

# ВОЗБУЖДЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ РАЛЕЕВСКИХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН В МЕТАЛЛАХ ОПТИКО-АКУСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Матвеева А.Г.

Мозырский государственный педагогический университет им. Н.П. Шамякина,  
г. Мозырь

**Введение.** В настоящее время для возбуждения и регистрации поверхностных акустических волн (ПАВ) используются импульсные лазерные системы [1, 2]. Важнейшими механизмами генерации ультразвуковых волн являются термоупругий эффект, электрострикция, радиационное давление, диэлектрический пробой и лазерная абляция. Для металлов, например, наибольший интерес представляет режим лазерной абляции, при котором достигаются наиболее высокие уровни давления на поверхность материала [3]. Возросшее внимание к применению оптоакустики коротких лазерных импульсов связано с широким использованием акустоэлектронных устройств на ПАВ [4]. Значительный интерес представляет диагностика металлических неоднородных тонких пленок [5]. При этом исследуются особенности распространения и рассеяния ПАВ неоднородностями и искусственными дефектами, расположенными на поверхности твердого тела. В таком случае применяются источники ультразвука в виде полоски прямоугольной формы, наклоненной к поверхности твердого тела под углом  $\beta$ . Схема возбуждения и регистрации ПАВ гетеродинным методом представлена на рис. 1.

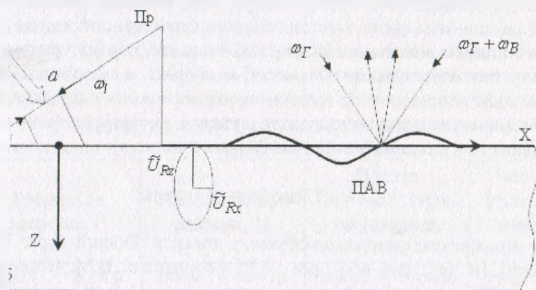


Рис. 1. Схема детектирования дефекта материала (Об – образец, Пр – призма,  $\beta$  – угол наклона призмы;  $\omega_G$ ,  $\omega_G + \omega_B$  – частоты оптического излучения, используемого в гетеродинной схеме детектирования рассеянного акустического сигнала).

Область возбуждения гиперзвука имеет вид прямоугольника с размерами вдоль осей OX и OY соответственно:  $-a/2 \leq x \leq a/2$ ,  $-b/2 \leq y \leq b/2$ . Вычисление Фурье-компонент частотного спектра производится интегрированием по площади отверстия прямоугольной формы. Существуют три основных типа волн, используемых для неразрушающего контроля [3]: продольные (L), сдвиговые (S) и рэлеевские (R). В дальнейшем будем рассматривать особенности возбуждения ПАВ Рэлея.

**Теоретические результаты и обсуждение.** Лазерный импульс длительностью  $\tau$  распространяется под углом  $\beta$  к оси OZ и возбуждает высокочастотные ультразвуковые волны различной поляризации и пространственно-углового распределения. При этом

форма акустического импульса существенно отличается от формы светового [1]. Предположим, что световой импульс имеет гауссово распределение, то есть  $f(t) = \exp(-t^2/\tau^2)$ . Фурье-спектр  $z$  и  $x$  - составляющих рэлеевской ПАВ ( $\tilde{U}_{Rz,x}(\Omega)$ ) имеет вид [6, 7]:

$$\begin{aligned} \tilde{U}_{Rz}(\Omega) &= \frac{P_f ab \eta^2}{4\mu \cos \beta} \sqrt{\frac{2k_R}{\pi\rho}} \frac{\sqrt{1-\gamma^2\eta^2}}{c_0} \frac{\sin(A_R)}{A_R} \frac{\sin(B_R)}{B_R} e^{i(k_R\rho - \Omega t + \pi/4)}, \\ \tilde{U}_{Rx}(\Omega) &= \tilde{U}_{Rz}(\Omega) \frac{(1-\eta^2/2)}{\sqrt{1-\gamma^2\eta^2}}, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $A_R = a(k_\beta \sin \beta - k_R)/2$ ,  $B_R = (bk_R \sin \alpha)/2$ ,  $\alpha$  - азимутальный угол, отсчитываемый от оси ОХ.  $\beta$  - угол наклона призмы;  $P_f$  - давление на поверхность твердого тела в области отверстия;  $r$  - расстояние до точки наблюдения УЗ волны;  $k_R = \Omega/\eta v_s$ ,  $v_s$  - фазовая скорость продольной УЗ волны,  $\eta = (0,87 + 1,12\nu)/(1 + \nu)$ , причем  $\nu$  - коэффициент Пуассона;  $\gamma = \mu/(\lambda + 2\mu)$ , где  $\lambda, \mu$  - постоянные Ламе.;  $k_\beta = \Omega/v_{lpr}$ ,  $v_{lpr}$  - скорость продольной УЗ волны в призме

