

УДК 677.017

**ДОСЛІДЖЕННЯ БЕЗКОНТАКТНОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЮ
ПОВЕРХНЕВОЇ ЩІЛЬНОСТІ ТКАНИН ПОЛОТНЯНОГО ПЕРЕПЛЕТІННЯ**

В. Г. ЗДОРЕНКО, С. В. БАРИЛКО

Київський національний університет технологій та дизайну

Розглянуто методи контролю поверхневої щільності тканин. Обґрунтовано доцільність використання ультразвукового безконтактного методу. Наведено результати теоретичних досліджень

Сьогодні високими темпами розвивається виробництво тканин. Одним з основних параметрів, за яким визначають як споживчі властивості, так і фізико-механічні характеристики тканин, є їхня поверхнева щільність. Це зумовлено потребою забезпечення експлуатаційних вимог для виробів з тканин при подальшому їх використанні.

Об'єкти та методи дослідження

Методи визначення технологічних параметрів тканин сьогодні є контактними та руйнівними. Так, для контролю поверхневої щільності використовується метод вирізання зразка та наступного визначення його ваги. Зрозуміло, що такий метод не дозволяє оперативно контролювати значення поверхневої щільності, призводить до появи браку та зниження сортності тканин.

Відомі безконтактні методи визначення поверхневої щільності тканин при використанні радіоактивного випромінювання [1]. Однак, такі пристрої потребують калібрування при зниженні активності джерела випромінювання, на результат вимірювань впливають фізико-механічні параметри тканин, що не дозволяє отримати високу точність при використанні таких пристроїв. Висока вартість експлуатації та утилізації, а також необхідність забезпечення захисту персоналу від випромінювання роблять досить складним широке застосування таких пристроїв.

Постановка завдання

Ультразвукові методи [2] мають низку суттєвих переваг порівняно з іншими методами: відносна простота випромінювання та прийому ультразвукових коливань, достатньо висока точність вимірювання, порівняно невисока вартість обслуговування. Проведений аналіз показав, що найбільш перспективним методом контролю технологічних параметрів тканин є безконтактний ультразвуковий метод [3]. При цьому тканина опромінюється ультразвуковими хвилями, а значення поверхневої щільності визначається відношенням амплітуд ультразвукової хвилі, що пройшла крізь тканину, і хвилі, яка падає на неї. У статті наведені результати аналізу можливості застосування ультразвукового безконтактного методу для контролю поверхневої щільності тканин.

Результати та їх обговорення

Тканина полотняного переплетіння, що контролюється, має нитки основи з діаметром d_o і нитки утка з діаметром d_y . Проведемо аналіз проходження через тканину плоскої ультразвукової хвилі при її нормальному падінні. Процес проходження будемо розглядати з урахуванням багаторазових відбивань та накладань хвиль, використовуючи принцип суперпозиції [4].

Знайдемо комплексний коефіцієнт проходження. Нехай амплітуда падаючої хвилі дорівнює P_0 , а тієї, що пройшла матеріал – $P_{пр}$. Для визначення коефіцієнту проходження необхідно знайти

відношення тисків у хвилях, що пройшла тканину, і тієї, яка падає на неї. Акустичний опір середовища, з якого падає хвиля, дорівнює Z_1 , матеріалу ниток основи – Z_2 , матеріалу ниток утка – Z_3 , середовища, в яке падає хвиля після проходження – Z_4 ($Z = \rho c$, де ρ і c відповідно щільність середовища і швидкість розповсюдження в ньому ультразвукової хвилі).

Хвилю після проходження тканини можна подати у вигляді суперпозиції хвиль

$$P_{np.} = \sum_{i=1}^N P_i = P_0 \left((G_1 W_{12} W'_{24} + G_2 W''_{12} W_{24}) \cdot e^{jK_2 d_o \frac{\pi}{4}} + \right. \\ \left. + (G_3 W'_{12} W_{23} W_{34} + G_4 W'_{13} W_{32} W_{24}) \cdot e^{2jK_{23} d_c \frac{\pi}{4}} + \right. \\ \left. + (G_1 W_{12} W'_{24} V_{24} V_{21} + G_2 W''_{12} W_{24} V_{24} V_{21}) \cdot e^{3jK_2 d_o \frac{\pi}{4}} + \right. \\ \left. + (G_3 W'_{12} W_{23} W_{34} V_{21} V_{34} (1 + V_{23})(1 + V_{32}) + G_4 W'_{13} W_{32} W_{24} V_{31} V_{24} (1 + V_{32})(1 + V_{23})) \cdot e^{6jK_{23} d_c \frac{\pi}{4}} + \dots \right) \quad (1)$$

