

УДК [677.025.071.252.4 : 677.53] : 677.071.4

РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ КОМБИНИРОВАННОЙ НИТИ ДЛЯ ОСНОВОВЯЗАНОГО ТРИКОТАЖА

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

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

В результате поисковых работ, проведенных на кафедрах механической технологии волокнистых материалов и технологии трикотажного производства МГТУ им.А.Н.Косыгина, создана технология основовязаного трикотажа, формируемого из комбинированной нити.

положном направлении. Такая структура удерживает обвивочные нити от раскручивания и обеспечивает надежный контакт химических и стержневых нитей.

Наибольшие напряжения возникают в центральных волокнах, расположенных по прямым линиям вдоль оси нити. Здесь деформация волокна равна деформации нити. Механизм разрушения нити представляет последовательный разрыв волокон: сначала наиболее слабых, а затем, после обрыва одного волокна, перераспределение нагрузки на остальные $m-1$ волокон. Напряжение в волокнах увеличивается и далее разрушение будет происходить по аналогичной схеме. Разрушение волокна определяется локальной прочностью его наислабейшего элемента объема.

Концепция наислабейшего звена широко используется при разработке многих статистических теорий прочности, которые отличаются одна от другой лишь принятым видом функции распределения локальной прочности. Впервые концепция наислабейшего звена сформулирована Пирсом при исследовании прочности хлопковых волокон. Он также первым установил тесную связь этой модели с асимптотической теорией экстремальных значений.

Прочность пучка волокон с различной прочностью его индивидуальных составляющих наиболее исчерпывающе была исследована Даниэлсом.

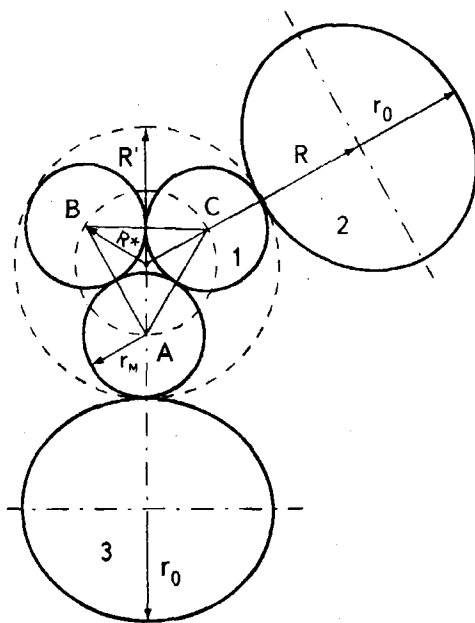


Рис. 1

Поперечное сечение комбинированной нити изображено на рис.1, где сердечник нити, состоящий из трех параллельных высокомодульных волокон 1, обкручен сначала нитью 2, а затем нитью 3 в противо-

Пусть n волокон из m исходных разрушилось, когда нагрузка достигла P . Тогда $m - n$ является числом неразорванных волокон. Связь общей нагрузки на пучок P и нагрузки на отдельное волокно p выражается соотношением

$$P = Np \left(1 - \frac{n}{m} \right). \quad (1)$$

Величина $\frac{n}{m}$ – это относительное количество волокон, прочность которых не больше p и является интегральной функцией распределения прочности волокон $\Phi(p)$, характеризующей степень разрушения пучка.

Значение P достигает максимума, если $\frac{dP}{dp} = 0$. Дифференцируя (1) по p и приравнявая результат нулю, записываем

$$1 - \Phi(p_{\max}) - p_{\max} \varphi(p_{\max}) = 0. \quad (2)$$

Здесь $\varphi(p)$ – плотность распределения прочности волокон (дифференциальный закон распределения). Из условия экстремума (2) найдем величину p_{\max} и в результате подстановки в исходное уравнение (1) получим максимальное значение прочности пучка.

