

УДК 677.486.2:539.311

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФОРМИРОВАНИЯ
РАВНОВЕСНЫХ ТЕКСТИЛЬНО-МЕТАЛЛИЧЕСКИХ НИТЕЙ**

В.П. ЩЕРБАКОВ, И.Б. ЦЫГАНОВ, И.В. ПИЛЮШИНА

(Московский государственный текстильный университет им. А.Н. Косыгина)

На кафедре механической технологии волокнистых материалов МГТУ им. А. Н. Косыгина создана технология текстильно-металлических нитей для основовязаного трикотажа. Прядь, состоящая из двух или трех очень тонких, практически невидимых, параллельных металлических нитей, обкручивается сначала химической нитью в одном направлении, а затем другой, подобной нитью – в противоположном направлении. Диаметр металлической нити настолько мал по сравнению с толщиной обвивочной нити, что скрученная текстильно-металлическая нить представляет собой две одинаковые, вписанные одна в другую, винтовые линии, радиус осевой линии каждой из которых равен радиусу поперечного сечения комбинированной нити. С другой стороны, модуль упругости металлической нити настолько превосходит модуль химической нити, что пренебречь различием жесткостных характеристик обеих изогнутых по винтовым линиям упругих нитей, одна из которых содержит две или три высокомодульные нити, уже нельзя.

Если правильно подобрать геометрические и силовые параметры процесса скручивания с учетом свойств нитей, то ось крученой нити представляет собой прямую [1]. Линия контакта, образуемая точками касания ось крученой нити, является прямой линией. Рассечем крученую нить плоскостью, перпендикулярной ее оси. В сечении будут располагаться два соприкасающихся эллипса, представляющие собой

сечения нитей, расположенных под углом к оси крученой нити (рис. 1). Система самоуравновешенных внутренних сил, действующих в сечении крученой нити, сводится к моментам M_1 и M_2 , силам T_1 и Q .

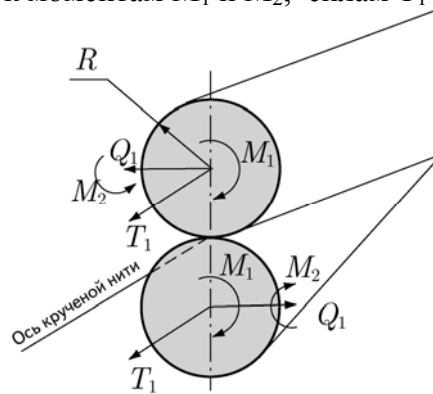


Рис.1

Примем соотношения, основанные на пропорциональности компонентов кривизны и кручения при деформировании компонентам главного момента внутренних усилий: крутящий момент $M_k = GI_p \kappa_1$, изгибающий момент $M_{ин} = EI \kappa_3$, где κ_1 – кручение осевой линии нити, возникающее при скручивании элемента нити моментом M_k ; κ_3 – кривизна пространственной осевой линии при изгибе нити моментом $M_{ин}$. Общее для двух нитей сечение не перпендикулярно осевым винтовым линиям каждой из них. Поэтому рассматриваемые в сечении крученой нити моменты M_1 и M_2 не могут быть ни крутящими, ни изгибающими так же как, силы T_1 и Q_1 не являются

ни натяжением, ни перерезывающей силой.

Ось крученой нити, как отмечалось, является прямой линией контакта нитей. Построим на этой оси вспомогательный цилиндр радиусом R (рис. 2).

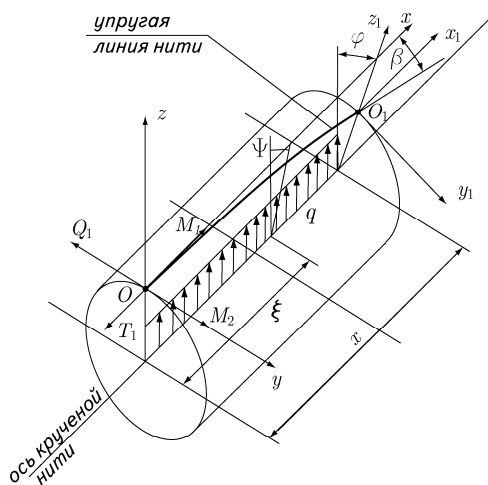


Рис. 2

На поверхности этого цилиндра будут расположены винтовые осевые упругие линии нитей. Рассмотрим верхнюю винтовую линию. Поместим в точке пересечения линии с плоскостью сечения крученой нити начало координат $Oxuz$. Ось Ox направим вдоль оси крученой нити, Oy – горизонтально вправо, Oz – вертикально вверх. В точке O приложены моменты M_1 и M_2 , а также силы T_1 и Q_1 . Вдоль оси построенного вспомогательного цилиндра в радиальном направлении действует распределенная нагрузка интенсивностью q . От точки O на расстоянии x на упругой линии выберем произвольную точку O_1 . В этой точке поместим подвижную систему координат $O_1x_1y_1z_1$. Ось O_1x_1 направим параллельно оси O_1x . Ось O_1z_1 повернута относительно координатной оси Ox на угол φ . Для обеспечения равновесности крученой нити необходимо, чтобы в произвольно взятой на упругой линии точке O_1 моменты M_1 и M_2 , силы T_1 и Q_1 были бы такими же, что и в точке O . Причем все это должно быть независимо от x и φ .

