УДК 677.017.7

К ВОПРОСУ КРУЧЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ НИТЕЙ

А. А. ПОЛУШКИН, А. М. ЧЕЛЫШЕВ, В. А. ЧАЙКИН, П. А. ДЯТЛОВА

**(ОАО "НИИ ниток "Петронить", ОАО "Советская звезда",
Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна)**

Классическая теория кручения развивалась для пряжи и нитей, изготавливаемых из сравнительно коротких и в значительной мере извитых волокон [1]. Разрыв таких нитей обычно сопровождался большими сдвигами образующих их волокон, и кручение должно было, исключая такие сдвиги, повысить прочность нитей. При использовании бесконечно длинных волокон роль кручения существенно меняется. Оно реализуется для придания нити компактной, устойчивой формы, для закрепления оплетки, для улучшения пошивочных и внешне эстетических свойств нитей. Поэтому некоторые положения о влиянии крутки на свойства нитей, в применении к армированным нитям, следует пересмотреть с учетом особенностей их структуры.

Рассмотрим два сечения волокна, находящегося на поверхности пряжи и составляющего угол β с ее осью. Одно из этих сечений перпендикулярно к оси пряжи, его площадь обозначим через s, а другое нормально к оси волокна, его площадь обозначим через s_0. Угол между этими сечениями равен β. Поэтому площадь s первого из указанных сечений и площадь s_0 второго сечения связаны равенством

$$s = s_0 / \cos\beta . \tag{1}$$

Если пряжа состоит из N волокон, то можно утверждать, что ее поперечное сечение будет иметь площадь S, приближенно выражаемую равенством

$$S = s_0 N / \cos\beta , \tag{2}$$

при такой крутке пряжи, при которой наружные волокна составляют с осью нити (в среднем) угол, равный β.

Заметим, что неточность формулы (2) обусловлена, прежде всего, тем, что волокна, находящиеся внутри нити, могут составлять с осью нити различные углы, отличные от β. Вследствие миграции волокон эти углы могут меняться в широких пределах, однако вследствие большого числа волокон можно ожидать, что в силу стохастических закономерностей формула (2) будет выполняться со значительной точностью.

Допустим, что, находясь в состоянии ровницы, нить имеет площадь поперечного сечения S_0, соответствующую диаметру d_0. Через d обозначим диаметр нити, при котором углы наклона ее внешних волокон равны β, а площадь ее поперечного сечения равна S.

Обозначая через k крутку пряжи, получаем:

$$\cos\beta = \frac{1}{\sqrt{1 + (\pi k d)^2}} . \tag{3}$$

Поэтому сравнительно легко получаем равенство

$$d = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4S_0\sqrt{1 + (\pi k d)^2}}{\pi}} . \tag{4}$$

Из (4) получаем зависимость диаметра пряжи от степени ее крутки и диаметра ровницы:

$$d = \sqrt{\frac{\pi^2 k^2 d_0^4}{2} + \sqrt{\frac{\pi^4 k^4 d_0^8}{4} + d_0^4}} . \tag{5}$$

Из равенства (5) видно, что диаметр нити сложным образом зависит от величины крутки. Расчеты отношения диаметра d к начальному диаметру d_0 при крутке, меняющейся в пределах $0 \le k \le 1000$, обнаруживают быстрое увеличение диаметра нити с ростом крутки при d_0 порядка 0,0007-0,0005 м. При d_0, равном 0,0001 м, указанное отношение практически не зависит от крутки.

Обозначим разрывную прочность одного волокна через $\tilde{t}$. Тогда разрывная нагрузка некрученой нити (ровницы) будет равна

$$\tilde{T}_0 = N\tilde{t}. \qquad (6)$$

Если нити будет сообщена крутка, равная k кр/м, то ее разрывная нагрузка уменьшится и станет равна

$$\tilde{T} = \frac{\tilde{T}_0}{\sqrt{1+(\pi k d)^2}} = \frac{N\tilde{t}}{\sqrt{1+(\pi k d)^2}}. \qquad (7)$$

Из равенств (5) и (7) видно, что с ростом крутки толщина пряжи возрастает, а ее разрывная нагрузка падает. Результаты расчетов для различных начальных диаметров нити подтверждают вполне ожидаемый факт, состоящий в том, что наибольшее снижение прочности нитей при крутке возникает у нитей значительной толщины.