Тоді коефіцієнт проходження можна визначити як

$$W = \frac{P_{np.}}{P_0} = G_1 W_{12} W'_{24} \cdot e^{jK_2 d_o \frac{\pi}{4}} \sum_{N=0}^{\infty} \left(V_{24} V_{21} \cdot e^{2jK_2 d_o \frac{\pi}{4}} \right)^N + \\ + G_2 W''_{12} W_{24} \cdot e^{jK_2 d_o \frac{\pi}{4}} \sum_{N=0}^{\infty} \left(V_{24} V_{21} \cdot e^{2jK_2 d_o \frac{\pi}{4}} \right)^N + \\ + G_3 W'_{12} W_{23} W_{34} \cdot e^{2jK_{23} d_c \frac{\pi}{4}} \sum_{N=0}^{\infty} \left(V_{21} V_{34} (1 + V_{23})(1 + V_{32}) \cdot e^{4jK_{23} d_c \frac{\pi}{4}} \right)^N + \\ + G_4 W'_{13} W_{32} W_{24} \cdot e^{2jK_{23} d_c \frac{\pi}{4}} \sum_{N=0}^{\infty} \left(V_{31} V_{24} (1 + V_{32})(1 + V_{23}) \cdot e^{4jK_{23} d_c \frac{\pi}{4}} \right)^N, \quad (2)$$

де W і V – відповідні коефіцієнти проходження і відбиття хвиль на межах відповідних середовищ (при цьому перший індекс позначає середовище, з якого падає хвиля, а другий – середовище в яке проходить, або від якого відбивається хвиля, верхніми позначками над індексом показано скільки разів відбувалось накладання хвиль); N – показник, що дорівнює 0, 1, 2, 3, ..., ∞ ; d_c – середній діаметр ниток основи і утка тканини; K_{23} – середнє хвильове число ниток основи і утка ($K_{23} = (K_2 + K_3)/2$); K_2, K_3 – хвильові числа матеріалу ниток основи та утка; $G_1 \div G_4$ – коефіцієнти площі розсіювання потоку енергії ультразвукових коливань; $d_o \frac{\pi}{4}, 2d_c \frac{\pi}{4}$ – показують середню відстань проходження і згасання ультразвукового сигналу в матеріалі ниток основи, основи і утка разом.

Вираз (2) є сумою нескінченно спадної геометричної прогресії. Сума такої прогресії дорівнює

$$W = \frac{(G_1 W_{12} W'_{24} + G_2 W''_{12} W_{24}) \cdot e^{jK_2 d_o \frac{\pi}{4}} + (G_3 W'_{12} W_{23} W_{34} + G_4 W'_{13} W_{32} W_{24}) \cdot e^{2jK_{23} d_c \frac{\pi}{4}}}{1 - \left((G_1 + G_2) \cdot V_{24} V_{21} \cdot e^{2jK_2 d_o \frac{\pi}{4}} + (G_3 V_{21} V_{34} (1 + V_{23})(1 + V_{32}) + G_4 V_{31} V_{24} (1 + V_{32})(1 + V_{23})) \cdot e^{4jK_{23} d_c \frac{\pi}{4}} \right)}. \quad (3)$$

Відповідні значення для W і V можна записати як

$$\begin{aligned} W_{12} &= \frac{2Z_1}{Z_1 + Z_2}, & V_{12} &= \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2}, \\ W_{13} &= \frac{2Z_1}{Z_1 + Z_3}, & V_{13} &= \frac{Z_1 - Z_3}{Z_1 + Z_3}, \\ W_{21} &= \frac{2Z_2}{Z_2 + Z_1}, & V_{21} &= \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}, \end{aligned} \tag{4}$$

$$W'_{12} = \frac{2Z_1 M}{Z_1 + Z_2},$$

$$W'_{13} = \frac{2Z_1 M}{Z_1 + Z_3}.$$

За умов коли: $Z_2 = Z_3$, $Z_1 = Z_4$ та $G_1 = G_2 \approx 0$ (при досить малих щілинах між нитками основи і утка), вираз (3) для комплексного коефіцієнту проходження W можна представити у вигляді

$$W = \frac{2 \cdot M}{2 \cos K_{23} d_{oy} \frac{\pi}{4} - j \left(R_{21} + \frac{1}{R_{21}} \right) \cdot \sin K_{23} d_{oy} \frac{\pi}{4}}, \tag{5}$$

де d_{oy} – сума діаметрів нитки основи та нитки утка; R – відношення акустичних опорів (при цьому перший індекс позначає середовище, опір якого знаходиться в чисельнику, а другий – середовище, опір якого знаходиться в знаменнику); M – величина, що характеризує накладання частини відбитої та падаючої ультразвукових хвиль, а також їхнє проходження через тканину.

