

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЖЕСТКОСТИ НИТИ ПРИ ИЗГИБЕ

В.Р.КРУТИКОВА, И.В.ОБЩАНСКАЯ, Н.В.ЛУСТГАРТЕН

(Костромской государственной технологической университет)

Существует достаточно много методов определения коэффициента жесткости нити при изгибе, общим недостатком которых является необходимость проведения повторных испытаний в том случае, если условия нагружения или деформирования нити существенно изменяются. Причиной этого является трение, зависящее от большого числа факторов, в том числе от натяжения нити.

В работе отмечено [1], что коэффициент трения зависит от давления, причем скорость его изменения не постоянна: при малых давлениях происходит существенное уменьшение коэффициента трения, при больших давлениях он практически не изменяется, асимптотически приближаясь к некоторому постоянному значению f_0 (рис. 1).

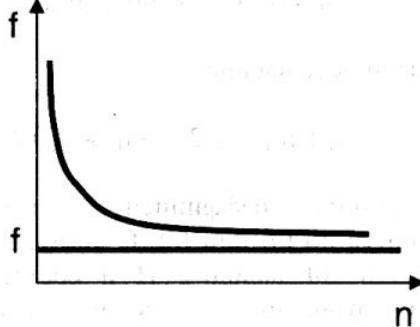


Рис. 1

Анализ экспериментальных кривых изменения коэффициента f трения от погонного давления n на нити разных линейных плотностей и волокнистого состава показал, что их можно с достаточной точностью аппроксимировать гиперболой:

$$f = f_0 + F_0 / n, \quad (1)$$

где параметр f_0 имеет смысл номинального коэффициента трения, а параметр F_0 – размерность погонного давления, Н/м. Назовем f_0 и F_0 постоянными параметрами трения.

Пусть $n = N/\ell$, где N – сила нормально-го давления; ℓ – длина контакта нити с поверхностью.

Тогда сила трения

$$F_{\text{тр}} = Nf = n\ell(f_0 + F_0/n) = n\ell f_0 + \ell F_0. \quad (2)$$

Возвращаясь к N , получим

$$F_{\text{тр}} = Nf_0 + \ell F_0.$$

Домножим и разделим второе слагаемое на b – ширину контакта нити с поверхностью, считая, что $\ell b = S$ – площадь контакта, а $F_0/b = \beta$ – коэффициент сцепления. Окончательно обобщенный закон сухого трения [1] выглядит так:

$$F_{\text{тр}} = Nf_0 + \beta S. \quad (3)$$

Таким образом, формула (1) правомочна, а уравнение (3) учитывает гиперболическую зависимость коэффициента трения от нормального давления.

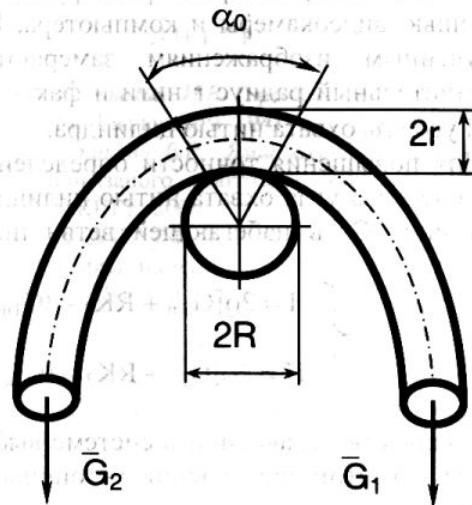


Рис. 2

Определяя f_i и n_i , где $i=1,2,\dots,m,m+1,\dots,k$ – номер опыта, из простого эксперимента (рис.2) и решая систему уравнений для (1),

записываем:

$$\begin{aligned} f_0 &= (f_m n_m - f_k n_k) / (n_m - n_k), \\ F_0 &= n_m n_k (f_k - f_m) / (n_m - n_k). \end{aligned} \quad (4)$$

В эксперименте должны быть выполнены следующие условия $n_m < n_k$; $f_m > f_k$; $f_0 > 0$; $F_0 > 0$. Обозначая $a = n_m / n_k < 1$ и $b = f_k / f_m < 1$, имеем

$$G_2 = G_1 \exp(f_0 \alpha_0 K_1) + RK_2 [\exp(f_0 \alpha_0 K_1) - 1] - N [\exp(f_0 \alpha_0 K_1) - 1] / (2\varrho^2), \quad (6)$$

где G_1, G_2 – натяжение нити соответственно в набегающей и сбегающей ветвях нити; $K_1 = R/\varrho$; $K_2 = F_0 / f_0$; R – радиус цилиндра; $\varrho = R + r$ – радиус кривизны нити; $2r$ – толщина нити; α_0 – фактический угол охвата нитью цилиндра; N – коэффициент жесткости нити при изгибе.

На рис. 2 представлена схема экспериментального определения жесткости нити на изгиб [3]. Сущность предлагаемого метода заключается в следующем. При огибании нитью иглы известного радиуса ее набегающая ветвь нагружается постоянной силой G_1 , а сбегающая – равномерно возрастающей силой G_2 . Натяжение в ветвях нити регистрируется с помощью тензометрических датчиков.

Нагружение сбегающей ветви прекращается в момент подвижки нити по поверхности иглы, который фиксируется с помощью видеокамеры и компьютера. По полученным изображениям замеряются действительный радиус r нити и фактический угол α_0 охвата нитью цилиндра.

