

УДК [677.071.2:677.5]:677.071.4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИИ И ПРОЧНОСТИ НЕОДНОРОДНОЙ НИТИ

В.П. ЩЕРБАКОВ, И.Б. ЦЫГАНОВ, В.А. ЗАВАРУЕВ

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

На кафедрах технологии трикотажного производства и механической технологии волокнистых материалов МГТУ им. А.Н. Косыгина создана технология основязаного трикотажа, формируемого из комбинированной нити. Пряжь, состоящая из двух или трех очень тонких, практически невидимых, параллельных высокомодульных нитей, обкручивается сначала химической нитью в одном направлении, а затем другой подобной нитью – в противоположном направлении.

Диаметр высокомодульной нити настолько мал по сравнению с толщиной обвивочной нити, что скрученная комбинированная 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 высоко-

комодульной 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.

Чтобы каждый раз не писать "элементарная нить" в составе комплексной, условимся считать ее волокном. Исходя из условий формирования нити ее геометрическую модель можно представить в форме прямых полых круговых цилиндров радиусом r , волокна в которых расположены по винтовым линиям с постоянным шагом h . При скручивании нескольких нитей отдельное волокно приобретает форму "двойной" винтовой линии, то есть винтовой линии с определенной кривизной и кручением (второй кривизной), обкрученной вокруг другой винтовой линии.

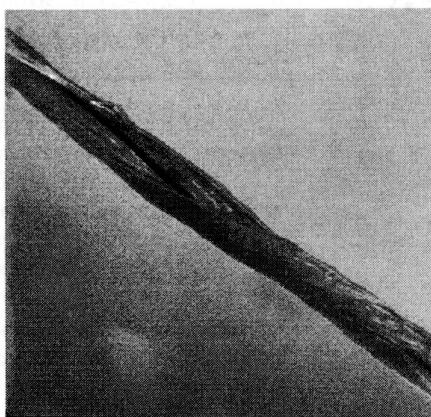


Рис. 1

Описанная выше технология и сканирование комбинированной нити (рис. 1) позволяют считать весьма тонкий высоко-

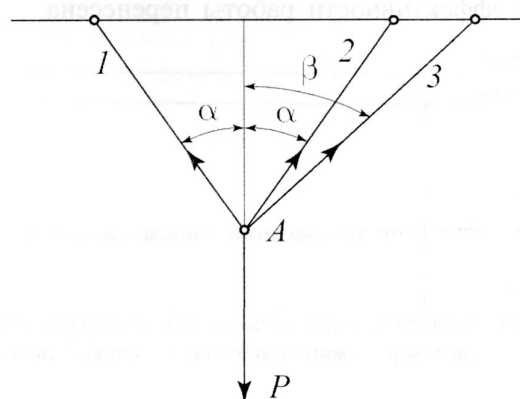


Рис. 2

модульный компонент наружным волокном одного из скрученных между собой химических компонентов. Так как винто-

вая линия на плоскости разворачивается в прямую, то крученые нити имеют псевдоплоскую структуру, и в этом случае применим двумерный подход.

Получим схему нагружения, изображенную на рис. 2. Здесь цифрами 1 и 2 обозначены осевые линии химических компонентов комбинированной нити; 3 – высокомодульная нить. Нити составляют углы α и β с вертикалью. Система, состоящая из трех различных упругих нитей, нагружена силой P , направленной вдоль вертикальной осевой линии крученой нити. Из-за разных углов α и β , модулей упругости нитей полное перемещение узла А будет иметь горизонтальную составляющую. Однако при растяжении ось крученой нити остается прямой. Это достигается взаимными перемещениями компонентов.

Таким образом, расчет прочности неоднородной нити предполагает решение двух задач: 1) описание геометрии неоднородной нити; 2) расчет статически неопределимой системы упругих нитей. Вторая задача не представляет трудностей, ее решение можно найти во многих учебниках, например, [1].

Обозначим деформацию крученой нити ϵ_0 . Угол подъема винтовой линии (оси химического компонента 1), то есть угол между касательной к винтовой линии и образующей цилиндра, равен α . Тогда деформация осевой линии 1 запишется в виде [2]: $\epsilon_1 = \epsilon_0 \cos^2 \alpha$. Аналогично представим деформацию высокомодульного компонента 3: $\epsilon_3 = \epsilon_0 \cos^2 \beta$. Это и есть уравнения деформаций.

