

Г.М. СУЧКОВ, д. - р. техн. наук, проф. НТУ «ХП»

О.В. ДЕСЯТНІЧЕНКО, аспірант, НТУ «ХП»

МОЖЛИВОСТІ БЕЗЕТАЛОННОГО КОНТРОЛЮ ТОВЩИНИ МЕТАЛОВИРОБІВ ЕМА МЕТОДОМ

Запропоновані варіанти схем для безеталонного вимірювання товщини матеріалу електромагнітно-акустичним методом. Виконано порівняльний аналіз запропонованих схем. Наведено рівняння для обчислення швидкості розповсюдження ультразвуку в матеріалі та товщини вимірюваного взірця.

The scheme of nonetalon measurements by electromagnetic-acoustic method is offered. The comparative analysis are given. The equations for calculation of ultrasound speed and thickness of material are offered. Measurement techniques have been offered.

Вступ. Електромагнітно – акустичні (ЕМА) методи контролю товщини в своїй ніші мають переваги у порівнянні з іншими популярними методами [1]. До таких переваг варто віднести малу залежність результатів вимірювання від якості обробки поверхні; відсутність потреби використання контактної рідини; високу швидкість контролю; роботу з матеріалами нагрітими до високої температури [2]. Суттєву складність в процесі вимірювання товщини вносить калібрування приладу на швидкість розповсюдження ультразвукових імпульсів.

Тому перспективною є задача безеталонного вимірювання товщини, бо в деяких випадках немає можливості встановити швидкість в конкретному матеріалі. Окрім того, калібрування вимірювача потребує великого набору відповідних взірців та займає деякий час, що не завжди зручно.

Основна частина. Розглянемо схему вимірювання №1 показану на рис. 1а, в якій датчик 1 працює тільки на збудження сигналу, а датчик 2 лише на прийом. Відстань між центрами датчиків дорівнює d . Відстань між датчиком та місцем відбиття позначено як g_1 . Взаємозв'язок відстані, яку проходить акустична хвиля l_1 , товщини матеріалу h , часу розповсюдження t_1 , номеру донного імпульсу n_1 та швидкості розповсюдження акустичної хвилі c обчислюється за теоремою Піфагора:

$$l_1 = 2 \cdot n_1 \cdot \sqrt{h^2 + \left(\frac{d}{2 \cdot n_1}\right)^2} = t_1 \cdot c, \quad (1)$$

де $l_1 = 2 \cdot n_1 \cdot g_1$ - відстань, яку проходить акустична хвиля.

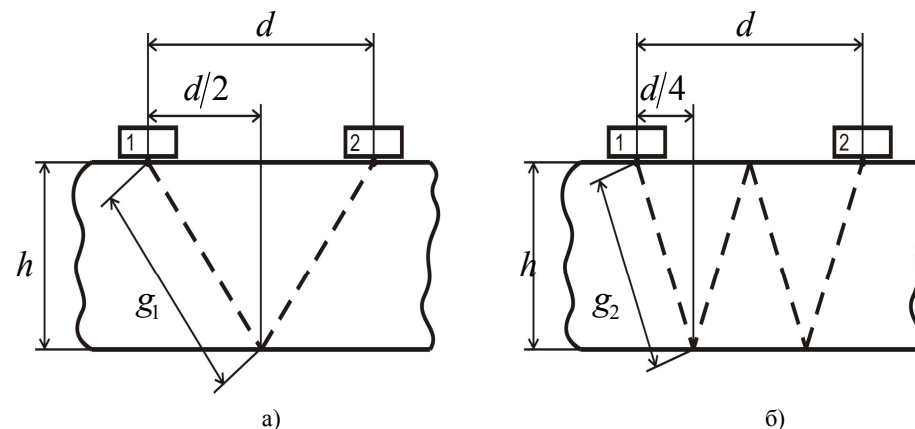


Рис. 1. Геометричне пояснення що до обчислення відстані, яку проходить акустична хвиля:

а – для першого донного імпульсу; б - для другого донного імпульсу.

На рис. 1а показано випадок для вимірювання по першому донному ($n_1 = 1$), а на рис. 1б – по другому донному імпульсу. На рис. 1б g_2 - відстань між датчиком та місцем відбиття.

Основні співвідношення не відрізняються від попередніх:

$$l_2 = 2 \cdot n_2 \cdot \sqrt{h^2 + \left(\frac{d}{2 \cdot n_2}\right)^2} = t_2 \cdot c, \quad (2)$$

де $l_2 = 2 \cdot n_2 \cdot g_2$ - відстань, яку проходить акустична хвиля; t_2 - час розповсюдження; n_2 - номер донного імпульсу (для випадку зображеного на рис. 1б $n_2 = 2$).