Для повышения точности определения фактического угла охвата нитью цилиндра натяжение G_1 в набегающей ветви нити

$$\begin{cases} N = 2\varrho [G_{2m} + RK_2 - (G_{1m} + RK_2) \exp(f_0 \alpha_{0m} K_1)] / (\exp(f_0 \alpha_{0m} K_1) - 1), \\ \dots \\ N = 2\varrho [G_{2k} + RK_2 - (G_{1k} + RK_2) \exp(f_0 \alpha_{0k} K_1)] / (\exp(f_0 \alpha_{0k} K_1) - 1). \end{cases} \quad (8)$$

Количество уравнений в системе выбирается с учетом нахождения устойчивого решения.

Полученный коэффициент жесткости нити характеризует сопротивление изгибу с совместными трением и растяжением при малых погонных давлениях (до 100 Н/м). В реальных условиях перера-

$$\begin{aligned} f_0 &= f_m (a-b) / (a-1), \\ F_0 &= f_m n_m (b-1) / (a-1). \end{aligned} \quad (5)$$

Очевидно, что для (5) – $0 < a < b < 1$.

Зависимость (2) использована нами для вывода уравнения движения нити по цилиндрической поверхности постоянного радиуса [2]:

следует задавать в узком интервале нагружения. Его величина зависит от волокнистого состава нити и, например, для льняной пряжи начальная сила изменяется от 0,2 до 3,2 сН. Увеличение нагрузки приводит к увеличению угла охвата до 180°.

Коэффициент жесткости нити при изгибе вычисляется с использованием матриц величин $G_{1ij}, G_{2ij}, \alpha_{0ij}, r_{ij}$ для i значений начальной силы G_1 и j повторов.

Коэффициент трения покоя нити рассчитывается исходя из известной зависимости:

$$f_i = [\ln(G_{2i}) - \ln(G_{1i})] / \alpha_{0i}. \quad (7)$$

Погонное давление

$$n_i = (n_{\min i} + n_{\max i}) / 2 = (G_{1i} + G_{2i}) / (2R).$$

Постоянные коэффициенты f_0 и F_0 определяются по (4) или (5). С помощью зависимости (6) находим N и составляем систему уравнений для средних значений параметров в опыте:

ботки нити на вязальной машине погонное давление возрастает до 5000 Н/м.

Для определения фактического коэффициента жесткости нити на изгиб задается необходимый диапазон изменения натяжения G_{1i} в набегающей ветви нити и по формуле (7) рассчитывается соответствующее натяжение G_{2i} в сбегающей ветви.

Угол α_0 охвата нитью цилиндра принимается равным 180° . В качестве начального значения используется минимальный коэффициент f_k трения нити из эксперимента. Затем рассчитывается погонное давление p_i и уточняется коэффициент трения нити по (1) с учетом постоянных параметров трения f_0 и F_0 , определенных из эксперимента.

Новое значение коэффициента трения используется для следующего расчета натяжения в сбегавшей ветви нити и т.д. Итерации осуществляются до заданной ошибки вычислений. Новые параметры используются для вычисления коэффициента H жесткости нити из решения системы (8).

Таблица 1

Вид пряжи	Линейная плотность, текс	Параметры трения		Жесткость нити на изгиб, $\times 10^{-8}$ Н·м ²	
		f_0	F_0 , Н/м	при малых нагрузках	при больших нагрузках
Льняная беленая	30	0,040	38	4,5	12,2
	60	0,060	59	6,4	18,0
	85	0,096	95	9,0	25,4
Льняная вареная	26	0,025	9	2,9	11,7
	38	0,033	17	3,5	12,1
Хлопчатобумажная суровая	25	0,031	7	1,7	10,4
	58	0,037	9	2,3	12,8
	72	0,051	14	2,7	15,0
Смешанная (10% шерсть + 90% нитрон)	100	0,034	8	5,4	25,9
СВМ	30	0,024	2	0,5	5,5
	60	0,034	4	0,9	8,1
НПЭф (диаметр, мм)	0,111	0,007	6	34,3	85,2
	0,225	0,022	8	44,1	109,0
	0,338	0,038	11	53,5	160,4
НК моно (диаметр, мм)	0,300	0,006	11	87,8	120,3

Результаты расчета параметров изгиба нити при совместном действии трения и растяжения для нитей различных линейных плотностей и волокнистого состава представлены в табл.1. Анализ результатов показал, что с увеличением линейной плотности нити одного волокнистого состава параметры трения и жесткость на изгиб увеличиваются. Существенное влияние на уровень значений оказывает волокнистый состав и структура нити.

ВЫВОДЫ

1. Предложен и обоснован метод определения постоянных параметров трения и жесткости нити при изгибе с совместными трением и растяжением.

2. Получены значения параметров трения и жесткости нити при изгибе для нитей разного вида и линейных плотностей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Крагельский И.В. Трение волокнистых веществ. – М.: Гизлегпром, 1941.
2. Крутикова В.Р., Ямицков С.В. Технология поперечно-вязаного трикотажа: Учеб. пособие. – Кострома: КГТУ, 2000.
3. А.с. 29374 РФ. Устройство для определения жесткости нити на изгиб / Крутикова В.Р., Общанская И.В., Лапшин В.В. и др. – Оpubл. 2003. Бюл. №13.

Рекомендована кафедрой механической технологии волокнистых материалов. Поступила 23.01.04.