

УДК 677.052

УЛЬТРАЗВУКОВИЙ КОНТРОЛЬ НАТЯГУ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

В.Г. ЗДОРЕНКО, В.Ю. САННІКОВ, В.К. ЧОРНОМОРЧЕНКО

Київський національний університет технологій та дизайну

Розглянуті методи технологічного контролю натягу текстильних матеріалів. Показана доцільність використання ультразвукових методів. Приведено результати теоретичних та експериментальних досліджень

Натяг, з яким подаються нитки, формується та відводиться готова тканина або трикотажне полотно є одним з основних технологічних параметрів. При цьому дотримання необхідного та стабільного значення натягу дозволяє отримати продукцію високої якості, зменшити відсоток браку та підвищити продуктивність роботи технологічного обладнання.

Об'єкти та методи дослідження

Для контролю натягу тканини або трикотажного полотна може використовуватись метод [1], у якому вимірюється реакція опори ролика, який огинається тканиною з кутом обхвату, що дорівнює π радіан, лінійна щільність, швидкість руху та момент на вимірювальному ролику. При цьому натяг розраховується по цих параметрах. Цей метод має невелику точність, обумовлену похибками вимірювання потрібних параметрів, а також складністю апаратурної реалізації. Для безконтактного вимірювання натягу може бути застосований ультразвуковий пристрій [2]. Однак, при застосуванні відомих пристроїв в реальному технологічному процесі, де мають місце вібрації поверхні контрольованого матеріалу та низка дестабілізуючих чинників, виникають значні похибки вимірювання натягу. Для контролю натягу ниток найбільш поширеними у теперішній час є електронні пристрої, у яких перетворювач натягу нитки в електричний сигнал виконується у вигляді пружного елементу у формі консольної балки, на поверхнях якої закріплені тензодатчики, що з'єднані у чотирьохплечу мостову схему та прилади, у яких вимірюється рівнодіюча, що прикладається до ниткопровідника, який охоплюється ниткою [3]. Крім того, у останній час використовуються оптичні пристрої, у яких використовується примусова вібрація нитки за допомогою спеціальної форсунки з наступним визначенням частоти коливань за допомогою фотоприймача [4].

До недоліків пристроїв з використанням рівнодіючої слід віднести залежність показів пристрою від коефіцієнту тертя нитки, а пристроїв з використанням вібрації нитки – від низки неінформативних параметрів (лінійна щільність нитки та її склад) та складність застосування оптичних приладів у виробничих приміщеннях, що обумовлено значним їх запиленням. Крім того використання спеціальних пневматичних форсунок можливо тільки в стаціонарних умовах. Тому на більшості технологічних машин, що використовуються в теперішній час, відсутній технологічний контроль натягу ниток та готового текстильного матеріалу.

Постановка завдання

Ультразвукові методи контролю параметрів технологічних процесів знаходять широке застосування завдяки простоті випромінювання та приймання ультразвукових коливань, незалежності результатів від хімічного та оптичного забруднення виробничих приміщень, простоті обслуговування, відносно малій вартості апаратури та високої надійності у роботі [5]. Метою статті є дослідження можливості застосування ультразвукового методу для технологічного контролю натягу текстильних матеріалів.

Результати та їх обговорення

Відомо, що велике затухання ультразвукових коливань при їх розповсюдженні у повітряному середовищі обмежує діапазон частот, що використовуються при цьому, величинами 80 – 100 кГц. При малих товщинах тканин та трикотажу на цих частотах у них можуть розповсюджуватись нормальні хвилі (хвилі Лемба) нульового порядку (симетрична s_0 та антисиметрична a_0). При значеннях параметра $d/\lambda \ll 1$,

де d – товщина тканини або трикотажу, λ – довжина ультразвукової хвилі, що має місце при частотах 80 – 100 кГц, а також при застосуванні безконтактного контролю (при введенні ультразвукових коливань в контрольований матеріал через повітряне середовище), в них може розповсюджуватись тільки симетрична нульова хвиля Лемба s_0 [6]. При цьому хвиля s_0 розповсюджується без частотної дисперсії [7], що виключає можливість появи спотворень ультразвукового імпульсного сигналу при його розповсюдженні в контрольованому матеріалі. При цьому кут θ між нормаллю до площини матеріалу та хвильовим вектором ультразвукової хвилі визначається з умови співпадіння фазової швидкості у повітряному середовищі (v_0) з швидкістю хвилі s_0 (v_1) наступним чином $\theta = \arcsin\left(\frac{v_0}{v_1}\right)$. Прийом ультразвукового сигналу здійснюється безконтактно у зоні згину, що дозволяє значно зменшити шуми, які збуджуються при використанні контактних перетворювачів. При цьому використовується явище підсиленого перевипромінювання ультразвукових хвиль у зоні згину контрольованого матеріалу [6].

