

УДК 677.017

БЕЗКОНТАКТНИЙ МЕТОД ВИЯВЛЕННЯ ДЕФЕКТІВ В МАТЕРІАЛАХ

С.В. Барилко, к.т.н.

Київський національний університет технологій та дизайну

В.Г. Здоренко, д.т.н., проф.

Київський національний університет технологій та дизайну

Ключові слова: амплітуда хвилі, дефект, акустичний опір, середовище матеріалу.

Для визначення розшарування або інших дефектів у конструкційних матеріалах за допомогою безконтактного методу, необхідно детально розглянути відбиття ультразвукових хвиль від граничних середовищ. Амплітуду ультразвукової хвилі, яка відбивається від матеріалу, в якому відсутні дефекти, можна показати як:

$$|V_e| = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{2Z_1c_2}{Z_2\omega h}\right)^2}}, \quad (1)$$

де h – товщина матеріалу;

Z_1 – акустичний опір повітря;

Z_2 – акустичний опір матеріалу;

ω – колова частота;

c_2 – швидкість розповсюдження ультразвукової хвилі в матеріалі.

Відбиття хвиль від матеріалу, в якому може бути дефект, що представляє собою тонкий шар повітря, можна описати за допомогою вхідного акустичного опору $Z_{\text{вх}}^{(4)}$ для чотирьох середовищ [1-3]:

$$Z_{\text{вх}}^{(4)} = (Z_1 Z_2 Z_3 - Z_1 Z_3^2 \operatorname{tg} K_2 h_1 \operatorname{tg} K_3 h_2 - Z_1 Z_3 Z_4 \operatorname{tg} K_2 h_1 \operatorname{tg} K_4 h_3 - Z_1 Z_2 Z_4 \times \\ \times \operatorname{tg} K_3 h_2 \operatorname{tg} K_4 h_3 - j(Z_2^2 Z_3 \operatorname{tg} K_2 h_1 + Z_2 Z_3^2 \operatorname{tg} K_3 h_2 + Z_2 Z_3 Z_4 \operatorname{tg} K_4 h_3 - Z_2^2 Z_4 \times \\ \times \operatorname{tg} K_2 h_1 \operatorname{tg} K_3 h_2 \operatorname{tg} K_4 h_3) \cdot (Z_2 Z_3 Z_4 - Z_2^2 Z_4 \operatorname{tg} K_2 h_1 \operatorname{tg} K_3 h_2 - Z_2^2 Z_3 \operatorname{tg} K_2 h_1 \times \\ \times \operatorname{tg} K_4 h_3 - Z_2 Z_3^2 \operatorname{tg} K_3 h_2 \operatorname{tg} K_4 h_3 - j(Z_1 Z_3 Z_4 \operatorname{tg} K_2 h_1 + Z_1 Z_2 Z_4 \operatorname{tg} K_3 h_2 + \\ + Z_1 Z_2 Z_3 \operatorname{tg} K_4 h_3 - Z_1 Z_3^2 \operatorname{tg} K_2 h_1 \operatorname{tg} K_3 h_2 \operatorname{tg} K_4 h_3))^{-1} \cdot Z_4, \quad (2)$$

де h_1 – товщина матеріалу до дефекту;

h_2 – товщина дефекту в матеріалі;

h_3 – товщина шару матеріалу, який знаходиться нижче дефекту;

Z_3 – акустичний опір прошарку дефекту;

Z_4 – акустичний опір шару матеріалу, який знаходиться нижче дефекту;

K_2 – хвильове число для шару матеріалу до дефекту;

K_3 – хвильове число для прошарку дефекту;

K_4 – хвильове число для шару матеріалу, який знаходиться нижче дефекту.

Якщо зробити заміну та деякі математичні перетворення можна подати наступні коефіцієнти:

