

УДК 677

ВИМІРЮВАННЯ ТОВЩИНИ ПОЛІМЕРНИХ ПЛІВОК ЗА ДОПОМОГОЮ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ТОВЩИНОМІРА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЙОГО ХАРАКТЕРИСТИК

В.Г. ЗДОРЕНКО, С.В. БАРИЛКО

Київський національний університет технологій та дизайну

Розглянуто методи та пристрій контролю товщини полімерних плівок. Обґрунтовано доцільність використання ультразвукового безконтактного методу контролю товщини. Наведено результати теоретичних та експериментальних досліджень

В наш час велику увагу приділяють розвитку промисловості синтетичних та інших прогресивних матеріалів. Одним з основних параметрів, які регламентує ГОСТ на вироблення листових та плівкових матеріалів є їх товщина, яка багато в чому визначає як їх споживчі властивості, так і їх механічні характеристики.

Тому дослідження ультразвукового безконтактного товщиноміра з подальшим впровадженням його дозволить знизити процент браку за рахунок виключення можливості випуску виробів, товщина яких виходить за межі регламентних допусків, що підвищить їх якість, а також економію сировини, з якої виготовляють ці вироби. Крім того, визначення товщини плівок у лабораторних умовах не дозволяє вести оперативний технологічний контроль, тому безконтактний контроль товщини є дуже важливим при виготовленні полімерних плівок.

Об'єкти та методи дослідження

Одним із безконтактних методів, що може застосовуватися для контролю товщини плівок є пневматичний метод [1, 2]. Однак, до недоліків, що обмежують застосування пневматичних методів і засобів контролю товщини, потрібно віднести наступне: необхідність проведення зтисненого повітря, яке має високий ступінь очистки від масла та інших домішок, вузький діапазон контрольованих товщин, а також необхідність використання спеціальної базової поверхні, по якій переміщується контрольований виріб. У зв'язку з цим пневматичні методи і засоби важко застосовувати для контролю товщини у виробничих умовах.

Основним безконтактним методом, який може бути використаний для оперативного технологічного контролю товщини полімерних матеріалів, є радіоізотопний [3]. Однак, застосування таких пристроїв не дає високої точності вимірювання, що обумовлено значними похибками при горизонтальних переміщеннях контрольованих виробів у ході технологічного процесу. Необхідність коригування показників внаслідок зниження активності джерела радіоактивного випромінювання з часом, висока вартість експлуатації та утилізації, а також необхідність забезпечення захисту персоналу суттєво обмежують широке застосування таких пристроїв.

Постановка завдання

Для технологічного контролю товщини полімерних плівок, як показав проведений аналіз, доцільно використовувати ультразвукові безконтактні методи [4], які мають низку суттєвих переваг порівняно з іншими безконтактними методами: відносна простота випромінювання та прийому ультразвукових коливань, достатньо висока точність вимірювання, простота настройки та обслуговування

апаратури [5]. У статті наведені результати аналізу можливості застосування ультразвукового безконтактного методу та пристрою для контролю товщини полімерних плівок.

Результати та їх обговорення

При контролі товщини виробів тінювим методом, коли випромінюючий і приймаючий перетворювачі знаходяться в різних сторонах від контрольованого виробу (контрольований виріб знаходиться між перетворювачами) можна використовувати як безперервний, так і імпульсний режими роботи випромінюючого перетворювача. Однак при використанні безперервного випромінювання виникає значна похибка контролю, яка обумовлена тим, що результуючий сигнал на приймаючому перетворювачі представляє собою суперпозицію сигналів, що пройшли контрольований виріб, багаторазово відбитих від поверхні перетворювачів та поверхні контрольованого виробу. Аналіз цього процесу [6] показав, що амплітудні і фазові співвідношення сигналу на приймаючому перетворювачі залежать як від товщини контрольованого виробу, так і від його положення між перетворювачами, тобто для забезпечення необхідного контролю товщини потрібна жорстка стабілізація положення контрольованого виробу між перетворювачами. Цю вимогу практично неможливо виконати при контролі товщини виробів в реальному технологічному процесі, де можуть бути вібрації та зміна натягу контрольованого виробу, особливо при контролі плівкових виробів та великих швидкостях руху. Таким чином, необхідно використовувати імпульсний режим, при якому виключаються похибки контролю, що виникають із-за явищ, згаданих вище.

Розповсюдження імпульсного ультразвукового сигналу в середовищах досліджувалось багатьма авторами [7, 8], але, в основному розглядалися, випадки проходження сигналу в безмежному середовищі із згасанням, або через тонку пластинку, згасанням в якій нехтували.

