

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ ПОДПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЛН В ТВЕРДЫХ ТЕЛАХ

А. Р. БАЕВ, А. Л. МАЙОРОВ, М. В. АСАДЧАЯ, Н. В. ЛЕВКОВИЧ

Государственное научное учреждение
«ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ НАН Беларуси»
Минск, Беларусь

Изучены особенности и пути повышения надежности измерения скорости подповерхностных волн в твердых телах ограниченной толщины, а также имеющих защитное покрытие. Решаются следующие задачи, поясняемые на рис. 1 и 2:

1) устанавливаются условия, связывающие акустическую базу L , длину волны λ и толщину объекта h , при которых нивелируется влияние шумового фона на измерение скорости C продольной (P) и поперечной (T) подповерхностных волн (PB);

2) определяется оптимальная схема измерения скорости ультразвуковых волн ($УВ$) в основе под защитным покрытием с переменной толщиной.

При решении задач используется представление лучевой акустики, а также полученные ранее опытные данные по формированию полей PB , полученные как в ИПФ НАН Беларуси, так и другими исследователями. Общее (упрощенное) условие, при котором нивелируется шумовой фон, создаваемый однократным отражением от данной поверхности ($z=0$) части потока информативной продольной PB , а также сопутствующими модами (поверхностными и поперечными), имеет вид:

$$m/f \geq L/C \left(\left(\sqrt{x_L^2 + h_L^2} + \sqrt{(1-x_L^2)^2 + h_L^2} \right) n - 1 \right), \quad m/f \geq L/C (n-1), \quad (1)$$

где индекс L характеризует обезразмеривание по L ; $n=C/C_A$, C_A – скорость сопутствующей моды; m – номер осцилляции импульса, «не деформированный» акустическим шумом. Предположив, что наиболее высокая интенсивность отраженной волны достигается при $x \sim L/2$, оценочное значение $L_\lambda = L/\lambda \leq \mathfrak{I} \pm (\mathfrak{I}^2 + \mathfrak{R})^{0.5}$, где $\mathfrak{I} = m(1-n^2)f^2$, $\mathfrak{R} = [(m^2 - 4n^2(h_\lambda)^2)(1-n^2)^{-1}f^2]$; $h_\lambda = h/\lambda$.

При достаточно большой длительности зондирующего импульса или $n < 1$, условие, при котором сопутствующая мода, отражаясь k раз в своеобразном волноводе, запаздывает или не попадает во временное (для измерений) окно, также определяется указанным выше выражением, где $\mathfrak{R} = \mathfrak{R}^* = m^2 - 4k^2n^2(h_\lambda)^2(1-n^2)^{-1}f^2$. Если же информативной является T -мода, то (т. к. $C_L/C_T \approx 2$), условие, наложения k -кратно отраженной L -волны на m -й период осцилляции T -моды выполняется, если $h_\lambda = 2(m+1)^{-1} [1 + (L_\lambda)^2(1/2n + 3/4n^2)]^{0.5}$. Значения граничных величин $L^*_\lambda = L^*_\lambda(h_\lambda)$, обеспечивающих условие устранения паразитного сигнала во временном окне измерительного устройства, сравнивались с полученными на рис. 3 опытным путем амплитудными зависимостями $A(L_\lambda)$ продольной моды на стальных пластинах. При этом в качестве L^*_λ бралось значение L_λ , при котором

наблюдалось отклонение хода ее зависимости $A(L_\lambda)$ от полученной для $h_\lambda \gg 1$. Отметим, что опытные данные несколько превышают расчетные.

