УДК 685.31

В.Ю. ЩЕРБАНЬ, М.І. ШОЛУДЬКО, О.З. КОЛИСКО, В.Ю. КАЛАШНИК
Київський національний університет технологій та дизайну

ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ВЗАЄМОДІЇ НИТКИ З НАПРЯМНИМИ З УРАХУВАННЯМ АНІЗОТРОПІЇ ФРИКЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ

В роботі наведені результати по визначенню натягу нитки, яка взаємодіє з напрямною поверхнею з урахуванням анізотропії сили тертя як самої нитки так і напрямної поверхні. При проведенні досліджень використовувалися циліндричні напрямні поверхні великої та малої кривизни, плоскі напрямні. Отримані результати використовувалися для удосконалення технологічних процесів текстильної промисловості.

Ключові слова:нитка, напрямна поверхня, радіус кривини, натяг.

V.YU. SHERBAN, M.I. SHOLUDKO, O.Z. KOLISKO, V.YU. KALASHNIK
Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv, Ukraine

OPTIMIZATION OF PROCESS OF INTERACTION OF THE THREAD WITH DIRECTING TAKING INTO ACCOUNT ANISOTROPY OF FRICTIONAL PROPERTIES

Abstract - Longitudinal and cross-section sliding of threads on directing with constant curvature of a surface or on a plane takes place at formation of an element of a fabric and jersey, at interaction of threads with directing bodies of sewing and textile cars. Definition of a tension and the axis form, taking into account anisotropy of frictional properties as threads and directing, allows to select their optimum parametres at the initial stage of designing of technological processes. Thus, the theme of given article is actual which has great value for improvement of technological processes of the textile and knitted industry.

Objects and research methods. Improvement of technological processes of the easy and textile industry as objects of research, should be based on complex researches of process of interaction of threads with directing surfaces of the big and small curvature, planes taking into account anisotropy of frictional properties as threads and directing. The received results will allow to optimise process of interaction of threads with directing taking into account anisotropy of frictional properties as threads and directing in a zone of formation of a fabric and jersey, to reduce percent of breakages of threads, to improve quality of finished goods. Problem statement. To optimise process of interaction of a thread with directing surfaces of the big and small curvature, planes taking into account anisotropy of frictional properties as threads and directing.

The basic dependences for optimisation of process of interaction of a thread with directing from the point of view of minimisation of size of energies of a friction are defined. It has allowed to define the form of its axis and its tension in any point, to improve process of its processing on the process equipment of the textile and knitted industry.

The greatest tension will be had by threads with the greatest value of effective factor of a friction. The real tension, on the average, at anisotropic threads in comparison with isotropic will be more on 20-30 %.

Keywords: filament,directing a surface,curvature radius,tension.

Вступ

Подовжнє і поперечне ковзання ниток по напрямних з постійною кривизною поверхні або по площині має місце при формуванні елементу тканини і трикотажу, при взаємодії ниток з направляючими органами швейних і текстильних машин [1-3]. Визначення натягу і форми осі, з урахуванням анізотропії фрикційних властивостей як ниток [3] так і напрямних, дозволяє на початковому етапі проектування технологічних процесів вибрати їх оптимальні параметри. Таким чином, тема даної статті є актуальною, яка має важливе значення для удосконалення технологічних процесів текстильної і трикотажної промисловості.

Об'єкти і методи дослідження. Удосконалення технологічних процесів легкої і текстильної промисловості, як об'єктів дослідження, повинне базуватися на комплексних дослідженнях процесу взаємодії ниток з направляючими поверхнями великої і малої кривизни [2], площинами з урахуванням анізотропії фрикційних властивостей як ниток так і напрямних. Отримані результати дозволять оптимізувати процес взаємодії ниток з напрямними з урахуванням анізотропії фрикційних властивостей як ниток так і напрямних в зоні формування тканини і трикотажу, зменшити відсоток обривів ниток, поліпшити якість готової продукції.

Постановка завдання

Оптимізувати процес взаємодії нитки з направляючими поверхнями великої і малої кривизни, площинами з урахуванням анізотропії фрикційних властивостей як ниток так і напрямних.

