

6. Верховодов, П. А. Изучение кинетики восстановления и сплавообразования в системе W-Ni-Fe / П. А. Верховодов [и др.] // Порошковая металлургия. – 1979. – № 4. – С. 8–13.
7. Горохов, В. М. Порошковые композиционные материалы на основе вольфрама для применения в качестве

- радиационнозащитных материалов / В. М. Горохов, И. Н. Тарусов // Порошковая металлургия. – Вып.36. – 2013. – С.
8. Скороход, В.В. Порошковые материалы на основе тугоплавких металлов и соединений [Текст] / В.В. Скороход.– Киев: «Техника», 1982.-166 с.

УДК 534.2; 179.16.05

ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ПРОДОЛЬНЫХ ВОЛН ДЛЯ КОНТРОЛЯ МАТЕРИАЛОВ ОГРАНИЧЕННОЙ ТОЛЩИНЫ

Баев А.Р., Майоров А.Л., Асадчая М.В., Деленковский Н.В., Левкович Н.В.

*Институт прикладной физики НАН Беларуси
Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. С позиций лучевой акустики проведен теоретический анализ и выполнены экспериментальные исследования распространения поверхностных продольных волн (ППВ), возбуждаемых при падении на поверхность однослойных и двухслойных объектов под первым критическим углом. Используя теневую схему прозвучивания, экспериментально установлены условия, связывающие частоту или длину зондирующей волны, величину акустической базы, толщину контролируемого слоя объекта, нивелирующие влияние шумового фона, вызванного сопутствующими модами, на измеряемые параметры акустического импульса ППВ, включая его фазовую скорость. Рассмотрены особенности и возможности измерения физико-механических свойств однослойных и двухслойных тонкостенных изделий с использованием данных об акустических параметрах ППВ моды, а также волны Рэлея.

Ключевые слова: поверхностные продольные, поперечные волны, скорость упругих мод, лучевая акустика, модуль Юнга, коэффициент Пуассона.

FEATURES OF EXCITATION AND PROPAGATION OF SURFACE LONGITUDINAL WAVES FOR CONTROL OF OBJECTS WITH LIMITED THICKNESS

Baev A., Mayorov A., Asadchaya M., Delenkovsky N.

*The Institute of Applied Physics NAS of Belarus
Minsk, Republic of Belarus*

Abstract. From the viewpoint of ray acoustics, a theoretical analysis and experimental studies of the propagation of longitudinal surface waves (SSW) excited when falling on the surface of single- and double-layered objects at the first critical angle have been carried out. Using a shadow sounding scheme, the conditions were experimentally established to determine the frequency or length of the ultrasonic wave, the acoustic base value, and the thickness of the controlled object layer, which eliminate the influence of the noise background caused by and accompanying and reflected modes, on the measured parameters of the acoustic impulse of a SLW, including its phase velocity. The features and possibilities of measuring the physical-mechanical properties of single- and Rayleigh wave are considered.

Key words: surface longitudinal, transverse waves, elastic mode velocity, ray acoustics, Young's modulus and Poisson's ratio.

*Адрес для переписки: Баев А.Р., ул. Академическая, 16, Минск 220072, Республика Беларусь
e-mail: baev@iaph.bas-net.by*

Повышение эффективности и надежности ультразвукового (УЗ) контроля физико-механических свойств и структуры тонкостенных изделий с однослойной и двухслойной структурой является важной производственной задачей. В частности, это касается определения степени поврежденности металла, наличия механических напряжений, определения модуля Юнга E и коэффициент Пуассона μ и др. по данным скорости объемной продольной C_L и поперечной C_T упругих мод [1–3], когда использование традиционных методов затруднено. В работе предложена идея совершенствования методов контроля для решения указанных задач путем одностороннего ввода (приема) в объекты поверхностных продольных

(LS) и поперечных (TS) волн, являющихся неоднородными [3] и возбуждаемых при падении на объект под первым β_1 и вторым β_2 критическими углами соответственно. А их скорости (C_{LS} , C_{TS}) совпадают по величине со скоростью аналогов, измеряемых в объеме материала, что например, позволяет определить E и μ из формулы (1):

$$\{C_{LS}, C_{TS}, C_{R...}\} = (E/\rho)^{-1} f_i(\mu), \quad (1)$$

где $i = 1$ соответствует C_{LS} , $2 - C_{TS}$, $3 -$ скорости волны Рэлея C_R .