Для проведення досліджень було створено експериментальну установку, структурна схема якої приведена на рис. 1. У якості випромінювача та приймача ультразвукових коливань було використано ультразвукові стрижневі перетворювачі з пластинчатим резонатором та рупорним пристрієм [8]. Для проведення експериментів було використано 3 зразка тканини виробництва ОАО «Херсонський бавовняний комбінат»: «Платан – 2» (арт. 5222), поверхнева густина 262 г/м²; «Дельта» (арт. 5018), поверхнева густина 395 г/м² та «Дружба» (арт. 4994), поверхнева густина 493 г/м². Всі тканини мають великовізерункове переплетіння.

Для контролю поверхневої густини зразків тканини використовувався ваговий метод згідно ГОСТ 3811 – 72 (ИСО 3932 – 76, ИСО 3933 – 76, ИСО 3801 – 77) «Материалы текстильные».

Ткани нетканые, полотна и штучные изделия. Методы определения линейных размеров, линейной и поверхностной плотности». Ширина зразків дорівнювала 0,10 м, діаметр D ролика

дорівнював 0,12 м. Величина кута θ визначалась експериментально по максимуму амплітуди прийнятого ультразвукового сигналу і складала $52^{\circ} - 56^{\circ}$ для всіх зразків тканин. Вісь ультразвукового приймача 5 розташовувалась перпендикулярно площині контрольованого матеріалу. Відстань L дорівнювала 0,24 м і вибиралась з умови відсутності прямого проходження ультразвукового імпульсу між ультразвуковим випромінювачем 4 та ультразвуковим приймачем 5. Результати експериментальних досліджень приведено на рис. 2. Як видно з отриманих залежностей, при збільшенні натягу тканини збільшується амплітуда прийнятого ультразвукового сигналу U . При цьому збільшення поверхневої густини зразків призводить до збільшення амплітуди U (при одному й тому ж значенні натягу P).

За результатами експериментальних досліджень було отримано наступні залежності амплітуди ультразвукового сигналу U від натягу P :

для тканини «Платан-2»

$$U = -3,86 \cdot 10^{-5} P^2 + 0,027P + 0,112 \quad (1)$$

для тканини «Дельта»

$$U = -4,66 \cdot 10^{-5} P^2 + 0,038P + 0,163, \quad (2)$$

для тканини «Дружба»

$$U = -7,56 \cdot 10^{-5} P^2 + 0,053P + 0,118, \quad (3)$$

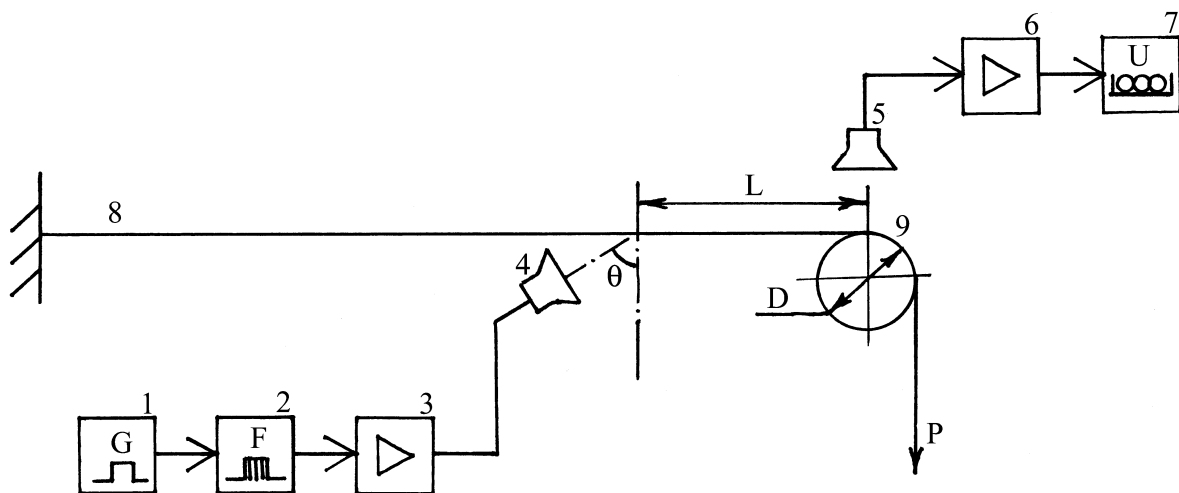


Рис.1. Структурна схема експериментальної установки

1 – генератор Г6-31; 2 – формувач імпульсів, 3, 6 – підсилювачі; 4 – ультразвуковий випромінювач;
5 – ультразвуковий приймач; 7 – імпульсний вольтметр В4-20; 8 – тканина; 9 – ролик