Временная форма акустического импульса дается соотношением [3]:

$$U_{Rz,x}(\tilde{t}_{l,s}) = \int_{-\infty}^{+\infty} \tilde{U}_{Rz,x}(\Omega) F(\Omega) e^{-i\Omega \tilde{t}_R} d\Omega, \quad (2)$$

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 при угле  $\alpha = 0$ ,  $v_R$  - фазовая скорость рэлеевской ПАВ. Длительность акустического импульса  $\tau_a$  определяется особенностями поглощения энергии светового импульса поверхностью призмы [1].

Подставив выражения (1) в (2) и выполнив интегрирование численными или аналитическими методами (см. [8]) получим временную форму акустического импульса ПАВ Рэлея. При численных расчетах применяется алгоритм быстрого преобразования Фурье. Видно, что форма гауссового акустического импульса, распространяющегося вдоль поверхности твердого тела, трансформируется при увеличении азимутального угла и угла наклона призмы возбуждения.

В одномерном случае оптико-акустического возбуждения ультразвука ( $b \ll a$ ) вычисление по формуле (2) удастся провести аналитически [9], тогда амплитуды смещений даются выражениями:

$$U_{Rz}(t) = \frac{P_f ab \eta^2 \sqrt{1-\gamma^2\eta^2}}{8\mu \cos \beta C_0 \sqrt{\pi a \rho}} T_S(t), \quad (3)$$

где

$$T_S(t) = \frac{\sqrt[4]{2\sqrt{\tau_a}}}{\sqrt{\pi q_R}} \exp\left[-\frac{(t^2 + q_R^2)}{2\tau_a^2}\right] (iT_{S+} + T_{S-}).$$

причем

$$T_{S\pm} = [\exp(\mp q_R t / \tau_a^2 \pm i\sqrt{2}(t \pm q_R) / \tau_a) - \exp(\pm q_R t / \tau_a^2 \pm i\sqrt{2}(t \mp q_R) / \tau_a)], q_R = a / 2\eta v_s.$$

Численные расчеты проводились для рэлеевской УЗ волны и материала, выполненного из стали ( $Fe$ ) с призмой возбуждения из стекла. При этом полагалось, что  $P_i = 10$  МПа,  $v_s = 3200$  м/с,  $v_{lpr} = 2670$  м/с,  $a = b = 3$  мм,  $\lambda = 0,49 \cdot 10^{10}$  Па,  $\mu = 7,84 \cdot 10^{10}$  Па,  $\rho = 10$  мм.

На рис. 2а представлена форма акустического импульса ПАВ в дальней зоне дифракции при различных азимутальных углах  $\alpha$ . Из рисунка следует, что с увеличением угла  $\alpha$  происходит уменьшение амплитуды импульса ПАВ и некоторое увеличение его длительности (по уровню 3 дБ). С увеличением угла наклона призмы  $\beta$  и азимутальном угле  $\alpha = 0$ , как показано на рис. 2б, происходит увеличение амплитуды и уменьшение длительности акустического импульса.