В работе [1] найдена величина контактной нагрузки:

$$q_0 = \frac{T_1 \sin^2 \beta}{2R \cos \beta} + GI_p \frac{\sin^2 \beta}{2R^3} \quad (1)$$

и определено усилие T_1 , которое обеспечивает равновесность крученой нити при заданном угле β :

$$T_1 = \frac{GI_p [1 - 2\sin^2 \beta (1 + e)] \cos \beta}{R^2}. \quad (2)$$

Здесь отношение жесткостей обозначено через $e = \frac{EI}{GI_p}$. Отдельные нити в составе

крученой имеют различные жесткости. Поэтому, чтобы получить прямолинейную форму оси крученой нити, в зону скручивания двух нитей надо подавать нити с различным натяжением, пропорциональным их величинам жесткости при изгибе и кручении.

Контактное взаимодействие двух скрученных между собой упругих нитей должно обеспечить прохождение текстильно-металлической нити через нитепроводящие и петлеобразующие органы основывальной машины без относительного смещения металлического и химического компонента. Силовое же взаимодействие этих нитей, помимо упругих свойств каждой из нитей, в первую очередь определяется натяжением химической составляющей скручиваемых нитей. Кроме того, величины натяжений компонентов создают равновесную структуру результирующей нити, без чего дальнейшая переработка текстильно-металлической нити вообще невозможна.

Основным источником возникновения и дальнейшего регулирования натяжения химического компонента является баллонирование нити при ее сматывании с катушки. Определим натяжение химического компонента комбинированной нити, необходимое для ее наилучшей переработки на основывальных машинах. Расчетная схема баллона сматывания дана на рис. 3.

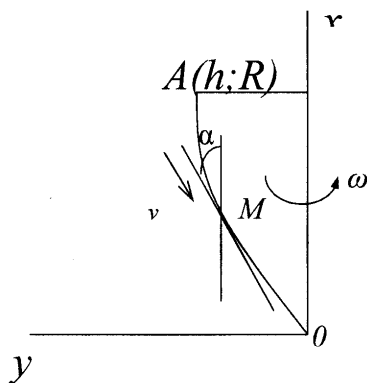


Рис.3

Будем считать нить достаточно «пологой». Длина нити ℓ мало отличается от высоты баллона h . Тогда угол α между касательной к нити и осью вращения x является малым и производная $y' = \operatorname{tg} \alpha$ намного меньше единицы.

Вращающуюся вокруг оси x со скоростью ω нить можно рассматривать в условиях контурного или установившегося движения, когда движущаяся нить сохраняет все время форму некоторой неизменяемой линии. Тогда движущуюся со скоростью v вдоль перемещающейся неизменяемой линии нить линейной плотности μ можно рассматривать как находящуюся в покое, если действительное натяжение нити T заменить кажущимся $T^* = T - \mu v^2$ и к действующим на нить силам добавить силы инерции. Проектируя основное уравнение контурного движения нити на вращающиеся с нитью координатные оси, получим два уравнения контурного движения вращающейся нити [2]:

$$\frac{d}{ds} \left(T^* \frac{dx}{ds} \right) = 0, \quad \frac{d}{ds} \left(T^* \frac{dy}{ds} \right) = -\mu \omega^2 y. \quad (3)$$

Используем приближенное соотношение, получающееся при разложении радикала в ряд по степеням y' :

$$ds = \sqrt{1+y'^2} dx \approx \left(1 + \frac{1}{2} y'^2 \right) dx.$$

Тогда можно получить решение для "пологой" вращающейся нити

$$y = \frac{1}{\omega} \sqrt{\frac{C_1 C_2}{\mu}} \sin \left(\sqrt{\frac{\mu}{C_1}} \omega x \right),$$

а также натяжение нити

$$T^* = C_1 \left(1 + \frac{1}{2} y'^2 \right).$$

Постоянные интегрирования C_1 и C_2 определены из уравнений

$$R = \frac{1}{\omega} \sqrt{\frac{C_1 C_2}{\mu}} \sin \left(\sqrt{\frac{\mu}{C_1}} \omega h \right),$$

$$\ell = \left(1 + \frac{C_2}{4} \right) h + \frac{C_2}{8\omega} \sqrt{\frac{C_1}{\mu}} \sin \left(2 \sqrt{\frac{\mu}{C_1}} \omega h \right). \quad (4)$$

Эксперимент проводился на крутильном устройстве, снабженном водилкой. В эксперименте использовалась вязкозная нить линейной плотностью 8,3 текс, частота вращения баллона 10500 мин^{-1} . Фотографирование баллонирующей нити производилось цифровой фотокамерой с расстояния 0,5 м при экспозиции 1/200 (рис. 4).



Рис. 4

Полученный снимок масштабировался в среде Autocad. С помощью данной среды определены длина образующей баллона $\ell = 0,118 \text{ м}$, а также высота, радиус баллона $h = 0,111 \text{ м}$, $R = 0,039 \text{ м}$ и угол $\alpha_0 = 22,6^\circ$. Для этих экспериментальных данных вычислено натяжение. Расчет проводился с использованием Mathcad Professional 2001.

Максимальное расчетное натяжение в баллоне в точке касания нитью нитепроводника равно 27,6 сН. Экспериментально определенное в данных условиях натяжение нити с использованием тензометрической установки составило 30 сН, что хорошо согласуется с расчетом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Щербаков В.П., Цыганов И.Б., Заваруев В.А. // Изв вузов. Технология текстильной промышленности. – 2003, №3. С. 91...94.
2. Щербаков В.П. Прикладная механика нити. – М.: РИО МГТУ им. А. Н. Косыгина, 2001.

Рекомендована кафедрой механической технологии волокнистых материалов. Поступила 01.12.06.