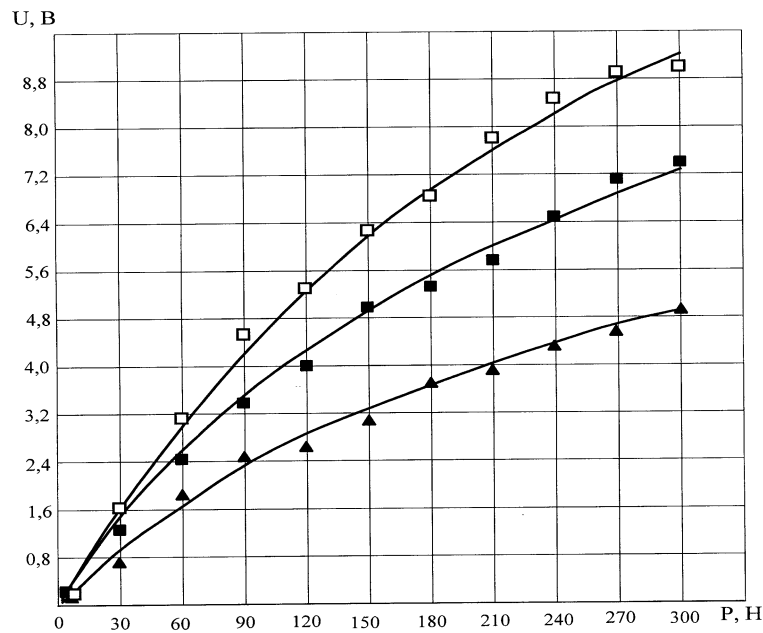


Рис.2. Результати експериментальних досліджень

▲ – для тканини «Платан-2»; ■ – для тканини «Дельта»; □ – для тканини «Дружба»

При цьому досягнута досить висока чутливість (не менш ніж $1,6 \cdot 10^{-2}$ В/Н). Якщо враховувати, що відносна похибка імпульсного вольтметра В4-20 не перевищує $\pm 2\%$ при тривалості імпульсу більш ніж $0,5 \cdot 10^{-6}$ с та несучій частоті $200 - 10^5$ Гц [9], то похибка вимірювання натягу не перевищує ± 6 Н. Таким чином, ультразвуковий амплітудний метод доцільно використовувати для безперервного технологічного контролю натягу текстильних матеріалів.

Проведені дослідження [10] показали, що між швидкістю (або амплітудою) ультразвукових коливань подовжніх хвиль у волокнах та нитках та величиною механічної напруги (або натягу) існує досить слабка залежність. Тому для вирішення поставленої задачі доцільно використовувати згинальні хвилі.

Будемо розглядати нитку у вигляді тонкого стрижня, у якому розповсюджується згинальна хвиля. При цьому коливання її частинок відбуваються у напрямку, перпендикулярному вісі нитки та супроводжуються її згином. При цьому рівняння руху частинок тонкого стрижня мають наступний вигляд [11]:

$$\rho L \frac{\partial^2 u_z}{\partial t^2} = EJ_y \frac{\partial^4 u_z}{\partial x^4}, \quad \rho L \frac{\partial^2 u_y}{\partial t^2} = EJ_z \frac{\partial^4 u_y}{\partial x^4}, \quad (4)$$

де z та y – зміщення від положення до згину; ρ – об'ємна щільність матеріалу нитки; ρL – лінійна щільність нитки; x – координата вздовж вісі нитки; J_z та J_y – моменти інерції (якщо вважати, що нитка має приблизно круглий переріз, то $J_z = J_y$).

В результаті рішення рівнянь (4) можливо визначити швидкість розповсюдження хвилі згину:

$$c_3 = (wd)^{1/2} (E/\rho)^{1/4} \quad (5)$$

де w – кругова частота коливань; d – діаметр нитки; E – модуль Юнга.

