

УДК 677.077.625.16

ТКАНЬ ИЗ ВЫСОКОМОДУЛЬНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ НИТЕЙ*

О.С. СТЕПАНОВ, Н.К. РОМАНЫЧЕВ, Л.В.МОТОРИН

**(Ивановский государственный университет, НПО "Конверсипол",
Ивановская государственная текстильная академия)**

Изучению строения ткани посвящено большое количество работ, но в них большинство исследователей рассматривают ткань как объект, где нити основы и утка имеют один и тот же диаметр и состоят из одного и того же волокнистого материала.

Однако многие технические ткани вырабатываются из нитей разного волокнистого состава, а диаметры нитей отличаются между собой. В научных публикациях практически нет описания подобного рода тканей.

* Работа выполнена под руководством проф., докт. техн. наук Г.В. Степанова.

Рассмотрим ткань, где в основе и утке используются высокомодульные комплексные базальтовые нити и стеклонити. Ткань выдерживает значительные нагрузки и может применяться для армирования пластмасс и защиты от теплового излуче-

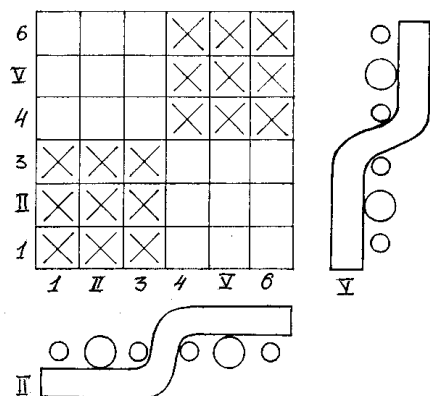


Рис. 1

На рис. 2 показана схема разреза ткани вдоль базальтовой основной нити. Приняты следующие обозначения: Q_y – сила давления уточной стеклонити на базальтовую нить основы; N_y – сила давления базальтовой уточной нити на базальтовую нить основы; F_0 – сила натяжения основной базальтовой нити; M_0 – изгибающий момент; x – текущая координата; x_i – координаты действия соответствующих сил; ℓ_y – расстояние между центрами уточных нитей (геометрическая плотность); L_y – длина раппорта переплетения по утку.

$$q(Q_y, N_y) = -Q_y \delta(x - x_1) + Q_y \delta(x - x_2) + N_y \delta(x - x_3) + Q_y \delta(x - x_4) - Q_y \delta(x - x_5), \quad (2)$$

где $\delta(x - x_i)$ – дельта-функция Дирака [2].

Для дальнейшего решения задачи воспользуемся принципом возможных перемещений. Следует вычислить интеграл [2]:

$$\int_0^L F(a_i, \varphi_i) \delta\varphi_j dz = 0, \quad (3)$$

где $F(a_i, \varphi_i)$ – уравнение силового равновесия нити в ткани; $\delta\varphi_j$ – возможные

перемещения. Она выработана переплетением рогожка 3/3. Расположение и переплетение нитей в ткани показано на рис. 1; арабскими цифрами обозначены стеклонити, римскими – базальтовые нити.

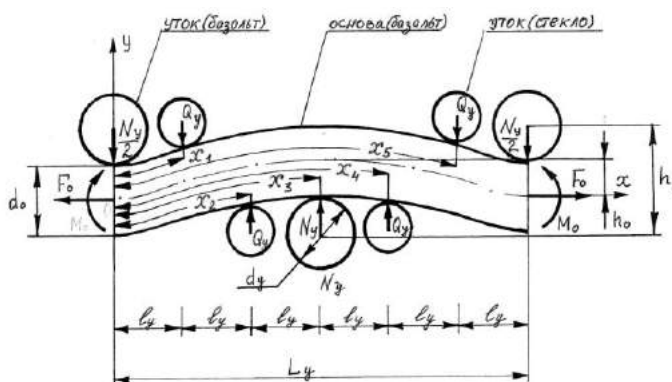


Рис. 2

Рассмотрим малые прогибы нити.

Для исследования строения ткани используем следующее дифференциальное уравнение в безразмерной форме [1]:

$$A_0 \frac{d^4 y}{dx^4} - F_0 \frac{d^2 y}{dx^2} = q(Q_y, N_y), \quad (1)$$

где A_0 – жесткость основной нити на изгиб; $q(Q_y, N_y)$ – функция внешней нагрузки.

Для функции внешней нагрузки имеем:

обобщенные перемещения точек осевой линии нити.

В нашем случае

$$F(a_i, \varphi_i) = A_0 \frac{d^4 y}{dx^4} - F_0 \frac{d^2 y}{dx^2} - q(Q_y, N_y) = 0. \quad (4)$$

Интеграл (3) можно вычислить только приближенно. Зададимся функцией прогибов [1]:

$$y = a(1 - \cos 2\pi x), \quad (5)$$

которая достаточно хорошо описывает форму осевой линии нити и удовлетворяет краевым условиям задачи ($y(0) = y(1) = 0$; $y'(0) = y'(1) = 0$). Здесь a – параметр, требующий определения.