Розглянемо проходження ультразвукового сигналу через контрольований виріб товщини h з акустичним опором Z_2 , який помістили в середовище з акустичним опором Z_1 . При цьому, якщо час проходження імпульсом контрольованого виробу більший за тривалість імпульсу, то проходження сигналом контрольованого виробу відповідає розповсюдженню в безмежному середовищі. При контролі плівкових виробів тривалість імпульсу перевищує час проходження імпульсом контрольованого виробу. В цьому випадку буде відбуватися багаторазове відбиття окремих складових імпульсу від меж виробу і середовищ. Далі будемо розглядати цей випадок.

Ультразвуковий імпульс, що пройшов контрольований виріб може бути представлений наступним чином:

$$P_1(t') = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} W(\omega) S(\omega) e^{j\omega t'} d\omega, \quad (1)$$

де $S(\omega)$ – спектральна щільність падаючого імпульсу;

$W(\omega)$ – комплексний коефіцієнт проходження;

t' – час з урахуванням запізнювання проходження контрольованої полімерної плівки імпульсом

$(t' = t - \frac{h}{c_2})$, звідки c_2 - швидкість розповсюдження ультразвукового імпульсу у середовищі плівки.

Комплексний коефіцієнт проходження з урахуванням згасання може бути представлений у вигляді

$$W(\omega) = \frac{4Z_1Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2} \cdot e^{j\left(\frac{\omega}{c_2} + j\alpha\right)h} \cdot \frac{1}{1 - \left(\frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2}\right)^2 \cdot e^{2j\left(\frac{\omega}{c_2} + j\alpha\right)h}}, \quad (2)$$

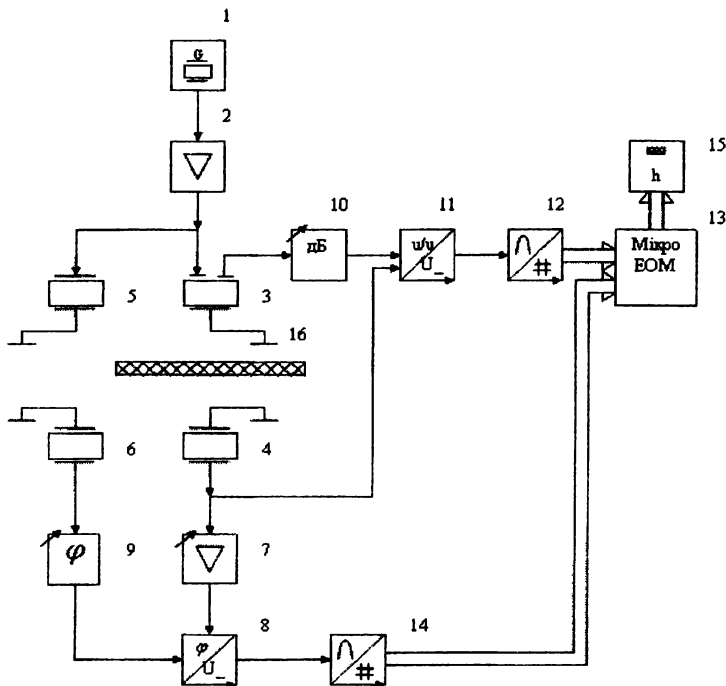
де α – коефіцієнт згасання на частоті ω , або

$$W(\omega) = (1 - R^2) \frac{e^{j\frac{\omega h}{c_2} - \alpha(\omega)h}}{1 - R^2 \cdot e^{2j\frac{\omega h}{c_2} - 2\alpha(\omega)h}}, \quad (3)$$

де $R = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2}$ – коефіцієнт відбиття від межі “контрольований виріб – середовище”;

$\alpha(\omega)$ – коефіцієнт згасання.

На рисунку показано структурну схему пристрою, який реалізує метод контролю з використанням амплітудних і фазових співвідношень ультразвукового сигналу, що пройшов контрольований виріб.



Пристрій містить генератор 1, підсилювач потужності 2, випромінюючі перетворювачі 3 і 5, приймаючі перетворювачі 4 і 6, підсилювач з АРУ 7, фазовий детектор 8, регулюючий фазообертач 9,

регулюючий аттенуатор 10, блок відношення 11, АЦП 12 і 14, мікро-ЕОМ 13, індикатор 15, контрольований виріб 16.

Електричні коливання виходу з генератора 1 стабільної частоти f підсилюються підсилювачем 2 за потужністю і поступають на перший електрод випромінюючого перетворювача 3. Ультразвукові коливання, що випромінюються приймаються перетворювачем 4, після проходження ними контрольованого виробу 16. Електричні коливання частоти f подаються також на випромінюючий перетворювач 5, який випромінює ультразвукові коливання, що потрапляють в приймаючий перетворювач 6. При цьому різниця фазових зсувів між сигналами на перетворювачах 4 і 6 буде складати

$$\Delta\varphi = -K_1 h + \arctg \frac{1}{2} \left(\varepsilon + \frac{1}{\varepsilon} \right) \operatorname{tg} K_2 h, \quad (4)$$

де $\varepsilon = \frac{Z_2}{Z_1}$ - відношення акустичних опорів матеріала плівки, що контролюється і оточуючого

середовища;

K_1 і K_2 - хвильові числа середовища та матеріалу плівки.