Диаметры обеих химических нитей одинаковы, при скручивании они располагаются под одинаковыми углами к оси крученой нити, поэтому $\epsilon_1 = \epsilon_2$. Значения деформаций связаны соотношением

$$\epsilon_1 = \epsilon_3 \frac{\cos^2 \alpha}{\cos^2 \beta}.$$

Выразим деформации через силы:

$$\frac{T_1}{E_1 F_1} = \frac{T_3}{E_3 F_3} \frac{\cos^2 \alpha}{\cos^2 \beta}.$$

Здесь $E F$ с соответствующими индексами представляет собой жесткость нити при растяжении. Тогда

$$T_1 = T_3 \frac{E_1 F_1 \cos^2 \alpha}{E_3 F_3 \cos^2 \beta}.$$

Введя обозначение $e_1 = \frac{E_1 F_1}{E_3 F_3}$, последнее соотношение перепишем в виде

$$T_1 = T_3 e_1 \frac{\cos^2 \alpha}{\cos^2 \beta}.$$

Оба исходных химических компонента одинаковы, но в процессе формирования комбинированной нити каждый из них приобретает новую крутку, по величине и даже по направлению отличающуюся от начальной. Вследствие этого жесткость нити 2 будет отличаться от жесткости нити 1.

Обозначив отношение жесткостей $e_2 = \frac{E_2 F_2}{E_3 F_3}$, по аналогии с предыдущим запишем величину T_2 как функцию T_3 , e_2 :

$$T_1 = T_3 e_2 \frac{\cos^2 \alpha}{\cos^2 \beta}.$$

Равновесие системы описывается уравнением

$$T_1 \cos \alpha + T_2 \cos \alpha + T_3 \cos \beta = P.$$

С учетом предыдущих равенств прочность неоднородной нити дается формулой

$$P_* = T_{3*} \frac{(e_1 + e_2) \cos^3 \alpha + \cos^3 \beta}{\cos^2 \beta}. \quad (1)$$

Здесь звездочкой обозначены предельные величины, соответствующие разрушению. После того как достигается предельная нагрузка наиболее жесткого компонента T_{3*} , возможны различные варианты

развития процесса. Нагрузка P_* после разрыва металлической нити перераспределяется между оставшимися химическими нитями и, если они не способны воспринять эту нагрузку, то вся нить разрушается. Если же наиболее деформируемый компонент еще может нести нагрузку вместе с заблокированными силами трения разорванными участками жесткой нити, то прочность нити увеличивается.

Распределение усилий между разорванным компонентом и соседним, еще не разорванным, осуществляется в результате сил трения и на некотором расстоянии от места обрыва практически не будет сказываться на распределении усилий. На экспериментальной кривой удлинение-нагрузка явление блокирования оборванной нити наблюдалось даже при низкой, порядка 200 кручений на метр, крутке.

Для интересующего нас случая одним из требований к техническому трикотажу является отсутствие обрыва металлической нити, поэтому предельное состояние неоднородной нити определяется формулой (1). В рассматриваемой ситуации натяжения компонентов определяются формулами:

$$\begin{aligned} T_1 &= \frac{Pe_1 \cos^2 \alpha}{(e_1 + e_2) \cos^3 \alpha + \cos^3 \beta}, \\ T_2 &= \frac{Pe_2 \cos^2 \alpha}{(e_1 + e_2) \cos^3 \alpha + \cos^3 \beta}, \\ T_3 &= \frac{P \cos^2 \beta}{\cos^3 \beta + 2e \cos^3 \alpha}. \end{aligned} \quad (2)$$

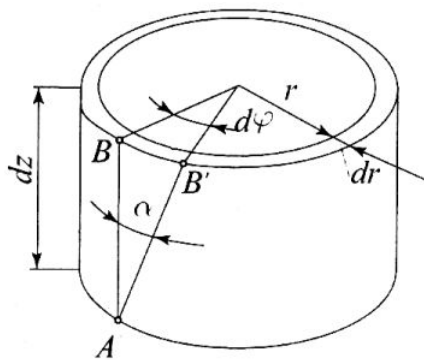


Рис. 3

Описание геометрии скрученных между собой одиночных нитей начнем с введения основных понятий в теории кручения сопротивления материалов. Рассмотрим упругую нить с круговым поперечным сечением, нагруженную по торцам двумя моментами. Двумя поперечными сечениями выделим из нити элемент длиной dz , а из него двумя цилиндрическими поверхностями с радиусами r и $r + dr$ выделим элементарное кольцо, показанное на рис. 3. Верхнее торцевое сечение поворачивается при кручении относительно левого на угол $d\varphi$. Образующая цилиндра AB поворачивается при этом на угол α и занимает положение AB' . Перемещение $BB' = du$ равно $r d\varphi$, с другой стороны $- du = dz \operatorname{tg} \alpha$. Следовательно,

$$\frac{d\varphi}{dz} = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{r}. \quad (3)$$