Максимальная P_{\max} и средняя \bar{P} прочность волокон связаны между собой соотношением

$$P_{\max} = k\bar{P} \quad (3)$$

через коэффициент реализации средней прочности волокон

$$k = \frac{(\alpha e)^{\frac{1}{\alpha}}}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right)}, \quad (4)$$

где α – параметр распределения Вейбулла;

$\Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right)$ – гамма-функция.

Отношение к средней прочности волокна в пучке к средней индивидуальной прочности волокна в виде формулы (4) получено Даниэлсом при рассмотрении асимптотики распределения вероятностей для удельной прочности $P/(mA)$ пучка из m волокон поперечного сечения A при возрастании m . Даниэлс также показал, что при увеличении m распределение стремится к нормальному распределению с дисперсией

$$D = p_{\max}^2 \{ \Phi(p_{\max}) [1 - \Phi(p_{\max})] \} m^{-1}. \quad (5)$$

Дисперсия удельной прочности убывает с ростом m и стремится к нулю при очень больших m . Дисперсия прочности пучка поэтому гораздо меньше дисперсии прочности отдельных волокон; при этом в целом образце, процесс разрушения которого описывается моделью классического пучка, нельзя ожидать никакого явно выраженного влияния объема ни на среднюю прочность, ни на ее дисперсию за исключением того, что дисперсия может обнаруживать тенденцию к уменьшению с ростом размера образца.

Если же число волокон невелико, то при определении разрушающей нагрузки на небольшой пучок воспользуемся методом, изложенным нами при решении задачи о прочности пучка волокон при большом m . Основная идея этого метода состоит в оптимизации функции f , представленной в виде произведения усилия в волокне p на число неразрушенных волокон $(m-n)$. Чтобы найти максимум функции f , расположим разрушающие нагрузки в вариационный ряд в понижающем порядке:

$$p_1 > p_2 > p_3 > \dots > p_u, \quad (6)$$

где u – порядковый номер волокна в ряду.

Тогда максимальная прочность пучка волокон равна

$$P_{\max} = \max [up_u]. \quad (7)$$

Подтверждением этого простого правила являются результаты испытаний

(табл.1) по определению разрывной нагрузки каждой из трех моноплетей сердечника комбинированной нити и прочности пучка из этих нитей, равной

$R_{\max}^{\text{экс}} = 184,07 \text{ сН}$, проведенных на машине FP 100/1.

Таблица 1

Разрывное усилие p , сН	66.88	64.52	63.38
Число неразрушенных волокон u	1	2	3
Нагрузка на пучок $p_{\text{п}}$	66.88	129.04	190.14

Максимальная нагрузка для пучка равна 190,14 сН. Видно, что этот результат по значению близок к разрывной нагрузке, полученной экспериментально.

Далее определим долю химической обвивочной нити в общей прочности комбинированной нити. Обвивочная нить 2 или 3 радиуса r_0 (рис.1) расположена по винтовой линии с шагом h на пряди высокомолекулярных моноплетей, которая принята в форме цилиндра с радиусом R , изображенного внешней пунктирной линией.

Рассмотрим элемент площади $MNQP$ поперечного сечения комбинированной нити R' и r_0 . Из условия равновесия элемента нити и рис. 2 следует, что осевая сила, действующая параллельно оси нити и растягивающая нить, равна $P_{oz} = P_o \cos \vartheta$. Здесь P_o – разрывная нагрузка обвивочной нити; ϑ – угол подъема винтовой линии, определяющийся из выражения $\text{tg} \vartheta = \frac{2\pi R}{h}$, где $R = R' + r_0$ – радиус воображаемого цилиндра, на котором расположена осевая линия химической нити, обвивающей прядь (рис.1).