Основна частина

Рис.1. Анізотропія фрикційних властивостей напрямної

Будова поверхонь робочих органів трикотажних і текстильних машин (рис.1), а також самих ниток

(рис.2) свідчать про те, що величина сили тертя в ортогональних напрямах (наприклад дотичній і нормалі до точки на осі нитки) відрізнятимуться. Це дозволяє говорити про необхідність врахування анізотропії фрикційних властивостей.

У загальному випадку величина сили тертя визначається з виразу [3]

$$F = N\sqrt{k_1^2 + k_2^2}, \tag{1}$$

де F - сила тертя; N - сила нормального тиску; $k = \sqrt{k_1^2 + k_2^2}$ - ефективний коефіцієнт тертя [1].

Для двох ортогональних напрямів (дотична і нормаль) вираз ефективного коефіцієнта тертя матиме вигляд

$$k = \sqrt{k_1^2 + k_2^2} = \sqrt{m_2^2\, cos^2\, b + m_1^2\, sin^2\, b}. \tag{2}$$

де m_1, m_2 - коефіцієнти тертя нитки в двох ортогональних напрямах; b - кут, який утворює вектор швидкості з дотичної до осі нитки.

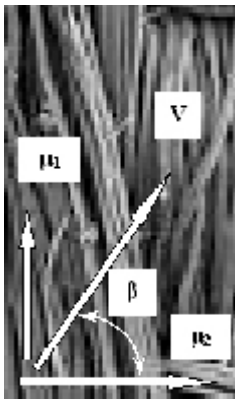

Рис.2. Анізотропія фрикційних властивостей нитки

Для теоретичного дослідження впливу матеріалу нитки і анізотропії тертя на натяг і форму її осі були вибрані комплексні нитки та пряжа (рис.2), які мають значну анізотропію фрикційних властивостей в двох ортогональних напрямках – вздовж окремих філаментів та перпендикулярно до них.

Знайдемо похідну від ефективного коефіцієнта тертя по куту b та прирівняємо її нулю

$$\frac{\partial}{\partial b}\left(\frac{F}{N}\right) = \frac{\partial}{\partial b}\left(\sqrt{m_2^2\, cos^2\, b + m_1^2\, sin^2\, b}\right) = \\ = \frac{-m_2^2\, cos\, b\, sin\, b + m_1^2\, cos\, b\, sin\, b}{\sqrt{m_2^2\, cos^2\, b + m_1^2\, sin^2\, b}} = 0. \tag{3}$$

Це рівняння буде можливим у двох випадках

$$sin\, b = 0,\ b = 0,\quad cos\, b = 0,\quad b = p\,/\,2.$$

Знайдемо другу похідну, для чього рівняння (3) ще раз продифференцюємо по b

$$\frac{\partial^2}{\partial b^2}\left(\frac{F}{N}\right) = \frac{-\left(m_2^2\, cos\, b\, sin\, b - m_1^2\, cos\, b\, sin\, b\right)^2}{\left(m_2^2\, cos^2\, b + m_1^2\, sin^2\, b\right)^{\frac{3}{2}}} - \frac{m_2^2\, cos^2\, b - m_2^2\, sin^2\, b - m_1^2\, cos^2\, b + m_1^2\, sin^2\, b}{\sqrt{m_2^2\, cos^2\, b + m_1^2\, sin^2\, b}}. \tag{4}$$

В характерних точках $b = 0,\ b = p\,/\,2$ значення других похідних наведено в системі рівнянь (5). У випадку $b = 0$ ефективний коефіцієнт тертя буде мати своє максимальне значення, а у випадку $b = p\,/\,2$ - мінімальне значення.