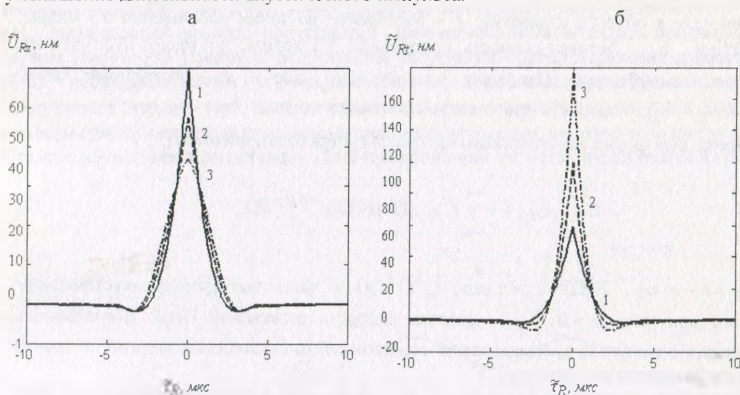


Рис. 2. Зависимость нормированной амплитуды смещения  $U_{Rz}$  от времени  $\tilde{t}_R$  для различных (а) полярных углов  $\alpha$ : 1 -  $10^\circ$ , 2 -  $15^\circ$ , 3 -  $20^\circ$  и различных углов наклона призмы (б)  $\beta$ : 1 -  $65^\circ$ , 2 -  $75^\circ$ , 3 -  $85^\circ$  ( $a = b = 3$  мм,  $r = 10$  мм,  $v_s = 3200$  м/с,  $v_{lpr} = 2670$  м/с,  $\tau_a = 1$  мкс,  $P_i = 10$  МПа,  $\beta = 0$  (а);  $\alpha = 0$  (б))

**Заключение.** Рассмотренные особенности оптико-акустического возбуждения высокочастотных ПАВ Рэля показывают, что диаграмма направленности такого источника может легко изменяться варьированием размеров полоски прямоугольной формы и угла наклона призмы возбуждения, наложенной на поверхность твердого тела. Установлено, что форма гауссового акустического импульса, распространяющегося вдоль поверхности твердого тела, трансформируется при увеличении азимутального угла и угла наклона призмы возбуждения. Это позволяет диагностировать дефекты материалов, регистрируя временную форму оптико-акустического источника ПАВ.

#### Список литературы

1. Лямшев Л. М. // Успехи физ. наук. 1981. Т. 135. В. 4. С. 636-669.
2. Tam A. C. // Appl. Phys. Lett. 1984, V. 45, № 5. P. 510-512.

3. Zang S. Y., Paul M., Fassbendtr S., Schleichert U., Arnold W. // Res. Nondestr. Eval. 1990. V. 2. P. 143-155.
4. Гуляев Ю.В., Ю.В., Крылов В.В., Бирюков С.В., Плесский В.П. Поверхностные акустические волны в неоднородных средах. М.: Наука. 1991. – с.
5. Lin H.N., Maris H.J., Freund L.B. // Appl. Phys. 1993. V. 73. № 2. P. 37-45.
6. Буденков Г. А., Квятковский В.Н., Петров Ю.В. // Дефектоскопия. 1973. № 1. С. 57-66.
7. Дьельсан Э., Руайе Д. Упругие волны в твердых телах. Применение для обработки сигналов, М.: Наука. 1982. 424с.
8. Справочник по специальным функциям. С формулами, графиками и математическими таблицами / Под ред. М. Абрамовица и И. Стигана. М.: Наука. 1979. – 830 с.
9. Градштейн И. С., Рыжик И. М. Таблицы интегралов сумм рядов и произведений, М., Физмагиз, 1963г. - 1100 с.

УДК 621.8 : 681.5

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИКЛАДНЫХ БИБЛИОТЕЧНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ ПРИ ОБУЧЕНИИ КОНСТРУИРОВАНИЮ И ПРОЕКТИРОВАНИЮ**

**Матвеев А.К., Голубев А.Н., Пятов В.В.**

*УО «Витебский государственный технологический университет», г. Витебск*

В настоящее время разработка и проектирование деталей машин и непосредственно самих машин осуществляется при непосредственном использовании различных систем автоматизированного проектирования (САПР). Многие из таких систем, как, например КОМПАС 3D, позволяет конструктору не только проектировать, но и разрабатывать различные прикладные библиотеки, которые упрощают процесс проектирования и расчетов. При этом конструктор не бездумно полагается на ход расчетов заранее заложенный программистом, а сам активно участвует при выборе тех или иных параметров. Подобную возможность было решено использовать в качестве обучающего компонента при создании библиотеки для расчета клиноременных передач. В данном случае было решено разработать прикладную библиотеку, которая позволила бы ускорить процесс проектирования и одновременно являлась бы обучающим компонентом при преподавании таких предметов, как «Детали машин» и «Оборудование для формования полимеров»

Таким образом, целью данной работы являлось создание прикладной библиотеки для проектирования и изучения последовательности проектирования клиноременных передач.

Для реализации поставленной цели было разработано специальное обучающее приложение (Рисунок 1) для КОМПАС 3D, которое наглядно и последовательно показывает весь процесс расчета клиноременной передачи, а окончательный этап – создание 3D модели осуществляется в автоматизированном режиме.