

Таблиця 2 – Характеристики переносних пірометрів

Назва параметра	Згідно проекту	Raynger 3i	Сморич-4ПМ
Діапазон температур	Від -35 °С до +3000 °С	Від -30°С до +3000 °С	Від +30 °С до +300°С
Показник візурування	1 : 2 – 1 : 300	1 : 75; 1 : 90; 1 : 105; 1 : 120; 1 : 180	1 : 15 – 1 : 25
Наявність лазерного візира	Так	Так	Ні
Уставка випромінюючої здатності	0,1 – 1,0 (цифр. з дискр. 0,1)	0,1 – 1,00 (цифр. з дискр. 0,01)	-
Похибка вимірювання	±1% або ±1°С (що більше)	±1% або ±1°С (що більше)	±1,5%
Повторюваність	±1% або ±1°С (що більше)	±0,5% або ±1°С (що більше)	-
Пам'ять	100 значень	100 значень	-
Установка верхньої та нижньої межі сигналізації	Так	-	-
Сигнали тривоги	Так	-	-
Цифровий вихід RS-232	Так	-	-
Аналоговий вихід	1 мВ/°С	1 мВ/°С	-

УДК 620.179

АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТ ДЛЯ ДОКУМЕНТУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ ПРИ РУЧНОМУ СКАНУВАННІ

© Маєвський С. М., Сірий К. М., 2002
НТУУ “Київський політехнічний інститут”

Розглянуті способи автоматичного визначення координат первинних перетворювачів при проведенні ультразвукової дефектоскопії. Показано, що з цією метою можуть бути використані градувальні линви, спеціальні ультразвуковий випромінювач і перетворювач куткових координат.

В неруйнівному контролі досить часто використовується ручне сканування поверхні об'єктів контролю первинними перетворювачами з метою пошуку дефектів. В такому режимі працюють майже всі ультразвукові, вихрострумові та інші дефектоскопи.

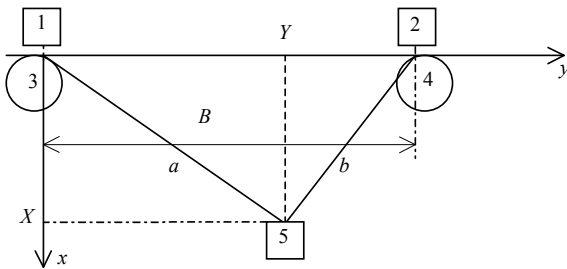
Суттєвим недоліком таких методів неруйнівного контролю є відсутність документування процесу контролю, що не дозволяє перевіряти якість проведеного контролю та використовувати результат контролю з метою дослідження зміни виявлених дефектів (наприклад, тріщин) в часі. Такий документ мав би відображати координати траєкторії сканування з відмітками місця знайдених дефектів та їх величин. Документування дало б можливість підвищити об'єктивність контролю.

Відомі приклади вирішення згаданої проблеми шляхом вимірювання довжин линв, що приєднанні

до перетворювача і з'єднують його з точками зчитування довжин линв на кінцях базової відстані B (рис. 1). Линви градузовані за довжиною нанесенням на їх поверхню рисок з заданою дискретністю. Визначення координат X , Y положення ультразвукового перетворювача передбачає вимірювання довжин градузованих линв при їх скручуванні з барабанів 1 та 2.

Линви приєднані обома кінцями до перетворювача, що вручну переміщується поверхнею об'єкту контролю. Для певного положення перетворювача, коли довжини лівого і правого кінців линв становлять відповідно a і b , значенню абсциси положення перетворювача X відповідають такі два рівняння:

$$\begin{aligned} X &= \sqrt{a^2 - Y^2}, \\ X &= \sqrt{b^2 - (B - Y)^2}. \end{aligned} \quad (1)$$



1, 2 – пристрої для визначення довжини линв; 3, 4 – бобіни з спіральними пружинами для намотування линв; 5 – перетворювач дефектоскопу; B – відстань між точками змотування линв; a, b – довжини линв

Рис. 1. Визначення координат положення перетворювача дефектоскопу за допомогою градуйованих линв

Прирівнюючи праві частини рівнянь (1) визначають ординату Y , а потім абсцису X :

$$Y = \frac{b^2 - a^2}{2B} + \frac{B}{2}, \quad X = \sqrt{a^2 - \left(\frac{b^2 - a^2 + B^2}{2B} \right)^2}. \quad (2)$$

Область сканування має знаходитися в межах квадранту з базою B , в противному разі може виникнути неоднозначність визначення координат.