Величина $\frac{d\varphi}{dz} = \theta$ называется относительным углом закручивания и представляет собой угол взаимного поворота двух сечений, отнесенный к расстоянию между ними. Величина θ аналогична относительному удлинению $\frac{\Delta \ell}{\ell}$ при растяжении.

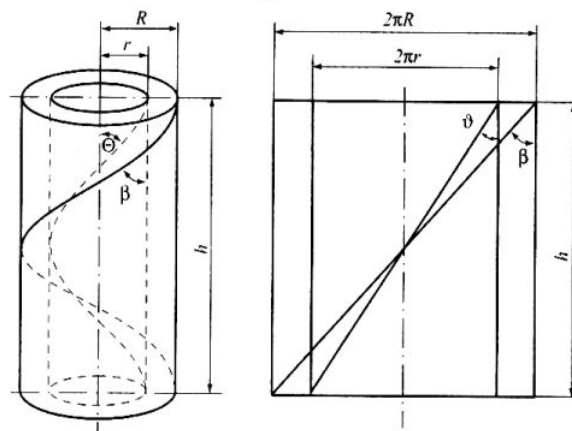


Рис. 4

Исходя из условий формирования нити ее геометрическую модель можно представить в форме полых прямых круговых цилиндров радиуса r , в которых волокна расположены по винтовым линиям с постоян-

ным шагом h (рис. 4). Шаг винтовой линии не зависит от текущего радиуса нити и определяется круткой нити $K_1 = \frac{1}{h}$. Угол подъема винтовой линии, то есть угол между касательной к винтовой линии и образующей цилиндра, равен ϑ .

Из рис. 4 следует $\operatorname{tg} \vartheta = \frac{2\pi r}{h}$ или $\operatorname{tg} \vartheta = 2\pi r K_1$. Тогда получаем $\theta = \frac{d\varphi}{dz} = 2\pi K_1$. Длина волокна дается формулой

$$s = \sqrt{h^2 + (2\pi r)^2} = \sqrt{1 + (2\pi K_1)^2} h. \quad (4)$$

При скручивании двух и более нитей ось каждой из них превращается в пространственную кривую. Мерой уклонения кривой от плоской формы является первая компонента Ω_1 вектора Дарбу, называемая кручением кривой или второй кривизной. Если скручиваются две нити одинакового диаметра $2R$, то ось любой нити расположена на воображаемом цилиндре диаметра $2R$ по винтовой линии с углом подъема α .

Кручение этой линии равно

$$\Omega_1 = \frac{1}{R} \frac{\sin 2\alpha}{2}.$$

Величина α определяется формулой $\operatorname{tg} \alpha = 2\pi R K$, где K – вторичная крутка. Относительный угол закручивания двух сечений, расположенных на расстоянии $d\ell$ друг от друга, определяется формулой $\theta_1 = \frac{d\varphi}{d\ell}$, а суммарное деформационное кручение переписывается в форме $\theta = \frac{d\varphi}{d\ell} + \Omega_1$.

Среди работ в области теории кручения нитей важное место занимают исследования Л. Р. Г. Трелора. Его работа [3] положена в основу нашего моделирования структуры скрученной в два сложения нити. Форма кривой волокна образована вращением вектора r , движущегося с постоянной скоростью вдоль винтовой оси одиночной нити, и представляет собой винтовую линию, расположенную на другой винтовой линии.

Введем системы координат (рис. 5).

