

УДК 677.017.4.072.6.074

ФОРМУЛА ПРОЧНОСТИ ХЛОПЧАТОБУМАЖНОЙ ПРЯЖИ

Ю.К. БАРХОТКИН

(Ивановская государственная текстильная академия)

В идеальном случае разрывная нагрузка пряжи равна суммарной прочности волокон, находящихся в ее поперечном сечении. Однако на практике разрывная нагрузка значительно меньше суммарной прочности волокон, что объясняется неравномерностью пряжи по толщине, неполному разрыву всех волокон в месте разрыва (часть волокон выскальзывает) и неравномерностью натяжения волокон в сечении, что приводит к неодновременному разрыву волокон.

Известно несколько формул прочности пряжи, в которых факторы, понижающие ее прочность, различными авторами учтены по-разному. В связи с этим нами предлагается обобщенная и в то же время упрощенная формула прочности однородной хлопчатобумажной пряжи:

$$P = p_v \frac{N_v}{N_{\pi}} (1 - \varepsilon) \xi \theta G, \quad (1)$$

где p_v – прочность одного волокна, сН; N_v – номер волокна, м/г; N_{π} – номер пряжи, м/г; ε – укрутка пряжи; ξ – коэффициент ровноты пряжи по линейной плотности; θ – коэффициент уплотненности структуры пряжи; G – коэффициент равномерности натяжения волокон в сечении пряжи.

Коэффициент ровноты пряжи по линейной плотности $0 < \xi < 1$ показывает, какая часть от среднего числа волокон в сечении находится в тонком месте – сече-

нии разрыва. Для его определения можно использовать известную формулу из [1]:

$$\xi = \frac{a}{\sqrt[2]{N_{\pi}}}, \quad (2)$$

где a – коэффициент, зависящий от системы прядения и состояния оборудования.

Так, для пряжи $N_{\pi} = 40$ – для кардной системы прядения, $a = 1,2$ [1]; тогда $\xi = 0,8$.

Коэффициент уплотненности структуры пряжи $0 < \theta < 1$ показывает, какая часть из волокон в тонком месте разорвется. Он зависит от плотности вырабатываемой пряжи, то есть от того, насколько плотно волокна будут прижаты друг к другу в момент разрыва.

Для определения θ можно использовать также известную формулу

$$\theta = 1 - \frac{\ell_{ск}}{L}, \quad (3)$$

где $\ell_{ск}$ – длина скольжения волокон, мм; L – средняя длина волокон, мм.

Длина скольжения волокон определяется эмпирически – как удвоенная средняя длина кончиков неразорванных волокон в месте разрыва. Так, при средней длине кончиков неразорвавшихся волокон, равной 4 мм, и средней длине волокна $L = 36$ мм коэффициент $\theta = 0,78$. Очевидно, что при выработке более плотной пряжи, а также при увеличении средней дли-

ны волокна коэффициент θ будет расти.

Коэффициент равномерности натяжения волокон $0 < G < 1$ показывает, во сколько раз среднее натяжение волокон в сечении пряжи в момент разрыва больше максимального натяжения:

$$G = \frac{\sum_1^{n_p} P_i}{n_p P_B}, \quad (4)$$

где F_B – площадь сечения волокна, мм²; E_B – модуль упругости хлопкового волокна в пряже на растяжение, кг/мм²; d – диаметр пряжи, мм; h – высота витка пряжи, мм; ε_0 – общая относительная деформация пряжи в месте разрыва:

$$\varepsilon_0 = \varepsilon_y - \varepsilon_k, \quad (7)$$

ε_y – уработка пряжи при кручении; ε_k – деформация пряжи при растяжении в месте разрыва.

Очевидно, что использование формул (6) и (4) даже для идеальной структуры пряжи представляет определенные трудности. Так, для того, чтобы определить $\sum P_i$, необходимо знать величину удлинения ε_0 , причем удлинение следует определить в месте разрыва, а не общее удлинение отрезка нити, подвергнутой деформации растяжения. Имея в виду эти причины, нами предлагается следующий способ для определения коэффициента равномерности натяжения G волокон в сечении пряжи.

Известно, что при неровной по толщине нити ее упругий крутящий момент будет равен упругому моменту тонкого места этой нити. Следовательно, формулу (4) можно преобразовать так:

$$G = M_{\text{оп}}/M_{\text{гип}}, \quad (8)$$

где P_i – усилие в момент разрыва в каждом разрывающемся волокне, сН; n_p – число разрывающихся волокон:

$$n_p = \frac{N_B}{N_{\Pi}} (1 - \varepsilon) \xi \theta. \quad (5)$$

Теоретически для идеальной пряжи суммарное усилие всех волокон в момент разрыва можно определить по формуле из [2]:

$$\sum_1^{n_p} P_i = F_B n_p (1 - \varepsilon_0) E_B \left\{ 1 - \frac{2h}{\pi d} \left[\sqrt{1 + (1 - \varepsilon_0)^2 \frac{h^2}{\pi^2 d^2}} - (1 - \varepsilon_0) \frac{h}{\pi d} \right] \right\}, \quad (6)$$

где $M_{\text{оп}}$ – крутящий момент пряжи, полученный экспериментально в момент ее разрыва; $M_{\text{гип}}$ – предполагаемый (гипотетический) крутящий момент сечения в месте разрыва пряжи от разрывающихся волокон и имеющих одинаковое усилие в момент разрыва пряжи.