На первом этапе исследований с позиции лучевой акустики [4] в двумерном приближении проведен теоретический анализ акустического

тракта применительно к приведенной на рис. 1 схеме прозвучивания. Для случая, когда источник и приемник поверхностных волн имеют апертуру в виде прямой линии, получены зависимости, связывающие безразмерную длину акустической базы $L_\lambda = L/\lambda$, толщину пластинчатого образца $h_\lambda = h/\lambda$ и номер осцилляции импульса n , не искажаемой сопутствующими модами и выбранной для измерения скорости волны. Т.е., для конкретного h_λ существует верхняя граница акустической базы L_λ^* , при которой обеспечивается корректное измерение скорости волны. Согласно расчетам, для продольной SL моды

$$L_\lambda^* = h^2(n\lambda)^{-1} - 0,25 n\lambda. \quad (2)$$

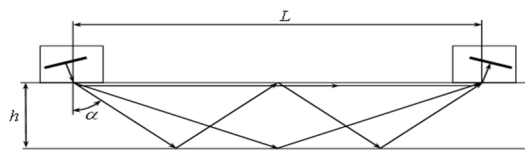


Рисунок 1 – Ход акустических лучей при распространении SL моды в тонкостенном объекте

Как показывает анализ выражения (2), использование его ограничено возникновением при отражении паразитной продольной объемной моды, скорость которой превосходит практически в 2 раза скорость ST моды. Для устранения же наложения на измерительный сигнал сопутствующей волны Рэлея, имеющей на ~10–12 % меньшую скорость, необходимо, чтобы выполнялось соотношение $L_\lambda > 8-10$, где в данном случае λ – длина поперечной волны.

На установке, используемой нами ранее [3], проведен комплекс экспериментальных исследований по влиянию толщины и акустической базы на параметры принимаемого сигнала, включая форму и амплитуду первой осцилляции импульса ($n = 1$), а также величину скорости SL моды на частоте 5 МГц. Для определения C_{LS} использован теневой вариант измерений по методу двух фиксированных акустических баз с погрешностью не более 0,5%. Основной диапазон варьируемых толщин образцов $h_\lambda = 1-10$. Данные по скорости и амплитудным параметрам сопоставлялись с полученными на образце с $h_\lambda = 25$.

В результате исследований экспериментально установлены соотношения, связывающие длину акустической базы прозвучивания, толщину образцов и длину зондирующей волны, при которых отсутствует влияние сопутствующих мод на параметры акустического импульса, включая амплитуду его первой осцилляции и УЗ скорость. (Некоторые данные приведены на рис. 2 и 3). Показано, что при $h_{\lambda, \min} \leq h_\lambda \leq h_{\lambda, \infty}$ величина $\partial A / \partial L_\lambda < 0$, а $v = \text{Abs}(\partial A / \partial L_\lambda)$ возрастает от h_λ . Если же $h_\lambda < h_{\lambda, \min}$, то v уменьшается, что связано с генерацией слабо затухающих пластинчатых волн, включая волну

Лэмба s_0 . Сопоставление расчетных и экспериментальных зависимостей $L_\lambda(h_\lambda)$ указывает на их качественное соответствие при численном различии на 10–30 %, что, как показано, вызвано преимущественно размерами апертуры источника и приемника УЗК. Однако, эти данные могут быть использованы в качестве опорных при разработке соответствующих методик УЗ контроля физико-механических свойств однослойных и двухслойных материалов тонкостенных объектов с использованием данных по скорости распространения продольной поверхностной волны.

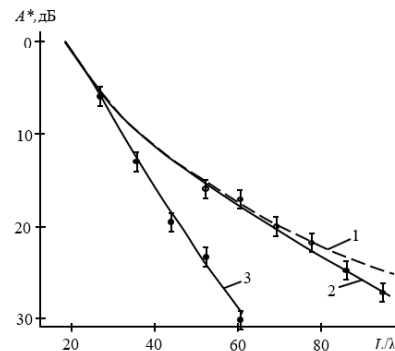


Рисунок 2 – Амплитуда первой осцилляции SL моды импульса в зависимости от акустической базы при разной толщине образца $h/\lambda = \infty$ (1); 4,66 (2); 2,54 (3)

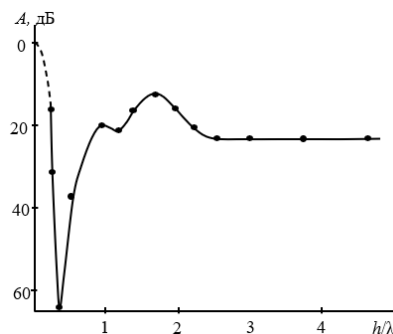


Рисунок 3 – Амплитуда первой осцилляции SL импульса в зависимости от толщины образца при $L_\lambda = 20$

В качестве дополнительного параметра, используемого для определения модуля Юнга и коэффициента Пуассона в тонкостенных объектах, предлагается использовать скорость волны Рэлея (1).

Литература

1. Неразрушающий контроль: Справочник: В 7 т. / Под общ. ред. В.В. Клюева. – М.: Машиностроение, 2003.
2. Ермолов, И. Н. Искатели для контроля приповерхностного слоя головными волнами / И. Н. Ермолов, Н. П. Разыграев // Дефектоскопия. – 2004. – №9. – С.27–37.
3. Баев, А.Р. Особенности возбуждения и распространения продольных и поперечных подповерхностных волн в твердых телах / М. В. Асадчая, А. Р. Баев // Дефектоскопия. – 2005. – № 9. – С. 19–43.
4. Бреховских, Л. М. Акустика слоистых сред / О. А. Годин, Л. М. Бреховских. – М.: Наука, 1989. – 247 с.