Значення M можна записати як

$$M = \frac{e^{jK_{23} d_{oy} \frac{\pi}{4} (\cos \nu - 1)} - V_{12}^2 \cdot e^{jK_{23} d_{oy} \frac{\pi}{4} (\cos \nu + 1)}}{1 - V_{12}^2 \cdot e^{2jK_{23} d_{oy} \frac{\pi}{4} \cos \nu}}, \tag{6}$$

де ν – кут між вектором хвилі, що відбивається від тканини у бік приймаючого перетворювача (перетворювача ультразвукового сигналу в електричну напругу) та самою тканиною.

Для досліджуваних зразків, що за своєю структурою будуть наближатися до плоского шару $\cos \nu \rightarrow 1$, а для тих, які наближаються до структури рихлісного шару (що характерно для тканин) $\cos \nu \rightarrow 0$.

Після підстановки виразу (6) у (5) та враховуючи, що величина $(K_{23} d_{oy} \frac{\pi}{4} \cos \nu) / 2 \ll 1$, комплексний коефіцієнт проходження W можна представити як

$$W = \frac{1}{1 - j \left(R_{21} + \frac{1}{R_{21}} \right) \cdot K_{23} d_{oy} \frac{\pi}{8} \cos \nu}, \tag{7}$$

а модуль $|W|$ можна подати у вигляді

$$|W| = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\left(R_{21} + \frac{1}{R_{21}} \right) K_{23} d_c \frac{\pi}{4} \cos \nu \right)^2}}. \quad (8)$$

Швидкості розповсюдження ультразвукової хвилі в тканині та в повітрі приблизно однакові $c_2 \approx c_1$ [5]. Зважаючи на те, що величина $1/R_{21} \ll 1$, а середня щільність матеріалу ниток основи та утка $\rho_c = (\rho_o + \rho_y)/2$, при умові $\rho_o \approx \rho_y$ та $d_o \approx d_y$, вираз (8) для модуля $|W|$ комплексного коефіцієнту проходження можна записати як

$$|W| = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{(K_o + K_y)^4 (\eta f \cos \nu)^2}{(\rho_1 c_1)^2}}}, \quad (9)$$

де η – поверхнева щільність тканини полотняного переплетіння; f – частота ультразвукових коливань; ρ_1, c_1 – щільність повітря та швидкість розповсюдження у ньому ультразвукової хвилі; K_o, K_y – коефіцієнти, які враховують відстані між нитками основи, утка та їх деформацію в переплетінні між собою.

Приймаючи, що нитки основи і утка мають невелику деформацію ($K_o + K_y = 2$), модуль $|W|$ комплексного коефіцієнту проходження можна представити у вигляді

$$|W| = \frac{1}{\sqrt{1 + \eta^2 B^2}}, \quad (10)$$

де величина $B = (4f \cos \nu)/(\rho_1 c_1)$ є постійною при незмінній частоті f ультразвукових коливань.

Проаналізувавши вираз (10), можна зробити висновок, що при $\eta B \gg 1$ залежність модуля $|W|$ комплексного коефіцієнту проходження наближається до гіперболічної залежності, яку можна представити як

$$|W| = \frac{1}{\left(\frac{4\eta f \cos \nu}{\rho_1 c_1} \right)}, \quad (11)$$

або

$$|W| = \frac{1}{\eta B}. \quad (12)$$

Залежність модуля $|W|$ коефіцієнту проходження від поверхневої щільності η тканини, з врахуванням накладання частини відбитої та падаючої ультразвукових хвиль, представлена на рис.1. Для побудови графіку приймалися такі значення: акустичний опір тканини $Z_2 = 331000 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, опір повітря $Z_1 = 410 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, для матеріалу тканини щільність та швидкість розповсюдження ультразвуку $\rho_2 = 1000 \text{ кг}/\text{м}^3$, $c_2 = 331 \text{ м}/\text{с}$, для повітря – $\rho_1 = 1,24 \text{ кг}/\text{м}^3$, $c_1 = 331 \text{ м}/\text{с}$.