Таким чином, швидкість розповсюдження хвилі згину залежить від частоти коливань w , діаметру нитки d , а також від фізико-механічних параметрів матеріалу нитки (модулю Юнга E та об'ємної щільності ρ). Оскільки швидкість подовжніх ультразвукових хвиль дорівнює $\sqrt{E/\rho}$ та, як було визначено раніше, практично не залежить від натягу нитки, то на зміну швидкості згинальної ультразвукової хвилі c_3 при постійному значенні частоти w в основному впливають зміни діаметру d нитки при зміні натягу.

Для проведення експериментальних досліджень було використано експериментальну установку, структурна схема якої приведена на рис. 3. Оскільки зміни швидкості розповсюдження ультразвукової хвилі призводять до зміни фазового зсуву $\Delta\varphi$ між ультразвуковою хвилею, що випромінюється та ультразвуковою хвилею, що приймається після проходження відрізка нитки(пряжі) заданої довжини L , то в експерименті визначалось значення фазового зсуву $\Delta\varphi$. У якості випромінювача та приймача ультразвукових коливань використовувались перетворювачі з хвилеводами [12], застосування яких дозволяє суттєво підвищити точність вимірювань та робить процес вимірювань більш оперативним. Для проведення експериментальних досліджень було вибрано бавовняну пряжу кардного прядіння 29 текс (розрахунковий діаметр $d = 0,215$ мм), вовняну пряжу (гребінну) 31 текс (розрахунковий діаметр $d = 0,238$ мм), віскозну комплексну нитку 29 текс (розрахунковий діаметр $d = 0,221$ мм) та капронову комплексну нитку 31,2 текс (розрахунковий діаметр $d = 0,216$ мм). Вибір для дослідження ниток (пряжі), що мають приблизно один діаметр, ставив метою визначення характеру зміни фазового зсуву від натягу для ниток (пряжі), що мають різні фізико-механічні характеристики. Значення акустичної бази L визначалось експериментально з необхідності забезпечення режиму бігучої хвилі та складало 180 мм. Результати експериментальних досліджень приведено на рис. 4.

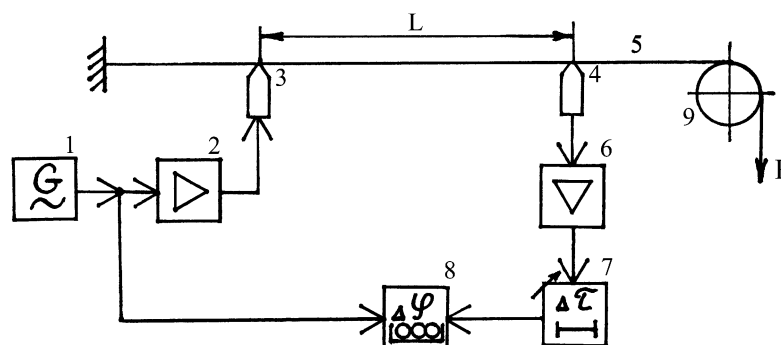


Рис.3. Структурна схема експериментальної установки

1 – генератор ГЗ-110; 2, 6 – підсилювачі; 3 – ультразвуковий випромінювач; 4 – ультразвуковий приймач;
5 – нитка (пряжа); 7 – регульована лінія затримки; 8 – фазометр Ф2-34; 9 – ролик

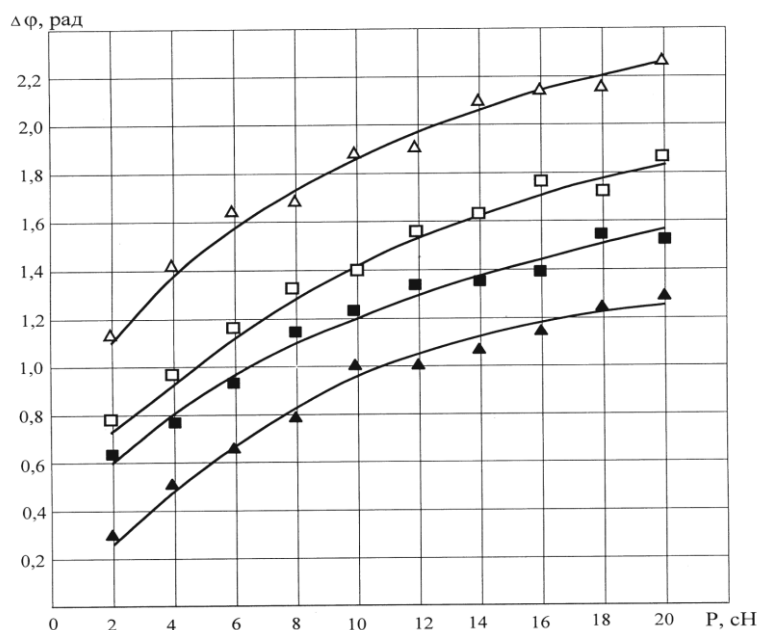


Рис. 4. Результати експериментальних досліджень

▲ – для бавовняної пряжі 29 текс; ■ – для вовняної пряжі 31 текс; □ – для капронової комплексної нитки 31 текс; ▲ – для віскозної комплексної нитки 29 текс