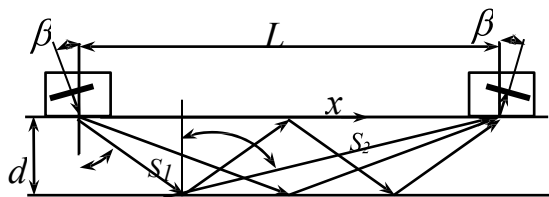


Рис. 1. Поясняющая схема

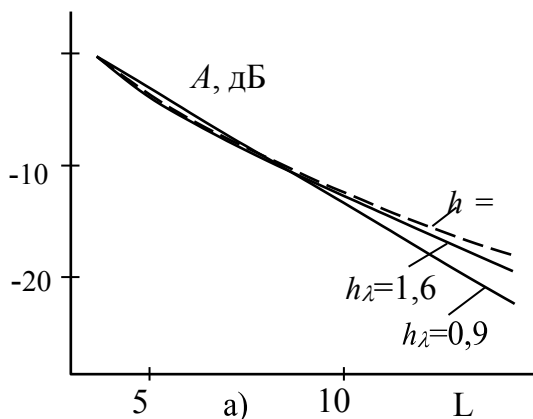


Рис. 3. Экспериментальные кривые амплитуды продольной волны от L_λ при измерении на стальных пластинах: $f, \text{МГц} = 1$ (а); 5 (б)

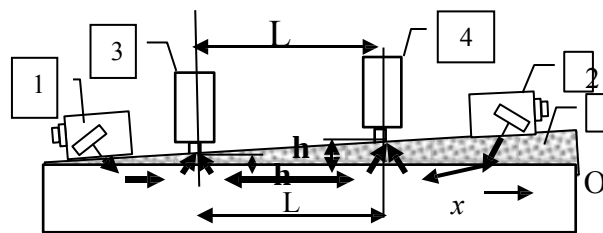
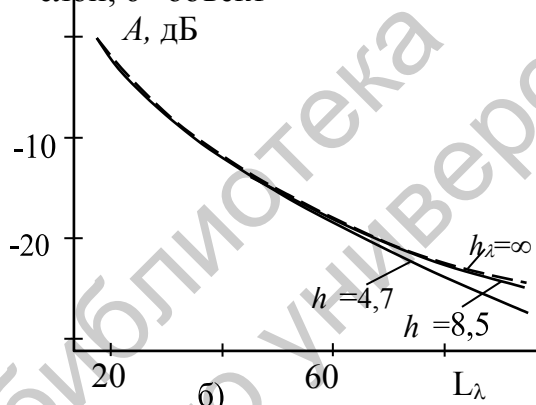


Рис. 2. Схема изменения скорости УЗ-волн: 1-4 – ПЭП; 5 – защитный слой; 6 – объект



Согласно опытным данным, при $h_\lambda = 4,7$ $L_\lambda^* \approx 50$, а расчетное значение – 43, для $h_\lambda = 1,7$ опытное значение $L_\lambda^* \approx 8$, а расчетное ≈ 5 . Установлено, что при $h_\lambda < 20$ зависимость $A(L)$ для T -волны является осциллирующей функцией, что не даёт возможности для проведения надежных измерений. На рис. 2 представлена предложенная авторами компенсационная схема измерений скорости L -моды в материале, находящемся под защитным слоем переменной толщины, где ввод УВ в объект производится наклонными ПЭП попеременно. Сигнал принимается разработанными в ИПФ НАН Беларуси малоапертурными преобразователями, фиксирующими время прохождения ПВ расстояние L между ними в разных направлениях – τ_{21} и τ_{12} . При этом с точностью до 8-го порядка малости искомое значение скорости

$$\tilde{N}_L = C_{20} \{1 - 2^{-1} n_0 (\Delta \tau_0)^2 + 2^{-4} n_0^2 (\Delta \tau_0)^4 - 2^{-2} n_0^4 (\Delta \tau_0)^8\}, \quad (2)$$

где $C_{20} = 2L(\tau_{12} + \tau_{21})^{-1}$; $\Delta \tau_0 = (\tau_{12} - \tau_{21})(\tau_{12} + \tau_{21})^{-1}$; $n_0 = C_1 / C_{20}$.

Если же скорости УВ известны, то разнотолщинность покрытия Δh может быть определена из выражения: $\Delta h = [L^2 - C_L (\tau_{12} + \tau_{21})]$. Анализ

предложенных схем измерения и полученные оценочные формулы указывают на возможность существенного снижения погрешностей при измерении скорости ПВ в материале, покрытом защитным слоем. Это играет весьма важную роль при определении структуры материалов, их напряженного состояния, поврежденности, твердости.

Электронная библиотека
Белорусско-Российского университета