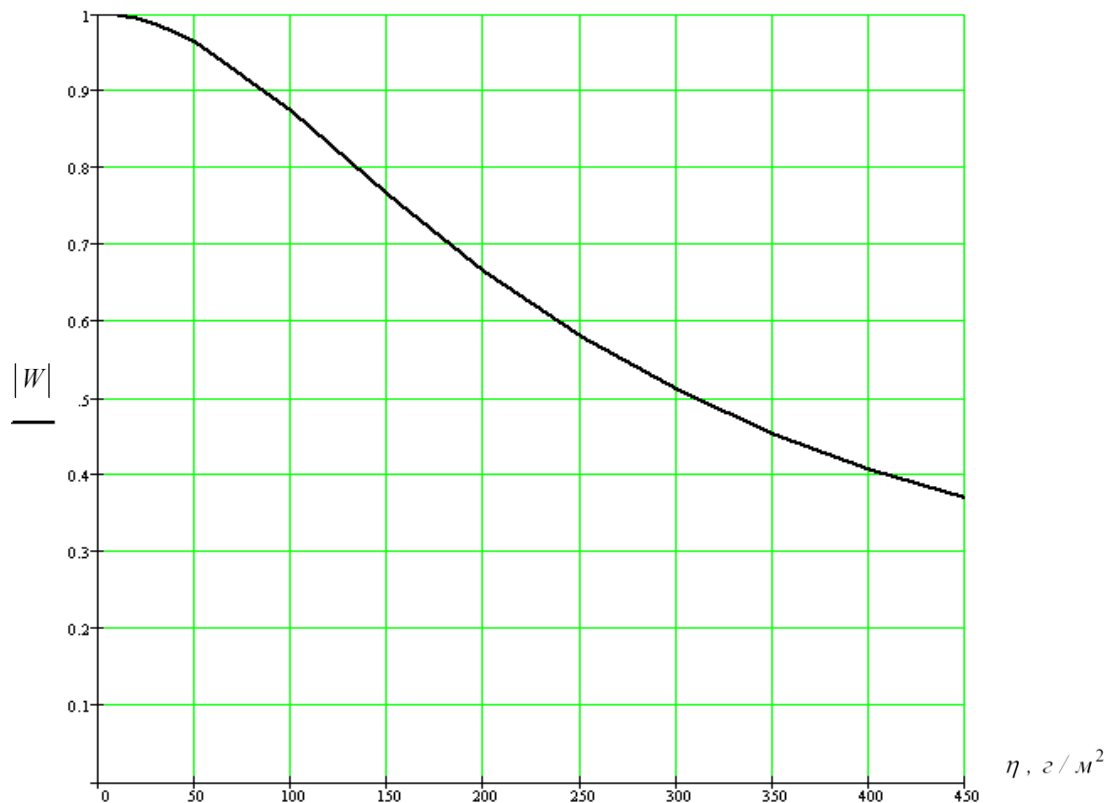


Рис.1. Залежність модуля $|W|$ коефіцієнту проходження від поверхневої щільності η

Висновки

Проведений аналіз показав, що найбільш перспективним методом визначення технологічних параметрів, зокрема поверхневої щільності тканин, є ультразвуковий. При цьому тканина опромінюється ультразвуковими хвилями, а значення поверхневої щільності визначається відношенням амплітуд ультразвукової хвилі, що пройшла тканину, і хвилі, яка падає на неї. Подальший розвиток ультразвукових засобів контролю поверхневої щільності тканин полягає у створенні наукових основ проектування приладів із виключенням впливу змін фізико-механічних параметрів матеріалу та параметрів навколишнього середовища на результат вимірювань.

ЛІТЕРАТУРА

1. Власов П.В. Исследование возможных применений радиоактивного излучения при нормализации процессов качества. – М.: Гизлегпром., –1963. – 152 с.
2. Григорьев А.Н., Берестенев В.А., Флексер Л.А., Бренер И.Р. Акустический метод исследования тканей // Текстильная промышленность. – 1976. – №7. – с. 75 – 76.
3. Шкарлет Ю.М. Бесконтактные методы ультразвукового контроля. – М.: Машиностроение, –1974. – 57 с.
4. Бреховских Л.М. Волны в слоистых средах. – М.:Наука, –1973. – 343 с.
5. Юдин Е.Я., Осипов Г.Л., Федосеева Е.Н., Блохин И.П., Киселитская Р.Д. Звукопоглощающие и звукоизоляционные материалы. – М.: – Стройиздат., –1966. – 248с.