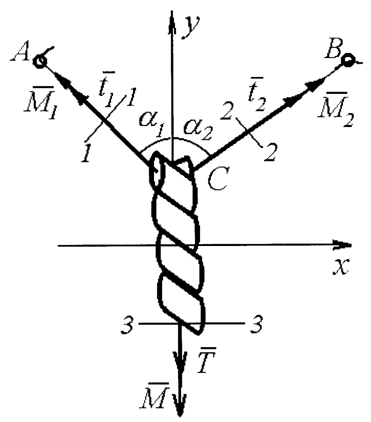

Рис. 1

Остановимся на влиянии крутки на разрывную нагрузку нити, состоящей из двух стренг. Будем предполагать, что поперечными деформациями стренг в процессе скручивания можно пренебречь. Различные конструктивные реализации процесса сближения двух стренг с целью их последующего скручивания для образования нити можно приближенно моделировать, пропуская эти стренги, как показано на рис. 1, через два нитепроводника A и B с последующим соединением в точке C, в которой начинается свивание стренг. Положение стренг относительно результирующей (скручиваемой) нити будем определять значениями углов α_1 и α_2, образованных осью винтовой симметрии нити и касательными к осям стренг.

Рассмотрим тело, выделенное из стренг и нити сечениями 1 - 1, 2 - 2 и 3 - 3. Смежные с этим телом части стренг и нити действуют на него силами натяжения t_1, t_2 и T стренг и нити соответственно, а также моментами M_1, M_2 и M, скручивающими соответственно стренги и нить. Основные уравнения равновесия этого тела можно записать в виде:

$$t_1 \cos\alpha_1 + t_2 \cos\alpha_2 = T,$$
$$t_1 \sin\alpha_1 = t_2 \sin\alpha_2, \qquad (8)$$

$$M_1 \cos\alpha_1 + M_2 \cos\alpha_2 +$$
$$+ t_1 h_1 \sin\alpha_1 + t_2 h_2 \sin\alpha_2 = M. \qquad (9)$$

Здесь через h_1 и h_2 обозначены расстояния от оси симметрии нити до линий действия сил t_1 и t_2.

Формулы (8) и (9) необходимы для точных числовых расчетов при проектировании процессов формирования нитей. Они позволяют также получить простые и полезные в прикладном отношении представления о влиянии на структуру нити величин t_1 и t_2, M_1 и M_2, h_1 и h_2, а также величины T. Например, из этих формул следует интуитивно ясный вывод, что увеличение натяжения стренги AC и снижение натяжения стренги BC ведет к тому, что стренга AC распрямляется, угол α_1

уменьшается, угол α_2 увеличивается, и стренга ВС штопорно обвивается вокруг стренги АС.

Меняя углы α_1 и α_2, толщины, натяжения и крутки стренг, можно получать нити с существенно различными деформационными и прочностными свойствами при неизменной суммарной толщине нити.

В случае симметричности стренг уравнения (8) и (9) существенно упрощаются. При использовании обозначений

$$t_1 = t_2 = t,\ M_1 = M_2 = m,$$
$$\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha,\ h_1 = h_2 = h\ , \qquad (10)$$

они с учетом легко проверяемого равенства

$$\cos\alpha = \frac{1}{\sqrt{1+(\pi kh)^2}} \qquad (11)$$

сводятся к следующей системе двух уравнений:

$$2t\cos\alpha = T, \quad 2m\cos\alpha + 2th\sin\alpha = M\ . \ (12)$$

Из (11) и (12) следует равенство

$$\frac{2m}{\sqrt{1+(\pi kh)^2}} + \frac{2\pi kth^2}{\sqrt{1+(\pi kh)^2}} = M\ . \quad (13)$$

При возрастании крутки первое слагаемое в (13) убывает. Пренебрегая им, после простых преобразований приходим к равенству

$$\pi kh^2T = M\ . \qquad (14)$$

Это равенство может рассматриваться как условие невозникновения сукрутин на нити при ее изготовлении.

Отметим, наконец, что крутка, превышающая величину

$$k_{cr} = 1/2d_0\ , \qquad (15)$$

приведет к нарушению винтовой формы стренг в нити и к наползанию стренг одна на другую. Этому критическому значению крутки согласно (3) соответствует угол подъема витка, равный

$$\cos\beta = \frac{1}{\sqrt{1+(\pi/2)^2}}\ , \qquad (16)$$

что соответствует величине $\beta \approx 55^\circ$.

ВЫВОДЫ

1. Для нитей, изготавливаемых из, практически, бесконечно длинных распрямленных волокон получены формулы, определяющие нарастание их толщины и падение прочности с увеличением крутки.
2. Выявлены аналитические зависимости между параметрами нити, образованной из двух стренг, мало деформируемых в поперечном направлении, и параметрами этих стренг.
3. Указано условие невозникновения сукрутин на нити при ее изготовлении.
4. Определена критическая крутка нити, превышение которой ведет к взаимному наползанию стренг.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Корицкий К.И.* Основы проектирования свойств пряжи. – М.: Гизлегпром, 1963.

Рекомендована кафедрой теоретической и прикладной механики СПГУТД. Поступила 01.12.06.