

К ВОПРОСУ ВЗАИМОСВЯЗИ НАТЯЖЕНИЯ ПРЯЖИ В БАЛЛОНЕ С ЕГО ФОРМОЙ

Ушакова Н.Л., Ушаков Е.И.

(Ивановская государственная текстильная академия)

Заключительным технологическим этапом в поточной линии хлопкопрядильного производства является процесс получения пряжи. Несмотря на широкое развитие безверетенных способов прядения, кольцевое прядение остается основным способом изготовления пряжи, поскольку позволяет получать продукт лучшего качества по сравнению с другими способами. В то же время скорость выпуска пряжи на кольцевых прядильных машинах, как правило, не превышает 30 м/мин, что обуславливает сравнительно низкую производительность машин.

С целью агрегирования оборудования хлопкопрядильного производства в поточные линии необходимо значительно повысить производительность кольцепрядильных машин, поэтому в настоящее время зарубежные фирмы большое внимание уделяют повышению рабочих скоростей данных машин, снижению натяжения и обрывности нити в баллоне.

Одним из путей уменьшения обрывности пряжи при использовании существующего способа кольцевого прядения является выравнивание натяжения по длине нити в баллоне. Для выявления этой возможности были проведены теоретические исследования реализуемых форм баллонов и натяжения нити в них при установке на машине пластинчатых разделителей.

Выравнивание натяжения по длине нити в баллоне возможно посредством получения формы пологого баллона, в котором изменение натяжения не превышает 5% при отношении длины L нити к высоте H баллона и значению угла α_0 между осью вращения баллона и касательной к кривой формы баллона в его вершине по следующей зависимости [1,2]:

$$L/H < 1,025, \quad \alpha_0 \leq 17,6^\circ. \quad (1)$$

С целью выявления влияния формы баллона, технологических параметров процесса кручения и конструктивных параметров узла кручения на натяжение пряжи в баллоне нами рассмотрено дифференциальное уравнение кривой формы плоского баллона [3]:

$$y'' = -a^2 y \sqrt{1 + (y')^2}, \quad (2)$$

при этом
$$a^2 = \mu_0 \omega^2 / T_x. \quad (3)$$

где μ_0 - линейная плотность материала нити; ω - угловая скорость баллона; T_x - вертикальная составляющая натяжения нити в баллоне.

Решение уравнения (2) должно удовлетворять граничным условиям:

$$y_{x=0} = 0, \quad y_{x=H} = R, \quad (4)$$

где R - радиус кольца

Уравнение (2) не содержит явно независимой переменной x . Поэтому оно решалось заменой переменных, преобразованием полученного полинома четвертой

степени посредством его корней и его последующим решением в виде эллиптического интеграла первого рода $F(\varphi, k)$ с модулем k и амплитудой φ :

$$F(\varphi, k) = 0,5a^2 \beta x. \quad (5)$$

После обращения эллиптического интеграла (5) получим уравнение формы баллона, выраженное через функцию эллиптического синуса:

$$y = \alpha \operatorname{sn}(0,5a^2 \beta x), \quad (6)$$

где величины α и β определяются выражениями:

$$\alpha = \sqrt{2(\sqrt{1+k_0^2} - 1)} / a, \quad \beta = \sqrt{2(\sqrt{1+k_0^2} + 1)} / a, \quad (7)$$

при этом $k_0 = \operatorname{tg} \alpha_0$, а модуль k вычисляется по формуле:

$$k = k_0 / (1 + \sqrt{1+k_0^2}). \quad (8)$$

Была выявлена взаимосвязь между параметрами в уравнении (6). Считаем, что заданы H , R , ω , μ_0 и максимальный радиус $y_{\max}$ баллона. Требуется определить форму баллона и натяжение нити в нем. Поставленная задача выполнена посредством решения уравнения (5).

Нижний предел интегрирования по φ функции $F(\varphi, k)$ равен нулю, а верхний предел $\varphi_{\max}$ ограничен формой баллона.

Имеем три случая формы плоского баллона нити: 1) $y_{\max} > R$, $\varphi_{\max} > 0,5\pi$; 2) $y_{\max} = R$, $\varphi_{\max} = 0,5\pi$; 3) $y_{\max} = R$, $\varphi_{\max} < 0,5\pi$.