$$\frac{\partial^2}{\partial b^2}\left(\frac{F}{N}\right) = \frac{m_2^2 - m_1^2}{m_1},\quad b = \frac{p}{2},\qquad \frac{\partial^2}{\partial b^2}\left(\frac{F}{N}\right) = \frac{-m_2^2 + m_1^2}{m_2},\quad b = 0,\qquad m_2 > m_1, \\ b = 0 \to \frac{\partial^2}{\partial b^2}\left(\frac{F}{N}\right) < 0 \to max,\quad b = \frac{p}{2} \to \frac{\partial^2}{\partial b^2}\left(\frac{F}{N}\right) > 0 \to min. \tag{5}$$

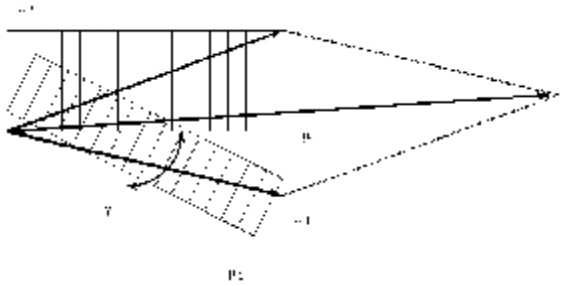

Рис.3. Розрахункова схема

В загальному випадку, враховуючи структуру направляючої (рис.1) та самої нитки (рис.2), анізотропия фрикційних властивостей може бути представленою системою нерівностей $m_1 > m_2$, $m_3 > m_4$.

У разі, коли $m_1 = m_2$, $m_3 = m_4$ фрикційні властивості направляючої поверхні та нитки рахуються як для изотропних об'єктів. На рисунку 3 представлена загальна розрахункова схема взаємодії двох поверхонь з анізотропними фрикційними властивостями. Два прямокутники, діагоналі яких представляють собою ефективні коефіцієнти тертя (з кутами відхилення діоганалей від горізонталі $b_{12} = arctg(m_2 / m_1)$, $b_{34} = arctg(m_4 / m_3)$, в загальному випадку будемо рахувати повернутими один відносно другого на кут g. Тоді значення ефективного коефіцієнта тертя для цієї пари можна визначи по формулі

$$k = \sqrt{(m_3 \cos g + m_4 \sin g + m_1)^2 \cos^2 b + \{m_2 - [m_3 \sin(g + p) - m_4 \cos g]\}^2 \sin b}. \quad (6)$$

Для направляючої поверхні коефіцієнт тертя в напрямі найменшого супротиву руху позначимо u, який характеризує ефект від супротиву зсуву у цьому напрямку. Враховуючи, що $m_3 > m_4$ отримаємо

$$m_4 = u,\ m_3 = au,\ a > 1,\ \frac{m_3}{m_4} = a,\ m_3 = am_4.$$

Тоді рівняння (6) прийме вигляд

$$k = \sqrt{(au \cos g + u \sin g + m_1)^2 \cos^2 b + \{m_2 - [au \sin(g + p) - u \cos g]\}^2 \sin b}. \quad (7)$$

Коли прямокутники не повернуті один відносно другого, при $g = 0$, рівняння (7) прийме вигляд

$$k = \sqrt{(au + m_1)^2 \cos^2 b + (m_2 + u)^2 \sin b}. \quad (8)$$

У випадку, коли $g = \frac{p}{2}$, рівняння (8) прийме вигляд

$$k = \sqrt{(u + m_1)^2 \cos^2 b + (m_2 + au)^2 \sin b}. \quad (9)$$

Дл я изотропної направляючої поверхні, при $a = 1$, рівняння (9) прийме вигляд

$$k = \sqrt{(u + m_1)^2 \cos^2 b + (m_2 + u)^2 \sin b}. \quad (10)$$

Аналіз рівнянь (6-10) дозволяє зробити висновок, що враховуючи фрикційні властивості напрямної і самої нитки, а також напрям їх відносного переміщення, який характеризується кутом b, можна отримати найбільш оптимальну схему, при якій супротив відносного зсуву нитки відносно напрямної буде мінімальним. На рисунку 4 представлені відповідні діаграми ефективного коефіцієнта тертя k. Результати були отримані для слідуючих варіантів: 1 - $b = 0,\ g = 0,\ k = 0{,}6$; 2 - $b = 0,\ g = p/2,\ k = 0{,}5$; 3 - $b = p/2,\ g = 0,\ k = 0{,}2$; 4 - $b = p/2,\ g = p/2,\ k = 0{,}3$. Аналіз отриманих результатів показав, що значення ефективного коефіцієнта тертя (варіант 1) в три рази вище ніж у випадку, коли $b = p/2,\ g = 0,\ k = 0{,}2$ (варіант 3).