$$\begin{aligned}
 A &= Z_4 \cdot (Z_2^2 Z_3 \operatorname{tg} K_2 h_1 + Z_2 Z_3^2 \operatorname{tg} K_3 h_2 + Z_2 Z_3 Z_4 \operatorname{tg} K_4 h_3 - Z_2^2 Z_4 \times \\
 &\quad \times \operatorname{tg} K_2 h_1 \operatorname{tg} K_3 h_2 \operatorname{tg} K_4 h_3) - Z_1 \cdot (Z_1 Z_3 Z_4 \operatorname{tg} K_2 h_1 + Z_1 Z_2 Z_4 \operatorname{tg} K_3 h_2 + \\
 &\quad + Z_1 Z_2 Z_3 \operatorname{tg} K_4 h_3 - Z_1 Z_3^2 \operatorname{tg} K_2 h_1 \operatorname{tg} K_3 h_2 \operatorname{tg} K_4 h_3); \\
 B &= Z_4 \cdot (Z_2^2 Z_3 \operatorname{tg} K_2 h_1 + Z_2 Z_3^2 \operatorname{tg} K_3 h_2 + Z_2 Z_3 Z_4 \operatorname{tg} K_4 h_3 - Z_2^2 Z_4 \times \\
 &\quad \times \operatorname{tg} K_2 h_1 \operatorname{tg} K_3 h_2 \operatorname{tg} K_4 h_3) + Z_1 \cdot (Z_1 Z_3 Z_4 \operatorname{tg} K_2 h_1 + Z_1 Z_2 Z_4 \operatorname{tg} K_3 h_2 + \\
 &\quad + Z_1 Z_2 Z_3 \operatorname{tg} K_4 h_3 - Z_1 Z_3^2 \operatorname{tg} K_2 h_1 \operatorname{tg} K_3 h_2 \operatorname{tg} K_4 h_3); \\
 C &= Z_4 \cdot (Z_1 Z_2 Z_3 - Z_1 Z_3^2 \operatorname{tg} K_2 h_1 \operatorname{tg} K_3 h_2 - Z_1 Z_3 Z_4 \operatorname{tg} K_2 h_1 \operatorname{tg} K_4 h_3 - \\
 &\quad - Z_1 Z_2 Z_4 \operatorname{tg} K_3 h_2 \operatorname{tg} K_4 h_3) - Z_1 \cdot (Z_2 Z_3 Z_4 - Z_2^2 Z_4 \operatorname{tg} K_2 h_1 \operatorname{tg} K_3 h_2 - \\
 &\quad - Z_2^2 Z_3 \operatorname{tg} K_2 h_1 \operatorname{tg} K_4 h_3 - Z_2 Z_3^2 \operatorname{tg} K_3 h_2 \operatorname{tg} K_4 h_3); \\
 D &= Z_4 \cdot (Z_1 Z_2 Z_3 - Z_1 Z_3^2 \operatorname{tg} K_2 h_1 \operatorname{tg} K_3 h_2 - Z_1 Z_3 Z_4 \operatorname{tg} K_2 h_1 \operatorname{tg} K_4 h_3 - \\
 &\quad - Z_1 Z_2 Z_4 \operatorname{tg} K_3 h_2 \operatorname{tg} K_4 h_3) + Z_1 \cdot (Z_2 Z_3 Z_4 - Z_2^2 Z_4 \operatorname{tg} K_2 h_1 \operatorname{tg} K_3 h_2 - \\
 &\quad - Z_2^2 Z_3 \operatorname{tg} K_2 h_1 \operatorname{tg} K_4 h_3 - Z_2 Z_3^2 \operatorname{tg} K_3 h_2 \operatorname{tg} K_4 h_3),
 \end{aligned} \tag{3}$$

а саму амплітуду ультразвукової хвилі, яка відбивається від матеріалу, в якому є дефекти, можна показати так:

$$|V_{\text{деф.}}| = \sqrt{\frac{(A \cdot B + C \cdot D)^2 + (B \cdot C - A \cdot D)^2}{(B^2 + D^2)^2}}. \tag{4}$$

Висновки. Новий безконтактний метод виявлення дефектів в різних матеріалах дасть змогу проводити оперативний технологічний контроль безпосередньо в процесі виробництва, забезпечуючи якісні характеристики готової продукції.

Список використаних джерел

4. Лютак І.З. Адаптивний алгоритм обробки виміряного ультразвукового сигналу в частотній області / І.З. Лютак, І.С. Кісіль // Методи та прилади контролю якості. – 2006. – №16 – С. 15–18.

5. Бреховских Л.М. Волны в слоистых средах / Л.М. Бреховских. – М.: Наука, 1973. – 343 с.

6. Пат. 63663 Україна, МПК G01N7/00, G01N29/00. Пристрій для вимірювання часу проходження та згасання акустичних імпульсів / Скрипник Ю.О., Здоренко В.Г., Барилко С.В.; заявник та патентовласник Київський національний університет технологій та дизайну. – № u201106890; заявл. 01.06.2011; опубл. 10.10.2011, Бюл. №19.