Якщо вважати, що линви не розтягуються від натягу в процесі їх змотування, похибка визначення довжин a і b визначається дискретністю Δl міток на линвах, що зчитуються, наприклад, оптичними або іншими засобами, формуючи числоімпульсний код довжини. Середньоквадратична похибка при цьому дорівнює [1]:

$$\sigma_l = \frac{\Delta l}{2\sqrt{3}}. \quad (3)$$

Недоліком такого метода кодування координат є необхідність використання линв, що створює певні незручності ручного переміщення перетворювача. До того ж такий метод визначення координат можливий лише для випадку, коли сканування виконується в межах відносно плоскої поверхні.

Розвиваючи подібний метод розглянемо вимірювання довжин a і b з допомогою ультразвуку [2]. В цьому разі на рухомому перетворювачі, що вручну переміщується в заданій ділянці на поверхні об'єкту контролю, розміщується порівняно низькочастотний (наприклад, 80 кГц) ультразвуковий випромінювач з широкою діаграмою направленості, який періодично збуджує короткий радіоімпульс акустичних коливань. На кінцях базового відрізка довжиною B розміщують ультразвукові перетворювачі для приймання цих коливань.

Вважаючи швидкість розповсюдження ультразвукових коливань в повітрі сталою ($V_{yz} = 331,8$ м/с), відстані a і b (рис. 2) знаходимо, як:

$$a = V_{yz} \tau_a, \quad b = V_{yz} \tau_b, \quad (4)$$

де τ_a, τ_b – часові затримки ультразвукового сигналу при проходженні ним відстаней a і b .

Гранична похибка відтворення координат положення первинного перетворювача дефектоскопа при його переміщенні в площині контролю залежить від максимальної швидкості сканування та відстані перетворювача дефектоскопу від приймальних ультразвукових перетворювачів для визначення координат. Якщо максимальна швидкість ручного сканування V становить 0,1 м/с, а відстань перетворювача дефектоскопу від приймачів ультразвукових коливань $L=0,3$ м, то з урахуванням швидкості розповсюдження акустичних коливань в повітрі похибка відтворення координат дорівнюватиме:

$$\Delta x = \Delta y = LV / V_{yz} \approx 0,1 \text{ мм}. \quad (5)$$

При цьому цикл вимірювання параметра контролю i , одночасно, координат може становити:

$$T = T = L / V_{yz} \approx 0,001 \text{ с}. \quad (6)$$

Нами розроблений спосіб визначення трьох координат положення перетворювача дефектоскопу для випадку контролю складних за будовою поверхонь об'єктів контролю. Для визначення координат положення перетворювача дефектоскопу на його корпусі також розміщують випромінювач ультразвукового (80 кГц) радіоімпульсного сигналу, а приймачі цього сигналу встановлені на певній базі B . При цьому на одному з кінців бази вимірювання встановлюється два приймача на відстані по висоті рівній C .

Приймальні перетворювачі цієї системи підняті відносно поверхні контролюваного об'єкту на певну висоту H щоб уникнути затінення ультразвукового випромінювача нерівностями поверхні сканування. Тоді, відповідно до рис. 2, алгоритм визначення координати висоти буде таким:

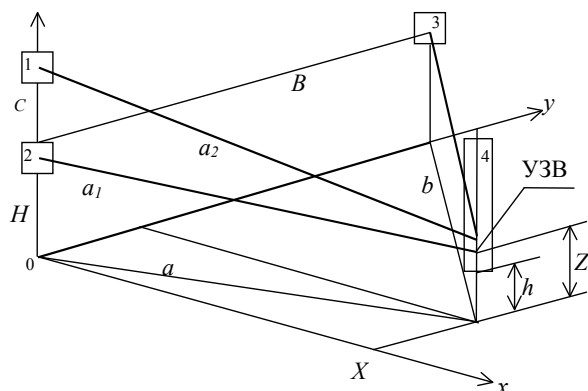
$$Z = \sqrt{\frac{a_2^2 - a_1^2 + C^2 + 2HC}{2C}} - h. \quad (7)$$

Координати X та Y розраховують за такими алгоритмами:

$$Y = \sqrt{\frac{a_1^2 - b_1^2 + B^2 - 2(H - Z)^2}{2B}}, \quad (8)$$

$$X = \sqrt{a_1^2 - (H - Z)^2 - \left(\frac{a_1^2 - b_1^2 + B^2 - 2(H - Z)^2}{2B} \right)^2}. \quad (9)$$

Вимірюючи час затримки радіоімпульсу в точках прийому 1, 2, 3 визначають відстані між випромінювачем і приймачами a_1, a_2, b_1 . Ці відстані становитимуть: $a_1 = \tau_1 V_{yz}, a_2 = \tau_2 V_{yz}, b_1 = \tau_3 V_{yz}$.