Покажемо, що маючи два вимірювання з різною кількістю донних імпульсів можна обчислити як швидкість розповсюдження акустичної хвилі c так і товщину вимірюваного матеріалу h . Підставимо (1) у (2). Після проведення перетворень отримаємо вираз для знаходження швидкості розповсюдження акустичних хвиль c для даного матеріалу:

$$c = \sqrt{\frac{n_2^2 \cdot d^2 - n_1^2 \cdot d^2}{n_2^2 \cdot t_1^2 - n_1^2 \cdot t_2^2}}, \quad (3)$$

Аналогічним чином отримаємо вираз для знаходження товщини h без необхідності визначення швидкості:

$$h = \sqrt{\frac{d^2 \cdot (t_2^2 - t_1^2)}{4 \cdot (t_1^2 \cdot n_2^2 - t_2^2 \cdot n_1^2)}}, \quad (4)$$

Отримані вирази для швидкості c та товщини h мають рішення у разі різної кількості відбиттів (коли $n_1 \neq n_2$).

Наведена схема вимірювання є найпростішою відносно складності системи датчиків. Отримані рівняння не є досить складними для обчислень, якщо враховувати сучасний рівень розвитку мікропроцесорної техніки, які використовуються в сучасних товщиномірах.

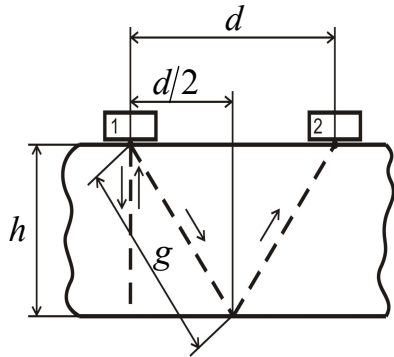


Рис. 2. Схема з роздільно-сумісним та приймальним датчиками.

Розглянемо схему вимірювань №2 (рис. 2), в якій використовується в якості датчика 1 роздільно-сумісний ЕМАП, який працює як на передачу, так і на прийом. Датчик 2, як і у попередньому випадку, працює лише на прийом. На рисунку d - відстань між центрами датчиків; h - товщина вимірюваного матеріалу; g - відстань між датчиком та місцем відбиття для траєкторії між першим та другим датчиками. Використання такої схеми має переваги, тому що дозволяє проводити вимірювання, коли обидва сигнали мають однакову кількість відбиттів n (донних імпульсів). Це важливо, коли ведеться контроль

матеріалів з високим послабленням ультразвукових коливань, або низьким коефіцієнтом ЕМА-перетворення.

У загальному випадку основне співвідношення для першого ЕМАП має вигляд:

$$l_1 = 2 \cdot n_1 \cdot h = t_1 \cdot c, \quad (5)$$

де l_1 - відстань, яку проходить акустична хвиля, n_1 - номеру донного імпульсу, t_1 - час розповсюдження.

Основні співвідношення для траєкторії між першим та другим датчиками не відрізняється від попередньої схеми вимірювання:

$$l_{12} = 2 \cdot n_{12} \cdot \sqrt{h^2 + \left(\frac{d}{2 \cdot n_{12}}\right)^2} = t_{12} \cdot c, \quad (6)$$

де $l_{12} = 2 \cdot n_{12} \cdot g$ - відстань, яку проходить акустична хвиля, t_{12} - час розповсюдження, n_{12} - номер донного імпульсу.

Після проведення перетворень отримаємо вираз для знаходження швидкості розповсюдження акустичних хвиль c для даного матеріалу:

$$c = \sqrt{\frac{d^2 \cdot n_1^2}{n_1^2 \cdot t_{12}^2 - n_{12}^2 \cdot t_1^2}}, \quad (7)$$

Отримаємо вираз для обчислення товщини вимірюваного зразка h без необхідності обчислення швидкості:

$$h = \sqrt{\frac{d^2 \cdot t_1^2}{4 \cdot (t_{12}^2 \cdot n_1^2 - t_1^2 \cdot n_{12}^2)}}, \quad (8)$$

Як і у попередній схемі вимірювання, обчислення швидкості розповсюдження акустичних хвиль c не потребує обчислення товщини матеріалу h , а обчислення товщини h не потребує попереднього обчислення швидкості c .

