

УДК 004.942:534-8

МОДЕЛЮВАННЯ ВІДБИТОГО СИГНАЛУ ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОМУ КОНТРОЛІ ПРУЖНОГО СЕРЕДОВИЩА З ПОРОЖНИНОЮ

© Павич Н., 2003

Запропоновано модель зв'язку розсіяного поля та сигналу, що надходить від приймача, розташованого на поверхні півпростору, при ультразвуковому контролі пружного середовища з об'ємною неоднорідністю типу порожнини.

The model of the electric signal obtained from receiving probe during non-destructive testing of an elastic medium with a cavity is offered.

Постановка проблеми у загальному вигляді

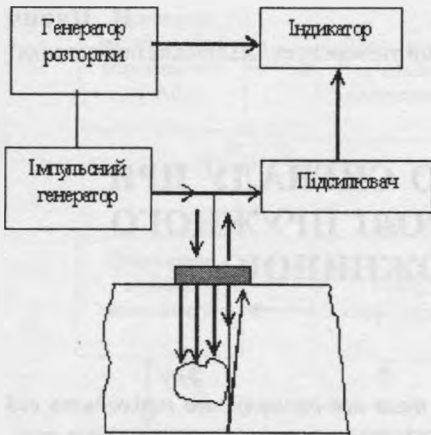
Ультразвуковий контроль загалом характеризується різноманітністю методів, типами хвиль, широким діапазоном частот. Сьогодні не розроблено універсальної системи, яка б охоплювала всю проблематику ультразвукового контролю. Для конкретної проблеми розробляються теоретичні та практичні підходи, які забезпечують необхідні показники якості контролю. Конкретні підходи мають використовуватися для ультразвукового контролю пружних середовищ з порожниною.

Аналіз останніх досягнень та публікацій

Ультразвуковий спектральний метод контролю пружних середовищ з порожниною становить найбільший інтерес, оскільки є найбільш загальним [1]. Однак основним його недоліком поки що залишається складна апаратурна реалізація. Ультразвуковий спектральний метод пов'язаний зі специфічними вимогами як до перетворювачів, так і до електронної апаратури [2,4]: широкополосність перетворення електричного сигналу в акустичний і навпаки, широкополосність приймального тракту, необхідність проведення спектрального аналізу відбитих від дефектів сигналів. Як широкополосні перетворювачі використовуються осесиметричні перетворювачі змінної товщини [1]. Розроблені ультразвукові спектроскопи не повністю задовольняють сучасні вимоги високотехнологічних сфер виробництва, тому є актуальною проблема модернізації існуючих та створення нових засобів контролю пружних середовищ з порожниною. Одним із завдань при розв'язанні цієї проблеми є моделювання пружного середовища з неоднорідностями.

Постановка завдання

Одним із основних завдань при створенні засобів ультразвукового контролю пружних середовищ з об'ємними неоднорідностями є отримання достовірної інформації



Структурна схема ультразвукового контролю

- розглядаються такі неоднорідності типу порожнини;
- зондуючі хвилі є хвилями поздовжнього типу;
- випромінювач ультразвукових хвиль контактного типу;
- схема ультразвукового контролю є моностатичною, тобто приймач суміщено з випромінювачем (рис. 1).

Взаємодія зондуючої ультразвукової хвилі з розсіювачем типу порожнини змодельована на основі методу нульового поля [2]. Необхідно зв'язати отримане розсіяне поле з сигналом, що надходить від приймача. Для цього пропонується застосовувати електромеханічну аналогію, запропоновану Аулдом [3]. Для розглядуваної неоднорідності у випадку моностатичних даних розсіяння (приймач суміщено з випромінювачем) вона дає змогу вимірювати електричний коефіцієнт відбиття [4]

$$\delta\Gamma = -\frac{i\omega}{4P} \int_{\Omega} (u_2 \mathbf{t}_1 - u_1 \mathbf{t}_2) dS, \quad (1)$$

де ω – колова частота зондування; \mathbf{t}_i – вектор нормальних напружень на поверхні середовища при зондуванні хвилями поздовжнього типу [5]; P – електричний аналог енергії випроміненого сигналу (величина, що пропорційна квадрату амплітуди електричного сигналу джерела); Ω – деяка поверхня, що охоплює розсіювач; u_i – розсіяне поле; індекси 1 та 2 вказують на динамічні стани півпростору з та без неоднорідності відповідно.