При этом для всех случаев выполняется условие:

$$y_{\varphi=0,5\pi} = y_{\max}, \quad x_{\varphi=\varphi_{\max}} = H. \quad (9)$$

Для первого случая формы баллона предельное значение $y_{\max}$ определяется расстоянием установки пластинчатого разделителя от оси вращения веретена. Учитывая, что на форме кривой баллона в этом случае имеются две точки с одинаковыми значениями $y = R$ и первое условие соотношения (9) получим:

$$\varphi_{\max} = \pi - \arcsin(R/y_{\max}). \quad (10)$$

Аппроксимируя $F(\varphi, k)$ и выполняя второе условие соотношения (9) решаем уравнение (5) относительно k , которое преобразуется к виду:

$$F(\varphi_{\max}, k) = k_0 H / y_{\max}, \quad (11)$$

далее определяем α_0 . Текущие значения координат x и y кривой формы баллона вычислялись по соотношению (11), формулам (5), (6). Согласно первому условию соотношения (9) и уравнения (3) определено T_x :

$$T_x = \mu_0 \omega^2 y_{\max}^2 / 2(\sqrt{1+k_0^2} - 1). \quad (12)$$

При втором случае формы баллона нити также выполняются соотношения (11) и (12) при этом $y_{\max} = R$.

Для выявления формы баллона в третьем случае необходимо иметь дополнительное граничное условие, которым может быть одно из соотношений пологого баллона (1). Принимаем $\alpha_0 \leq 17,6^\circ$, тогда имеем:

$$\left. \begin{aligned} \varphi_{\max} &= \arcsin\left(aR/\sqrt{2(\sqrt{1+k_0^2}-1)}\right) \\ R(\varphi_{\max}, k) &= aH/\sqrt{0,5(\sqrt{1+k_0^2}+1)} \end{aligned} \right\}. \quad (13)$$

Решаем совместно оба уравнения соотношения (13) методом "невязки" относительно параметра a , далее из (3) находим T_x .

В [3] вследствие сложности аналитического решения уравнения (2) для его упрощения принято условие $(y')^2 = 0$, при этом решением преобразованного уравнения является следующая функция:

$$y(x) = R \sin(ax) / \sin(aH) \quad \text{при } 0 \leq x \leq H \quad (14)$$

Нами произведено сравнение параметров баллона, вычисленных по уравнению (14), с теми же параметрами, определяемыми по полученным точным аналитическим зависимостям для уравнения (2).

Проведенные расчеты показали, что полного совпадения результатов решений зависимости (2) и упрощенного уравнения (14) при всех трех формах плоского баллона достичь невозможно. Адекватность решений можно получить только по форме траектории нити в баллоне. Значение T_x натяжения нити в баллоне необходимо вычислять из решения уравнений (2) и (3). Из [3] имеем:

$$T_x = C_6 / (\Phi - 1), \quad (15)$$

$$\left. \begin{aligned} \Phi &= \eta (\cos \beta + \Gamma^{-1} \sin \beta) \\ \eta &= 2,5 - 0,8 \sin \beta; \quad \sin \beta = r/R \end{aligned} \right\}, \quad (16)$$

где C_6 - центробежная сила, действующая на бегунок; f - коэффициент трения бегунка о кольцо; Γ - текущий радиус наматываемого початка.

Зависимость (15) для определения T_x несовместима с упрощенным уравнением (14). Это объясняется тем, что параметр a непосредственно взаимосвязан с формой баллона по уравнениям (2) и (3).

Проведенными теоретическими исследованиями также доказано, что:

- заданным значениям R , H и L соответствует одно значение α_0 ;
- заданным значениям R , H , L , μ_0 , ω соответствует одно значение T_x ;
- при заданных значениях R , H , L , μ_0 , ω реализуется только одна действительная форма плоского баллона;
- при неизменных значениях μ_0 , ω большей длине нити в баллоне соответствует меньшее значение T_x ;
- максимальное натяжение нити соответствует точке вершины баллона;
- максимальное натяжение нить имеет при третьей форме баллона. При этом максимальное натяжение нити данной формы может превышать такое же натяжение

при первой форме баллона не более чем в 5,73 раза при неизменных значениях μ_0 ,

ω , N для существующих конструкций кольцепрядильных машин;

- минимальное натяжение нить имеет при первой форме баллона;

- с увеличением длины нити в первой форме баллона возрастает изменение натяжения по ее длине;

- третья форма баллона у кольца имеет максимальное значение натяжения баллонирующей нити;

- при крайнем нижнем положении кольцевой планки может быть реализована только первая форма баллона.

Проведенные исследования также показали, что для снижения натяжения, а следовательно, и обрывности нити в кольцепрядении необходимо получить стационарную форму баллона. С этой целью нами разработано устройство, на которое получен патент. При этом произведено: фиксирование кольцевой планки; разделение процессов кручения и наматывания; обработка входного и выходного продуктов поверхностно-активными веществами; уменьшено воздействие аэродинамических сил на нить; увеличена скорость кручения.

Л и т е р а т у р а :

1. Мигушов И.И. Механика текстильной нити и ткани. - М.: Легкая индустрия, 1980.
2. Мей Шун Чи. Разработка и исследование усовершенствованного технологического процесса формирования пряжи на кольцепрядильной машине: Дис. ... канд. техн. наук. - Иваново: ИГТА. 1995.
3. Севостьянов А.Г., Севостьянов П.А. Моделирование технологических процессов (в текстильной промышленности). - М.: Легкая и пищевая промышленность. 1984.