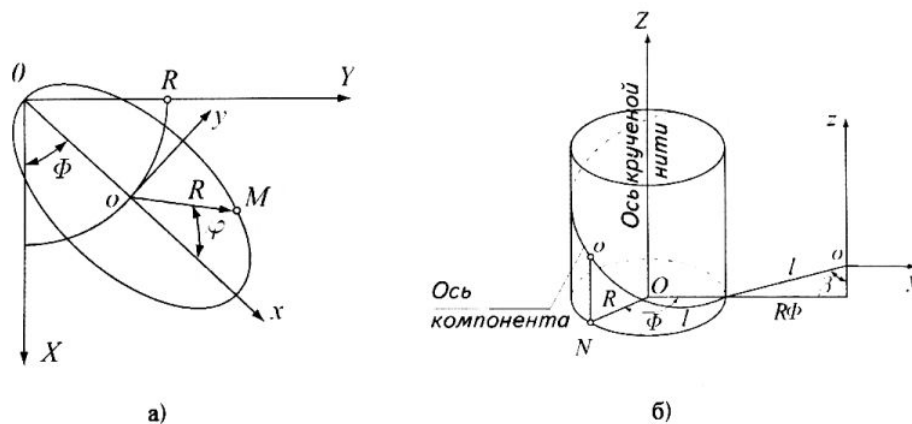


Рис. 5

1. Систему координат скрученной нити $OXYZ$ так, чтобы ось OZ была направлена вдоль оси нити.

2. Систему координат одиночной нити $oxyz$ таким образом, чтобы начало координат o располагалось на оси нити, а ось oz была параллельна оси OZ .

Нормальное сечение нити в точке o дает окружность с наклоном α к координатной плоскости $хоу$. Учтем свойство винтовой линии: главная нормаль к винтовой

линии во всех ее точках совпадает с нормалью к цилиндру. Теперь угловое положение точки волокна М можно определить углом φ , а угловое положение оси нити – углом Φ (рис. 5-а).

Равенством

$$\varphi = p\Phi \quad (5)$$

введем параметр p , величина которого определяется относительным углом закручивания одиночной нити и структурой крученой нити:

$$p = \frac{d\varphi}{d\Phi} = \frac{d\varphi}{dl} \frac{dl}{d\Phi} = \frac{d\varphi}{dl} \frac{R}{\sin\alpha}. \quad (6)$$

Здесь принято во внимание, что (рис. 5-б):

$$l = \frac{R\Phi}{\sin\alpha} \text{ и } \frac{dl}{d\Phi} = \frac{Rd\Phi}{\sin\alpha d\Phi} = \frac{R}{\sin\alpha}.$$

Координаты подвижного начала o вычисляются по формулам

$$\begin{aligned} X &= R \cos\left(\frac{\Phi}{p}\right) + r \cos\varphi \cos\left(\frac{\Phi}{p}\right) - r \cos\alpha \sin\varphi \sin\left(\frac{\Phi}{p}\right), \\ Y &= R \sin\left(\frac{\Phi}{p}\right) + r \cos\alpha \sin\varphi \cos\left(\frac{\Phi}{p}\right) + r \cos\varphi \sin\left(\frac{\Phi}{p}\right), \\ Z &= R \left(\frac{\Phi}{p}\right) \operatorname{ctg}\alpha - r \sin\alpha \sin\varphi. \end{aligned} \quad (7)$$

Учтем теперь известное соотношение

$$\left(\frac{ds}{d\varphi}\right)^2 = \left(\frac{dX}{d\varphi}\right)^2 + \left(\frac{dY}{d\varphi}\right)^2 + \left(\frac{dZ}{d\varphi}\right)^2.$$

$$\begin{aligned} \frac{dX}{d\varphi} &= \frac{1}{p} \left\{ -R \sin\left(\frac{\Phi}{p}\right) - r \left[(1 + p \cos\alpha) \cos\varphi \sin\left(\frac{\Phi}{p}\right) + (p + \cos\alpha) \sin\varphi \cos\left(\frac{\Phi}{p}\right) \right] \right\}, \\ \frac{dY}{d\varphi} &= \frac{1}{p} \left\{ R \cos\left(\frac{\Phi}{p}\right) + r \left[(1 + p \cos\alpha) \cos\varphi \cos\left(\frac{\Phi}{p}\right) - (p + \cos\alpha) \sin\varphi \sin\left(\frac{\Phi}{p}\right) \right] \right\}, \\ \frac{dZ}{d\varphi} &= \frac{1}{p} (R \operatorname{ctg}\alpha - r p \sin\alpha \cos\varphi). \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} X_0 &= R \cos\Phi, \quad Y_0 = R \sin\Phi, \\ Z_0 &= R\Phi \operatorname{ctg}\alpha. \end{aligned}$$