1, 2, 3 – приймачі ультразвукових коливань; 4 – перетворювач дефектоскопу; УЗВ – випромінювач ультразвукового імпульсного коливання; X, Y, Z-h – координати положення перетворювача дефектоскопу; B, C – відстані між приймачами; H – висота положення приймачів відносно базової площини системи координат; a_1, a_2, b_1 – відстані між УЗВ та приймачами 2, 1, 3; a, b – проекції вищезгаданих відстаней на базову площину

Рис. 2. Схема ультразвукового визначення координат положення перетворювача дефектоскопу

Похибка визначення координат залежить, таким чином, від точності визначення часу запізнь ультразвукових імпульсних сигналів. Не важко показати, що при умові відповідного підсилення сигналів на виходах приймачів ультразвукового радіоімпульсного сигналу абсолютна похибка визначення відстаней a_1, a_2, b_1 на частоті коливань 80 кГц не буде перевищувати 1 мм.

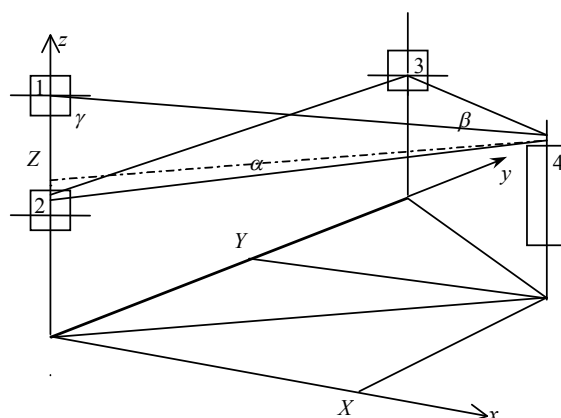
Третім з можливих методів визначення координат може бути триангуляційний метод, в якому мова йде про визначення кутового положення перетворювача на площині сканування. Для цього достатньо розмістити на перетворювачі джерело світла (світлодіод), а на кінцях базової відстані B оптичні засоби визначення кута розгортки від напрямку бази до світлодіода та від вісі z до світлодіода на перетворювачі дефектоскопу.

Якщо кути α, β, γ визначено, координати положення перетворювача знаходять так:

$$x = B \frac{\operatorname{tg}(\alpha)\operatorname{tg}(\beta)}{\operatorname{tg}(\alpha) + \operatorname{tg}(\beta)}, \quad (10)$$

$$y = B \frac{\operatorname{tg}(\beta)}{\operatorname{tg}(\alpha) + \operatorname{tg}(\beta)}, \quad (11)$$

$$Z = (H + C - h) - B \frac{\operatorname{tg}(\alpha)\sqrt{[\operatorname{tg}(\beta)]^2 + 1}}{\operatorname{tg}(\alpha) + \operatorname{tg}(\beta)} \operatorname{tg}(90^\circ - \gamma). \quad (12)$$



1, 2, 3 – вимірювачі кутів у напрямку на фотодіод на корпусі перетворювача дефектоскопу відносно напрямку осей системи координат; 4 – перетворювач дефектоскопу

Рис. 3. Метод визначення координат X, Y, Z положення перетворювача дефектоскопу на основі вимірювання кутових координат

Ми не розкриваємо способи вимірювання згаданих кутів, що не є проблемою для сучасної оптичної перетворювальної техніки [3]. Проте потрібно відмітити, що досягнення заданої точності визначення координат можливе лише при достатньо точному визначенні значень кутів. Так, на відстані перетворювача дефектоскопу від початку відліку координат до 500 мм при заданій точності визначення координат 1 мм, точність визначення значень кутів повинна бути в межах $\pm 0,15^\circ$.

Теоретичні висновки даної роботи підтверджені проведеними експериментальними дослідженнями безконтактного вимірювання зі згаданою точністю відстаней в реальних межах сканування з метою контролю. З нашого досвіду акустичний метод вимірювання відстаней для визначення координат є найпростішим. Проте такий метод не є завадостійким щодо впливу навколишніх факторів (рух повітря, акустичні завади). Більш завадостійким методом є оптичний метод.

1. Орнатський П. П. *Основи інформаційно-вимірної техніки*. - К.: Вища школа, 1987. 2. Крауткремер Й., Крауткремер Г. *Ультразвуковий контроль матеріалів*. Перев. с нем. - М.: Металлургия, 1991. 3. Молебный В. В. *Оптико-локационные системы*. - М.: Машиностроение, 1981.