Шаг винтовой линии h связан с круткой соотношением $h = \frac{1}{K}$, где K – крутка нити, определяемая как число кручений на метр. Радиус R' контура пряди равен $R' = R^* + r_m$, где r_m – радиус моноплетей, R^* – радиус описанной окружности (внутренняя пунктирная линия) вокруг равнобедренного треугольника ABC со стороной $a = R^* \sqrt{3}$. Так как $a = 2r_m = d_m$, то $R^* = \frac{d_m}{\sqrt{3}}$.

Вычислим геометрические характеристики комбинированной нити, образованной из трех высокомолекулярных волокон диаметром 15 мкм каждое, и двух химических нитей линейной плотности 8,4 текс. Расчетный диаметр химической нити оп-

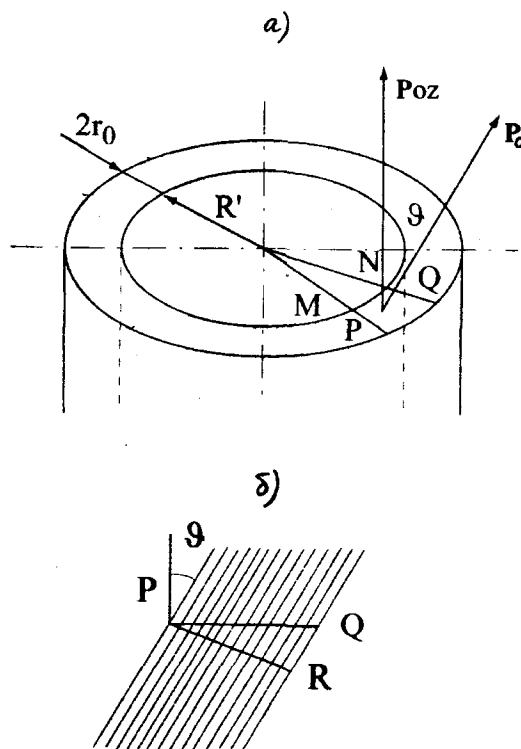


Рис. 2

ределим по формуле $d_o = 0,0357 \sqrt{\frac{T}{\delta}}$, где δ

– плотность нити.

$$\text{Имеем } d_o = 0,0357 \sqrt{\frac{8,4}{0,6}} = 0,1328 \text{ мм.}$$

Тогда $R=82,55$ мкм.

Если крутка $K=400 \text{ м}^{-1}$, то $\vartheta = 11,7^\circ$ и $\cos \vartheta = 0,9791$. Экспериментально определенная прочность химической нити равна 99,76 сН; составляющая разрывной на-

грузки, параллельная оси комбинированной нити, $P_{oz}=97,68$ сН.

Составим табл.2 для определения максимальной прочности комбинированной нити как максимума произведения числа неразрушенных волокон на соответствующее разрывное усилие.

Таблица 2

Разрывное усилие, сН	97,68	97,68	66,88	64,52	63,38
Число неразрушенных волокон	1	2	3	4	5
Нагрузка на пучок p_u	97,68	195,36	200,64	258,08	316,90

Как видно из табл.2, максимальная нагрузка комбинированной нити равна 316,90 сН. Определенная экспериментально разрывная нагрузка этой нити составила 300,0 сН.

Заметим, что величина P_{max} всегда оказывается меньше средней прочности (здесь она равна 390,12 сН) и это снижение прочности увеличивается с ростом коэффициента вариации. Поэтому может возникнуть ситуация, когда совокупность прочных волокон с большим разбросом прочности окажется слабее пучка менее прочных волокон с небольшим коэффициентом ва-

риации. Очевидно, что помимо средней прочности требования к волокнам должны включать и величину коэффициента вариации.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Hearle J. W. S., Grosberg P., Backer S.* Structural Mechanics of Fibers, Yarns and Fabrics. – New York, 1969.
2. *Щербаков В. П., Скуланова Н. С., Полякова Л. В.* // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1999, № 3, 4. С. 31...35; 27...30.

Рекомендована кафедрой механической технологии волокнистых материалов. Поступила 13.11.00.