Цей фазовий зсув перетворюється фазовим детектором 8 в постійну напругу, яка з допомогою АЦП 14 перетворюється в цифровий код і записується на пам'ять в мікро-ЕОМ 13.

Електричні коливання з другого електроду перетворювача 3, амплітуда яких пропорційна амплітуді випромінюваних ультразвукових коливань, подається на один вхід блоку відношення 11, на інший вхід подається вихідна напруга приймаючого перетворювача 4. Вихідну напругу блоку відношення 11 можна подати в наступному вигляді

$$|W| = \frac{1}{\sqrt{\cos^2 \frac{\omega h}{c_2} + \frac{1}{4} \left(\varepsilon + \frac{1}{\varepsilon} \right)^2 \sin^2 \frac{\omega h}{c_2}}}. \quad (5)$$

Ця напруга перетворюється за допомогою АЦП 12 в цифровий код і записується на пам'ять мікро-ЕОМ 13.

При виконанні співвідношення $\frac{\omega h}{c_2} \ll 1$ із виразів (4) і (5) можна визначити товщину контрольованого виробу

$$h = \frac{\arctg \left(\frac{\sqrt{1 - |W|^2}}{|W|} - \Delta\varphi \right) c_1}{2\pi f}, \quad (6)$$

де c_1 - швидкість розповсюдження ультразвуку в повітряному середовищі.

З допомогою мікро-ЕОМ 13 визначається товщина h контрольованої плівки за формулою (6), а результат відображається на індикаторі 15. В пам'ять мікро-ЕОМ у вигляді констант введенні значення частоти f і швидкості розповсюдження ультразвукових коливань c_1 в навколишньому середовищі. При відсутності контрольованого виробу 16 у вимірному каналі перед початком вимірювань з

допомогою регулюючого фазообертача 9 приводиться урівнювання фазових набігів в опорному та вимірювальному каналах (при цьому $\Delta\varphi = 0$), а за допомогою регулюючого аттенюатора 10 – урівнювання амплітуд на входах блоку 11 (при цьому $|W| = 1$). Тоді із виразу (6) отримаємо $h = 0$.

Як впливає із виразу (6) на результат контролю не впливають зміни фізико-механічних параметрів матеріалу контрольованої плівки, а також не потрібне калібрування пристрою на зразок контрольованого виробу відомої товщини.

Дослідження проводилися на різних підприємствах України по виготовленню полімерних виробів.

Висновки

В результаті проведених теоретичних досліджень обґрунтована можливість застосування ультразвукового безконтактного методу для контролю товщини. Проведені експериментальні дослідження ультразвукового безконтактного пристрою показали доцільність його використання для оперативного технологічного контролю товщини полімерних плівок. Застосування розглянутого товщиноміру зможе виключити похибку вимірювання, яка обумовлена зміною фізико-механічних параметрів матеріалу контрольованого виробу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Высоцкий А.В., Курочкин А.П. Конструирование и наладка пневматических устройств для линейных измерений. – М.: Машиностроение, 1977. – 153 с.
2. Цидулко Ф.В. Точность пневматического контроля линейных размеров. – М.: Издательство стандартов, 1976. – 155 с.
3. Шумиловский И.Н., Мельцер Л.В. Основы теории устройств автоматического контроля с использованием радиоактивных изотопов. – М: Изд-во АН СССР, 1957. – 207 с.
4. Шкарлет Ю.М. Бесконтактные методы ультразвукового контроля. – М.: Машиностроение, 1974. – 57 с.
5. Горбатов А.А., Рудашевский Г.Е. Акустические методы измерения расстояний и управления. – М.: Энергоиздат, 1981. – 208 с.
6. Крылович В.И., Логвинович П.Н. Влияние многократных отражений ультразвука на результаты измерения толщины пластин нестационарным частотно-фазовым методом // Весты АН БССР, сер. физ. – техн. Наук. – 1986. - №1. – с. 98 – 101.
7. Кондратьев Ю.А., Половинкин А.В. Исследование искажений акустического сигнала при его распространении в среде с частотно-зависимым коэффициентом затухания // Технические средства диагностирования. – М.: 1987. – с. 3-12.
8. Меркулова В.М. О точности импульсного метода измерения затухания и скорости ультразвука // Акустический журнал. – 1966. -- №12. – с. 474 – 478.

Надійшла 30.08.2010