За результатами експериментальних досліджень було отримано наступні залежності фазового зсуву $\Delta\varphi$ від натягу P :

для бавовняної пряжі 29 текс

$$\Delta\varphi = -2,1 \cdot 10^{-3} P^2 + 0,24P + 0,14, \quad (6)$$

для вовняної пряжі 31 текс

$$\Delta\varphi = -2,32 \cdot 10^{-3} P^2 + 0,18P + 0,43, \quad (7)$$

для капронової комплексної нитки 31 текс

$$\Delta\varphi = -1,83 \cdot 10^{-3} P^2 + 0,31P + 0,54, \quad (8)$$

для віскозної комплексної нитки 29 текс

$$\Delta\varphi = -2,82 \cdot 10^{-3} P^2 + 0,16P + 0,92 \quad (9)$$

При цьому досягнута досить висока чутливість (приблизно $5 \cdot 10^{-2}$ рад/сН). Якщо врахувати, що основна похибка фазометра Ф2-34 не перевищує $7 \cdot 10^{-4}$ рад, то такий метод доцільно застосовувати для контролю малих коливань натягу ниток.

Висновки

Проведені теоретичні та експериментальні дослідження дозволяють зробити висновок про доцільність використання ультразвукових методів для технологічного контролю натягу текстильних матеріалів (амплітудного – для полотен, а фазового – для ниток). Застосування розроблених методів контролю натягу на підприємствах легкої промисловості дасть можливість зменшити кількість браку, економити значну кількість сировини та підвищити продуктивність роботи технологічного обладнання.

ЛІТЕРАТУРА

1. А.с. СССР № 1770787, МКИ⁵ G01L 5/04. Способ определения натяжения ткани / Краснов А.А., Мигушов И.И. Оpubл. 23.10.92. Бюл. № 39.
2. А.с. СССР № 781627, МКИ³ G01L 5/10. Устройство для измерения натяжения ленты / Клименко В.Н., Воронцов Г.В., Лисовская Г.Г. и Мартынов В.В. Оpubл. 23.11.80. Бюл. № 43.
3. Вакс Е.Э. Измерение натяжения нитей. -М.: Легкая индустрия, 1966. – 232 с.
4. Патент України № 52230, МКВ G01L5/04, G01L5/10. Сенсор визначення натягу нитки / Марончук І.Є., Данилець Є.В, Кучерук О.Д., Славінська Я.В., Коленчук Д.М., Домбровський А.Г., Бюл. пром. влас., 2002, № 12.
5. Горбатов А.А., Рудашевский Г.Е. Акустические методы измерения расстояний и управления. – М.: Энергоиздат, 1981. – 208 с.
6. Р.-Й. Кажис. Ультразвуковые информационно-измерительные системы. – Вильнюс: Мокслас, 1986. – 216 с.
7. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий. Справочник. В 2-х книгах. Кн. 2/ Под ред. В.В. Клюева.- 2-е изд., перераб и доп. – М.: Машиностроение, 1986. – 352 с.
8. Здоренко В.Г. Ультразвуковий перетворювач для повітряного середовища. Сучасні інформаційні та енергозберігаючі технології життєзабезпечення людини. Збірник наукових праць. Випуск № 6. – Київ, Фада, ЛТД, 1999, с. 447 – 450.
9. Измерения в электронике: Справочник/ В.А. Кузнецов, В.А. Долгов, В.М. Коневских и др.; Под ред. В.А.Кузнецова. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 512 с.
10. Хакимов О.Ш., Хабибуллаев П.К. Акустические методы и приборы для контроля и исследования ориентированных полимеров. - Ташкент: ФАН, 1990. – 268 с.
11. Ландау Л.Д., Лившиц Е.М. Теоретическая физика. Т.II. Теория упругости.- М.:Наука, 1987. – 246 с.
12. Дзенис В.В. Применение ультразвуковых преобразователей с точечным контактом для неразрушающего контроля. – Рига: Зинатне, 1987. – 263 с.