Возможные обобщенные перемещения $\delta\varphi$ точек осевой линии нити ищем в виде функции, подобной (5):

$$\delta\varphi = 1 - \cos 2\pi x. \quad (6)$$

Подставляя выражения (2)...(6) в (3), после преобразований с учетом свойств дельта-функции получаем следующее выражение для параметра a :

$$a = \frac{Q_y^* + N_y^*}{\pi^2(4\pi^2 A_o^* + F_o^*)}. \quad (7)$$

Подставляем (7) в (5):

$$\begin{aligned} y^* &= a(1 - \cos 2\pi x) = \\ &= \frac{Q_y^* + N_y^*}{\pi^2(4\pi^2 A_o^* + F_o^*)} (1 - \cos 2\pi x). \end{aligned} \quad (8)$$

Наибольший прогиб нити будет в середине пролета при $x = 1/2$:

$$y_{\max}^* = \frac{2(Q_y^* + N_y^*)}{\pi^2(4\pi^2 A_o^* + F_o^*)}. \quad (9)$$

Формула (9) отражает величину прогиба нити в безразмерной форме. Для перехода к размерным величинам имеем [2]:

$$\begin{aligned} y_{\max}^* &= \frac{h_o^*}{L_y}, \quad Q_y^* = \frac{L_y^2 Q_y}{A_o}, \\ F_o^* &= \frac{L_y^2 F_o}{A_o}, \quad N_y^* = \frac{L_y^2 N_y}{A_o}, \quad A_o^* = 1, \end{aligned} \quad (10)$$

где h_o – максимальная величина прогиба нити (высота волны).

Учитывая (10), запишем:

$$h_o = \frac{2L_y^3(Q_y + N_y)}{\pi^2(4\pi^2 A_o + L_y^2 F_o)}. \quad (11)$$

Записывая аналогичное (1) уравнение для уточной базальтовой нити и решая его тем же приближенным способом, получим для уточной нити

$$h_y = \frac{2L_o^3(Q_o + N_o)}{\pi^2(4\pi^2 A_y + L_o^2 F_y)}, \quad (12)$$

где Q_o – сила давления основной стеклонити на уточную базальтовую нить; N_o – сила давления основной базальтовой нити на базальтовую нить утка; F_y – натяжение базальтовой уточной нити; A_y – жесткость на изгиб базальтовой уточной нити.

Учитывая, что в ткани, снятой со станка, натяжения нитей нулевые ($F_o = F_y = 0$), получаем следующую математическую модель для расчета показателей, характеризующих строение ткани:

$$\begin{aligned} h_o &= \frac{L_y^3(Q_y + N_y)}{2\pi^4 A_o}, \\ h_y &= \frac{L_o^3(Q_o + N_o)}{2\pi^4 A_y}, \\ Q_y + N_y &= Q_o + N_o, \\ h_o + h_y &= d_o + d_y. \end{aligned} \quad (13)$$

Так как $L_y = 100/P_y$ и $L_o = 100/P_o$, из системы (13) следует:

$$h_o = A_y P_o^3 k, \quad (14)$$

$$h_y = A_o P_y^3 k, \quad (15)$$

$$k = \frac{d_o + d_y}{A_y P_o^3 + A_o P_y^3}. \quad (16)$$

Нами рассчитаны высоты волн изгиба базальтовых нитей в ткани при следующих

данных: линейная плотность нитей основы и утка $T_o = T_y = 40$ текс; жесткость на изгиб нитей по основе и утку $A_o = A_y = 0,0153 \text{ Н} \cdot \text{мм}^2$; диаметр нитей основы и утка $d_o = d_y = 0,3 \text{ мм}$; плотность ткани по основе и утку $P_o = P_y = 180 \text{ нит./дм}$. Получены следующие показатели:

$$k = \frac{0,3 + 0,3}{0,0153 \cdot 1,8^3 + 0,0153 \cdot 1,8^3} = 3,362,$$

$$h_o = 0,0153 \cdot 1,8^3 \cdot 3,362 = 0,3 \text{ (мм)},$$

$$h_y = 0,0153 \cdot 1,8^3 \cdot 3,362 = 0,3 \text{ (мм)}.$$

ВЫВОДЫ

Получена математическая модель строения технической ткани, содержащей комплексные высокомодульные базальтовые нити и стеклонити. Определены высоты волн изгиба базальтовых нитей в ткани с учетом их жесткостных характеристик на изгиб.

ЛИТЕРАТУРА

1. Степанов Г.В., Степанов С.Г. Теория строения ткани. – Иваново: ИГТА, 2004.
2. Светлицкий В.А. Механика гибких стержней и нитей. – М.: Машиностроение, 1978.

Рекомендована кафедрой механической технологии текстильных материалов. Поступила 20.04.09.