Число разрывающихся волокон можно определить по формуле (5). Крутящий момент в сечении пряжи от одинаково натянутых волокон равен

$$M_{\text{гип}} = P_t \varrho, \quad (9)$$

где P_t – тангенциальная составляющая усилия натяжения волокон, которые разорвутся; ϱ – текущий радиус каждого волокна.

$$P_t = P \cos \varphi, \quad (10)$$

где P – натяжение волокон в момент разрыва; φ – текущий угол наклона каждого волокна в момент разрыва.

Усилие натяжения волокна [2]:

$$P = E_B F_B \varepsilon_{0,B} / \sin \varphi, \quad (11)$$

где E_B – модуль упругости волокна; F_B – площадь сечения волокна; $\varepsilon_{0,B}$ – общее удлинение волокна.

Поскольку угол поворота поперечных сечений волокон является общим для всех волокон, то

$$\operatorname{tg}\varphi = \operatorname{tg}\varphi_0 \frac{R}{\varrho}, \quad (12)$$

где R – радиус сечения пряжи.

Тогда

$$P_t = E_b F_b \varepsilon_{o.b} \frac{\varrho}{R \operatorname{tg}\varphi_0}. \quad (13)$$

Предположив, что волокна, составляющие нить, расположены в n слоях по Z волокон в каждом слое, сумма всех моментов сил будет равна

$$M_{\text{гип}} = E_b F_b \varepsilon_{o.b} \sum_{k=0}^n Z_k \frac{\varrho^2}{R \operatorname{tg}\varphi_0}. \quad (14)$$

В качестве элементарной площади поперечного сечения нити возьмем выражение

$$dF = 2\pi\varrho d\varrho. \quad (15)$$

Крутящий момент будет равен

$$M_{\text{гип}} = \frac{2\pi E_b \varepsilon_{o.b}}{R \operatorname{tg}\varphi_0} \int_0^R \varrho^3 d\varrho. \quad (16)$$

$$P = 4,8 \cdot \frac{5000}{40} (1 - 0,06) \cdot 0,8 \cdot 0,78 \cdot 0,83 = 292 \text{ сН}.$$

Полученный результат хорошо согласуется с экспериментальными данными. Кроме того, предложенная формула (1) позволяет лучше понять механизм прочности хлопчатобумажной пряжи, а также пути совершенствования ее структуры.

Анализ формулы (1) позволяет понять, почему, например, повышение крутки пряжи увеличивает ее прочность до определенной величины (порога крутки), а затем довольно резко ее уменьшает. Очевидно, что при повышении крутки пряжи ее диаметр уменьшается, пряжа уплотняется, возрастает давление волокон друг на дру-

После интегрирования и несложных преобразований с учетом $\varrho_b = E_b F_b \varepsilon_{o.b}$ и

$$\operatorname{tg}\varphi_0 = \frac{10^3}{\pi d K}, \quad (17)$$

где K – крутка пряжи, кр/м, получим

$$M_{\text{гип}} = \frac{\pi}{4000} n_p p_b d_p^2 K, \quad (18)$$

где n_p – число разрывающихся волокон; p_b – прочность одного волокна, сН; d_p – диаметр пряжи в месте разрыва.

Тогда коэффициент равномерности натяжения волокон в момент разрыва можно определить следующим образом:

$$G = \frac{4000 M_{\text{оп}} N_{\text{п}}}{\pi d_p^2 K N_b (1 - \varepsilon_y) p_b \xi \theta}. \quad (19)$$

Расчеты, проведенные по формуле (19), а также применение метода определения упругого крутящего момента реальной пряжи $M_{\text{оп}}$ показали, что для кольцевой пряжи № 40 (25 текс) величина $G = 0,83$. Таким образом, для кольцевой пряжи № 40 с параметрами $\varepsilon_y = 0,06$; $N_b = 5000$ и $p_b = 4,8$ сН будем иметь

га. Это приводит к уменьшению длины $\ell_{\text{ск}}$ скольжения и увеличению числа разрывающихся волокон, что повышает прочность пряжи (растет коэффициент θ).

Однако дальнейшее повышение крутки пряжи приводит к росту натяжения периферийных волокон и снижению коэффициента G . Следовательно, увеличение крутки пряжи может привести к такому состоянию, когда резервы уменьшения длины скольжения уже исчерпаны и рост неравномерности натяжения волокон снижает прочность пряжи.

Необходимо также пояснить, почему в (1) не отражено усилие, возникающее в скользящих волокнах. Очевидно, что эти усилия будут участвовать в работе разрыва пряжи. Однако их действие будет проявляться после начала разрыва волокон, когда начинается сдвигка (относительное скольжение) волокон. Но в этот момент прочность пряжи начинает стремительно падать, поэтому усилия в скользящих волокнах не могут увеличить прочность пряжи. В то же время проявление этих усилий наблюдается в отклонении от вертикали линии в диаграмме разрыва после точки разрыва. Таким образом, площадь под линией разрыва на диаграмме несколько увеличивается.

ВЫВОДЫ

Показано, что пряжа, выработанная из хлопковых волокон, будет более прочная, если она будет более равномерна по ли-

нейной плотности и более плотная, либо состоящая из более длинных волокон, а также будет иметь высокую равномерность натяжения волокон в сечении пряжи в момент разрыва.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Корицкий К.И.* Вопросы структуры и проектирования хлопчатобумажной пряжи. – М.: Гизлегпром, 1940. С.180.

2. *Бархоткин Ю.К.* // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2002, №4-5. С.56...59.

Рекомендована кафедрой прядения. Поступила 04.03.02.