Координаты точки М волокна в подвижной системе связаны соотношениями

$$\begin{aligned} x &= r \cos\varphi, \quad y = r \sin\varphi \cos\alpha, \\ z &= -r \sin\varphi \sin\alpha. \end{aligned}$$

Выразим координаты x, y, z произвольной точки М относительно подвижной системы через координаты X, Y, Z этой же точки относительно неподвижной системы:

$$\begin{aligned} X &= X_0 + x \cos\Phi - y \sin\Phi, \\ Y &= Y_0 + y \cos\Phi + x \sin\Phi, \\ Z &= Z_0 + z. \end{aligned}$$

С учетом того, что $\varphi = p\Phi$, окончательные уравнения двойной винтовой линии принимают вид

Из (7) дифференцированием по φ получаем

Предыдущее соотношение после возведения производных в квадрат и сложения

$$\left(\frac{ds}{d\varphi}\right)^2 = \frac{1}{p^2} \left[\frac{R^2}{\sin^2 \alpha} + r^2(p + \cos \alpha)^2 + 2Rr \cos \varphi + r^2 \sin^2 \alpha \cos^2 \varphi \right].$$

Найдем теперь длину волокна:

$$s = \sqrt{A} \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \sqrt{1 + B \cos \varphi + C \cos^2 \varphi} d\varphi, \quad (9)$$

где введены обозначения

$$A = \frac{1}{p^2} \left[\frac{R^2}{\sin^2 \alpha} + r^2(p + \cos \alpha)^2 \right];$$

$$B = \frac{2Rr}{A}; \quad C = \frac{r^2 \sin^2 \alpha}{A}.$$

Интеграл (9) не имеет точного решения, но в пределах от 0 до π для всех практических констант B и C действительно следующее приближение:

$$\int_0^{\pi} \sqrt{1 + B \cos \varphi + C \cos^2 \varphi} d\varphi \approx \pi.$$

Выражение (8) с учетом этого приближенного равенства дает длину волокна для полухода винтовой линии

$$s = \pi \sqrt{A} = \frac{\pi}{p} \sqrt{\frac{R^2}{\sin^2 \alpha} + r^2(p + \cos \alpha)^2}. \quad (10)$$

Полученное выражение позволяет вычислить длину волокна для любого достаточно большого числа кручений, образующих угол φ :

$$s = \frac{\varphi}{p} \sqrt{\frac{R^2}{\sin^2 \alpha} + r^2(p + \cos \alpha)^2}. \quad (11)$$

Последние две формулы включают параметр p, который нельзя измерить непосредственно. Контролируемыми величинами являются углы кручения и крутка одиночной нити и скрученной.

принимает вид

Рассмотрим связь между круткой скрученной нити и круткой ее компонентов. Если бы не было изменения длины оси компонента при формировании крученой нити, то относительный угол закручивания первичной нити был бы равен $\frac{d\varphi}{d\ell} = 2\pi K_1$.

Однако длина оси изменяется вследствие превращения нити в пространственную кривую. Если до скручивания длина оси между двумя фиксированными точками равна ℓ_1 , а после скручивания ℓ , то можно написать

$$K_1 \ell_1 = \frac{\ell}{2\pi} \frac{d\varphi}{d\ell} \quad \text{или}$$

$$\frac{d\varphi}{d\ell} = 2\pi K_1 \frac{\ell_1}{\ell} = \theta_1 \frac{\ell_1}{\ell}. \quad (12)$$

Тогда параметр p, определяемый соотношением (6), принимает вид

$$p = 2\pi K_1 \frac{\ell_1}{\ell} \frac{R}{\sin \alpha} = \theta_1 \frac{\ell_1}{\ell} \frac{R}{\sin \alpha}. \quad (13)$$

Величина $\frac{d\varphi}{d\ell}$ определяется деформационным кручением компонента. Абсолютное же закручивание с учетом второй кривизны Ω_1 записывается в форме

$$\theta = 2\pi K_1 \frac{\ell_1}{\ell} + \frac{1}{R} \frac{\sin 2\alpha}{2}. \quad (14)$$

Разработанное математическое описание двойной винтовой линии может быть отнесено к любому волокну. Но в то же время следует принять во внимание то обстоятельство, которое было указано при построении модели одиночной нити, а именно: угол подъема винтовой линии, то есть угол между касательной к винтовой

линии и образующей цилиндра, равен $\theta = \arctg \frac{2\pi r}{h}$.