Рис.4. Значення ефективного коефіцієнту тертя

Виходячи з цього необхідно при виконанні розрахунків натягу нитки, та визначення форми її вісі враховувати значення ефективного коефіцієнту тертя та підбирати відповідні параметри таким чином, щоб отримати мінімальне значення сили тертя .

У випадку руху нитки по поверхні циліндра $b = 0,\ g = 0$ залежність для визначення натягу буде мати вираз [2]

$$\ln P = \ln P_0 + \frac{a j^{1-n_1}}{b(1-n_1)}\left(\frac{R}{P_0}\right)^{1-n}[\ln R(1-n)+1]/[1+\frac{(1-n)a j^{1-n_1}}{b(1-n_1)}\left(\frac{R}{P_0}\right)^{1-n}],\ P = P_0 e^{kj\left(\frac{R}{P_0}\right)^{1-n}}$$

де P – вихідний натяг нитки; P_0 – вхідний натяг нитки; R – радіус циліндричної напрямної; j – кут охоплення ниткою циліндричної напрямної; n, a, b, n_1 – деякі константи, значення яких залежить від виду матеріалів нитки та напрямної та умов взаємодії між ними.

$$\left[1+\left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right]^{\frac{m_1}{2m_2}-1}\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{m_2 m_0{}^2 g}{P_0}.$$

У випадку руху нитки по поверхні деякої площини $b \neq 0,\ g \neq 0$ було отримано диференціальне рівняння, яке представляє диференціальне рівняння другого порядку і визначає собою форму осі нитки при поперечному ковзанні з урахуванням анізотропії тертя [3]

Висновки

Визначені основні залежності для оптимізації процесу взаємодії нитки з напрямними з погляду мінімізації величини сили тертя. Це дозволило визначити форму осі нитки і її натяг у довільній точці, удосконалити процес її переробки на технологічному устаткуванні текстильної і трикотажної промисловості.

Найбільший натяг матимуть нитки з найбільшим значенням ефективного коефіцієнта тертя. Реальний натяг, в середньому, у анізотропних ниток в порівнянні з ізотропними буде більше на 20–30%.

Література

1. Щербань В.Ю. Механика нити / В.Ю.Щербань, О.Н.Хомяк, Ю.Ю.Щербань. – К.:Бібліотека офіційних видань, 2002. – 196 с.

2. Колиско М.І. Дослідження взаємодії нитки з циліндричною напрямною / М.І.Колиско, В.Ю. Щербань // Вісник КНУТД. – 2013. – №5. – С.44-47.

3. Калашник В.Ю. Исследование поперечного скольжения нити по направляющей поверхности малой кривизны с учетом анизотропии трения / В.Ю.Калашник, В.Ю.Щербань // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки . – 2013. – №1. – С.57–60.

References

1. Scherban V.Yu. Mechanics of filaments/V.Yu.Sherban, O.N.Khomyak, Yu.Yu.Scherban. -K.:Library of official editions, 2002.- 196 c.[in Russian]

2. Kolisko M.I. Research of interaction of filament is with the cylinder sending / M.I.Kolisko, V.Yu.Sherban//Announcer KNUTD. - 2013. – N5.- S.44 - 47.[in Ukrainian]

3. Kalashnik V.Yu. Research of the transversal sliding of filament on the sending surface of small curvature taking into account the anisotropy of friction/V.Yu.Kalashnik, V.Yu.Sherban//Announcer HNU.-2013.-№1.-S.57-60.[in Russian]

Рецензія/Peer review : 4.4.2015 р. Надрукована/Printed :15.5.2015 р.
Рецензент: д.т.н., професор Здоренко В.Г.