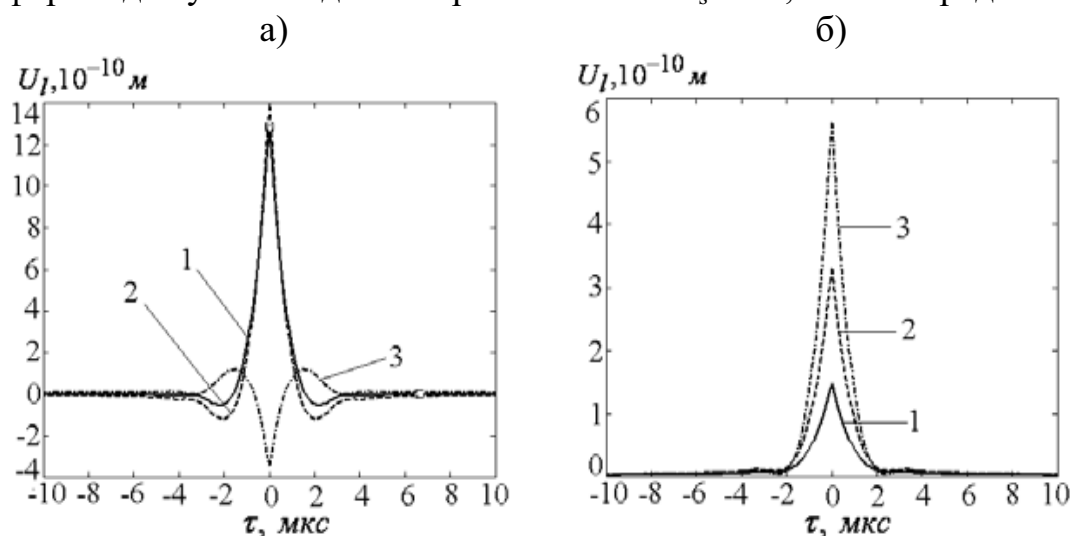


Рис. 2. Зависимость амплитуды рассеянного импульса U_l от времени $\tilde{\tau}$ для пустого (а) и заполненного (б) дефекта при различных углах θ : 1– 10° , 2– 15° , 3– 20° ($r = r_s = 10$ мм, $\theta = \theta_s$, $R = 3$ мм, $a = 3$ мм, $b = 9$ мм, $l = 9$ мм)

Из (рис. 2, а) следует, что при $\theta = 20^\circ$ импульс опрокидывается; для заполненного дефекта (рис. 2, б) с увеличением угла падения – амплитуда и длительность рассеянного импульса увеличивается.

Аналогичные зависимости для больших углов падения и рассеяния представлены на рис. 3.

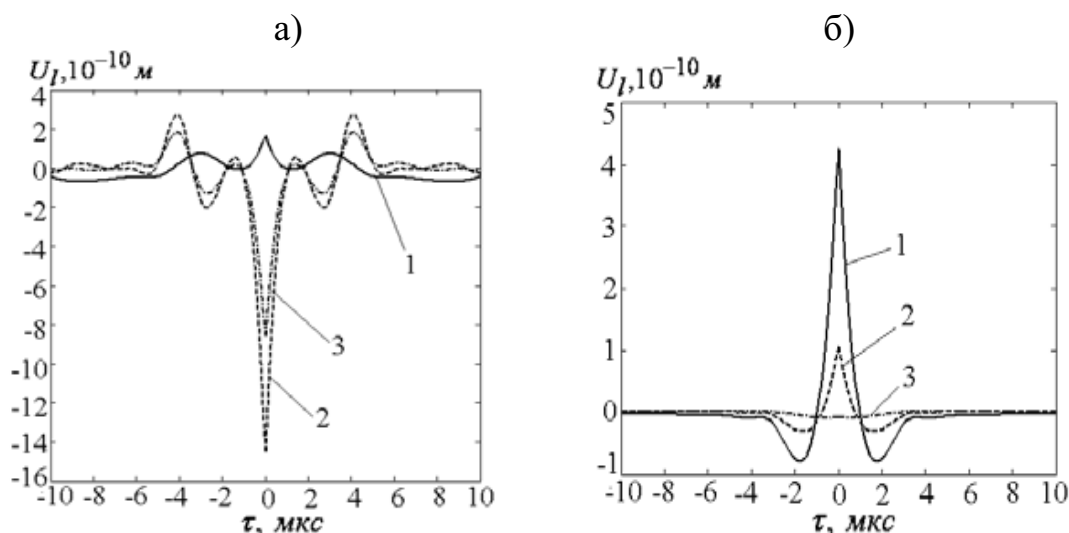


Рис. 3. Зависимость амплитуды рассеянного УЗ импульса U_l от $\tilde{\tau}$ для пустого (а) и заполненного (б) дефекта при различных углах θ : 1–65°, 2–75°, 3–85° ($r = r_s = 10$ мм, $\theta = \theta_s$, $R=3$ мм, $a = 3$ мм, $b = 9$ мм, $l = 9$ мм)

Из (рис. 3, а) следует, что при изменении угла падения и рассеяния форма рассеянного импульса существенно трансформируется вплоть до полного отсутствия выраженного центрального пика. Для заполненного дефекта отсутствие центрального пика соответствует углу $\theta = \theta_s = 85$ град. Аналогичные закономерности имеют место для дефектов сферической формы. С изменением размеров дефекта (радиуса и длины образующей цилиндра) амплитуда и длительность УЗ импульса существенно изменяется.

Полученные результаты показывают, что измерения амплитуды и длительности рассеянного УЗ импульса на дефекте круглой или цилиндрической формы позволяют определить их местоположение, размеры и тип заполнения. Использование падающих импульсов сдвиговых УЗ волн предпочтительнее, так как их амплитуды значительно выше, чем продольных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лямшев, Л. М. Оптико-акустические источники звука / Л. М. Лямшев // УФН. – 1981. – Т. 135. – С. 636–669.
2. Кайно, Г. Акустические волны. Устройства, визуализация и аналоговая обработка сигналов / Г. Кайно. – М. : Мир, 1990. – 652 с.
3. Hirose, S. Ultrasonic Inversion for determining crack size in a solid / S. Hirose // J. of The Faculty of Environmental Science and Technology. – 1997. – V.2. – № 1. – P. 89–98.
4. Буденков, Г. А. Динамические задачи теории упругости / Г. А. Буденков, О. В. Недзвецкая. – М. : Физматлит, 2004. – 135 с.