Этот угол изменяется в радиальном направлении от 0 в центре нити до некоторого значения β_0 на поверхности. Для того, чтобы учесть вклад каждого волокна, проведем усреднение влияния индивидуального волокна на геометрические характеристики как одиночной, так и скрученной нити. Рассмотрим сначала идею метода на одиночной нити, формируемой кручением пучка параллельных волокон.

Проведем расчет изменения длины одиночной нити в процессе кручения. Обратимся вновь к рис. 4 и формуле (4). Осевая составляющая длины волокна, расположенного на расстоянии r от центра, отнесенная к длине самого волокна, определяется из (4):

$$\frac{h}{s_r} = \frac{1}{\sqrt{1 + (2\pi r K_1)^2}}.$$

С учетом $\theta_1 = 2\pi K_1$ и обозначив $\frac{h}{s_r} = \lambda_{1r}$, предыдущее соотношение запишем в форме

$$\lambda_{1r} = \frac{1}{\sqrt{1 + r^2 \theta_1^2}}. \quad (15)$$

Разделим нить на радиальные цилиндрические элементы радиальной толщины

$$\lambda = \frac{4}{\sin^2 2\alpha} \left[-\left(2 + \frac{c}{2} \sin 2\alpha\right) + 2\sqrt{1 + \frac{\sin^2 2\alpha}{4} + \frac{c}{2} \sin 2\alpha} \right]. \quad (17)$$

Здесь $c = R\theta_1\lambda_1$ – постоянная величина.

Только теперь можно определить угол наклона внешнего волокна к оси скрученной нити β . В начале статьи отмечалось, что технология и сканирование комбинированной нити (рис. 1) позволяют считать весьма тонкий высокомодульный компонент наружным волокном одного из скру-

ченных между собой химических компонентов. Если m – число волокон, приходящихся на единицу площади сечения нити, то усреднение получаем из выражения

$$\lambda_1 = \frac{1}{\pi m R^2} \int_0^R \frac{2\pi m r}{\sqrt{1 + r^2 \theta_1^2}} dr,$$

где R – радиус нити.

Интеграл является табличным, его интегрирование дает среднюю относительную осевую длину нити после кручения:

$$\lambda_1 = \frac{2}{R^2 \theta_1^2} \left(\sqrt{1 + R^2 \theta_1^2} - 1 \right). \quad (16)$$

Расчет длины нити в результате вторичного кручения аналогичен проведенному для одиночной нити, но форма волокна принимает двойную винтовую линию.

Длина волокна на расстоянии r от оси компонента в зависимости от угловой координаты φ определяется формулой

$$s = \frac{\varphi}{p} \sqrt{\frac{R^2}{\sin^2 \alpha} + r^2 (p + \cos \alpha)^2}.$$

Вследствие этого расчет средней длины компонента, отнесенной к длине волокна, можно проводить точно так же, как и уже проведенный расчет одиночной нити. В результате получим

ченых между собой химических компонентов.

Волокно на поверхности нити соответствует угловой координате $\varphi = 0$ (рис. 5). В системе координат $OXYZ$, связанной с крученой нитью, угол β вычисляется по формуле $\operatorname{tg} \beta = \frac{dy}{dz}$ при $\varphi = 0$. Производные

$\frac{dy}{d\varphi}$ и $\frac{dz}{d\varphi}$ определяются выражениями (8), откуда имеем

$$\frac{dy}{d\varphi} = \frac{1}{p} [R + R(1 + p \cos \alpha)],$$

$$\frac{dz}{d\varphi} = \frac{1}{p} (R \operatorname{ctg} \alpha - R p \sin \alpha).$$

Параметр p дан формулой (13):

$$p = \theta_1 \frac{\ell_1 R}{\ell \sin \alpha}.$$

Тогда после простых преобразований получим

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{2 \operatorname{tg} \alpha + R \theta_1 \frac{\lambda_1}{\lambda}}{1 - R \theta_1 \frac{\lambda_1}{\lambda} \operatorname{tg} \alpha}. \quad (18)$$

Вычислим величины λ_1 и λ . Для вискозной нити линейной плотности 8,3 текс

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{2 \operatorname{tg} \alpha + 2\pi R K_1}{1 - 2\pi R K_1 \operatorname{tg} \alpha} = \frac{2 \cdot 0,08168 + 0,0408}{1 - 0,0408 \cdot 0,08168} = 0,2048.$$

Таким образом, угол β , ради определения которого создавалась изложенная выше, скажем, непростая теория, равен $\beta = 0,202$ рад = $11,6^\circ$.