Розглянуті схеми безеталонного вимірювання мають один суттєвий недолік: вони дають хибний результат у разі, коли поверхня має різну товщину в зоні відбиття донних імпульсів (рис. 3а), де h' - товщина в зоні

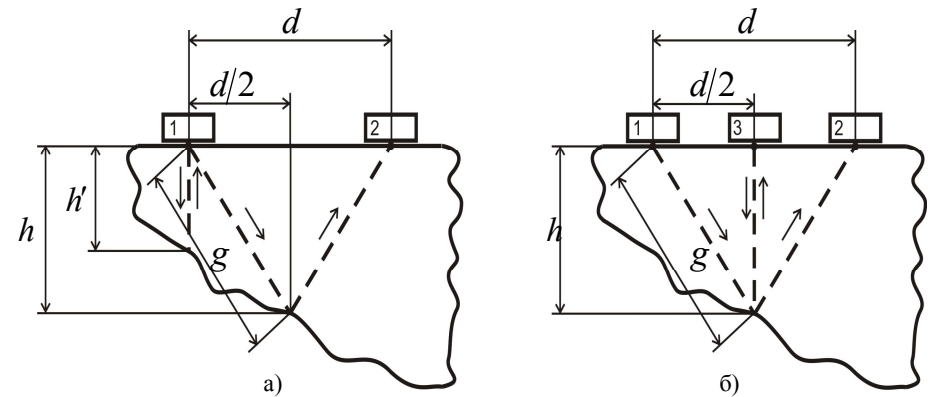


Рис. 3. Обчислення при безеталонному вимірюванні за умов нерівномірності товщини:
а - з двома ЕМАП; б - з трьома ЕМАП.

відбиття хвилі першого датчика, та h - товщина в зоні відбиття хвилі від першого до другого датчиків. Така нерівномірність товщини може бути викликана багатьма факторами, найбільш розповсюдженим з яких є корозія. Для запобігання появи значної похибки вимірювання запропоновано схему вимірювання №3 з трьома ЕМАП (рис. 3б). В цій схемі ЕМАП 1 працює лише на передавання, ЕМАП 2 - лише на прийом. Між цими датчиками

утворюється перша траєкторія сигналу. Співвідношення для цих датчиків не відрізняються від співвідношень для відповідних датчиків у попередніх схемах вимірювання (6). Датчик 3 працює як на передачу, так і на прийом. Співвідношення для траєкторії сигналу цього датчика збігається з виразом для датчика 1 у попередній схемі (5). Рівняння для обчислення швидкості розповсюдження ультразвуку c та товщини матеріалу h не відрізняються від схеми №2. Слід зауважити, що для обчислень має враховуватися лише перший донний імпульс на траєкторії між 1-м та 2-м датчиками. Кількість донних імпульсів на траєкторії 3-го датчика, що враховуються, необмежена.

Наведені схеми дозволяють проводити як безпосередньо вимірювання товщини, так і проводити автоматичне калібрування швидкості розповсюдження акустичної хвилі у вимірюваному матеріалі. В залежності від обраної методики, може обчислюватися лише товщина, а може і навпаки – обчислюватися швидкість, а вимірювання товщини виконуватися класичним способом. За своїми можливостями ці схеми відрізняються від схем, запропонованих в роботі [3]. Крім того, запропоновані схеми частково викликають додаткову похибку контролю, обумовлену різницею між властивостями контрольованого матеріалу (наприклад змінення за рахунок старіння) і матеріалом стандартного взірця.

Висновки. Отримані вирази для визначення швидкості розповсюдження ультразвуку в матеріалі та товщини вимірюваного взірця при безеталонному методі вимірювання. Наведені схеми вимірювання та дано їх порівняльний аналіз. Схема №1 є найпростішою, в ній використовується один передаючий та один приймаючий датчики, але для вимірювань потрібно мати значення для різної кількості відбиттів. Схема №2 не має цього недоліку, але система датчиків в ній складніша: використовується один роздільно-сумісний та приймаючий датчики. Обидві ці схеми мають недолік – точність вимірювань залежить від якості поверхні вимірюваного матеріалу. Такої залежності немає схемі №3, в якій використано три датчики: передаючий, приймаючий та роздільно-сумісний.

Список літератури: 1. Сучков Г.М., Десятниченко А.В. Энергетические аспекты при ЭМА-толщинометрии. – Методы та засоби неруйнівного контролю. – Івано-Франківськ, 2008 – № 12 – С. 63-69. 2. Сучков Г.М. Развитие теории і практики приладів для електромагнітно-акустичного контролю металовиробів. Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук. – Харків, Друкарня НТУ«ХП», 2005. – 37с. 3. Неразрушающий контроль. В 5 кн. Кн. 2. Акустические методы контроля: Практик. пособие / И.Н. Ермолов, Н.П. Алешин, А.И. Потанов; Под ред. В.В. Сухорукова. – М.: Высш. шк., 1991. – 283 с.