У випадку порожнини для двох розглядуваних пружно-динамічних станів при $x \in S$, де S – поверхня порожнини, маємо

$$\begin{aligned} u_1(x) &= \sum_M (x_M A_M + a_M \operatorname{Re} \Phi_M) && \text{– з порожниною;} \\ + u_2(x) &= \sum_M a_M \operatorname{Re} \Phi_M && \text{– без порожнини,} \end{aligned} \quad (2)$$

де x_M знаходяться з системи лінійних алгебраїчних рівнянь:

про параметри відбитого від об'єкта контролю сигналу. Модель відбитого ультразвукового сигналу сприяє розв'язанню цього завдання. Відповідна модель дозволяє зрозуміти не лише фізику даного процесу, а і є основою для побудови методів відтворення невідомих параметрів неоднорідностей.

Виклад основного матеріалу

При моделюванні процесів ультразвукового контролю пружних середовищ з об'ємними неоднорідностями зроблено такі припущення:

- пружне середовище є ізотропним;
- беруться до уваги гармонійні процеси;

$$\sum_{M'} a_{MM'} x_{M'} = c_M; \quad a_{MM'} = \int_S A_{M'}(\hat{r}) G(U_M) dS; \quad c_M = - \int_S t^i(y) U_M(y) dS;$$

$$G(U_M) = n\lambda \nabla U_M + 2\mu \frac{\partial U_M}{\partial n} + \mu t \times (\nabla \times U_M); \quad \Gamma_j(x, y) = i\kappa \sum_M U_M(y) \operatorname{Re} \Phi_M(x);$$

$$U_M(y) = \Phi_M(y) + \Phi_M^I(y),$$

де $A_M(\hat{r})$ – повна система функцій (циліндричних або сферичних гармонік): функції $\Phi_M(y)$ зображаються через базові векторні хвильові функції розкладу тензорів Гріна, функції $\Phi_M^I(y)$ отримуються із розв'язку задачі про відбиття хвилі $\Phi_M(y)$ від границі півпростору; $\kappa = k_l / (\rho\omega^2)$, $M \equiv \{\tau, \sigma, m, l\}$, ($\tau = 1, 2, 3$) для просторового та $\kappa = \pi / (\rho\omega^2)$, $M \equiv \{\tau, \sigma, l\}$, ($\tau = 1, 2$) для плоского випадків відповідно $\sigma = 1, 2$; $l = 0, 1, 2, \dots$; $m = 0, 1, 2, \dots, l$.

Підставляючи (2) у формулу (1), отримуємо

$$\delta\Gamma(\omega) = \frac{i\omega}{4P} \sum_{MM'} \left[a_{M'} x_{M'} \int_{S_0} A_{M'} t(\operatorname{Re} \Phi_{M'}) dS + a_{M'} a_M \int_{S_0} \operatorname{Re} \Phi_M t(\operatorname{Re} \Phi_{M'}) dS \right].$$

Висновок

Отже, використавши електромеханічну аналогію Аулда, результати моделювання зонduючого сигналу [5] та розсіяного порожниною поля [2,4], отримано зв'язок останнього та сигналу, що надходить від приймача ультразвукових сигналів, розташованого на поверхні пружного середовища, в якому міститься об'ємна неоднорідність типу порожнини. Наведена модель може бути використана при модернізації існуючих та при створенні нових засобів контролю пружних середовищ з об'ємною неоднорідністю типу порожнини.

1. Ермолов И.Н., Гитис М.Б., Королев М.В., Карпельсон А.Е., Мельканович А.Ф., Вовилкин А.Х. Ультразвуковые пьезопреобразователи для неразрушающего контроля – М.:Машиностроение, 1986. – 280 с.
2. Матус В.В., Павич Н.Я., Грилицький М.Д. Моделювання процесу поширення ультразвукових хвиль в пружному півпросторі з порожниною // Вісник ДУ "Львівська політехніка". – 1999. – № 370. – С. 60–67.
3. Auld B.A. General electromechanical reciprocity relation applied to the calculation of elastic wave scattering coefficients // Wave Motion. 1979. V. 1. – № 1. – P. 3–10.
4. Ємець В.Ф., Павич Н.Я. Моделювання процесу ультразвукового контролю пружних тіл з дефектами типу порожнин. // Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці НАНУ. – К., 2001. – Вип. 7. – С. 166–171.
5. Павич Н.Я. Імітаційна модель визначення форми об'ємної неоднорідності у пружному середовищі // Вісник НУ "Львівська політехніка". – 2002. – № 468. – С. 53–57.