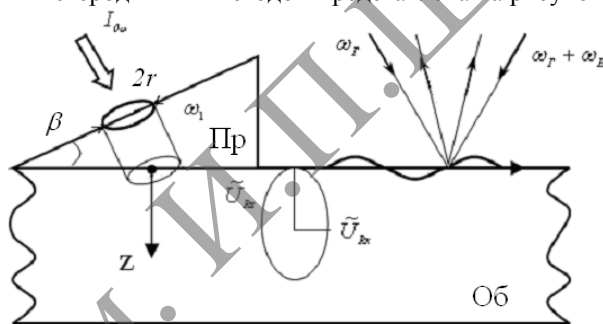


Г. В. КУЛАК, Т. В. НИКОЛАЕНКО, И. Н. ЖАРИН
УО МГПУ им. И.П. Шамякина (г. Мозырь, Беларусь)

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЛАЗЕРНОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ ИМПУЛЬСОВ ПОВЕРХНОСТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН В ТВЕРДЫХ ТЕЛАХ

Возбуждение поверхностных акустических волн (ПАВ) Рэлея при поглощении лазерных импульсов наносекундной длительности в стальной пластине исследовано в работе [1]. Предложено использовать последовательности лазерных импульсов, связанных с отражением акустического импульса от границ образца для точного определения толщины металлической пленки, скорости распространения и коэффициента затухания гиперзвука. Важнейшими механизмами генерации ультразвуковых (УЗ) волн являются термоупругий эффект, электрострикция, радиационное давление, диэлектрический пробой и лазерная абляция [1], [2]. Для металлов, например, наибольший интерес представляет режим лазерной абляции, при котором достигаются наиболее высокие уровни давления на поверхность материала [2]. В таком случае применяются источники ультразвука в виде полоски прямоугольной или круглой формы, наклоненной к поверхности твердого тела под углом β . Схема возбуждения и регистрации ПАВ гетеродинным методом представлена на рисунок 1.



Об – образец, Пр – призма, β – угол наклона призмы; ω_r , $\omega_r + \omega_B$ – частоты оптического излучения, используемого в гетеродинной схеме детектирования рассеянного акустического сигнала, r – радиус круга возбуждения на поверхности призмы

Рисунок 1. – Схема детектирования дефекта материала

Область возбуждения гиперзвука имеет вид круга радиусом r . При этом лазерный импульс длительностью τ распространяется под углом β к оси Z и возбуждает высокочастотные ультразвуковые волны различной поляризации и пространственно-углового распределения. При этом форма акустического импульса существенно отличается от формы светового. Предположим, что световой импульс имеет гауссово распределение во времени, то есть $f(t) = \exp(-t^2/\tau^2)$. При наличии поглощения высокочастотного ультразвука (гиперзвука) коэффициент поглощения

$$\alpha_s = \Gamma \cdot \Omega^2,$$

где Γ – некоторый коэффициент, зависящий от рода материала и его физических свойств;
 $\Omega \sim 1/\tau$ – циклическая частота ультразвука.

Фурье-спектр z и x – составляющих рэлеевской ПАВ ($\tilde{U}_{Rz,x}(\Omega)$) представлен в работе [3].
 Временная форма акустического импульса дается соотношением:

$$U_{Rz,x}(\tilde{t}_{l,s}) = \int_{-\infty}^{+\infty} \tilde{U}_{Rz,x}(\Omega) F(\Omega) e^{-i\Omega \tilde{t}_R} d\Omega,$$