Жесткости нитей находим из табл. 1, в которой приведены экспериментальные

диаметром $2R = 0,13$ мм с круткой $K_1 = 100 \frac{\text{кр}}{\text{м}} = 0,1 \frac{\text{кр}}{\text{мм}}$ по формуле (16) имеем $\lambda_1 = 0,999$. Угол подъема оси компонента комбинированной нити с вторичной круткой $K = 200 \frac{\text{кр}}{\text{м}}$ равен $\alpha = \arctg(2\pi \cdot 0,065 \cdot 0,2) = 0,0815$ рад = $4,67^\circ$.

Расчет относительной длины осевой линии этого компонента λ после скручивания по формуле (17) дает $\lambda = 0,998$. Видно, что изменения длины продуктов в результате и первичного, и вторичного кручения незначительны. Этого следовало ожидать для такой тонкой нити с весьма малой круткой. В случае же нитей и пряжи больших линейных плотностей даже с обычной круткой эта величина может достигать 20%. В нашем случае можно принять $\lambda_1 = \lambda = 1$.

Тогда угол подъема высокомодульного компонента β определится выражением

величины усилий, возникающих в нити при деформировании на испытательной машине FP-100 в режиме постоянной скорости деформации $\dot{\epsilon} = 0,3$ мин⁻¹.

Таблица 1

Вид нити	Деформация нити, %											
	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2
Вискозная (s)	0	18	35	51	65	77	88	95	100	103	104	106
Вискозная (z)	0	25	44	62	82	100	116	131	143	154	161	167
Металлическая	0	17	21	42	51	60	64	67	68	—	—	—
Комбинированная	0	69	131	197	255	309	346	375	390	396	400	—

В начале статьи отмечалось, что обе исходные химические нити одинаковы, но в процессе формирования комбинированной нити каждая из них приобретает новую крутку, по величине и даже по направлению отличающуюся от начальной. В связи с этим перед испытаниями каждая из вискозных нитей скручивалась таким об-

разом, чтобы значение и направление крутки совпадали с этими характеристиками в составе комбинированной нити. В результате в табл. 1 появились нити с круткой S и Z. Кроме того, надо принять во внимание, что металлическая нить имеет разрывную нагрузку и деформацию, ко-

торы соответственно равны 68,2 сН и 1,62%.

Технология комбинированной нити предусматривает высокомодульный компонент, состоящий из трех микроволокон. В расчетах прочности пучка нитей реализуется минимальная прочность [4]:

$$P_{3*} = 68,2 \cdot 3 = 204,6 \text{ сН.}$$

$$P_* = 204,6 \frac{(0,38 + 0,60) \cos^3 0,0815 + \cos^3 0,202}{\cos^2 0,202} = 407,1 \text{ сН.}$$

В табл. 1 приведено опытное значение разрывной нагрузки комбинированной нити, равное 400 сН, практически совпадающее с расчетным (относительное отклонение $\delta = 1,8\%$).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Феодосьев В.И.* Сопротивление материалов. – М.: Наука. 1986.

Вычисляем жесткости нитей:

$$E_1 F_1 = \frac{T_1}{\varepsilon_1} = \frac{106}{0,022} = 4818 \text{ сН,}$$

$$E_2 F_2 = 7590 \text{ сН, } E_3 F_3 = 12629,7 \text{ сН.}$$

Тогда отношение жесткостей: $e_1 = 0,38$, $e_2 = 0,60$.

Расчетная прочность комбинированной нити, определяемая по формуле (1), равна

2. *Щербаков В.П.* Прикладная механика нити. – М.: 2001.

3. *Treloar L.R.G.* // Journal of the Textile Institute, Trans. – 47, №8, 1956. 348.

4. *Щербаков В.П.* //Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2001, №1. С.59...63.

Рекомендована кафедрой механической технологии волокнистых материалов. Поступила 29.03.04.