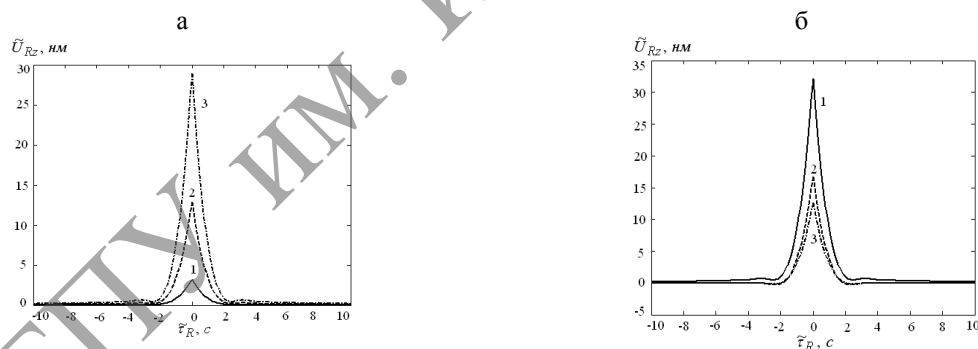
где $\tilde{t}_R = t - \rho/v_R$, $F(\Omega) = \tau_a \sqrt{\pi} \exp(-\tau_a^2 \Omega^2 / 4)$ – частотный спектр акустического импульса,

распространяющийся вдоль оси X ; U_R – фазовая скорость ПАВ Рэля; τ_a – длительность акустического импульса. Форма импульса акустического сигнала определяется изменением теплофизических и оптических характеристик вещества на границе раздела фаз, а также интенсивностью излучения и поверхностного испарения.

В работе исследована временная форма импульса ПАВ Рэля. При численных расчетах применялся алгоритм быстрого преобразования Фурье и метод сплайн-аппроксимации. Показано, что форма гауссового акустического импульса, распространяющегося вдоль поверхности твердого тела, трансформируется при увеличении азимутального угла и угла наклона призмы возбуждения.

Численные расчеты проводились для рэлеевской УЗ волны и материала, выполненного из стали (Fe) с призмой возбуждения из стекла. При этом полагалось, что давление на поверхность материала $P_f = 10$ МПа, фазовая скорость сдвиговой УЗ волны в стали $v_s = 3200$ м/с, фазовая скорость продольной УЗ волны в стекле $v_{lpr} = 2670$ м/с, $r = 3$ мм; упругие модули: $\lambda = 0,49 \cdot 10^{10}$ Па, $\mu = 7,84 \cdot 10^{10}$ Па; расстояние от области возбуждения до области детектирования $\rho = 10$ мм.

Форма акустического импульса ПАВ при различных радиусах отверстия r представлена на рисунке 2а. Из рисунка следует, что с увеличением радиуса отверстия амплитуда импульса увеличивается, а длительность уменьшается. Зависимость формы акустического импульса при различных коэффициентах поглощения гиперзвука представлена на рисунке 2б. Видно, что с увеличением коэффициента поглощения α_s амплитуда акустического импульса уменьшается и его длительность увеличивается.



(а) радиусах отверстия r : 1–3, 2–6, 3–9 мм и различных параметрах поглощения гиперзвука; (б) Γ : 1– 0^0 , 2– 30^0 , 3– 60^0 ($\rho = 10$ мм, $r = 3$ мм, $v_s = 3200$ м/с, $v_{lpr} = 2670$ м/с, $\tau_a = 1$ мкс, $P_f = 10$ МПа, $\beta = 60^0$ (а); $\alpha = 0$ (б))

Рисунок 2. – Зависимость нормированной амплитуды смещения U_{Rz} от времени \tilde{t}_R для различных

Рассмотренные особенности оптико-акустического возбуждения высокочастотных ПАВ Рэля показывают, что диаграмма направленности такого источника может легко изменяться варьированием радиуса отверстия круглой формы и угла наклона призмы возбуждения, наложенной на поверхность твердого тела. Это позволяет диагностировать дефекты материалов, регистрируя временную форму оптико-акустического источника ПАВ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Experimental study of laser-generated shear waves using interferometry / S. Y. Zang [and other] // Res. Nondestr. Eval. – 1990. – V. 2. – P. 143-155.
2. Островская, Г. В. Эффективность преобразования световой энергии в акустическую при взаимодействии импульсного лазерного излучения с жидкой средой / Г. В. Островская // ЖТФ. – 2002. – Т. 72, В. 10. – С. 95–102.

3. Гуделев, В. Г. Лазерное возбуждение импульсов продольных и сдвиговых ультразвуковых волн в твердых телах / В. Г. Гуделев, Г. В. Кулак, А. Г. Матвеева // Проблемы физики, математики и техники. – 2010. – № 5(4). – С. 7–9.

МГТУ им. И.П.Шамякина